

4

**MATERIAL DO
PROFESSOR**

• **Física**

**CIÊNCIAS DA NATUREZA
E SUAS TECNOLOGIAS**



**DOM
BOSCO**

by Pearson

PRÉ-VESTIBULAR
EXTENSIVO

4

**MATERIAL DO
PROFESSOR**

• **Física**

**CIÊNCIAS DA NATUREZA
E SUAS TECNOLOGIAS**

DOM BOSCO - SISTEMA DE ENSINO
PRÉ-VESTIBULAR 4
Ciências da natureza e suas tecnologias.
© 2019 – Pearson Education do Brasil Ltda.

Vice-presidência de Educação	Juliano Melo Costa
Gerência editorial nacional	Alexandre Mattioli
Gerência de produto	Silvana Afonso
Autoria	Franco Giagio, Daniela Fiorini, Clayton Santos
Coordenação editorial	Luiz Molina Luz
Edição de conteúdo	Jaqueline Gomes Cardoso
Leitura crítica	Daniel Leme, Natália Fiorini, Maysa Costa, Júlio Cesar Ruivo, Kathia Schaffer Gimenes
Preparação e revisão	Sérgio Nascimento
Gerência de Design	Cleber Figueira Carvalho
Coordenação de Design	Diogo Mecabo
Edição de arte	Alexandre Silva
Coordenação de pesquisa e licenciamento	Maiti Salla
Pesquisa e licenciamento	Cristiane Gameiro, Heraldo Colon, Andrea Bolanho, Maricy Queiroz, Sandra Sebastião, Shirlei Sebastião
Ilustrações	Carla Viana, Madine Oliveira, Cláudia Silveira, Estúdio Lab 307
Cartografia	Allmaps
Projeto Gráfico	Apis design integrado
Diagramação	Editorial 5
Capa	Apis design integrado
Imagem de capa	mvp64/istock
Produtor multimídia	Cristian Neil Zaramella
PCP	George Baldim, Paulo Campos Silva Junior

Todos os direitos desta publicação reservados à
Pearson Education do Brasil Ltda.

Av. Santa Marina, 1193 - Água Branca
São Paulo, SP – CEP 05036-001
Tel. (11) 3521-3500

www.pearson.com.br

APRESENTAÇÃO

Um bom material didático voltado ao vestibular deve ser maior que um grupo de conteúdos a ser memorizado pelos alunos. A sociedade atual exige que nossos jovens, além de dominar conteúdos aprendidos ao longo da Educação Básica, conheçam a diversidade de contextos sociais, tecnológicos, ambientais e políticos. Desenvolver as habilidades a fim de obterem autonomia e entenderem criticamente a realidade e os acontecimentos que os cercam são critérios básicos para se ter sucesso no Ensino Superior.

O Enem e os principais vestibulares do país esperam que o aluno, ao final do Ensino Médio, seja capaz de dominar linguagens e seus códigos; construir argumentações consistentes; selecionar, organizar e interpretar dados para enfrentar situações-problema em diferentes áreas do conhecimento; e compreender fenômenos naturais, processos histórico-geográficos e de produção tecnológica.

O Pré-Vestibular do Sistema de Ensino Dom Bosco sempre se destacou no mercado editorial brasileiro como um material didático completo dentro de seu segmento educacional. A nova edição traz novidades, a fim de atender às sugestões apresentadas pelas escolas parceiras que participaram do Construindo Juntos – que é o programa realizado pela área de Educação da Pearson Brasil, para promover a troca de experiências, o compartilhamento de conhecimento e a participação dos parceiros no desenvolvimento dos materiais didáticos de suas marcas.

Assim, o Pré-Vestibular Extensivo Dom Bosco by Pearson foi elaborado por uma equipe de excelência, respaldada na qualidade acadêmica dos conhecimentos e na prática de sala de aula, abrangendo as quatro áreas de conhecimento com projeto editorial exclusivo e adequado às recentes mudanças educacionais do país.

O novo material envolve temáticas diversas, por meio do diálogo entre os conteúdos dos diferentes componentes curriculares de uma ou mais áreas do conhecimento, com propostas curriculares que contemplem as dimensões do trabalho, da ciência, da tecnologia e da cultura como eixos integradores entre os conhecimentos de distintas naturezas; o trabalho como princípio educativo; a pesquisa como princípio pedagógico; os direitos humanos como princípio norteador; e a sustentabilidade socioambiental como meta universal.

A coleção contempla todos os conteúdos exigidos no Enem e nos vestibulares de todo o país, organizados e estruturados em módulos, com desenvolvimento teórico associado a exemplos e exercícios resolvidos que facilitam a aprendizagem. Soma-se a isso, uma seleção refinada de questões selecionadas, quadro de respostas e roteiro de aula integrado a cada módulo.

SUMÁRIO



5

FÍSICA 1A



71

FÍSICA 1B



137

FÍSICA 2A



189

FÍSICA 2B



241

FÍSICA 3A



269

FÍSICA 3B



FÍSICA 1A

CIÊNCIAS DA NATUREZA E SUAS TECNOLOGIAS

45

MODELOS PLANETÁRIOS

- A evolução e as características das teorias e dos modelos planetários

HABILIDADES

- Confrontar interpretações científicas com interpretações baseadas no senso comum, ao longo do tempo ou em diferentes culturas.
- Associar a solução de problemas de comunicação, transporte, saúde ou outro com o correspondente desenvolvimento científico e tecnológico.
- Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes.
- Avaliar métodos, processos ou procedimentos das ciências naturais que contribuam para diagnosticar ou solucionar problemas de ordem social, econômica ou ambiental.
- Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.
- Relacionar propriedades físicas de produtos, sistemas ou procedimentos tecnológicos às finalidades a que se destinam.



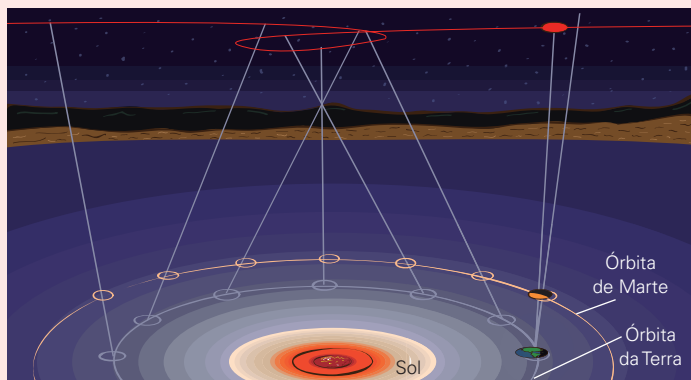
No solstício de verão no hemisfério Norte – dia mais longo do ano –, o Sol nasce exatamente sobre a pedra principal de Stonehenge.

Na mitologia grega, Hélios é a personificação do Sol. Tem a cabeça coroada com uma auréola solar e, em sua carruagem puxada por quatro cavalos luminosos, circula a Terra atravessando o céu para chegar, à noite, ao oceano, onde seus cavalos se banham. Os astros eram deuses ou símbolos das divindades e, dessa forma, foram-lhes atribuídas influências sobre a vida na Terra.

Ao longo de todas as eras e culturas, a humanidade sempre observou o céu em busca de interpretar sua ordem pelos mais distintos interesses: científico, mitológico, filosófico ou de contemplação.

Se as primeiras observações deram asas à imaginação e à criatividade humanas, permitindo lotear arbitrariamente o céu em constelações, elas também organizaram os ciclos agrícolas e a contagem do tempo, orientaram os deslocamentos em terra e mar, além de passar importantes informações para a compreensão das estações do ano e das marés.

Aparentemente, nada intrigou tanto o homem quanto o movimento dos planetas, que pareciam, em determinadas épocas do ano, recuar em relação às estrelas “fixas” para depois seguir sua trajetória pelo céu. Esse tipo de movimento, mais acentuado no caso de Marte, chamado **movimento retrógrado** ou **laçada planetária**, foi um dos principais fatores que levaram à busca por mais explicações sobre o movimento dos astros.



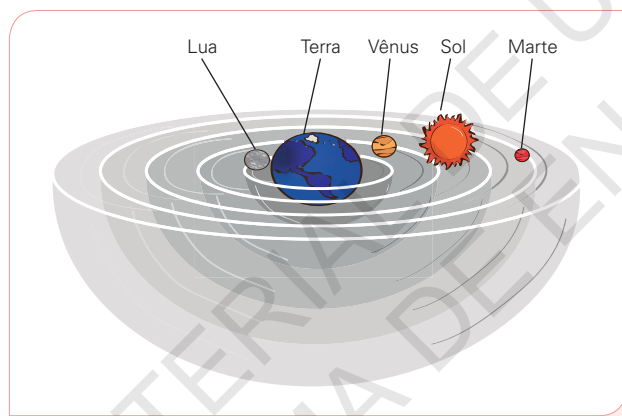
O movimento relativo entre a Terra e Marte faz que a trajetória percebida de Marte no céu noturno seja, em alguns momentos do ano, semelhante a um laço de barbante.

A partir do estudo dos diversos sistemas planetários, que será realizado a seguir, ficará evidente que a ciência não é pronta, e sim está em constante evolução. Os modelos criados nos diversos campos do conhecimento apenas representam a realidade da melhor forma possível com os recursos que possuímos até agora. Novos experimentos, equipamentos de aferição ou evidências podem nos levar a um novo modelo. A ciência é colaborativa; em ciência não há verdades absolutas e cada um pode contribuir para a evolução de algum campo do saber.

TEORIAS GEOCÊNTRICA E GEOSTÁTICA

É perfeitamente compreensível o fato de a visão geocêntrica ter dominado a ciência por muitos anos de história, por conta de nossa posição como observadores. Do nosso ponto de vista, sempre fixos à superfície da Terra, são os astros que giram, enquanto nós permanecemos parados no centro de tudo. Certamente, o modelo geocêntrico (Terra no centro) é o mais intuitivo.

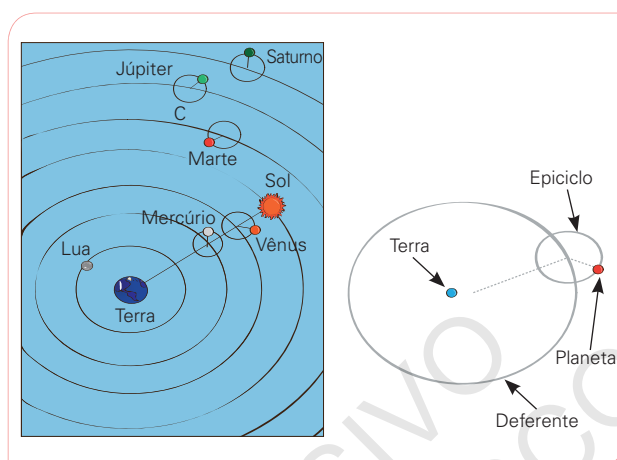
Aristóteles, no século IV a.C., foi um dos primeiros gregos a defender a teoria **geocêntrica**. Em seu sistema planetário, Lua, Mercúrio, Vênus, Sol, Marte, Júpiter e Saturno ocupam esferas cristalinas perfeitas e concêntricas que giram ao redor da Terra, parada no centro. O Universo aristotélico é perfeito, imutável, finito e delimitado pela esfera celeste, onde as estrelas estariam incrustadas como pontos luminosos fixos.



Universo finito imaginado por Aristóteles.

O modelo de Aristóteles, porém, não é capaz de explicar a laçada planetária; nele também não constam Urano e Netuno, por não serem visíveis a olho nu.

No século II da Era Cristã, Cláudio Ptolomeu formulou um sistema planetário que explicou com razoável precisão a laçada planetária e foi capaz de delinear os movimentos observados no céu, motivo que o fez prevalecer por 14 séculos. Em seu modelo de Universo, Sol e Lua descrevem órbitas circulares ao redor da Terra. Para os planetas conhecidos (Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno), há uma composição de movimentos: giram em órbita circular ao redor de um ponto (epiciclo), e esse ponto descreve outra órbita circular (deferente), cujo centro é próximo ao centro da Terra.



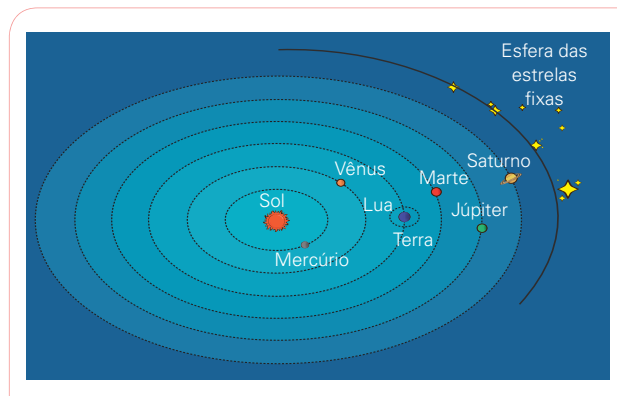
Nesse modelo, usa-se o conceito de excêntrico (fora do centro), pois a Terra não está exatamente no centro, mas em um ponto próximo a ele. Por isso, o modelo pode ser chamado de modelo **geostático**.

TEORIAS HELIOCÊNTRICAS



Monumento em homenagem a Nicolau Copérnico, em Torun (Polônia).

No século XVI, Nicolau Copérnico (1473-1543), astrônomo polonês, lançou as bases para o modelo que recebeu o nome de sistema heliocêntrico, pois sugeria o Sol como centro do Universo – ideia já proposta por Aristarco, no século III a.C. –, em torno do qual todos os planetas se moveriam em órbitas circulares concêntricas. Ao redor da Terra gira apenas a Lua, que é seu satélite. O Universo de Copérnico também é finito e delimitado pela esfera celeste.



O problema do movimento retrógrado dos planetas se resolve facilmente com esse modelo – ele é uma consequência direta do sistema heliocêntrico. Com suas ideias publicadas no ano de sua morte, Copérnico não pôde ver a revolução provocada por elas e a forma como se espalharam pela Europa.

Na época, a Igreja Católica opôs-se com veemência ao modelo heliocêntrico de Copérnico, por conta das críticas que os defensores do modelo dirigiam à sua filosofia escolástica. Nesse sistema, a Terra era apenas mais um entre os planetas, e o ser humano havia sido deslocado de sua posição de destaque.

O filósofo italiano Giordano Bruno (1548-1600) estava à frente de seu tempo. Quando o geocentrismo aristotélico-ptolomaico era aceito de modo incondicional no ambiente acadêmico, Giordano Bruno foi além de defender o heliocentrismo copernicano. Para ele, o Universo não teria um fim na esfera celeste, cada estrela seria um Sol, e em seu Universo infinito há inúmeros planetas e seres. No dia 17 de fevereiro de 1600, Giordano Bruno foi queimado vivo no Campo dei Fiori, em Roma, sob acusação de heresia e blasfêmia.

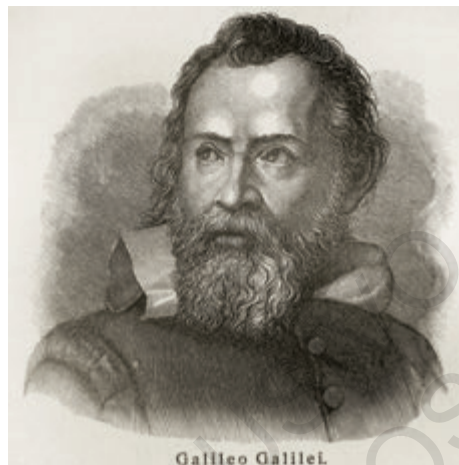
Tycho Brahe (1546-1601), astrônomo dinamarquês, passou a maior parte de sua vida observando o céu noturno. Em 1585, ele propôs um modelo que, em parte, conciliava os modelos de Ptolomeu e Copérnico. O sistema era geocêntrico, tendo a Terra como centro, os planetas girando ao redor do Sol e este ao redor da Terra, tudo no mesmo plano.

Galileu Galilei (1564-1642) é considerado o pai da ciência moderna, ao ter combinado a observação experimental com a descrição dos fenômenos em um contexto teórico. Com leis expressas em formulação matemática, ele marcou a transição da filosofia natural da Antiguidade ao método científico atual. No que diz respeito às suas contribuições para a astronomia, foram dele as primeiras observações do céu feitas a partir de um telescópio, um instrumento bélico até então. O que ele observou foi um universo muito mais parecido com o de Copérnico que aquele defendido por Ptolomeu. Acompanhe a seguir o que Galileu extraiu do que viu através de sua luneta:

- verificou que a Lua tem uma superfície irregular como a da Terra;
- estabeleceu que os planetas são esféricos;
- observou estrelas que não poderiam ser vistas a olho nu e as luas de Júpiter;
- confirmou que Vênus e Mercúrio são planetas;
- percebeu manchas na superfície solar;
- entendeu o que é a Via Láctea.

Galileu já havia posto por terra a ideia de Aristóteles sobre a queda livre dos corpos, de que corpos pesados cairiam mais rapidamente que corpos mais leves. Ao abandonar objetos com massas distintas do alto da torre de Pisa, demonstrou perante a sociedade a chegada simultânea desses corpos ao solo. Com relação à dinâmica celeste, mais uma vez, Galileu opôs-se ao

modelo aristotélico e passou a defender publicamente as ideias heliocêntricas.



NICKUDREAMSTIME.COM

Talvez pela forma empírica e técnica de Galileu argumentar sobre os fenômenos, contrariando os procedimentos e a visão de mundo que eram aceitos há séculos, aliada a seu estilo polêmico, apaixonado e um tanto irônico, como pode ser visto em sua obra *Diálogo sobre os dois principais sistemas do mundo*, ele sofreu um processo que o obrigou, para salvar a própria vida, a negar publicamente suas ideias, tidas como heréticas.

Em 1600, Johannes Kepler (1571-1630), um jovem astrônomo alemão, com base nas medidas efetuadas por Tycho Brahe, elaborou três leis empíricas, que passaram a ser conhecidas como as leis de Kepler. Por ter sido o primeiro a usar a Física para tentar explicar o movimento dos astros, ao propor que uma força emanada pelo Sol fosse a responsável pelo balé planetário, Kepler é considerado por muitos o primeiro astrofísico da história. Falaremos mais sobre ele e suas leis no próximo módulo.



KAJANOISHUTTERSTOCK

Estátuas de Tycho Brahe e Johannes Kepler, em Praga (Rep. Tcheca).

EXERCÍCIO RESOLVIDO**Fuvest**

O grande mérito do sábio toscano estava exatamente na apresentação de suas conclusões na forma de “leis” matemáticas do mundo natural. Ele não apenas defendia que o mundo era governado por essas “leis”, como também apresentava as que havia “descoberto” em suas investigações.

CAMENIETZKI, Carlos Z. Galileu em sua órbita.

In: *Revista História*, 1 fev. 2014. Disponível em:

<www.revistadehistoria.com.br>. Acesso em: 10 fev. 2019.

Considerando que o texto se refere a Galileu Galilei (1564-1642),

- a) identifique uma das “leis” do mundo natural proposta por ele;
- b) indique dois dos principais motivos pelos quais ele foi julgado pelo Tribunal da Inquisição.

Resolução

a) Galileu é um dos proponentes do heliocentrismo, teoria que previa a movimentação dos planetas ao redor do Sol. Galileu, por meio da observação, foi capaz de reforçar o discurso de outros sábios que estavam se tornando cientistas entre o final da Idade Média e o início da Idade Moderna.

Podemos citar algumas leis criadas por Galileu, como (1) a teoria de que todos os planetas orbitam em torno do Sol – o heliocentrismo – e (2) a teoria de que, sem a resistência do ar, todos os corpos em queda livre atingem a mesma velocidade, independentemente de suas massas.

b) Galileu foi julgado pela Inquisição por alguns motivos, entre eles a proposta do heliocentrismo, o que contrariava a visão de mundo da Igreja Católica – defensora do geocentrismo. Outro motivo que podemos apontar é a forma de produção de conhecimento proposta por ele e seus pares. A noção de se produzir conhecimento a partir da observação (como o tempo de queda livre independe da massa de um objeto) e com instrumentos, como a luneta, e adotando um método próprio (o método científico), preocupava a Igreja Católica que, naquele momento, ainda era a maior detentora de conhecimentos capazes de explicar o funcionamento do Universo.

Como todos os pensadores renascentistas, Galileu primava pelo uso da razão em suas análises. Assim, muitas vezes, suas teorias iam de encontro ao que a Igreja Católica preconizava. Em especial, ele foi perseguido pela teoria do heliocentrismo, uma vez que a Igreja defendia o geocentrismo.

MATERIAL DE USO
SISTEMA DE ENSINO

ROTEIRO DE AULA

MODELOS PLANETÁRIOS

Terra como referência central

Sol como referência central

Modelo geocêntrico

Modelo heliocêntrico

Ptolomeu

Aristóteles

Copérnico

Giordano Bruno

Galileu

Explica a laçada planetária

Sol, Lua e planetas conhecidos giram em órbitas circulares ao redor da Terra.

Sol é estrela fixa.

Cada estrela é um Sol.

Primeiro a observar o céu através de um telescópio.

Epíclio e Deferente

Planetas orbitam o Sol em trajetórias circulares.

Existência de outros planetas.

Defende as ideias de Copérnico.

Estrelas estão fixas na esfera celeste.

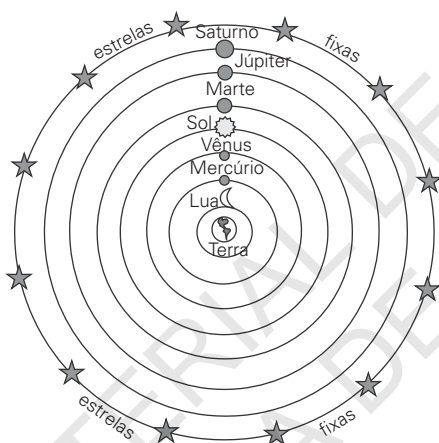
Nesses planetas, há presença de seres vivos.

4. UFPR

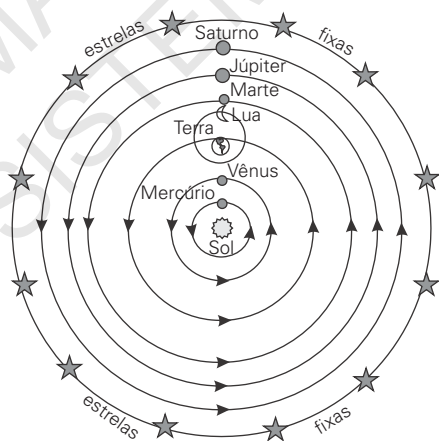
Embora o acolher de um paradigma pareça historicamente uma precondição para investigação científica mais eficaz, os paradigmas que aumentam a eficácia da investigação não necessitam ser, e geralmente não são, permanentes. Pelo contrário, no esquema de desenvolvimento das ciências maduras vai-se passando, em regra, de um paradigma para outro. [...] [O] praticante de uma ciência madura sabe com precisão razoável a que tipo de resultado pode chegar com a sua investigação. Em consequência disso, está em posição especialmente favorável para detectar um problema de investigação que saia do esperado. Por exemplo, [...] como Copérnico, [...] pode concluir que os fracassos repetidos dos seus antecessores, ao ajustar o paradigma à natureza, é evidência inescapável da necessidade de mudar as regras com que se tenta fazer esse ajustamento. [...] Como se vê por esses exemplos e por muitos outros, a prática científica normal de solucionar quebra-cabeças pode levar, e leva de fato, ao reconhecimento e isolamento de uma anomalia. Um reconhecimento dessa natureza é, penso eu, precondição para quase todas as descobertas de novos tipos de fenômenos e para todas as inovações fundamentais da teoria científica. Depois que um primeiro paradigma foi alcançado, uma quebra nas regras do jogo preestabelecido é o prelúdio habitual para uma inovação científica importante.

KUHN, Thomas. *A função do dogma na investigação científica*, p. 48-49. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1884/29751>>. Acesso em: 10 fev. 2019.

Modelo geocêntrico (Ptolomeu, séc. II)



Modelo heliocêntrico (Copérnico, séc. XVI)



Segundo Kuhn, apesar de presentes na história da ciência, as concepções científicas distintas sucessivas – tal como os modelos heliocêntrico e geocêntrico – não são episódios que deveriam ocorrer com grande frequência nas ciências maduras, como a astronomia. Por quê?

Para Kuhn, um paradigma maduro mostra-se fortemente enraizado na comunidade científica; isto faz que se torne difícil realizar mudanças em concepções que se apresentam fortemente enraizadas. Todas as sucessões de concepções científicas trazem consigo mudanças que questionam os modelos que se apresentam como explicativos da realidade. A libertação de formas de compreender a realidade, nesse sentido, refere-se às maneiras particulares de ver o mundo. Daí a resistência da comunidade científica em se desvincular de suas concepções consagradas. Por exemplo, destaca-se a complexidade enfrentada pela astronomia no caso da mudança de explicação da realidade proposta pelo modelo geocêntrico por aquela do modelo heliocêntrico.

5. Enem

C1-H3

Em 1543, Nicolau Copérnico publicou um livro revolucionário em que propunha a Terra girando em torno do seu próprio eixo e rodando em torno do Sol. Isso contraria a concepção aristotélica, que acredita que a Terra é o centro do Universo. Para os aristotélicos, se a Terra gira do oeste para o leste, coisas como nuvens e pássaros, que não estão presas à Terra, pareceriam estar sempre se movendo do leste para o oeste, justamente como o Sol. Mas foi Galileu Galilei que, em 1632, baseando-se em experiências, rebateu a crítica aristotélica, confirmando assim o sistema de Copérnico. Seu argumento, adaptado para a nossa época, é, se uma pessoa, dentro de um vagão de trem em repouso, solta uma bola, ela cai junto a seus pés. Se o vagão estiver se movendo com velocidade constante, a bola também cai junto a seus pés. Isso porque a bola, enquanto cai, continua a compartilhar do movimento do vagão.

O princípio físico usado por Galileu para rebater o argumento aristotélico foi

- a) a lei da inércia.
- b) ação e reação.
- c) a segunda lei de Newton.
- d) a conservação da energia.
- e) o princípio da equivalência.

A lei da inércia afirma que um corpo tende sempre a manter seu estado de movimento ou de repouso – ele o manterá se a resultante das forças sobre ele for nula. No caso da bola solta dentro do vagão, a resultante das forças horizontais é nula, então, por inércia, ela mantém a componente horizontal de sua velocidade, caindo junto aos pés da pessoa.

Competência: Compreender as ciências naturais e as tecnologias a elas associadas como construções humanas, percebendo seus papéis nos processos de produção e no desenvolvimento econômico e social da humanidade.

Habilidade: Confrontar interpretações científicas com interpretações baseadas no senso comum, ao longo do tempo ou em diferentes culturas.

6. Enem

C1-H3

A filosofia encontra-se escrita neste grande livro que continuamente se abre perante nossos olhos (isto é, o Universo), que não se pode compreender antes de entender a língua e conhecer os caracteres com os quais está escrito. Ele está escrito em língua matemática, os caracteres são triângulos, circunferências e outras figuras geométricas, sem cujos meios é impossível entender humanamente as palavras; sem eles, vagamos perdidos dentro de um obscuro labirinto.

GALILEI, G. O ensaiador. *Os pensadores*. São Paulo: Abril Cultural, 1978.

No contexto da Revolução Científica do século XVII, assumir a posição de Galileu significava defender a

- continuidade do vínculo entre ciência e fé dominante na Idade Média.
- necessidade de o estudo linguístico ser acompanhado do exame matemático.
- oposição da nova física quantitativa aos pressupostos da filosofia escolástica.
- importância da independência da investigação científica pretendida pela Igreja.
- inadequação da matemática para elaborar uma explicação racional da natureza.

A Revolução Científica do século XVII foi caracterizada por questionar certos pressupostos da filosofia que a antecedia, sobretudo a escolástica. Galileu foi um dos principais pensadores do período, e uma de suas ideias era a de que a Terra não é o centro do Universo. Isso significava questionar verdades religiosas, procurando abrir espaço para a constituição da ciência moderna, ancorada na linguagem matemática.

Competência: Compreender as ciências naturais e as tecnologias a elas associadas como construções humanas, percebendo seus papéis nos processos de produção e no desenvolvimento econômico e social da humanidade.

Habilidade: Confrontar interpretações científicas com interpretações baseadas no senso comum, ao longo do tempo ou em diferentes culturas.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. Uern – Por que o dia tem 24 horas?

Foram os sumérios, por volta de 2000 a.C., que tiveram essa ideia. Esse povo viveu no sul da Mesopotâmia, entre os rios Tigre e Eufrates, onde fica hoje o sul do Iraque, no Oriente Médio. O povo sumério dividiu o dia em: 12 horas para a parte clara (dia) e 12 horas para a parte escura (noite), criando assim as 24 horas. Dividiram também o ano em 12 meses, baseados no tempo para plantar e para colher.

Disponível em: <<http://www.planetaeducacao.com.br/portal/artigo.asp?artigo5419>>. Acesso em: 10 fev. 2019.

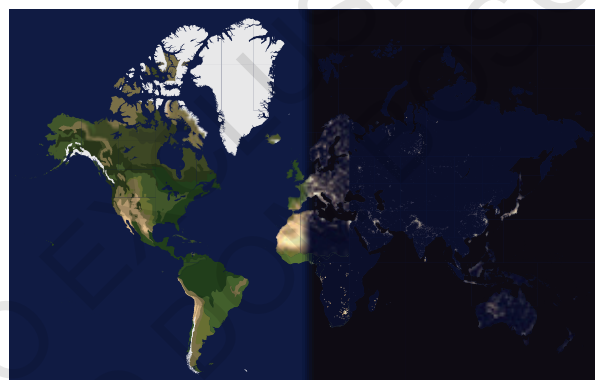
A civilização egípcia também foi muito criativa no campo artístico e cultural. Desenvolveram um tipo especial de escrita, além de requintes de astronomia, matemática e medicina. O calendário de 365 dias foi organizado por eles.

MORAES, José Geraldo Vinci de. *Caminhos das civilizações – história integrada: geral e do Brasil*. São Paulo: Atual, 1998. p. 23.

Os textos fazem referência ao tempo cronológico, ou seja, as datas se sucedem, com uma duração precisa. Ele se difere do tempo histórico, que, por sua vez, diz respeito ao tempo de duração de determinado processo histórico ou modo de vida de uma sociedade. Diante do exposto, é correto afirmar que

- o relógio, bem como os outros marcadores de tempo, seguem criteriosamente os ritmos da natureza, logo, tem suas marcações derivadas de um processo natural, ou seja, universal.
- o modo como o dia terrestre é dividido em horas, segundos e minutos pode ser considerado como uma conveniência social, ou seja, não é válido para todas as épocas e todos os povos.
- o tempo histórico, apesar das divergências em relação ao tempo cronológico, está ligado às concepções que cada um tem de seu tempo e de sua cultura, sendo, portanto, pessoal e subjetivo.
- tanto o tempo histórico quanto o tempo cronológico são determinantes da superioridade cultural e racial de uma sociedade, sendo considerados o marco divisório entre a barbárie e a civilização.

8. Uerj – Observe na imagem as áreas da Terra que se encontravam iluminadas e na penumbra em determinado dia do ano.



Considerando a imagem e a dinâmica do movimento de rotação da Terra, a cidade em que irá amanhecer primeiro é:

- Berlim
- Seattle
- Sydney
- Moscou

9. Udesc – Sobre o conceito de revolução, analise as proposições.

- O conceito de revolução advém da astronomia e, apenas no final do século XVIII, foi aplicado para definir uma mudança radical de poder.
- De um ponto de vista marxista, apenas podem ser consideradas revoluções aquelas mudanças políticas que transformam as relações de produção, no âmbito da organização da propriedade e das forças produtivas, a exemplo da Revolução Francesa e da Revolução Russa.
- No século XX, o conceito de revolução passa a ser também reivindicado por grupos politicamente conservadores, que o entendiam como uma necessária tomada do poder pela força.

Assinale a alternativa **correta**.

- Somente as afirmativas I e III são verdadeiras.
- Somente as afirmativas I e II são verdadeiras.
- Somente a afirmativa II é verdadeira.
- Somente a afirmativa III é verdadeira.
- Todas as afirmativas são verdadeiras.

10. PUC-RJ – Na astronomia, o ano-luz é definido como a distância percorrida pela luz no vácuo em um ano. Já o nanômetro, igual a $1,0 \cdot 10^{-9}$ m, é utilizado para medir distâncias entre objetos na nanotecnologia.

Considerando que a velocidade da luz no vácuo é igual a $3,0 \cdot 10^8$ m/s e que um ano possui 365 dias ou $3,2 \cdot 10^7$ s, determine a relação de conversão entre ano-luz e nanômetro.

11. Enem

C6-H20

Na linha de uma tradição antiga, o astrônomo grego Ptolomeu (100-170 d.C.) afirmou a tese do geocentrismo, segundo a qual a Terra seria o centro do universo, e o Sol, a Lua e os planetas girariam a seu redor em órbitas circulares. A teoria de Ptolomeu resolvia de modo razoável os problemas astronômicos de sua época. Vários séculos mais tarde, o clérigo e astrônomo polonês Nicolau Copérnico (1473-1543), ao encontrar inexatidões na teoria de Ptolomeu, formulou a teoria do heliocentrismo, segundo a qual o Sol deveria ser considerado o centro do Universo, com a Terra, a Lua e os planetas girando em torno dele. Por fim, o astrônomo matemático alemão Johannes Kepler (1571-1630), depois de estudar o planeta Marte por cerca de trinta anos, verificou que sua órbita é elíptica. Esse resultado generalizou-se para os demais planetas.

A respeito dos estudiosos citados no texto, é correto afirmar que

- Ptolomeu apresentou as ideias mais valiosas, por serem mais antigas e tradicionais.
- Copérnico desenvolveu a teoria do heliocentrismo inspirado no contexto político do Rei Sol.
- Copérnico viveu em uma época em que a pesquisa científica era livre e amplamente incentivada pelas autoridades.
- Kepler estudou o planeta Marte para atender às necessidades de expansão econômica e científica da Alemanha.
- Kepler apresentou uma teoria científica que, graças aos métodos aplicados, pôde ser testada e generalizada.

12. IFSP – Os planetas do Sistema Solar giram em torno do Sol. A Terra, por exemplo, está a aproximadamente 150 milhões de km (1 u.a.) do Sol e demora 1 ano para dar uma volta em torno dele. A tabela a seguir traz algumas informações interessantes sobre o Sistema Solar.

Planeta	Distância média ao Sol (u.a.)	Diâmetro equatorial (km)
Mercúrio	0,4	4 800
Vênus	0,7	12 000
Terra	1,0	13 000
Marte	1,5	6 700
Júpiter	5,2	140 000
Saturno	9,5	120 000
Urano	20,0	52 000
Netuno	30,0	49 000

De acordo com a tabela, determine a razão entre os diâmetros equatoriais de Júpiter e da Terra.

13. UFU – Eclipses são fenômenos naturais, nos quais um corpo extenso como a Lua ou a Terra bloqueia a passagem dos raios solares quando o Sol, a Terra e a Lua se encontram alinhados espacialmente. No exato momento de um eclipse total da Lua, uma pessoa que estivesse em nosso satélite natural, justamente na face voltada para nosso planeta, presenciaria de lá, o que, na Terra, seria

- um eclipse total do Sol.
- um eclipse parcial da Lua.
- um eclipse parcial do Sol.
- uma visão do Sol sem eclipse.

14. PUC-PR – A maioria dos livros didáticos não possui uma escala definida para representar o Sistema Solar. A consequência é uma provável compreensão distorcida sobre as reais dimensões e distâncias entre os astros que o compõem.

	Diâmetro equatorial (km)	Distância média do Sol (milhões de km)
Mercúrio	4 878	57,9
Vênus	12 103	108,2
Terra	12 756	149,6
Marte	6 786	227,9
Júpiter	142 984	778,3
Saturno	120 536	1.427
Urano	51 118	2.869,6
Netuno	49 528	4.496,6
Plutão	2 300	5.900

CANALLE, João Batista Garcia. *Oficina de Astronomia*. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Instituto de Física / Uerj. Disponível em: <<http://www.telescopiosnaescola.pro.br/oficina.pdf>>. Acesso em: 30 set. 2016. (Adaptado)

Um livro didático convencional que respeite, simultaneamente, a proporcionalidade dos tamanhos e distâncias do Sistema Solar é

- impossível, pois um modelo fiel a essa realidade implica a utilização de grandes escalas;
- possível, desde que a escala utilizada seja muito grande;
- inviável, pois, mesmo com uma escala muito pequena, uma representação das distâncias e dos tamanhos proporcionais ao real extrapolaria as dimensões da folha;
- viável, se a escala adotada for milhões de vezes maior que as escalas utilizadas nos mapas que representam a Terra;
- possível, considerando-se que a ampliação pode gerar mais distorções sobre a realidade representada.

15. Ifsul

A grande maioria dos astrônomos é favorável à ideia de que o Universo surgiu de uma gigantesca explosão ocorrida entre 10 a 20 bilhões de anos. Pouco depois dessa grande explosão, formaram-se os elementos constituintes básicos da matéria, que mais tarde tornaram-se as grandes unidades astronômicas hoje conhecidas: planetas, estrelas, galáxias etc.

ROSA, R. *Astronomia elementar*. Uberlândia: Ed. da Universidade Federal de Uberlândia, 1994. p. 159.

Como se denomina a teoria que admite o surgimento do Universo a partir de uma grande explosão?

- Teoria da Acreção.
- Teoria do Big Bang.
- Teoria do Big Splash.
- Teoria do Big Crunch.

16. Fatec – Leia o texto.

A polonesa Maria Skodovska Curie (1867–1934) é considerada a “mãe da Física Moderna” e a “patrona da Química”. Madame Curie, como é conhecida, é famosa por sua pesquisa inovadora sobre a radioatividade e pela descoberta dos elementos polônio e rádio. Ela teve influência na trajetória de muitas outras mulheres ao redor do mundo, que enfrentavam uma época repleta de preconceitos e dificuldades profissionais.

No Brasil, na primeira metade do século XX, tivemos pelo menos três representantes de destaque na área da Física. Yolande Monteux (1910–1998), primeira mulher formada em Física pela USP no Brasil (1938), trabalhou em pesquisas sobre raios cósmicos, tornando-se uma das pioneiras na área. Logo depois, em 1942, duas outras pesquisadoras seguiram os passos dela, graduando-se, também, em Física. Uma delas, Elisa Frota-Pessoa (1921–), graduada pela UFRJ, trabalhou com Física experimental. Dentre sua obra, destaca-se o artigo intitulado “Sobre a desintegração do méson pesado positivo”. A outra foi Sonja Ashauer (1923–1948), também graduada pela USP, que se tornou a primeira mulher brasileira a concluir um doutorado em Física, na Universidade de Cambridge (Inglaterra), com uma tese sobre elétrons e radiações eletromagnéticas.

Podemos afirmar que algumas áreas da Física contempladas pelos estudos citados no texto são

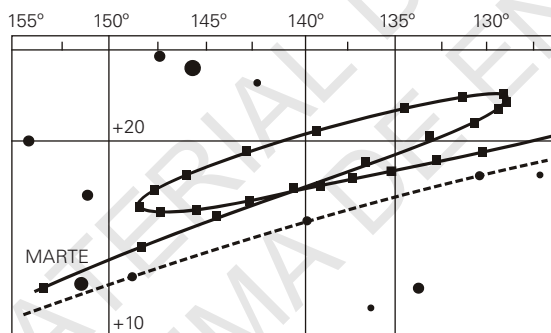
- Termologia e radioatividade, por estudarem a temperatura dos raios cósmicos e suas radiações.
- Magnetismo e físico-química, por terem pesquisado partículas atômicas e novos elementos.
- Acústica e gases, pela descoberta do rádio e do polônio, que são gases à temperatura e à pressão ambientes.
- Astrofísica e física de partículas, pelo estudo dos raios cósmicos, da radioatividade e das partículas subatômicas.
- Óptica geométrica e eletromagnetismo, pela observação astronômica realizada das radiações eletromagnéticas.

- 17. Unesp** – O período de revolução T e o raio médio r da órbita de um planeta que gira ao redor de uma estrela de massa m satisfazem à relação $(mT^2)/r^3 = 4\pi^2/G$, onde G é a constante de gravitação universal. Considere dois planetas e suas respectivas estrelas. O primeiro, o planeta G581c, recentemente descoberto, que gira em torno da estrela Gliese581, e o nosso, a Terra, girando ao redor do Sol. Considere o período de revolução da Terra 27 vezes o de G581c e o raio da órbita da Terra 18 vezes o do outro planeta. Determine qual seria a massa da estrela Gliese581 em unidades da massa M do Sol.

ESTUDO PARA O ENEM**18. Enem**

C6-H20

A característica que permite identificar um planeta no céu é seu movimento relativo às estrelas fixas. Se observarmos a posição de um planeta por vários dias, verificaremos que sua posição em relação às estrelas fixas se modifica regularmente. A figura destaca o movimento de Marte observado em intervalos de 10 dias, registrado da Terra.



Projeto Física. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1980. (Adaptado)

Qual a causa da forma da trajetória do planeta Marte registrada na figura?

- A maior velocidade orbital da Terra faz que, em certas épocas, ela ultrapasse Marte.
- A presença de outras estrelas faz que sua trajetória seja desviada por meio da atração gravitacional.
- A órbita de Marte, em torno do Sol, possui uma forma elíptica mais acentuada que a dos demais planetas.
- A atração gravitacional entre a Terra e Marte faz que esse planeta apresente uma órbita irregular em torno do Sol.
- A proximidade de Marte com Júpiter, em algumas épocas do ano, faz que a atração gravitacional de Júpiter interfira em seu movimento.

19. Enem

C6-H20

Sabe-se que a posição em que o Sol nasce ou se põe no horizonte muda de acordo com a estação do ano. Olhando em direção ao poente, por exemplo, para um observador no hemisfério Sul, o Sol se põe mais à direita no inverno do que no verão.

O fenômeno descrito deve-se à combinação de dois fatores: a inclinação do eixo de rotação terrestre e a

- precessão do periélio terrestre.
- translação da Terra em torno do Sol.
- nutation do eixo de rotação da Terra.
- precessão do eixo de rotação da Terra.
- rotação da Terra em torno de seu próprio eixo.

20. Enem

C1-H3

A filosofia encontra-se escrita neste grande livro que continuamente se abre perante nossos olhos (isto é, o Universo), que não se pode compreender antes de entender a língua e conhecer os caracteres com os quais está escrito. Ele está escrito em língua matemática, os caracteres são triângulos, circunferências e outras figuras geométricas, sem cujos meios é impossível entender humanamente as palavras; sem eles, vagamos perdidos dentro de um obscuro labirinto.

GALILEI, G. O ensaiador. *Os pensadores*. São Paulo: Abril Cultural, 1978.

No contexto da Revolução Científica do século XVII, assumir a posição de Galileu significava defender a

- continuidade do vínculo entre ciência e fé dominante na Idade Média.
- necessidade de o estudo linguístico ser acompanhado do exame matemático.
- oposição da nova física quantitativa aos pressupostos da filosofia escolástica.
- importância da independência da investigação científica pretendida pela Igreja.
- inadequação da matemática para elaborar uma explicação racional da natureza.

Dez anos após a morte de Brahe, Kepler publicou sua primeira obra: *Astronomia nova*, com a lei das órbitas e a lei das áreas. Mais dez anos se passaram até que ocorresse a publicação de sua obra magna, *A harmonia dos mundos*, na qual consta a lei dos períodos.

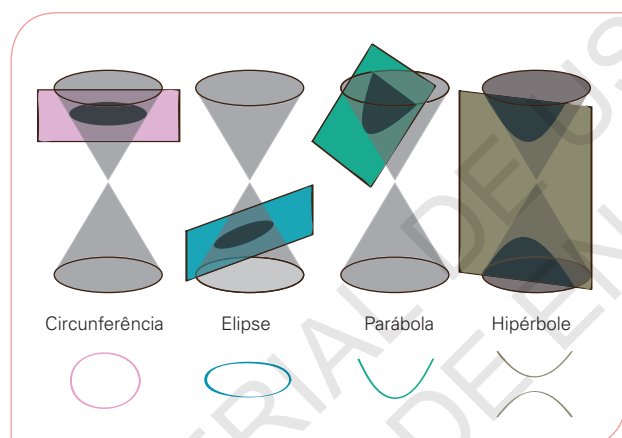
1ª lei - lei das órbitas

Em sua primeira lei, Kepler descreve as órbitas realizadas pelos planetas (inclusive a Terra) ao redor do Sol.

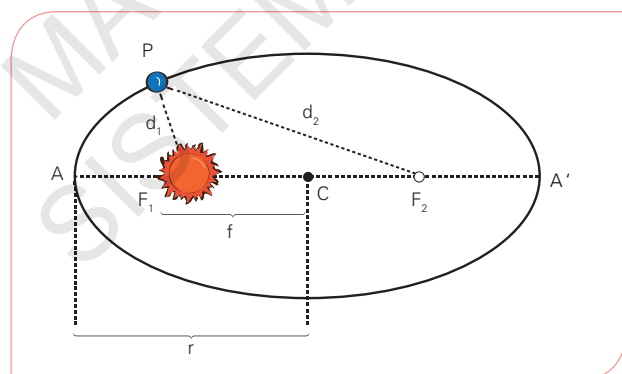
Os planetas descrevem órbitas elípticas ao redor do Sol, que ocupa um dos focos da elipse.

Tal lei é coerente com o sistema de Copérnico, discordando dele apenas quanto à forma da órbita dos planetas ao redor do Sol. Para que houvesse coerência com os dados herdados de Tycho Brahe, a órbita de Marte só poderia ser uma elipse, e não uma circunferência.

A elipse é obtida a partir da secção de um cone por um plano. A circunferência, a parábola e a hipérbole também são cônicas e diferenciam-se pela inclinação do plano de secção, conforme o esquema a seguir.



Observe a elipse seguinte e identifique alguns de seus elementos e características.



$D_{\text{máx}}$: distância $A'-F_1$

$D_{\text{mín}}$: distância $A-F_1$

- **f**: distância focal (distância foco-centro).
- **r**: raio médio ($r = \frac{D_{\text{mín}} + D_{\text{máx}}}{2}$) ou semieixo maior da elipse.
- C: centro da elipse.
- A: periélio, ponto da órbita mais próximo do Sol.
- A': afélio, ponto da órbita mais afastado do Sol.

Pela definição de elipse, tem-se que, para qualquer um de seus pontos: $d_1 + d_2 = \text{constante}$.

Observação: uma das principais características de uma elipse é sua excentricidade (e), dada por:

$$e = \frac{f}{r}$$

A excentricidade determina o quão ovalada é a elipse e assume valores no intervalo $0 \leq e < 1$. No caso $e = 0$, quando os focos são coincidentes no centro, a elipse é, de fato, uma circunferência. As órbitas planetárias do Sistema Solar possuem excentricidade próxima a zero ($e_{\text{Terra}} = 0,0167$, por exemplo), de modo que se torna necessário ressaltar que as órbitas representadas neste módulo são exageradamente ovaladas para que algumas características do movimento planetário tornem-se mais evidentes.

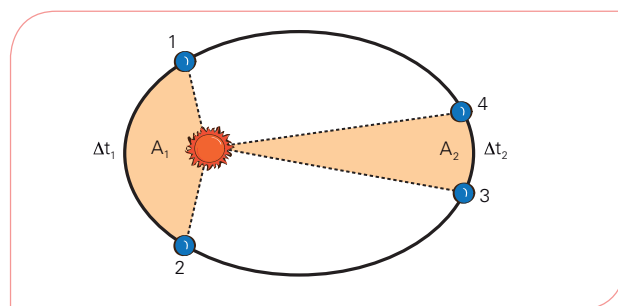
2ª lei - lei das áreas

Em sua segunda lei, Kepler discute a velocidade do planeta ao longo de seu movimento de translação.

Os planetas orbitam o Sol com velocidade areolar constante.

$$v_A = \frac{\text{área}}{\text{tempo}} = \text{constante}$$

Ou seja, o segmento de reta que une o planeta ao Sol varre áreas iguais em intervalos de tempo iguais.



$$A_1 = A_2 \Leftrightarrow \Delta t_1 = \Delta t_2$$

$$\frac{A_1}{\Delta t_1} = \frac{A_2}{\Delta t_2}$$

A observação da elipse representada anteriormente indica que o comprimento do arco com extremidades nos pontos 1 e 2 é maior que aquele com extremidades 3 e 4,

sendo percorridos no mesmo tempo. Portanto, a consequência direta da lei das áreas aplicada a órbitas elípticas é que os planetas possuem **velocidade escalar variável** em sua viagem ao redor do Sol, sendo máxima a velocidade linear de translação do planeta quando ele ocupa o periélio e mínima quando ele passa pelo afélio.

$$V_{\text{periélio}} > V_{\text{afélio}}$$

Conclui-se que, ao se deslocar do afélio para o periélio, o planeta realiza um movimento acelerado. Já o trecho periélio-afélio é desenvolvido em movimento retardado.

Vale ressaltar que a distância variável do planeta Terra em relação ao Sol **não justifica** as estações do ano. Estas ocorrem pela **inclinação do eixo de rotação** da Terra, aliada ao movimento de translação, que faz que o ângulo de incidência da luz solar em cada região do planeta varie ao longo do ano.

3ª lei - lei dos períodos

Observe a tabela a seguir. Nela constam os períodos de translação (em ano terrestre) dos planetas do Sistema Solar, bem como o raio médio de suas órbitas (em unidade astronômica). A distância média Terra-Sol define a unidade astronômica (1 UA).

Planeta	T (ano)	r (UA)
Mercúrio	0,24	0,387
Vênus	0,62	0,723
Terra	1	1
Marte	1,88	1,524
Júpiter	11,86	5,203
Saturno	29,46	9,539
Urano	84,01	19,18
Netuno	164,8	30,06

Em sua terceira lei, Kepler relaciona matematicamente as grandezas da tabela anterior e enuncia:

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1. Udesc (adaptado) – Um satélite artificial, em uma órbita geoestacionária em torno da Terra, tem um período de órbita de 24 h. Sendo R_{Geo} o raio da órbita geoestacionária, determine o período orbital de outro satélite artificial cujo período de órbita em torno da Terra é de 48 h.

Resolução

Satélites geoestacionários possuem período orbital de 24 h. Assim, aplicando a 3ª lei de Kepler ao sistema Terra-satélites, podemos relacionar os períodos de revolução às suas distâncias médias quanto ao centro da Terra.

O quadrado do período de translação de um planeta ao redor do Sol é proporcional ao cubo do raio médio de sua órbita.

Observe agora a tabela a seguir.

Planeta	T (ano)	r (UA)	T ²	r ³	T ² /r ³
Mercúrio	0,24	0,387	0,0576	0,0579	≈1
Vênus	0,62	0,723	0,3844	0,3779	≈1
Terra	1	1	1	1	1
Marte	1,88	1,524	3,5344	3,5396	≈1
Júpiter	11,86	5,203	140,66	140,85	≈1
Saturno	29,46	9,539	867,89	867,98	≈1
Urano	84,01	19,18	7 057,7	7 055,9	≈1
Netuno	164,8	30,06	27 159	27 162	≈1

$$\frac{T^2}{r^3} = k$$

A constante de proporcionalidade (**k**) **depende exclusivamente da estrela-mãe** e, portanto, apresenta mesmo valor para todos os planetas do Sistema Solar. Assim sendo:

$$\frac{T_{\text{Mercúrio}}^2}{r_{\text{Mercúrio}}^3} = \frac{T_{\text{Vênus}}^2}{r_{\text{Vênus}}^3} = \frac{T_{\text{Terra}}^2}{r_{\text{Terra}}^3} = \frac{T_{\text{Marte}}^2}{r_{\text{Marte}}^3} = \dots = \frac{T_{\text{Júpiter}}^2}{r_{\text{Júpiter}}^3} = \frac{T_{\text{Saturno}}^2}{r_{\text{Saturno}}^3} = \frac{T_{\text{Urano}}^2}{r_{\text{Urano}}^3} = \frac{T_{\text{Netuno}}^2}{r_{\text{Netuno}}^3}$$

É importante ressaltar que as leis de Kepler explicam, com satisfatória precisão, não apenas o movimento dos planetas ao redor do Sol, e sim de qualquer corpo que orbite outro de massa muito maior. Estrelas que orbitam a galáxia, a Lua ao redor da Terra, a estação espacial internacional (ISS) e satélites de telecomunicações também obedecem às leis de Kepler, logo:

$$\frac{T_{\text{Lua}}^2}{r_{\text{Lua}}^3} = \frac{T_{\text{ISS}}^2}{r_{\text{ISS}}^3} = \frac{T_{\text{SatéliteA}}^2}{r_{\text{SatéliteA}}^3} = \frac{T_{\text{SatéliteB}}^2}{r_{\text{SatéliteB}}^3} = \dots$$

$$\frac{T_1^2}{R_1^3} = \frac{T_2^2}{R_2^3} \Rightarrow \frac{(24\text{h})^2}{R_{\text{Geo}}^3} = \frac{(48\text{h})^2}{R_2^3}$$

$$\Rightarrow R_2 = \sqrt[3]{\frac{(48\text{h})^2}{(24\text{h})^2} \cdot R_{\text{Geo}}^3} \therefore R_2 = 4^{\frac{1}{3}} \cdot R_{\text{Geo}}$$

$$R_2 = \sqrt[3]{4} \cdot R_{\text{Geo}}$$

2. ITA (adaptado) – Na ficção científica *A estrela*, de H.G. Wells, um grande asteroide passa próximo à Terra, que, em consequência, fica com sua nova órbita mais próxima do Sol e tem seu ciclo lunar alterado para 80 dias.

- a) Pode-se concluir que, após o fenômeno relatado, o ano terrestre vai se tornar mais longo ou mais curto?
- b) Compare a nova distância Terra-Lua com a distância original, antes da passagem do asteroide.

Resolução

a) O ano terrestre é o período de translação da Terra em torno do Sol. Se a nova órbita fica mais perto do Sol, $r' < r$.

Usando a 3ª lei de Kepler:

$$\left(\frac{T'}{T}\right)^2 = \left(\frac{r'}{r}\right)^3.$$

Analisando essa expressão: $r' < r \Rightarrow T' < T$. Ou seja, o ano terrestre torna-se mais curto.

b) O período aproximado do ciclo lunar é $T = 27$ dias. O novo período é $T' = 80$ dias. Usando novamente a 3ª lei de Kepler:

$$\left(\frac{r'}{r}\right)^3 = \left(\frac{80}{27}\right)^2 \Rightarrow \left(\frac{r'}{r}\right)^3 \cong 3^2 \Rightarrow r' \cong \sqrt[3]{9} r \Rightarrow r' \cong 2 \cdot r.$$

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

ROTEIRO DE AULA

LEIS DE KEPLER

Heliocêntrico

1ª Lei

Órbitas planetárias:

elípticas

Posição da estrela-mãe:

um dos focos da elipse

2ª Lei

Velocidade areolar

constante

Planeta varre áreas

iguais em tempos iguais

Velocidade escalar

variável

Velocidade máxima:

periélio

Velocidade mínima:

afélio

3ª Lei

Para planetas que orbitam a mesma estrela-mãe (Sol):

O quadrado do período de translação

de um planeta é

proporcional

ao cubo

do raio médio de sua

órbita

Velocidade mínima:

$$T^2 = k \cdot r^3$$

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. Sistema Dom Bosco – Com relação às teorias gravitacionais de Kepler:

- Enuncie sua primeira lei.
- Enuncie sua segunda lei.
- Enuncie sua terceira lei.
- Se um satélite que está em órbita ao redor da Terra dobrar a distância que mantém do planeta, irá dobrar o período de translação?

a) As órbitas dos planetas ao redor do Sol são elipses, e o Sol está em um dos focos dessa elipse.

b) O raio vetor que liga um planeta ao Sol varre áreas iguais em tempos iguais.

c) O quadrado dos períodos de revolução de um planeta ao redor do Sol é proporcional ao cubo da distância média entre eles.

d) Não, pois a 3ª lei de Kepler nos mostra que o quadrado do período é proporcional ao cubo da distância média entre os corpos.

2. UFPE – Um planeta realiza uma órbita elíptica com uma estrela em um dos focos. Em dois meses, o segmento de reta que liga a estrela ao planeta varre uma área A no plano da órbita do planeta. Em 32 meses tal segmento varre uma área igual a αA . Qual o valor de α ?

Pela lei das áreas de Kepler, a área varrida é proporcional ao tempo de movimento. Uma regra de três simples resolve a questão.

$$\left\{ \begin{array}{l} 2 \text{ meses} \text{ — } A \\ 32 \text{ meses} \text{ — } \alpha A \end{array} \right\} \Rightarrow 2\alpha A = 32 A \Rightarrow \alpha = 16.$$

3. Udesc – Analise as proposições com relação às leis de Kepler sobre o movimento planetário.

- A velocidade de um planeta é maior no periélio.
- Os planetas movem-se em órbitas circulares, estando o Sol no centro da órbita.
- O período orbital de um planeta aumenta com o raio médio de sua órbita.
- Os planetas movem-se em órbitas elípticas, estando o Sol em um dos focos.
- A velocidade de um planeta é maior no afélio.

Assinale a alternativa **correta**.

- Somente as afirmativas I, II e III são verdadeiras.
- Somente as afirmativas II, III e V são verdadeiras.
- Somente as afirmativas I, III e IV são verdadeiras.
- Somente as afirmativas III, IV e V são verdadeiras.
- Somente as afirmativas I, III e V são verdadeiras.

I. Verdadeira. Quando o planeta passa mais próximo do Sol (periélio), sua velocidade é maior, resultado do movimento acelerado do afélio até o periélio.

II. Falsa. Kepler postulou em sua primeira lei que os planetas descrevem órbitas elípticas em torno do Sol, ocupando este um dos focos da elipse.

III. Verdadeira. A terceira lei de Kepler relaciona o período de revolução dos planetas com a distância média do Sol, de acordo

com a equação: $\frac{T^2}{r^3} = k$

IV. Verdadeira. Corresponde à primeira lei de Kepler.

V. Falsa. Sendo o afélio o ponto mais longe do Sol, os planetas possuem sua menor velocidade.

4. UFJF – Muitas teorias sobre o Sistema Solar se sucederam, até que, no século XVI, o polonês Nicolau Copérnico apresentou uma versão revolucionária. Para Copérnico, o Sol, e não a Terra, era o centro do sistema. Atualmente, o modelo aceito para o Sistema Solar é, basicamente, o de Copérnico, feitas as correções propostas pelo alemão Johannes Kepler e por cientistas subsequentes.

Sobre gravitação e as leis de Kepler, considere as afirmativas, a seguir, **verdadeiras** (V) ou **falsas** (F).

- Adotando-se o Sol como referencial, todos os planetas movem-se descrevendo órbitas elípticas, tendo o astro como um dos focos da elipse.
- O vetor posição do centro de massa de um planeta do Sistema Solar, em relação ao centro de massa do Sol, varre áreas iguais em intervalos de tempo iguais, não importando a posição do planeta em sua órbita.
- O vetor posição do centro de massa de um planeta do Sistema Solar, em relação ao centro de massa do Sol, varre áreas proporcionais em intervalos de tempo iguais, não importando a posição do planeta em sua órbita.
- Para qualquer planeta do Sistema Solar, o quociente do cubo do raio médio da órbita pelo quadrado do período de revolução em torno do Sol é constante.

Assinale a alternativa **CORRETA**.

- Todas as afirmativas são verdadeiras.
- Apenas as afirmativas I, II e III são verdadeiras.
- Apenas as afirmativas I, II e IV são verdadeiras.
- Apenas as afirmativas II, III e IV são verdadeiras.
- Apenas as afirmativas I e II são verdadeiras.

A afirmativa [III] viola a segunda lei de Kepler (ou lei das áreas), segundo a qual o vetor posição do centro de massa de um planeta do Sistema Solar, em relação ao centro de massa do Sol, varre áreas iguais em intervalos de tempo iguais, não importando a posição do planeta em sua órbita.

5. UFRGS – Sobre as três leis de Kepler são feitas as seguintes afirmações:

- A órbita de cada planeta é uma elipse com o Sol em um dos focos.
- O segmento de reta que une cada planeta ao Sol varre áreas iguais em tempos iguais.
- O quadrado do período orbital de cada planeta é diretamente proporcional ao cubo da distância média do planeta ao Sol.

Quais estão corretas?

- Apenas I.
- Apenas II.
- Apenas III.
- Apenas I e II.
- I, II e III.

As três afirmações são, nessa mesma ordem, a 1ª, a 2ª e a 3ª leis de Kepler.

6. Unicamp

A primeira lei de Kepler demonstrou que os planetas se movem em órbitas elípticas, e não circulares. A segunda lei mostrou que os planetas não se movem a uma velocidade constante.

PERRY, Marvin. *Civilização ocidental: uma história concisa*. São Paulo: Martins Fontes, 1999. p. 289. (Adaptado)

É correto afirmar que as leis de Kepler

- a) confirmaram as teorias definidas por Copérnico e são exemplos do modelo científico que passou a vigorar a partir da Alta Idade Média.
- b) confirmaram as teorias defendidas por Ptolomeu e permitiram a produção das cartas náuticas usadas no período do descobrimento da América.
- c) são a base do modelo planetário geocêntrico e se tornaram as premissas científicas que vigoram até hoje.
- d) forneceram subsídios para demonstrar o modelo planetário heliocêntrico e criticar as posições defendidas pela Igreja naquela época.

As leis de Kepler forneceram subsídios para o modelo heliocêntrico (Sol no centro), contrapondo-se ao sistema geocêntrico (Terra no centro), até então defendido pela Igreja.

Somente a alternativa [D] está correta. A questão remete ao Renascimento Científico vinculado ao Renascimento Cultural dos séculos XIV, XV e XVI. O espírito renascentista é pautado pela investigação, pela busca do conhecimento, seja pelo método indutivo vinculado ao empirismo, seja pelo método dedutivo associado ao racionalismo. Questionava-se qualquer tipo de autoridade, sobretudo o poder da Igreja, que era ancorado na filosofia grega de Aristóteles. Esse

pensador defendia uma visão geocêntrica de mundo e teve apoio de outros estudiosos antigos, como Ptolomeu. A Igreja Católica, na era medieval, baseou-se, portanto, no pensamento aristotélico-ptolomaico antigo e também defendeu o geocentrismo. Alguns estudiosos do Renascimento Científico começaram a questionar essa pseudovisão. Entre eles, Copérnico (1473-1543), que escreveu o livro *Da revolução das esferas celestes*, em que combateu a tese geocêntrica e defendeu o heliocentrismo, e Johannes Kepler (1571-1630), pensador alemão autor de três leis importantes para a Revolução Científica do século XVII que consolidou o heliocentrismo. Primeira lei: das órbitas, os planetas giram em órbitas elípticas ao redor do Sol. Segunda Lei: das áreas, um planeta girará com maior velocidade quanto mais próximo estiver do Sol. Terceira Lei: a relação do cubo da distância média de um planeta ao Sol e o quadrado do período da revolução do planeta é uma constante, sendo a mesma para todos os planetas.

Competência: Compreender as ciências naturais e as tecnologias a elas associadas como construções humanas, percebendo seus papéis nos processos de produção e no desenvolvimento econômico e social da humanidade.

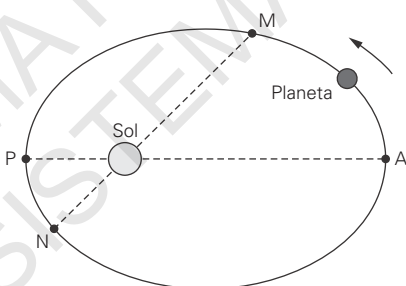
Habilidade: Confrontar interpretações científicas com interpretações baseadas no senso comum, ao longo do tempo ou em diferentes culturas.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. Unicamp – Em agosto de 2006, Plutão foi reclassificado pela União Astronômica Internacional, passando a ser considerado um planeta-anão. A terceira lei de Kepler diz que $T^2 = K a^3$, onde T é o tempo para um planeta completar uma volta em torno do Sol, e a é a média entre a maior e a menor distância do planeta ao Sol. No caso da Terra, essa média é $a_T = 1,5 \times 10^{11}$ m, enquanto para Plutão é $a_p = 60 \cdot 10^{11}$ m. A constante K é a mesma para todos os objetos em órbita em torno do Sol. A velocidade da luz no vácuo é igual a $3,0 \times 10^8$ m/s. Dado: $\sqrt{10} \approx 3,2$.

- a) Considerando-se as distâncias médias, quanto tempo leva a luz do Sol para atingir a Terra? E para atingir Plutão?
- b) Quantos anos terrestres Plutão leva para dar uma volta em torno do Sol? Expresse o resultado de forma aproximada como um número inteiro.

8. Uefs – A figura representa a trajetória elíptica de um planeta em movimento de translação ao redor do Sol e quatro pontos sobre essa trajetória: M, P (periélio da órbita), N e A (afélio da órbita).



O módulo da velocidade escalar desse planeta

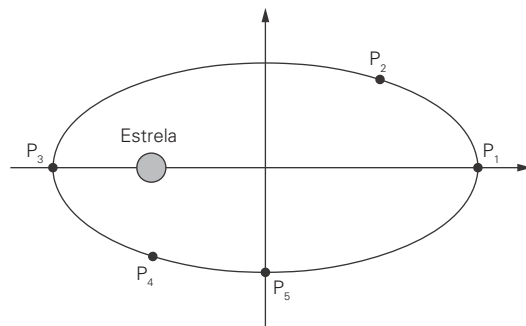
- a) sempre aumenta no trecho MPN
- b) sempre diminui no trecho NAM
- c) tem o mesmo valor no ponto A e no ponto P
- d) está aumentando no ponto M e diminuindo no ponto N
- e) é mínimo no ponto P e máximo no ponto A

9. UTFPR – “A translação ou órbita da Terra ao redor do Sol constitui a causa da existência das estações do ano em nosso planeta.”

Essa afirmação está:

- a) incompleta, pois a inclinação do eixo terrestre explica a desigualdade de insolação.
- b) correta, pois, à medida que a Terra completa sua órbita, a posição do Sol se modifica.
- c) incorreta, já que o movimento de rotação da Terra influencia a altura do Sol no céu.
- d) incompleta, uma vez que a precessão dos equinócios vai determinar se é verão ou inverno.
- e) incorreta, porque é a distância que a Terra está do Sol que vai determinar as estações.

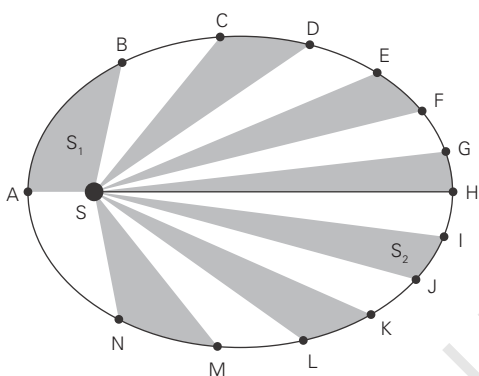
10. UPE – A figura a seguir ilustra uma representação esquemática de um exoplaneta, orbitando uma estrela em uma trajetória elíptica. Então, ordene, de forma crescente, as energias cinéticas E_1, E_2, E_3, E_4 e E_5 do movimento de translação do planeta em cada um dos pontos P_1, P_2, P_3, P_4 e P_5 .



11. FGV – Johannes Kepler (1571-1630) foi um cientista dedicado ao estudo do Sistema Solar. Uma das suas leis enuncia que as órbitas dos planetas, em torno do Sol, são elípticas, com o Sol situado em um dos focos dessas elipses. Uma das consequências dessa lei resulta na variação

- do módulo da aceleração da gravidade na superfície dos planetas.
- da quantidade de matéria gasosa presente na atmosfera dos planetas.
- da duração do dia e da noite em cada planeta.
- da duração do ano de cada planeta.
- da velocidade orbital de cada planeta em torno do Sol.

12. UFRGS – A elipse, na figura a seguir, representa a órbita de um planeta em torno de uma estrela S. Os pontos ao longo da elipse representam posições sucessivas do planeta, separadas por intervalos de tempo iguais. As regiões alternadamente coloridas representam as áreas varridas pelo raio da trajetória nesses intervalos de tempo. Na figura, em que as dimensões dos astros e o tamanho da órbita não estão em escala, o segmento de reta SH representa o raio focal do ponto H, de comprimento p.



Considerando que a única força atuante no sistema estrela-planeta seja a força gravitacional, são feitas as seguintes afirmações.

- As áreas S_1 e S_2 , varridas pelo raio da trajetória, são iguais.
- O período da órbita é proporcional a p^3 .
- As velocidades tangenciais do planeta nos pontos A e H, V_A e V_H , são tais que $V_A > V_H$.

Quais estão corretas?

- Apenas I.
- Apenas I e II.
- Apenas I e III.
- Apenas II e III.
- I, II e III.

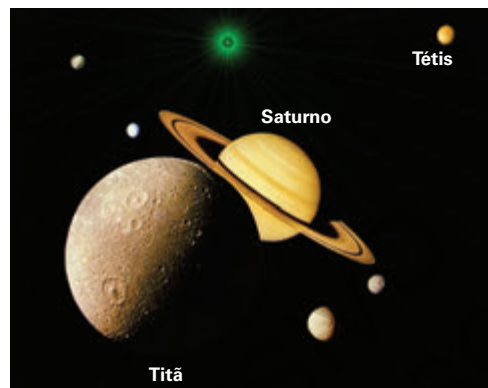
13. PUC-RJ – Dois pequenos satélites de mesma massa descrevem órbitas circulares em torno de um planeta, tal que o raio da órbita de um é quatro vezes menor que o do outro. O satélite mais distante tem um período de 28 dias.

Qual é o período, em dias, do satélite mais próximo?

- 3,5
- 7,0
- 14
- 56
- 112

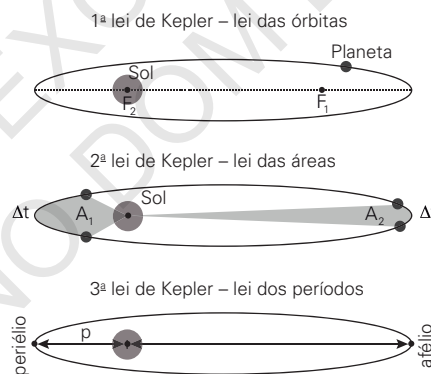
14. Unesp – Saturno é o sexto planeta a partir do Sol e o segundo maior, em tamanho, do Sistema Solar. Hoje, são conhecidos mais de sessenta satélites naturais de Saturno, e o maior deles, Titã, está a uma distância média de 1 200 000 km de Saturno, tendo um período de

translação de, aproximadamente, 16 dias terrestres ao redor do planeta.



Tétis é outro dos maiores satélites de Saturno e está a uma distância média de Saturno de 300 000 km.

Considere:

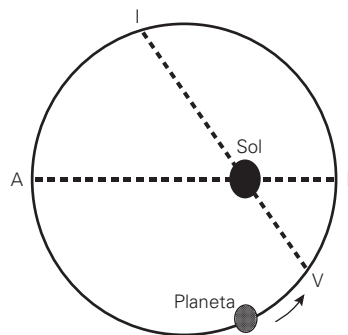


$$r = \frac{a+p}{2} \text{ e } \frac{r^3}{T^2} = Kp$$

O período aproximado de translação de Tétis ao redor de Saturno, em dias terrestres, é

- 4.
- 2.
- 6.
- 8.
- 10.

15. Unicamp – A figura a seguir representa exageradamente a trajetória de um planeta em torno do Sol. O sentido do percurso é indicado pela seta. O ponto V marca o início do verão no hemisfério Sul e o ponto I marca o início do inverno. O ponto P indica a maior aproximação do planeta ao Sol, o ponto A marca o maior afastamento. Os pontos V, I e o Sol são colineares, bem como os pontos P, A e o Sol.



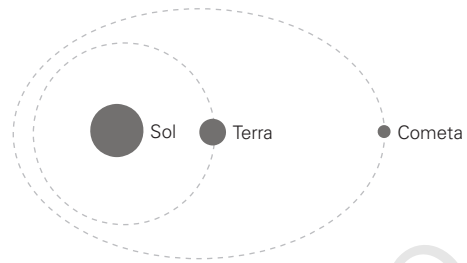
- a) Em que ponto da trajetória a velocidade do planeta é máxima? Em que ponto essa velocidade é mínima? Justifique sua resposta.
- b) Segundo Kepler, a linha que liga o planeta ao Sol percorre áreas iguais em tempos iguais. Coloque em ordem crescente os tempos necessários para realizar os seguintes percursos: VPI, PIA, IAV, AVP.

16. ITA – Considere dois satélites artificiais, S e T, em torno da Terra. S descreve uma órbita elíptica com semieixo maior a , e T, uma órbita circular de raio a , com os respectivos vetores posição \vec{r}_s e \vec{r}_t , com origem no centro da Terra. É correto afirmar que

- a) para o mesmo intervalo de tempo, a área varrida por \vec{r}_s é igual à varrida por \vec{r}_t .
- b) para o mesmo intervalo de tempo, a área varrida por \vec{r}_s é maior que a varrida por \vec{r}_t .
- c) o período de translação de S é igual ao de T.
- d) o período de translação de S é maior que o de T.
- e) se S e T têm a mesma massa, então a energia mecânica de S é maior que a de T.

17. UFSM – Os avanços nas técnicas observacionais têm permitido aos astrônomos rastrear um número crescente de objetos celestes que orbitam o Sol. A figura mostra, em escala arbitrária, as órbitas da Terra e de um cometa (os tamanhos dos corpos não estão em escala).

Com base na figura, analise as afirmações:



- I. Dada a grande diferença entre as massas do Sol e do cometa, a atração gravitacional exercida pelo cometa sobre o Sol é muito menor que a atração exercida pelo Sol sobre o cometa.
- II. O módulo da velocidade do cometa é constante em todos os pontos da órbita.
- III. O período de translação do cometa é maior que um ano terrestre.

Está(ão) correta(s)

- a) apenas I.
- b) apenas III.
- c) apenas I e II.
- d) apenas II e III.
- e) I, II e III.

ESTUDO PARA O ENEM

18. UEMG

C5-H17

Em seu movimento em torno do Sol, o nosso planeta obedece às leis de Kepler. A tabela a seguir mostra, em ordem alfabética, os quatro planetas mais próximos do Sol:

Planeta	Distância média do planeta ao Sol (km)
Marte	$227,8 \cdot 10^6$
Mercúrio	$57,8 \cdot 10^6$
Terra	$149,5 \cdot 10^6$
Vênus	$108,2 \cdot 10^6$

Baseando-se na tabela apresentada, só é CORRETO concluir que

- a) Vênus leva mais tempo para dar uma volta completa em torno do Sol do que a Terra.
- b) a ordem crescente de afastamento desses planetas em relação ao Sol é: Marte, Terra, Vênus e Mercúrio.
- c) Marte é o planeta que demora menos tempo para dar uma volta completa em torno de Sol.
- d) Mercúrio leva menos de um ano para dar uma volta completa em torno do Sol.

19. UFRGS

C6-H20

Assinale a alternativa que preenche corretamente as lacunas do enunciado a seguir, na ordem em que aparecem.

O fenômeno da superlua ocorre quando a Lua está em sua fase _____, o satélite está _____ da Terra, situação chamada de _____, e a sua aparência é _____ em relação ao normal.

- a) cheia - mais perto - perigeu - maior
- b) nova - mais perto - apogeu - menor
- c) cheia - mais perto - apogeu - maior
- d) nova - mais distante - perigeu - maior
- e) cheia - mais distante - perigeu - menor

20. PUC-PR

C6-H20

Em seu livro *O grande projeto*, Stephen Hawking e Leonard Mlodinow explicam que “os padrões climáticos sazonais da Terra são determinados principalmente pela inclinação do eixo de rotação terrestre em relação ao plano de sua órbita ao redor do Sol. Durante o inverno no hemisfério Norte, por exemplo, o polo Norte está inclinado para longe do Sol. O fato de que a Terra está mais próxima do Sol nesse momento – apenas a 147 milhões de quilômetros, em oposição aos 152 milhões de quilômetros do começo de julho – tem um efeito desprezível na temperatura comparado ao efeito de sua inclinação. Mas, em planetas com uma maior excentricidade orbital, a distância variável em relação ao Sol desempenha um papel muito mais importante. Mercúrio, por exemplo, com uma excentricidade de vinte por cento, quando está no ponto mais próximo do Sol (periélio), apresenta uma temperatura de mais de 110 graus centígrados acima daquela do ponto mais afastado (afélio). De fato, se a excentricidade da órbita terrestre fosse próxima de um, nossos oceanos ferveriam no periélio e se congelariam quando alcançássemos o afélio [...]. Grandes excentricidades não são propícias à vida, e por isso somos afortunados em ter um planeta com uma excentricidade orbital próxima de zero”.

HAWKING, S. W.; MLODINOW, L. *O grande projeto*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2011. 152 p. (Adaptado)

Sabendo-se que o valor da excentricidade orbital está associado ao achatamento da elipse, em que uma

excentricidade próxima de 0 (zero) significa que a figura se assemelha a um círculo, enquanto uma excentricidade próxima de 1 (um) implica uma elipse bem alongada, deduz-se que:

- a) a excentricidade dos planetas que orbitam o Sol tem influência desprezível sobre as temperaturas médias.
- b) a translação da Terra, descrita no texto como excentricidade orbital, é a principal responsável pelos padrões climáticos sazonais.
- c) quanto menor a excentricidade, maior a diferença entre aproximação e afastamento do planeta em relação ao Sol.
- d) o periélio e o afélio terrestres coincidem, respectivamente, com o verão e o inverno no hemisfério Sul.
- e) a zona habitável de um planeta é determinada pela inclinação do eixo de rotação deste em relação ao plano de sua órbita ao redor de uma estrela.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

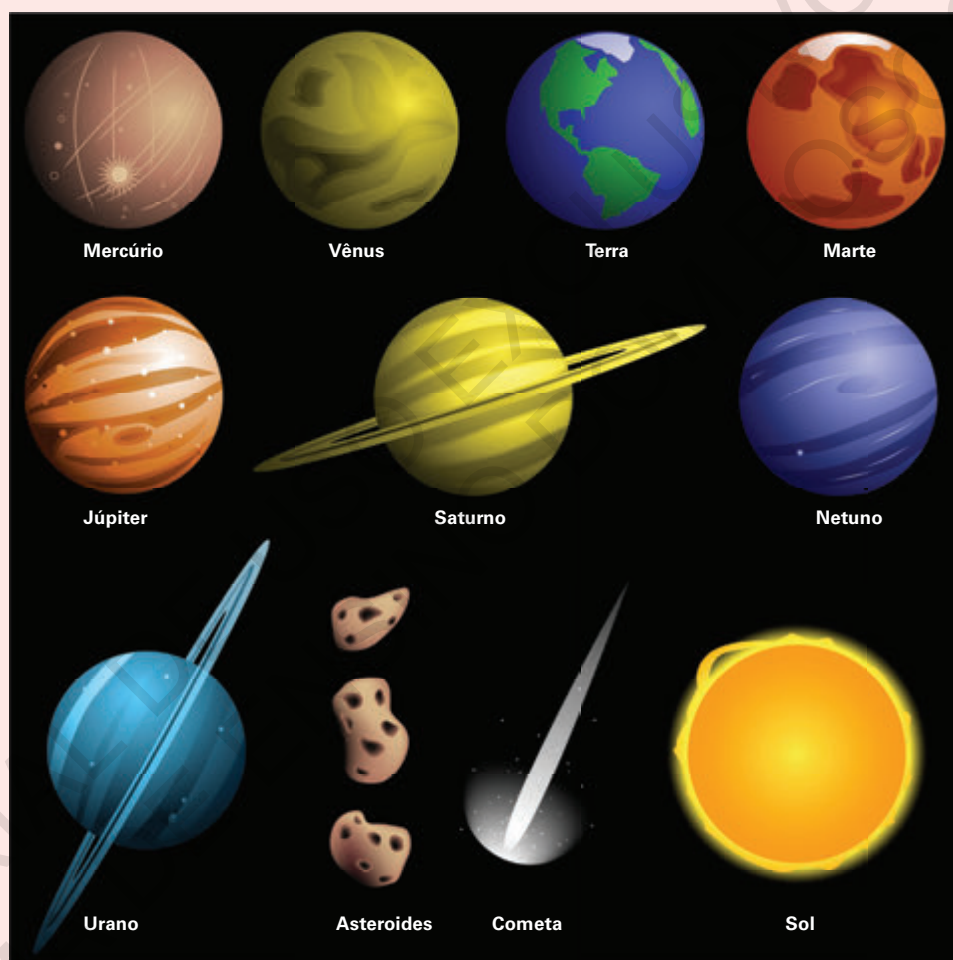
47

TEORIA GRAVITACIONAL DE NEWTON

- A teoria gravitacional de Newton
- O comportamento da força gravitacional em função da distância entre os corpos

HABILIDADES

- Confrontar interpretações científicas com aquelas baseadas no senso comum, ao longo do tempo ou em diferentes culturas.
- Associar a solução de problemas de comunicação, transporte, saúde ou outro com o correspondente desenvolvimento científico e tecnológico.
- Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes.
- Avaliar métodos, processos ou procedimentos das ciências naturais que contribuam para diagnosticar ou solucionar problemas de ordem social, econômica ou ambiental.
- Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.
- Relacionar propriedades físicas, químicas ou biológicas de produtos, sistemas ou procedimentos tecnológicos às finalidades a que se destinam.



Durante nossa história, diversos modelos de como o céu era organizado e sobre o movimento dos astros celestes foram desenvolvidos (imagem fora de escala).

A força gravitacional é responsável pelo formato esférico dos corpos celestes e por sustentar seus movimentos. Apesar de ser considerada “fraca” quando comparada a outras forças, ela modela muitos dos movimentos a que assistimos, e é sempre de atração. De maneira genial e inédita, Isaac Newton embasou-se nos métodos e estudos matemáticos e empíricos de Galileu Galilei e Johannes Kepler para, com toda a revolução na mecânica e na matemática que proporcionara, caracterizar as causas dos movimentos planetários. Dessa forma, ele realizou a unificação da física terrestre, de Galileu, com a física dos astros, de Kepler. Passou a crer que o movimento dos astros e o de queda dos corpos próximos à superfície da Terra possuíam a mesma causa – a força gravitacional.

A importância de seus antecessores em sua revolucionária produção científica é reconhecida pelo egocêntrico Newton em carta, de 1676, a Robert Hooke: “Se vi mais longe foi por estar de pé sobre ombros de gigantes”.



Isaac Newton (1643-1727).

A frase popularizada por Newton expressa perfeitamente o caráter colaborativo da ciência e retoma o pensamento de Bernardo de Chartres, filósofo francês do século XII, com relação à importância dos antigos sábios da Grécia e de Roma.

Somos comparáveis a anões encavalitados sobre os ombros de gigantes (os antigos): vemos portanto mais coisas do que eles viram e vemos mais longe do que eles. Qual a razão disto? Não é nem a acuidade do nosso olhar, nem a superioridade da nossa altura, mas porque somos transportados e elevados pela alta estatura dos gigantes.

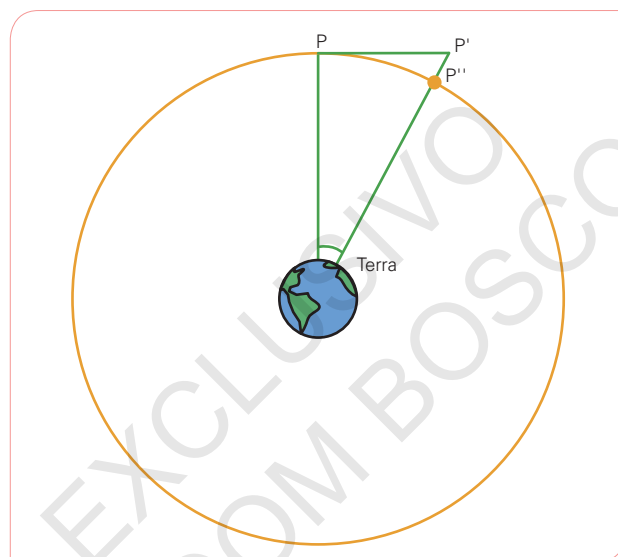
A teoria gravitacional de Newton



A força gravitacional sobre o astronauta em solo lunar é aproximadamente $\frac{1}{6}$ daquela que atuaria sobre ele se estivesse na Terra.

GEORGIOS KOLLIDAS/SHUTTERSTOCK

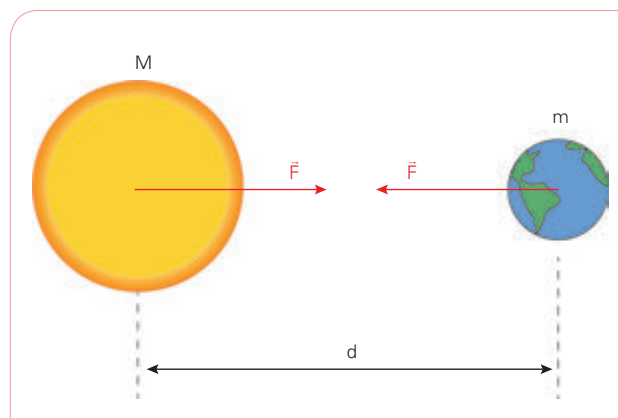
A interação gravitacional que nos mantém presos à superfície da Terra é responsável pelo movimento do nosso planeta – e de todos os outros – ao redor do Sol. Essa força gravitacional preserva a órbita lunar, que será aproveitada a seguir para construir a concepção de Newton com relação à gravidade.



Pelo princípio da inércia, caso a Lua (no ponto P) não estivesse sujeita à ação de forças ela deveria sair pela tangente, atingindo o ponto P' após algum tempo. Porém, não é o que se observa. A Lua tem seu movimento alterado quanto à direção e atingirá o ponto P'' sobre a órbita considerada circular. Ou seja, a Lua encontra-se acelerada na direção radial (aceleração centrípeta), e o princípio fundamental da dinâmica indica que as alterações do movimento são consequências da ação de forças, no caso, a força gravitacional.

A partir das leis de Kepler e com o uso de cálculo diferencial, Newton relacionou a aceleração centrípeta ao período do movimento circular e estabeleceu a lei da gravitação universal:

Matéria atrai matéria com força proporcional às suas massas e na razão inversa do quadrado da distância que separa seus centros de gravidade.



CASTLESKI/SHUTTERSTOCK

Ela pode ser matematicamente representada da seguinte forma:

$$F_g \propto \frac{M \cdot m}{d^2}$$

Ou ainda:

$$F_g = \frac{G \cdot M \cdot m}{d^2}$$

A constante da **gravitação universal (G)**, assim como outras constantes físicas, tem como função principal estabelecer uma correlação entre grandezas coerente ao que tangue às unidades e à análise dimensional.

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}$$

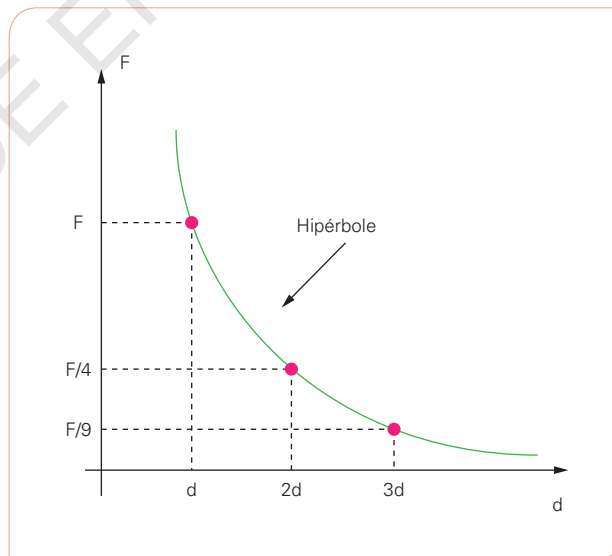
Observação: A distância (d) deve ser medida entre os centros de massa dos corpos envolvidos na interação.

É importante perceber que a constante gravitacional mencionada possui uma ordem de grandeza muito pequena e, conseqüentemente, só se leva em conta essa interação ou seus efeitos quando ao menos um dos corpos envolvidos for de massa muito grande, como uma estrela, um planeta ou um satélite natural, por exemplo.

Alternando somente a distância d entre os dois corpos, observa-se uma variação na intensidade F da força gravitacional.

$$F_g = \frac{G \cdot M \cdot m}{d^2} \Rightarrow F_g \cdot d^2 = G \cdot M \cdot m = \text{constante}$$

Então a curva correspondente ao gráfico $F \times d$ é uma hipérbole quadrática:



O legado de Newton é incalculável. A dispersão da luz solar, o desenvolvimento das bases do cálculo diferencial e integral, os princípios fundamentais da mecânica e sua teoria gravitacional são algumas de suas importantes contribuições à ciência e à humanidade. Além disso, ele era um cientista extremamente engenhoso e estabeleceu ajustes ao telescópio de modo a aumentar seu alcance e sua nitidez. A astronomia cresceria a passos largos após Isaac Newton.

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1. UFPR – Sabemos que em nosso universo a força gravitacional entre uma estrela de massa M e um planeta de massa m varia com o inverso do quadrado da distância R entre eles. Considere a hipótese em que a força gravitacional varia com o inverso do cubo da distância R e em que os planetas descrevem órbitas circulares em torno da estrela.

- a) Deduza, para esse caso hipotético, uma equação literal análoga à terceira lei de Kepler.
 b) Utilizando a resposta do item (a) e considerando dois planetas orbitando essa estrela, um deles com órbita de raio R_1 e o outro com órbita de raio $R_2 = 2 \cdot R_1$, determine a razão entre os períodos de suas órbitas.

Resolução

Do enunciado, teremos:

$$F_g = \frac{G \cdot M \cdot m}{r^3}$$

Onde,

$$r = d$$

Assim:

$$a) F_g = F_c$$

$$\frac{G \cdot M \cdot m}{r^3} = \frac{m \cdot v^2}{r}$$

$$\text{Se } v = \omega \cdot r$$

$$\frac{G \cdot M}{r^3} = \frac{\omega^2 \cdot r^3}{r}$$

Onde,

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi}{T}$$

$$\frac{G \cdot M}{r^3} = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot r}{T^2}$$

$$\frac{G \cdot M}{4 \cdot \pi^2} = \frac{r^4}{T^2}$$

A parte esquerda da igualdade é composta somente de constante. Logo,

$$\frac{T^2}{r^4} = \text{cte.}$$

b) Usando os dados fornecidos, temos que:

$$\frac{T_1^2}{r_1^4} = \frac{T_2^2}{r_2^4}$$

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{r_1^4}{r_2^4} = \frac{r_1^4}{(2 \cdot r_1)^4} = \frac{r_1^4}{16 \cdot r_1^4}$$

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{1}{16}$$

$$\sqrt{\frac{T_1^2}{T_2^2}} = \sqrt{\frac{1}{16}}$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{1}{4}$$

2. FGV – A massa da Terra é de $6,0 \cdot 10^{24}$ kg, e a de Netuno é de $1,0 \cdot 10^{26}$ kg. A distância média da Terra ao Sol é de $1,5 \cdot 10^{11}$ m, e a de Netuno ao Sol é de $4,5 \cdot 10^{12}$ m. Determine a razão entre as forças de interação Sol-Terra e Sol-Netuno.

Resolução

Dados: $m_T = 6 \cdot 10^{24}$ kg; $m_N = 1 \cdot 10^{26}$ kg; $d_{TS} = 1,5 \cdot 10^{11}$ m; $d_{NS} = 4,5 \cdot 10^{12}$ m.

Da lei de Newton sobre a gravitação:

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{ST} = \frac{G \cdot M \cdot m_T}{(d_{TS})^2} \\ F_{SN} = \frac{G \cdot M \cdot m_N}{(d_{NS})^2} \end{array} \right\} \div \Rightarrow \frac{F_{ST}}{F_{SN}} = \frac{G \cdot M \cdot m_T}{(d_{TS})^2} \cdot \frac{(d_{NS})^2}{G \cdot M \cdot m_N} \Rightarrow$$

$$\frac{F_{ST}}{F_{SN}} = \frac{m_T}{m_N} \cdot \left(\frac{d_{NS}}{d_{TS}} \right)^2 \Rightarrow \frac{F_{ST}}{F_{SN}} = \frac{6 \cdot 10^{24}}{1 \cdot 10^{26}} \cdot \left(\frac{4,5 \cdot 10^{12}}{1,5 \cdot 10^{11}} \right)^2 =$$

$$= 6 \cdot 10^{-2} \cdot 9 \cdot 10^2 \Rightarrow$$

$$\frac{F_{ST}}{F_{SN}} = 54.$$

ROTEIRO DE AULA

TEORIA GRAVITACIONAL DE NEWTON

_____ Massa _____ atrai _____ massa _____

Força gravitacional

intensidade

diretamente proporcional

ao produto das _____ massas. _____

inversamente pro-
porcional

ao quadrado da distância entre os corpos.

tende a zero quando _____
a distância tende ao infinito.

direção

mesma que contém o centro de massa dos corpos que interagem.

sentido

atração.

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. Acafe – Após o lançamento do primeiro satélite artificial Sputnik I pela antiga União Soviética (Rússia) em 1957, muita coisa mudou na exploração espacial. Hoje temos uma Estação Espacial internacional (ISS) que orbita a Terra em uma órbita de raio de aproximadamente 400 km. A ISS realiza sempre a mesma órbita ao redor da Terra, porém, não passa pelo mesmo ponto fixo na Terra todas as vezes que completa sua trajetória. Isso acontece porque a Terra possui seu movimento de rotação, ou seja, quando a ISS finaliza sua órbita, a Terra girou, posicionando-se em outro local sob a Estação Espacial.

Considere os conhecimentos de gravitação e o exposto acima e assinale a alternativa **correta** que completa as lacunas das frases a seguir.

A Estação Espacial Internacional _____ como um satélite geoestacionário. Como está em órbita ao redor da Terra, pode-se afirmar que a força gravitacional _____ sobre ela.

- a) não se comporta – não age
b) não se comporta – age
 c) se comporta – não age
 d) se comporta – age

Se a Estação Espacial Internacional não está fixa sobre um mesmo ponto da Terra, ela não se comporta como um satélite geoestacionário. Se ela está em órbita, a força gravitacional age sobre ela.

2. UEM – Sobre as leis de Kepler e a lei da gravitação universal, assinale o que for correto.

- 01)** A Terra exerce uma força de atração sobre a Lua.
02) Existe sempre um par de forças de ação e reação entre dois corpos materiais quaisquer.
04) O período de tempo que um planeta leva para dar uma volta completa em torno do Sol é inversamente proporcional à distância do planeta até o Sol.
08) O segmento de reta traçado de um planeta ao Sol varrerá áreas iguais, em tempos iguais, durante a revolução do planeta em torno do Sol.
16) As órbitas dos planetas em torno do Sol são elípticas, e o Sol ocupa um dos focos da elipse correspondente à órbita de cada planeta.

27 (01 + 02 + 08 + 16)

01) Correto. Lei da gravitação universal.

02) Correto. Pelo menos a atração gravitacional entre eles.

04) Errado. Terceira lei de Kepler $\rightarrow \frac{T^2}{r^3} = K \rightarrow T = \sqrt{Kr^3}$.

08) Correto. Segunda lei de Kepler.

16) Correto. Primeira lei de Kepler.

3. UEPG – A balança de torção foi utilizada por Henry Cavendish para determinar a expressão para a força gravitacional e por Charles Augustin de Coulomb para determinar a força elétrica entre duas cargas. Em relação às propriedades das forças gravitacional e elétrica, assinale o que for correto.

- 01)** A força gravitacional entre duas massas pontuais é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas.
02) A força elétrica entre duas cargas elétricas pode ser atrativa ou repulsiva.
04) Se a velocidade de uma partícula carregada for perpendicular à direção do campo elétrico em certa região do espaço, então a força elétrica sobre a carga será nula.

08) Se dois objetos se repelem pela força elétrica é porque não possuem massa e, portanto, a força gravitacional entre eles é nula.

03 (01 + 02)

[01] Verdadeira. A força gravitacional é dada pela equação da gravitação universal de Newton:

$$F_g = G \frac{M \cdot m}{d^2}$$

Assim, confirma-se a proporcionalidade entre a força e a distância das massas como sendo inversamente proporcional ao quadrado da distância.

[02] Verdadeira. A força elétrica pode ser de caráter atrativo ou repulsivo, caso tenhamos cargas de sinais contrários ou cargas de mesmo sinal, respectivamente.

[04] Falsa. Cargas elétricas com movimento relativo transversal a um campo elétrico são desviadas por ele, evidenciando a presença de força elétrica.

[08] Falsa. A repulsão elétrica é decorrente da presença de cargas elétricas de mesmo sinal, não dependendo das massas das partículas envolvidas, conforme a lei de Coulomb.

$$F_e = k_0 \frac{q_1 \cdot q_2}{d^2}$$

O fato de haver força elétrica não anula a força gravitacional, que depende basicamente das massas e de suas distâncias relativas. Na verdade, as forças gravitacionais são muito pequenas quando comparadas à força elétrica, mas esse fato não impede que ela exista, ainda que insignificante.

4. Eear – Dois corpos, de massas m_1 e m_2 , estão separados por uma distância d e interagem entre si com uma força gravitacional F . Se duplicarmos o valor de m_1 e reduzirmos a distância entre os corpos pela metade, a nova força de interação gravitacional entre eles, em função de F , será

a) $\frac{F}{8}$

b) $\frac{F}{4}$

c) $4F$

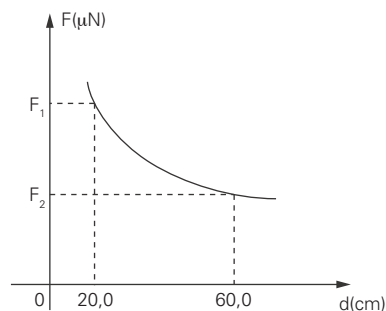
d) $8F$

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2}$$

$$F_1 = G \frac{2 \cdot m_1 \cdot m_2}{\left(\frac{d}{2}\right)^2} \Rightarrow F_1 = G \frac{2 \cdot m_1 \cdot m_2}{\frac{d^2}{4}} \Rightarrow F_1 = G \frac{8 \cdot m_1 \cdot m_2}{d^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F_1 = 8 \cdot G \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2} \Rightarrow F_1 = 8F$$

5. Uefs



A figura mostra como a força gravitacional entre dois corpos, de massas M_1 e M_2 , varia com a distância entre seus centros de massa.

Com base nas informações contidas no diagrama, é

correto afirmar que a razão $\frac{F_1}{F_2}$ é dada por

- a) $\frac{1}{3}$
 b) $\frac{2}{5}$
 c) 3
 d) 6
 e) 9

De acordo com a lei da gravitação universal de Newton, a força gravitacional é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre seus centros de massas:

$$F_g = G \frac{M_1 \cdot M_2}{d^2}$$

Nota-se pelo gráfico que a distância foi triplicada; assim, a razão das forças é:

$$F_1 = G \frac{M_1 \cdot M_2}{d^2}$$

$$F_2 = G \frac{M_1 \cdot M_2}{(3d)^2} = G \frac{M_1 \cdot M_2}{9d^2}$$

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{\cancel{G} \frac{M_1 \cdot M_2}{d^2}}{\cancel{G} \frac{M_1 \cdot M_2}{9d^2}}$$

$$\therefore \frac{F_1}{F_2} = 9$$

6. Enem

C6-H20

O ônibus espacial Atlantis foi lançado ao espaço com cinco astronautas a bordo e uma câmera nova, que iria substituir outra danificada por um curto-circuito no

telescópio Hubble. Depois de entrarem em órbita a 560 km de altura, os astronautas se aproximaram do Hubble. Dois astronautas saíram da Atlantis e se dirigiram ao telescópio.

Ao abrir a porta de acesso, um deles exclamou: "Esse telescópio tem a massa grande, mas o peso é pequeno".

Considerando o texto e as leis gravitacionais, pode-se afirmar que a frase dita pelo astronauta

- a) se justifica porque o tamanho do telescópio determina sua massa, enquanto seu pequeno peso decorre da falta de ação da aceleração da gravidade.
 b) se justifica quando ele verifica que a inércia do telescópio é grande comparada à dele próprio, e que o peso do telescópio é pequeno porque a atração gravitacional criada por sua massa era pequena.
 c) não se justifica, porque a avaliação da massa e do peso de objetos em órbita tem por base as leis de Kepler, que não se aplicam a satélites artificiais.
 d) não se justifica, porque a força-peso é a força exercida pela gravidade terrestre, neste caso, sobre o telescópio, e é a responsável por manter o próprio telescópio em órbita.
 e) não se justifica, pois a ação da força-peso implica a ação de uma força de reação contrária, que não existe naquele ambiente. A massa do telescópio poderia ser avaliada simplesmente por seu volume.

Essa afirmação explica-se pelo princípio fundamental da dinâmica, pois o que está em questão são a massa e o peso do telescópio. Como o astronauta e o telescópio estão em órbita, estão sujeitos apenas à força peso e, conseqüentemente, à mesma aceleração (centrípetas), que é a da gravidade local, tendo peso APARENTE nulo.

$$R = P \Rightarrow m \cdot a = m \cdot g \Rightarrow a = g.$$

É pelo mesmo motivo que os objetos flutuam dentro de uma nave. Em Física, diz-se nesse caso que os corpos estão em estado de imponderabilidade.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. Uece – Os planetas orbitam em torno do Sol pela ação de forças. Sobre a força gravitacional que determina a órbita da Terra, é correto afirmar que depende

- a) das massas de todos os corpos do Sistema Solar.
 b) somente das massas da Terra e do Sol.
 c) somente da massa do Sol.
 d) das massas de todos os corpos do Sistema Solar, exceto da própria massa da Terra.

8. UFU – Muitas estrelas, em sua fase final de existência, começam a colapsar e a terem seu diâmetro diminuído, ainda que preservem sua massa. Imagine que fosse possível você viajar até uma estrela em sua fase final de existência, usando uma espaçonave preparada para isso.

Se na superfície de uma estrela nessas condições seu peso fosse P , o que ocorreria com ele à medida que ela colapsa?

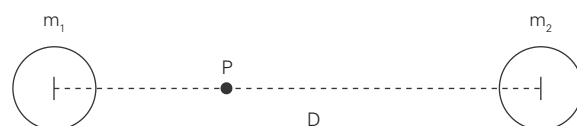
- a) Diminuiria, conforme a massa total da pessoa fosse contraindo.
 b) Aumentaria, conforme o inverso de sua distância ao centro da estrela.

c) Diminuiria, conforme o volume da estrela fosse contraindo.

d) Aumentaria, conforme o quadrado do inverso de sua distância ao centro da estrela.

9. Utilizando-se do sistema internacional, expresse a unidade da constante da gravitação universal (G), presente na teoria gravitacional de Newton.

10. UFRGS – A figura a seguir representa dois planetas, de massas m_1 e m_2 , cujos centros estão separados por uma distância D , muito maior que os raios dos planetas.

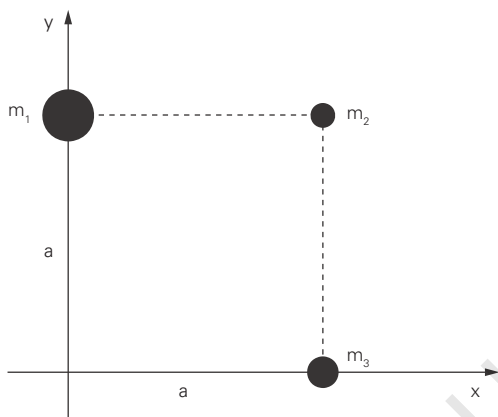


Sabendo que é nula a força gravitacional sobre uma terceira massa colocada no ponto P , a uma distância

$\frac{D}{3}$ de m_1 , a razão $\frac{m_1}{m_2}$ entre as massas dos planetas é

- a) $\frac{1}{4}$
- b) $\frac{1}{3}$
- c) $\frac{1}{2}$
- d) $\frac{2}{3}$
- e) $\frac{3}{2}$

11. UEFS



A figura mostra a configuração de três corpos de massas m_1 , m_2 e m_3 , respectivamente, iguais a 4 m, 2 m e 3 m, que se encontram localizados em três vértices de um quadrado de lado a.

Com base nessas informações, é correto afirmar que a intensidade da força resultante sobre o corpo de massa m_2 em termos de G, constante da gravitação universal, m e a, é igual a

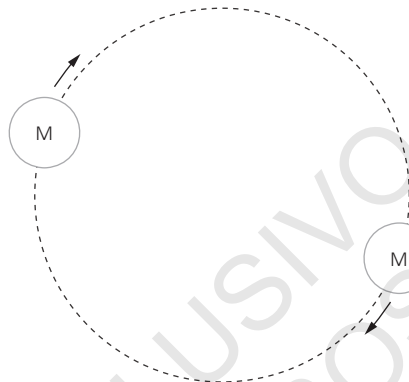
- a) $10 Gm^2/a^2$
- b) $8 Gm^2/a^2$
- c) $6 Gm^2/a^2$
- d) $4 Gm^2/a^2$
- e) $2 Gm^2/a^2$

12. Uece – Considere duas massas puntiformes de mesmo valor m, com cargas elétricas de mesmo valor Q e sinais opostos, mantidas separadas em certa distância. Seja G a constante de gravitação universal e k a constante eletrostática. A razão entre as forças de atração eletrostática e gravitacional é

- a) $\frac{G \cdot m^2}{Q^2 \cdot k}$
- b) $\frac{Q^2 \cdot k}{G \cdot m^2}$
- c) $\frac{Q^2 \cdot G}{k \cdot m^2}$
- d) $\frac{Q \cdot G}{k \cdot m}$

13. ITA – Derive a 3ª lei de Kepler do movimento planetário a partir da lei da gravitação universal de Newton considerando órbitas circulares.

14. Esc. Naval – Analise a figura a seguir.



A figura apresenta um sistema binário de estrelas, isolado, que é composto por duas estrelas de mesmo tamanho e de mesma massa M. O sistema, estável, gira em torno de seu centro de massa com um período de rotação constante T.

Sendo D a distância entre as estrelas e G a constante gravitacional universal, assinale a opção correta.

- a) $G \cdot M \cdot T^2 = 2 \cdot \pi^2 \cdot D^2$; a velocidade linear de cada uma das estrelas em relação ao centro de massa do sistema é constante; a energia mecânica do sistema é conservada.
- b) $G \cdot M \cdot T^2 = 2 \cdot \pi^2 \cdot D^3$; a velocidade angular de cada uma das estrelas em relação ao centro de massa do sistema é constante; a energia cinética do sistema é conservada.
- c) $G \cdot M \cdot T^2 = 2 \cdot \pi^2 \cdot D^3$; a velocidade angular de cada uma das estrelas em relação ao centro de massa do sistema é constante; a energia mecânica de cada uma das estrelas é conservada.
- d) $2 \cdot G \cdot M \cdot T^2 = \pi^2 \cdot D^3$; o vetor velocidade linear de cada uma das estrelas em relação ao centro de massa do sistema é constante; a energia mecânica do sistema é conservada.
- e) $2 \cdot G \cdot M \cdot T^2 = \pi^2 \cdot D^3$; a velocidade angular de cada uma das estrelas em relação ao centro de massa do sistema é constante; a energia mecânica de cada uma das estrelas é conservada.

15. UEPG

Astrônomos holandeses e americanos descobriram um exoplaneta com um sistema de anéis gigantesco, 200 vezes maior do que os anéis de Saturno. Os anéis foram encontrados graças a dados levantados pelo observatório SuperWASP, que pode detectar exoplanetas quando estes passam à frente das estrelas. Tal exoplaneta distante foi batizado de J1407b.

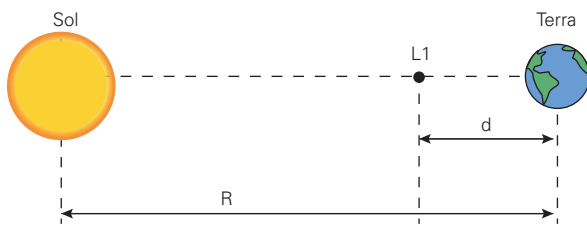
BBC News. 28 jan. 2015. (Adaptado)

Com base na notícia, assinale o que for correto.

- 01)** Para expressar a que distância J1407b encontra-se de nossa galáxia, os astrônomos podem utilizar o ano-luz como unidade de comprimento. Um ano-luz corresponde à distância percorrida pela luz em um ano e vale aproximadamente $9,5 \cdot 10^{12}$ km.

- 02) A lei da gravitação universal exclui exoplanetas.
 04) Um exoplaneta terá no afélio uma velocidade orbital maior do que no periélio.
 08) A 2ª lei de Newton explica, em função da massa, o fato de o exoplaneta orbitar a estrela, e não o contrário. Contudo, a rigor, ambas orbitam o centro de massa do sistema.

16. Fuvest – Há um ponto no segmento de reta unindo o Sol à Terra denominado “Ponto de Lagrange L1”. Um satélite artificial colocado nesse ponto, em órbita ao redor do Sol, permanecerá sempre na mesma posição relativa entre o Sol e a Terra.



Nessa situação, ilustrada na figura, a velocidade angular orbital ω_A do satélite em torno do Sol será igual à da Terra, ω_T . Para essa condição, determine

- ω_T , em função da constante gravitacional G , da massa M_S do Sol e da distância R entre a Terra e o Sol;
- o valor de ω_A em rad/s;
- a expressão do módulo F_r da força gravitacional resultante que age sobre o satélite, em função de G , M_S , M_T , m , R e d , sendo M_T e m , respectivamente, as massas da Terra e do satélite, e d a distância entre a Terra e o satélite.

Note e adote:

$$1 \text{ ano} \approx 3,14 \cdot 10^7 \text{ s.}$$

O módulo da força gravitacional F entre dois corpos de massas M_1 e M_2 , sendo r a distância entre eles, é dado por $F = G \cdot M_1 \cdot M_2/r^2$.

Considere as órbitas circulares.

17. Uerj – O valor da energia potencial, E_p , de uma partícula de massa m sob a ação do campo gravitacional de um corpo celeste de massa M é dado pela seguinte expressão:

$$E_p = -G \cdot m \cdot M/r.$$

Nessa expressão, G é a constante de gravitação universal e r é a distância entre a partícula e o centro de massa do corpo celeste.

A menor velocidade inicial necessária para que uma partícula livre-se da ação do campo gravitacional de um corpo celeste, ao ser lançada da superfície deste, é denominada velocidade de escape. A essa velocidade, a energia cinética inicial da partícula é igual ao valor de sua energia potencial gravitacional na superfície desse corpo celeste.

Buracos negros são corpos celestes, em geral, extremamente densos. Em qualquer instante, o raio de um buraco negro é menor que o raio R de outro corpo celeste de mesma massa, para o qual a velocidade de escape de uma partícula corresponde à velocidade c da luz no vácuo.

Determine a densidade mínima de um buraco negro, em função de R , de c e da constante G .

ESTUDO PARA O ENEM

18. Enem

C6-H20

Conhecer o movimento das marés é de suma importância para a navegação, pois permite definir com segurança quando e onde um navio pode navegar em áreas, portos ou canais. Em média, as marés oscilam entre alta e baixa em um período de 12 horas e 24 minutos. No conjunto de marés altas, existem algumas que são maiores do que as demais.

A ocorrência dessas maiores marés tem como causa

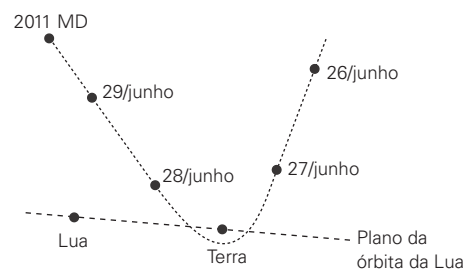
- a rotação da Terra, que muda entre dia e noite a cada 12 horas.
- os ventos marítimos, pois todos os corpos celestes se movimentam juntamente.
- o alinhamento entre a Terra, a Lua e o Sol, pois as forças gravitacionais agem na mesma direção.
- o deslocamento da Terra pelo espaço, pois a atração gravitacional da Lua e do Sol são semelhantes.
- a maior influência da atração gravitacional do Sol sobre a Terra, pois ele tem a massa muito maior que a da Lua.

19. Enem

C6-H20

No dia 27 de junho de 2011, o asteroide 2011 MD, com cerca de 10 m de diâmetro, passou a 12 mil quilômetros do planeta Terra, uma distância menor do

que a órbita de um satélite. A trajetória do asteroide é apresentada a seguir.



A explicação física para a trajetória descrita é o fato de o asteroide

- deslocar-se em um local onde a resistência do ar é nula.
- deslocar-se em um ambiente onde não há interação gravitacional.
- sofrer a ação de uma força resultante no mesmo sentido de sua velocidade.
- sofrer a ação de uma força gravitacional resultante no sentido contrário ao de sua velocidade.
- estar sob a ação de uma força resultante cuja direção é diferente da direção de sua velocidade.

20. Enem

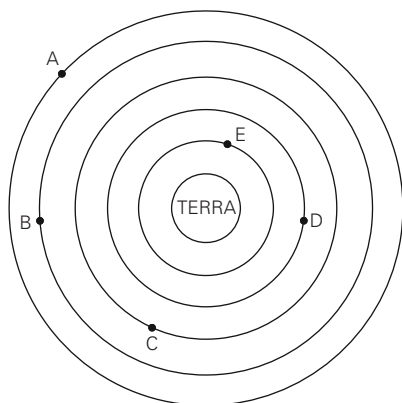
C5-H17

A lei da gravitação universal, de Isaac Newton, estabelece a intensidade da força de atração entre duas massas. Ela é representada pela expressão:

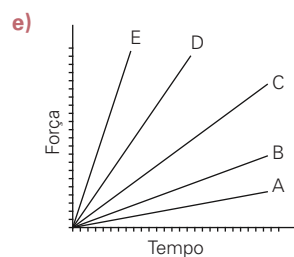
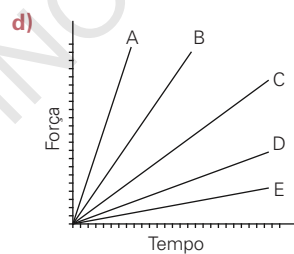
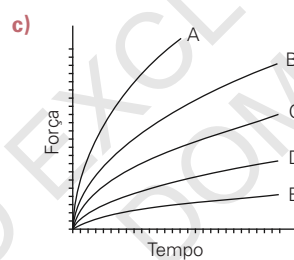
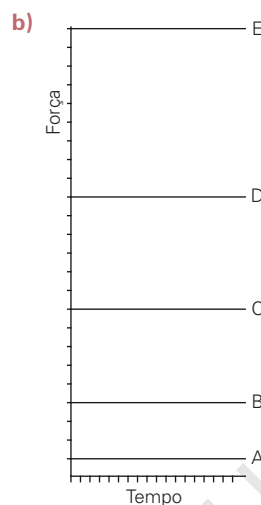
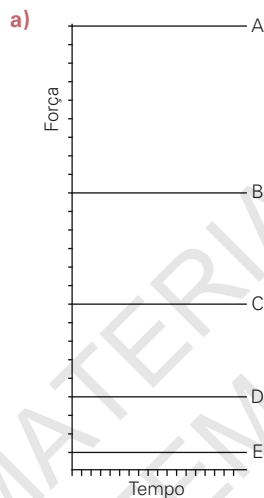
$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2}$$

onde m_1 e m_2 correspondem às massas dos corpos; d , à distância entre eles; G , à constante universal da gravitação; e F , à força que um corpo exerce sobre o outro.

O esquema representa as trajetórias circulares de cinco satélites, de mesma massa, orbitando a Terra.



Qual gráfico expressa as intensidades das forças que a Terra exerce sobre cada satélite em função do tempo?



48

CAMPO GRAVITACIONAL E MOVIMENTO DE SATÉLITES

- O campo gravitacional
- O comportamento do campo gravitacional em função da distância entre os corpos
- Aplicações da teoria gravitacional de Newton

HABILIDADES

- Confrontar interpretações científicas com interpretações baseadas no senso comum, ao longo do tempo ou em diferentes culturas.
- Associar a solução de problemas de comunicação, transporte, saúde ou outro, com o correspondente desenvolvimento científico e tecnológico.
- Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes.
- Avaliar métodos, processos ou procedimentos das ciências naturais que contribuam para diagnosticar ou solucionar problemas de ordem social, econômica ou ambiental.
- Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.
- Relacionar propriedades físicas, químicas ou biológicas de produtos, sistemas ou procedimentos tecnológicos às finalidades a que se destinam.



Astronauta em órbita sob ação do campo gravitacional terrestre.

Os conceitos e modelos cosmológicos vêm sendo desenvolvidos pela humanidade há milhares de anos, e ainda hoje a física moderna busca expandir as fronteiras do conhecimento. A lei da gravitação universal nos deu os subsídios necessários para descrever de maneira satisfatória diversos fenômenos astronômicos e cotidianos. A teoria gravitacional de Einstein engloba a física newtoniana e vai além, ao explicar melhor situações que envolvem velocidades próximas à da luz ou de intensos campos gravitacionais.

A modelagem gravitacional newtoniana trouxe as engenharias civil e mecânica ao patamar no qual estão, já nos levou à Lua, pousou sondas em Marte e, por ser matematicamente menos exigente, é a que utilizaremos nas discussões seguintes.

Atenção: *aceleração gravitacional* ($g \approx 10\text{m/s}^2$) e *campo gravitacional* ($g \approx 10\text{N/kg}$), apesar de apresentarem mesmo módulo e unidades equivalentes, passam informações diferentes sobre o comportamento da natureza. Só faz sentido falar em aceleração gravitacional quando se discute uma queda livre e, nesse caso, a velocidade se altera com taxa de 10 metros por segundo. Já o campo gravitacional atua sempre que um corpo estiver sob a influência gravitacional de outro. Uma caixa de 1 kg apoiada sobre uma mesa em repouso não está acelerada, mesmo sendo puxada gravitacionalmente por 10 N. O campo gravitacional está relacionado com a interação (força); já a aceleração gravitacional, com seus possíveis efeitos (aceleração).

CAMPO GRAVITACIONAL (G)

Toda partícula com massa possui um campo de influência a seu redor. Da mesma forma que cargas elétricas interagem entre si, mesmo que a certa distância, por meio de um campo elétrico, há também uma perturbação (ou influência) gerada no espaço ao redor de uma distribuição qualquer de massa, a qual é denominada **campo gravitacional**. O campo gravitacional não pode ser visto, porém é percebido pelos corpos que sofrem sua influência através da força gravitacional, cujos efeitos podem ser medidos por um dinamômetro ou pela observação de uma queda livre.

Considere que, em um mesmo ponto do espaço das proximidades do planeta Terra, sucessivas massas foram penduradas em um dinamômetro cuja indicação no equilíbrio foi anotada na tabela a seguir.



Corpo suspenso por um dinamômetro.

Peso (N)	Massa (kg)
9,8	1,0
19,6	2,0
29,4	3,0
39,2	4,0

O procedimento experimental mencionado mostra que a indicação do dinamômetro variou de maneira direta e proporcional com a massa suspensa, e, portanto, a razão entre essas grandezas é constante.

$$\frac{P}{m} = \frac{9,8}{1} = \frac{19,6}{2} = \frac{29,4}{3} = \frac{39,2}{4} = 9,8 \text{ N/kg}$$

O resultado anterior determina o módulo do campo gravitacional associado ao ponto testado e nos informa que qualquer corpo que ocupe aquela posição será puxado gravitacionalmente com força de intensidade igual a **9,8 N para cada 1,0 kg de massa** que possuir. Desse modo, o campo gravitacional pode ser entendido como a grandeza que informa qual a força que irá agir quando um objeto ocupar certo ponto do espaço.

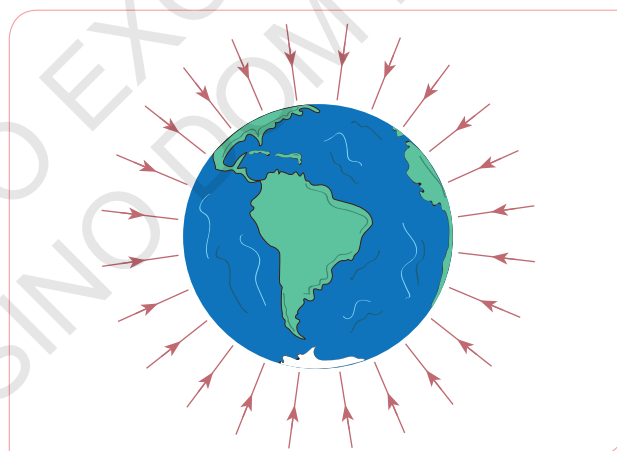
O campo gravitacional é matematicamente dado pela equação:

$$\vec{g} = \frac{\vec{P}}{m}$$



A queda d'água evidencia a presença do campo gravitacional terrestre.

Vale lembrar que o campo gravitacional e a força peso possuem sempre mesma direção (radial) e mesmo sentido (para o centro do planeta).



Campo gravitacional terrestre (g_T)

Vimos como podemos determinar a intensidade do campo gravitacional associado a um ponto do espaço, mas do que depende esse valor?

Considerada a Terra um referencial inercial, a força peso e a gravitacional (dada pela lei da gravitação universal de Newton) apresentam mesma intensidade e, portanto:

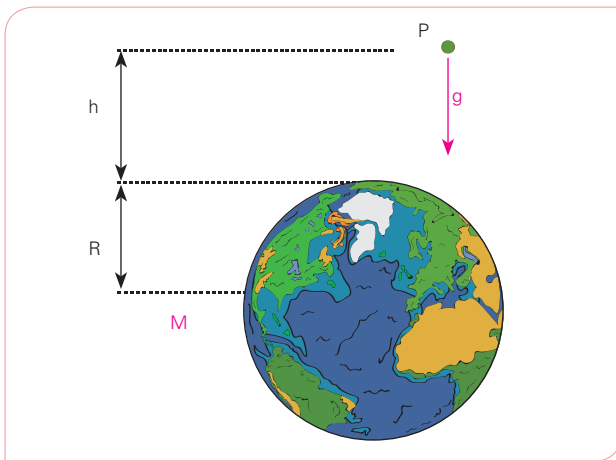
$$|\vec{P}| = |\vec{F}_g|$$

$$m \cdot g = \frac{G \cdot M \cdot m}{d^2}$$

$$g = \frac{G \cdot M}{d^2}$$

Onde **M** representa a massa do planeta e **d** é a distância entre um ponto e o centro do planeta.

Ou seja, a intensidade do campo gravitacional gerado por um planeta (estrela, satélite natural ou outra grande concentração de massa) em certo ponto do espaço é diretamente proporcional à massa fonte da influência e inversamente proporcional ao quadrado da distância do ponto ao centro do planeta.



Para um ponto **P** qualquer de altitude **h** (medida em relação à superfície do planeta), sua distância em relação ao centro do astro é dada por: $d = (R + h)$, conforme a figura, e, conseqüentemente, a relação anterior pode ser expressa da seguinte forma:

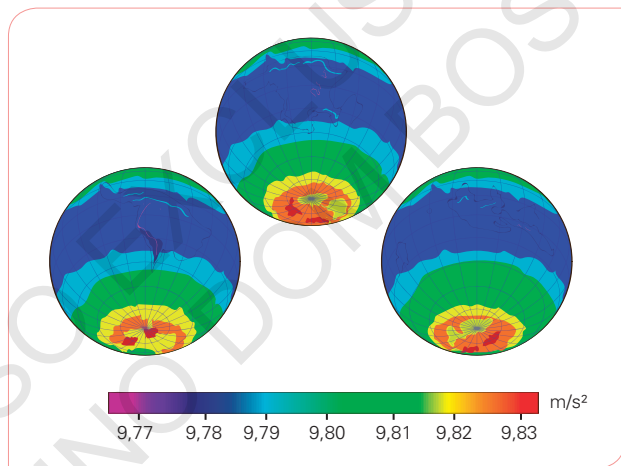
$$g_P = \frac{G \cdot M}{(R+h)^2}$$

Onde **R** representa o raio do planeta.

Caso seja considerado um ponto presente na superfície do planeta Terra (fonte do campo gravitacional), $h = 0$ e, assim sendo, tem-se:

$$g_{\text{sup}} = \frac{G \cdot M}{R^2}$$

Observação: o campo gravitacional na superfície da Terra varia tanto com a altitude (diminui em maiores altitudes) como com a latitude (sendo maior nos polos e menor no Equador) por conta do movimento de rotação da Terra. Analise o mapa a seguir; sua escala de cores representa o comportamento do campo gravitacional na superfície da Terra.

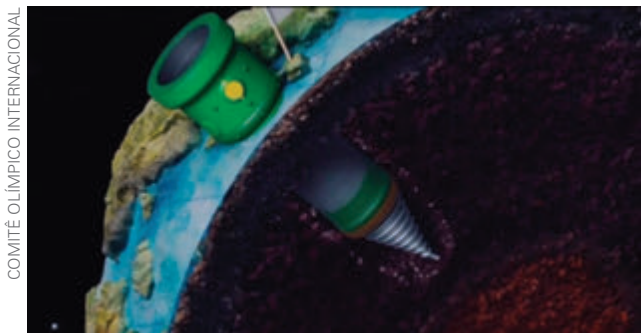


CAMPO GRAVITACIONAL NO INTERIOR DA TERRA

Em uma encenação da cerimônia de encerramento das Olimpíadas Rio-2016, Shinzo Abe, primeiro-ministro japonês, fica preso no trânsito de Tóquio e, para conseguir chegar a tempo ao Rio de Janeiro, se transforma no personagem de games mais famoso de todos os tempos, o Mário. Desse modo, e por meio de um túnel através do interior da Terra, ele vai parar bem no centro do Maracanã.



Na Estação Internacional (International Space Station – ISS), o campo gravitacional da Terra vale cerca de $8,4 \text{ m/s}^2$. A ISS orbita cerca de 340 km acima da superfície da Terra.



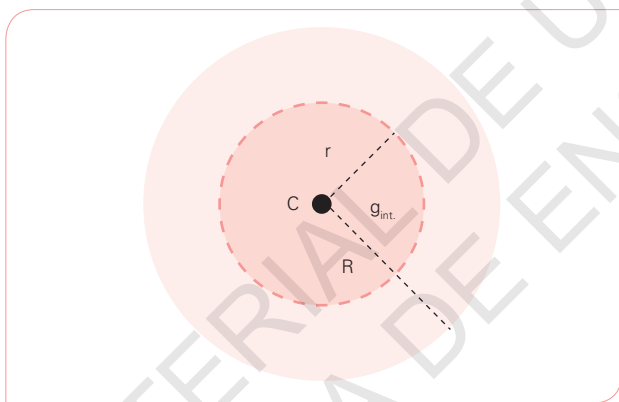
Cenas exibidas na cerimônia de encerramento das Olimpíadas Rio-2016.

Para os curiosos que, ao ver a cena, se perguntaram como seria a ação gravitacional no interior do planeta, segue a análise.

Considere a Terra (de massa M) perfeitamente esférica (com raio R) e homogênea (com densidade ρ); sua massa pode ser expressa da seguinte forma:

$$\rho = \frac{M}{V} \Rightarrow \rho = \frac{M}{\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^3} \Rightarrow M = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^3 \cdot \rho$$

O **teorema de casca**, que pode ser demonstrado com o uso da lei da gravitação universal e do cálculo diferencial, mostra que o campo gravitacional da Terra em um ponto interno, situado a uma distância r , é por conta somente da porção de massa (M_{int}) da esfera de centro C (centro da Terra) e raio $r < R$, como indica a figura.



Substituindo a expressão da massa M na relação do campo gravitacional, tem-se:

$$g_{\text{int}} = \frac{G \cdot M_{\text{int}}}{r^2}$$

$$g_{\text{int}} = \frac{G}{r^2} \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \rho$$

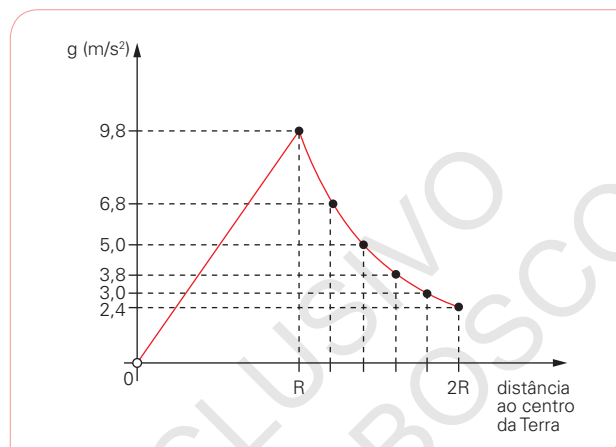
$$g_{\text{int}} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot G \cdot \rho \cdot r$$

Sendo $\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot G \cdot \rho$ constante, tem-se:

$$g_{\text{int}} = k \cdot r$$

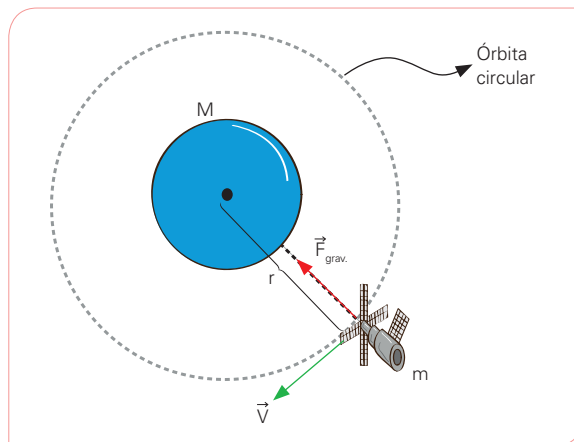
A intensidade do campo gravitacional em pontos internos é diretamente proporcional à distância (r) do ponto ao centro.

Veja, no gráfico a seguir, o comportamento do campo g da Terra para pontos internos, $0 < d < R_{\text{Terra}}$, e externos, $d > R_{\text{Terra}}$. No infinito, a intensidade do campo tende a zero.



SATÉLITE EM ÓRBITA CIRCULAR

O homem alterou sistematicamente a forma com que se comunica com todas as partes do planeta, por meio de satélites artificiais que ele mesmo lançou ao espaço para esse e outros usos. Estudos que envolvem áreas da astronomia, da meteorologia e de diferentes pesquisas sobre o planeta ou o espaço depois dele foram intensificados com a existência desses satélites. Eles percorrem órbitas que, com muito boa aproximação, podem ser tomadas como circulares, de modo que o estudo a seguir considera constante a intensidade de sua velocidade de translação, e o movimento, portanto, como do tipo circular uniforme.



Nessas condições, a força gravitacional é a força resultante centrípeta e, portanto:

$$F_{\text{cp}} = F_g$$

$$m \cdot \frac{v^2}{r} = \frac{G \cdot M \cdot m}{r^2}$$

$$v = \sqrt{\frac{G \cdot M}{r}}$$

A relação anterior, em que r é o raio orbital, determina a velocidade escalar constante de um satélite em órbita circular (velocidade orbital).

O período orbital (T) pode ser determinado conforme segue:

Sendo: $v = \sqrt{\frac{G \cdot M}{r}}$, do movimento circular, temos que

$$v = \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{T}. \text{ Assim sendo:}$$

$$v = \sqrt{\frac{G \cdot M}{r}} \Rightarrow \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{T} = \sqrt{\frac{G \cdot M}{r}}$$

$$T^2 = \frac{4 \cdot \pi^2}{G \cdot M} \cdot r^3$$

Como a relação $\frac{4 \cdot \pi^2}{G \cdot M} = k$ é constante para o mesmo astro central, o raciocínio anterior demonstra a 3ª lei de Kepler.

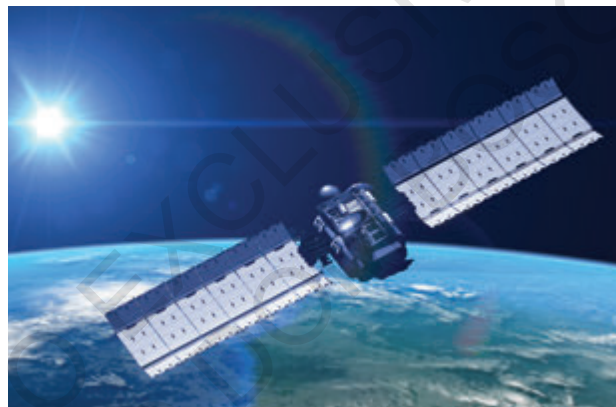
$$T^2 = k \cdot r^3$$

SATÉLITES GEOESTACIONÁRIOS

Os satélites usados nas telecomunicações, por exemplo, devem sempre estar voltados para as antenas que emitem ou lhes enviam sinais. Por isso, os cálculos de órbita desses satélites e, portanto, de sua

velocidade de translação são feitos com base no período de rotação da Terra, que é de 24 horas. Assim, os satélites ditos geostacionários giram no mesmo sentido e com o mesmo período de rotação do planeta: $t_{\text{satélite}} = t_{\text{Terra}} = 24 \text{ h}$, mantendo-se sempre no mesmo posicionamento em relação à Terra.

Para que o satélite seja **geostacionário**, é necessário que sua **órbita** esteja contida no **plano do Equador** terrestre. Além disso, como o período orbital depende exclusivamente do raio orbital ($T^2 = k \cdot r^3$), todos os satélites geostacionários possuem órbita com mesma altitude (aproximadamente 36 000 km) e velocidade linear.



Satélites geostacionários mantêm-se sempre na mesma posição em relação à Terra.

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1. Unicamp – Plutão é considerado um planeta-anão, com massa $M_p = 1 \cdot 10^{22} \text{ kg}$, bem menor que a massa da Terra. O módulo da força gravitacional entre duas massas m_1 e m_2 é dado por $F_g = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$, em que r é a distância entre as massas e G é a constante gravitacional. Em situações que envolvem distâncias astronômicas, a unidade de comprimento comumente utilizada é a unidade astronômica (UA).

a) Considere que, durante a sua aproximação a Plutão, a sonda se encontra em uma posição que está $d_p = 0,15 \text{ UA}$ distante do centro de Plutão e $d_T = 30 \text{ UA}$ distante do centro da Terra. Calcule a razão $\left(\frac{F_{gT}}{F_{gP}}\right)$ entre

o módulo da força gravitacional com que a Terra atrai a sonda e o módulo da força gravitacional com que Plutão atrai a sonda. Caso necessário, use a massa da Terra $M_T = 6 \cdot 10^{24} \text{ kg}$

b) Suponha que a sonda New Horizons estabeleça uma órbita circular com velocidade escalar orbital constante em torno de Plutão com um raio de $r_p = 1 \cdot 10^{-4} \text{ UA}$. Obtenha o módulo da velocidade orbital nesse caso. Se necessário, use a constante gravitacional $G = 6 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$. Ainda, se for o caso, considere 1 UA (unidade astronômica) = $1,5 \cdot 10^8 \text{ km}$.

Resolução

a) Dados:

$$M_p = 1 \cdot 10^{22} \text{ kg}; M_T = 6 \cdot 10^{24} \text{ kg}; d_T = 30 \text{ UA}; d_p = 0,15 \text{ UA}.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{gT} = G \frac{M_T m}{d_T^2} \\ F_{gP} = G \frac{M_p m}{d_p^2} \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{F_{gT}}{F_{gP}} = \frac{G M_T m}{d_T^2} \cdot \frac{d_p^2}{G M_p m} =$$

$$= \frac{6 \cdot 10^{24} \cdot (0,15)^2}{1 \cdot 10^{22} \cdot 30^2} \Rightarrow$$

$$\frac{F_{gT}}{F_{gP}} = 1,5 \cdot 10^{-2}$$

b) Dados:

$$M_p = 1 \cdot 10^{22} \text{ kg}; G = 6 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2;$$

$$r_p = 1 \cdot 10^{-4} \text{ UA} = 1 \cdot 10^{-4} \cdot 1,5 \cdot 10^8 \text{ km} = 1,5 \cdot 10^7 \text{ m}.$$

Nesse caso, a força gravitacional age como resultante centrípeta:

$$F_{\text{Rcent}} = F_g \Rightarrow \frac{m \cdot v^2}{r_p} = \frac{G \cdot M_p \cdot m}{r_p^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v = \sqrt{\frac{G \cdot M_p}{r_p}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 10^{-11} \cdot 1 \cdot 10^{22}}{1,5 \cdot 10^7}} = \sqrt{4 \cdot 10^4} \Rightarrow$$

$$v = 200 \text{ m/s}.$$

► **2. UFRGS** – Assinale com **V** (verdadeiro) ou **F** (falso) as afirmações a seguir.

- () Um objeto colocado em uma altitude de 3 raios terrestres a partir da superfície da Terra sofrerá uma força gravitacional 9 vezes menor do que se estivesse sobre a superfície.
- () O módulo da força gravitacional exercida sobre um objeto pode sempre ser calculado por meio do produto da massa desse objeto e do módulo da aceleração da gravidade do local onde ele se encontra.
- () Objetos em órbitas terrestres não sofrem a ação da força gravitacional.
- () Se a massa e o raio terrestre forem duplicados, o módulo da aceleração da gravidade na superfície terrestre reduz-se à metade.

Resolução

(F) Um objeto colocado em uma altitude de 3 raios terrestres a partir da superfície da Terra sofrerá uma força gravitacional 16 vezes menor do que se estivesse sobre a superfície.

A expressão da força gravitacional é $F = G \frac{M \cdot m}{(R+h)^2}$,

sendo h a altitude e R o raio da Terra. Assim:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Na superfície: } F = G \frac{M \cdot m}{R^2} \\ \text{"Lá em cima": } F' = G \frac{M \cdot m}{(R + 3 \cdot R)^2} = G \frac{M \cdot m}{(4 \cdot R)^2} \end{array} \right\} \Rightarrow \boxed{F' = \frac{F}{16}}$$

(V) O módulo da força gravitacional exercida sobre um objeto pode sempre ser calculado por meio do produto da massa desse objeto e do módulo da aceleração da gravidade do local onde ele se encontra.

$P = m \cdot g$, sendo g o módulo da aceleração da gravidade no local.

(F) Objetos em órbitas terrestres não sofrem a ação da força gravitacional.

É justamente a ação da força gravitacional que mantém os objetos no lugar, exercendo o papel da resultante centrípeta que impede que eles saiam pela tangente.

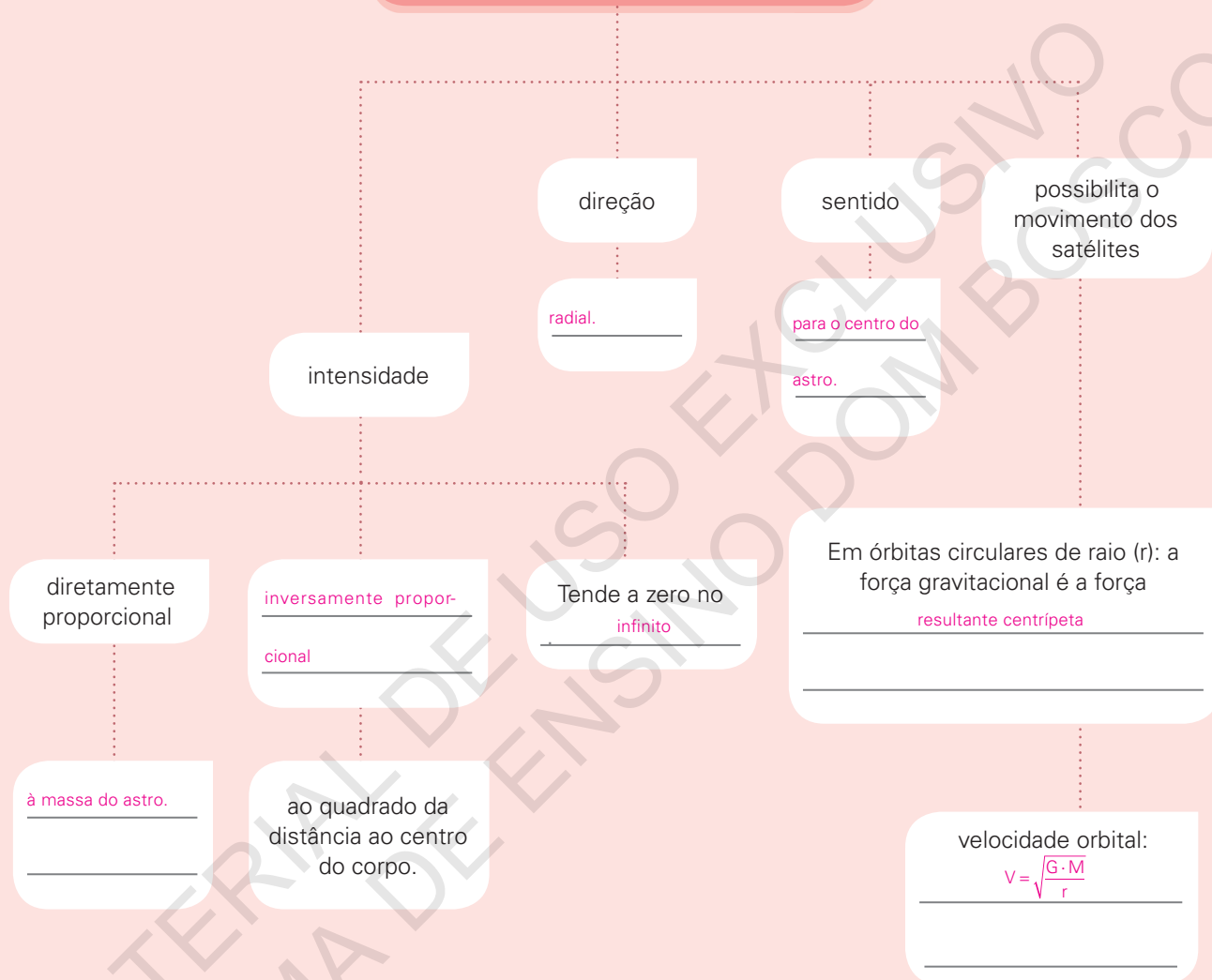
(V) Se a massa e o raio terrestre forem duplicados, o módulo da aceleração da gravidade na superfície terrestre reduz-se à metade.

$$\left\{ \begin{array}{l} g = G \frac{M}{R^2} \\ g' = G \frac{2 \cdot M}{(2 \cdot R)^2} = G \frac{2 \cdot M}{4 \cdot R^2} \Rightarrow g' = G \frac{M}{2 \cdot R^2} \end{array} \right\} \Rightarrow \boxed{g' = \frac{g}{2}}$$

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO
SISTEMA DE ENSINO

ROTEIRO DE AULA

CAMPO GRAVITACIONAL



EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. UFU – Em 2009, foi realizada uma missão de reparos no Telescópio Espacial Hubble, que se encontra em órbita em torno da Terra a, aproximadamente, 600 km de altitude. Isso foi feito para que o equipamento pudesse ainda operar por mais alguns anos. Na ocasião, os astronautas foram vistos em uma condição em que pareciam flutuar do lado de fora do instrumento, levando à ideia equivocada de que estavam sem ação da força gravitacional terrestre.

a) Assumindo que o raio da Terra é aproximadamente igual a 6400 km, a massa de nosso planeta é de $6 \cdot 10^{24}$ kg e a massa do Telescópio Hubble é de $11 \cdot 10^3$ kg, qual é o valor da aceleração da gravidade terrestre a que os astronautas estavam sujeitos durante a missão de reparos?

Considere $G = 6,7 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$

b) Supondo que no Universo somente existisse o planeta Terra, a que distância em relação a ele os astronautas deveriam ser colocados para que a aceleração gravitacional terrestre fosse nula?

a) Teremos:

$$F = \frac{G \cdot M \cdot m}{d^2} \Rightarrow F = \frac{G \cdot M \cdot m}{(R+r)^2}$$

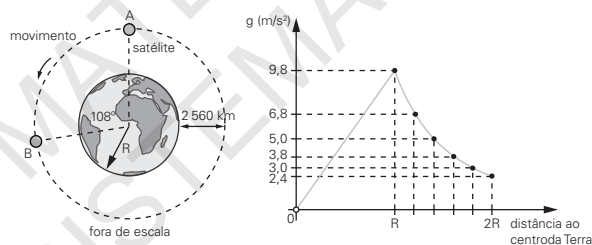
$$F_{\text{terra}} = m \cdot g$$

$$m \cdot g = \frac{G \cdot M \cdot m}{(R+r)^2}$$

$$g = \frac{G \cdot M}{(R+r)^2} \Rightarrow g = \frac{6,7 \cdot 10^{-11} \cdot 6 \cdot 10^{24}}{(7 \cdot 10^6)^2} \Rightarrow g = 8,2 \text{ m/s}^2$$

b) De acordo com a equação $g = \frac{G \cdot M}{(R+r)^2}$, para que a aceleração gravitacional g seja nula, a distância à Terra deve ser infinita, uma vez que g depende do inverso da distância ao quadrado.

2. Famerp – A figura representa um satélite artificial girando ao redor da Terra em movimento circular e uniforme com período de rotação de 140 minutos. O gráfico indica como varia o módulo da aceleração da gravidade terrestre para pontos situados até uma distância $2R$ do centro do planeta, onde $R = 6400$ km é o raio da Terra.



Considere a Terra perfeitamente esférica e as informações contidas na figura e no gráfico.

- a) Calcule o menor intervalo de tempo, em minutos, para que o satélite se movimenta da posição A para a posição B.
- b) Determine o módulo da aceleração da gravidade terrestre, em m/s^2 , na posição em que se encontra o satélite.

a)

$$360^\circ \text{ — } 140 \text{ min}$$

$$108^\circ \text{ — } t$$

$$t = \frac{108 \cdot 140}{360} = 42 \text{ min}$$

b) Distância do satélite ao centro da Terra em função de R :

$$6400 \text{ — } R$$

$$6400 + 2560 \text{ — } d$$

$$d = 1,4 R$$

Pelo gráfico, para $d = 1,4 R$, $g = 5 \text{ m/s}^2$.

3. Uerj – Considere a existência de um planeta homogêneo, situado em uma galáxia distante, e as informações sobre seus dois satélites apresentadas na tabela.

Satélite	Raio da órbita circular	Velocidade orbital
X	$9R$	V_X
Y	$4R$	V_Y

Sabe-se que o movimento de X e Y ocorre exclusivamente sob ação da força gravitacional do planeta.

Determine a razão $\frac{V_X}{V_Y}$.

A força gravitacional age como resultante centrípeta. Sendo r o raio da órbita, m a massa do satélite, M a massa do planeta e G a constante de gravitação universal, têm-se:

$$F_{cp} = F_{grav} \Rightarrow \frac{m \cdot V^2}{r} = \frac{G \cdot M \cdot m}{r^2} \Rightarrow V = \sqrt{\frac{G \cdot M}{r}}$$

Relacionando as duas órbitas:

$$\frac{V_X}{V_Y} = \sqrt{\frac{G \cdot M}{9 \cdot R} \cdot \frac{4 \cdot R}{G \cdot M}} \Rightarrow \frac{V_X}{V_Y} = \frac{2}{3}$$

4. Puccamp – A fim de que um satélite seja utilizado para transmissões de televisão, quando em órbita, deve ter a mesma velocidade angular de rotação da Terra, de modo que se mantenha sempre sobre um mesmo ponto da superfície terrestre.

Considerando R o raio da órbita do satélite, dado em km, o módulo da velocidade escalar do satélite, em km/h , em torno do centro de sua órbita, considerada circular, é

a) $\frac{\pi}{24} \cdot R$.

c) $\pi \cdot R$.

e) $12\pi \cdot R$.

b) $\frac{\pi}{12} \cdot R$.

d) $2\pi \cdot R$.

$$\omega_{\text{Terra}} = \frac{2\pi}{24}$$

$$v = \omega \cdot R = \frac{2\pi}{24} \cdot R \Rightarrow v = \frac{\pi}{12} R$$

5. Unicamp – Recentemente, a agência espacial americana anunciou a descoberta de um planeta a trinta e nove anos-luz da Terra, orbitando uma estrela anã vermelha que faz parte da constelação de Cetus. O novo planeta possui dimensões e massa pouco maiores do que as da Terra e se tornou um dos principais candidatos a abrigar vida fora do Sistema Solar.

Considere esse novo planeta esférico com um raio igual a $R_p = 2R_T$ e massa $M_p = 8M_T$, em que R_T e M_T são o raio e a massa da Terra, respectivamente. Para planetas esféricos de massa M e raio R , a aceleração da gravidade na superfície do planeta é dada por $g = \frac{G \cdot M}{R^2}$, em que G é uma constante universal. Assim, considerando a Terra esférica e usando a aceleração da gravidade na sua superfície, o valor da aceleração da gravidade na superfície do novo planeta será de

- a) 5 m/s^2 . **b) 20 m/s^2 .** c) 40 m/s^2 . d) 80 m/s^2 .

$$g = \frac{G \cdot M}{R^2} \begin{cases} \text{Terra: } g_T = \frac{G \cdot M_T}{R_T^2} = 10 \text{ m/s}^2. \\ \text{Planeta: } g_p = \frac{G(8 \cdot M_T)}{(2 \cdot R_T)^2} = \frac{8 \cdot G \cdot M_T}{4 \cdot R_T^2} = 2 \frac{G \cdot M_T}{R_T^2} = 2(10) \Rightarrow g_p = 20 \text{ m/s}^2. \end{cases}$$

6. UEL

C1-H3

Leia a tirinha a seguir.



Disponível em: <<https://dicasdeciencias.com/2011/03/28/garfield-saca-tudo-de-fisica/>>

Com base no diálogo entre Jon e Garfield expresso na tirinha e nas Leis de Newton para a gravitação universal, assinale a alternativa correta.

- a)** Jon quis dizer que Garfield precisa perder massa, e não peso, ou seja, Jon tem a mesma ideia de um comerciante que usa uma balança comum.
b) Jon sabe que, quando Garfield sobe em uma balança, ela mede exatamente sua massa com intensidade definida em quilograma-força.
c) Jon percebeu a intenção de Garfield, mas sabe que, pela constante de gravitação universal "g", o peso do gato será o mesmo em qualquer planeta.
d) Quando Garfield sobe em uma balança, ela mede exatamente seu peso aparente, visto que o ar funciona como um fluido hidrostático.
e) Garfield sabe que, se ele for a um planeta cuja gravidade seja menor, o peso será menor, pois nesse planeta a massa aferida será menor.

Análise das alternativas:

[A] Verdadeira.

[B] Falsa: A balança mede massa em quilogramas. Quilograma-força é uma unidade de força.

[C] Falsa: É a massa do gato que é a mesma em qualquer planeta.

[D] Falsa: As balanças medem massa.

[E] Falsa: Neste caso, o peso seria menor pelo fato de a gravidade ser menor, mas não alteraria a massa do Garfield.

Competência: Compreender as ciências naturais e as tecnologias a elas associadas como construções humanas, percebendo seus papéis nos processos de produção e no desenvolvimento econômico e social da humanidade.

Habilidade: Confrontar interpretações científicas com interpretações baseadas no senso comum, ao longo do tempo ou em diferentes culturas.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. Uece – A força da gravidade sobre uma massa m acima da superfície e a uma distância d do centro da Terra é dada por $\frac{mGM}{d^2}$, onde M é a massa da Terra e G é a constante de gravitação universal. Assim, a aceleração da gravidade sobre o corpo de massa m pode ser corretamente escrita como

- a) $\frac{mG}{d^2}$ b) $\frac{GM}{d^2}$ c) $\frac{mGM}{d^2}$ d) $\frac{mM}{d^2}$

8. UEPG – Sobre os movimentos verticais num local onde a aceleração da gravidade vale 10 m/s^2 , assinale o que for correto.

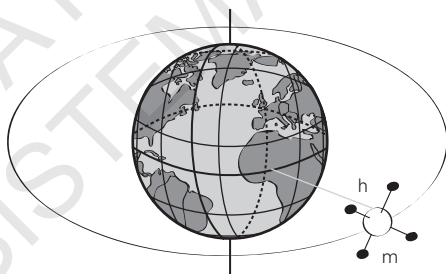
- 01)** Desprezando os efeitos da resistência do ar, um corpo, quando cair, estará em queda livre e sua velocidade será constante.
- 02)** Dois livros caem de uma mesma prateleira de uma estante. O livro de 500 páginas, por possuir maior massa em relação ao livro de 200 páginas, chegará primeiro ao chão.
- 04)** A queda livre dos corpos, no vácuo, é um movimento uniformemente variado.
- 08)** No lançamento vertical para cima, no vácuo, por conta da aceleração da gravidade, a velocidade do corpo diminui a uma taxa de 10 m/s durante a subida e o corpo adquire movimento retardado.
- 16)** O movimento de um corpo em queda livre no alto de uma montanha sofrerá maior influência da gravidade do que um corpo ao nível do mar.

9. UFJF – Um satélite geoestacionário, é um satélite que se move em uma órbita circular acima do Equador da Terra seguindo o movimento de rotação do planeta em uma altitude de $35\,786 \text{ km}$. Nessa órbita, o satélite parece parado em relação a um observador na Terra. Satélites de comunicação, como os de TV por assinatura, são geralmente colocados nessas órbitas geoestacionárias. Assim, as antenas colocadas nas casas dos consumidores podem ser apontadas diretamente para o satélite a fim de receber o sinal.

Sobre um satélite geoestacionário é correto afirmar que:

- a)** a força resultante sobre ele é nula, pois a força centrípeta é igual à força centrífuga.
- b)** como no espaço não existe gravidade, ele permanece em repouso em relação a um ponto fixo na superfície da Terra.
- c)** o satélite somente permanece em repouso em relação à Terra se mantiver acionados jatos propulsores no sentido oposto ao do movimento de queda.
- d)** a força de atração gravitacional da Terra é a responsável por ele estar em repouso em relação a um ponto fixo na superfície do planeta.
- e)** por estar fora da atmosfera terrestre, seu peso é nulo.

10. Famerp – Um satélite de massa m foi colocado em órbita ao redor da Terra a uma altitude h em relação à superfície do planeta, com velocidade angular ω .



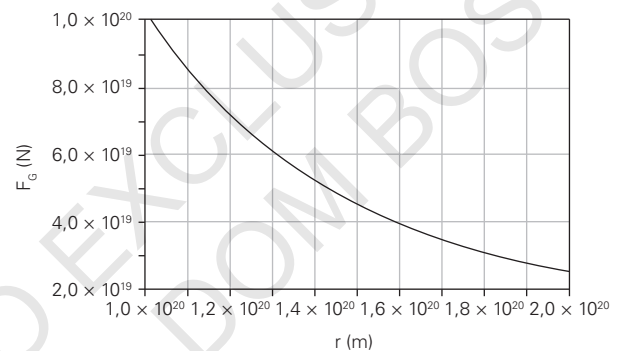
www.inpe.br. (Adaptado)

Para que um satélite de massa $2m$ possa ser colocado em órbita ao redor da Terra, na mesma altitude h , sua velocidade angular deve ser

- a)** $\frac{3 \cdot \omega}{4}$ **c)** $2 \cdot \omega$ **e)** $\frac{4 \cdot \omega}{3}$
- b)** ω **d)** $\frac{\omega}{2}$

11. Unicamp – Observações astronômicas indicam que as velocidades de rotação das estrelas em torno de galáxias são incompatíveis com a distribuição de massa visível das galáxias, sugerindo que grande parte da matéria do Universo é escura, isto é, matéria que não interage com a luz. O movimento de rotação das estrelas resulta da força de atração gravitacional que as galáxias exercem sobre elas.

A curva no gráfico a seguir mostra como a força gravitacional $F_G = \frac{G \cdot M \cdot m}{r^2}$, que uma galáxia de massa M exerce sobre uma estrela externa a ela, deve variar em função da distância r da estrela em relação ao centro da galáxia, considerando-se $m = 1,0 \cdot 10^{30} \text{ kg}$ para a massa da estrela. A constante de gravitação G vale $6,7 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$.



- a)** Determine a massa M da galáxia.
- b)** Calcule a velocidade de uma estrela em órbita circular a uma distância $r = 1,6 \cdot 10^{20} \text{ m}$ do centro da galáxia.

12. Acafe – A Nasa vem noticiando a descoberta de novos planetas em nosso Sistema Solar e, também, fora dele. Independente de estarem mais próximos ou mais afastados de nós, eles devem obedecer às leis da gravitação e da física. Dessa forma, vamos imaginar um planeta (P) girando em volta de sua estrela (E), ambos com as características apresentadas na tabela a seguir.

Objeto Característica	Planeta (P)	Estrela (E)
Massa	Dobro da massa da Terra	Dobro da massa do Sol
Raio do objeto	Metade do raio da Terra	Mesmo raio do Sol
Raio da órbita (distância entre os centros de massa)	Triplo do raio da órbita da Terra ao Sol	---

Utilize o que foi exposto e seus conhecimentos físicos para colocar **V** quando **verdadeiro** ou **F** quando **falso** nas proposições a seguir.

- () A gravidade na superfície do planeta P é 8 vezes maior que a gravidade da superfície da Terra.
- () A força gravitacional entre o planeta P e sua estrela (E) é $\frac{4}{9}$ da força gravitacional entre a Terra e o Sol.
- () A gravidade na superfície do planeta P é 4 vezes maior que a gravidade da superfície da Terra.

- () A velocidade orbital (linear) do planeta P em torno da estrela (E) é $\sqrt{\frac{2}{3}}$ da velocidade orbital da Terra em torno do Sol.
- () A força gravitacional entre o planeta P e sua estrela (E) é maior que a força gravitacional entre a Terra e o Sol.

A sequência correta, de cima para baixo, é:

- a) F – F – V – V – V c) F – V – V – F – F
b) V – V – F – V – F d) V – F – V – F – V

- 13. UEMG** – No poema “O que se afasta”, o eu poético de *Sísifo desce a montanha* afirma, por comparação, que as coisas perdem seu peso e sua gravidade, percepção que está relacionada ao envelhecimento do homem:

De repente você começa a se despedir

das pessoas, paisagens e objetos

como se um trem

— fosse se afastando [...].

Aproveitando o ensino literário, imagine um objeto próximo à superfície da Terra e uma situação hipotética, porém sem abrir mão de seus importantes conhecimentos de física.

Supondo a possibilidade de haver alteração no raio e / ou na massa da Terra, assinale a opção que traz uma hipótese que justificaria a diminuição do peso desse objeto, que se mantém próximo à superfície do planeta:

- a) diminuição do raio da Terra e manutenção de sua massa.
b) aumento da massa da Terra e manutenção de seu raio.
c) aumento do raio da Terra e diminuição de sua massa, na mesma proporção.
d) diminuição do raio da Terra e aumento de sua massa, na mesma proporção.

- 14. Fuvest** – A Estação Espacial Internacional orbita a Terra em uma altitude h . A aceleração da gravidade terrestre dentro dessa espaçonave é

Note e adote:

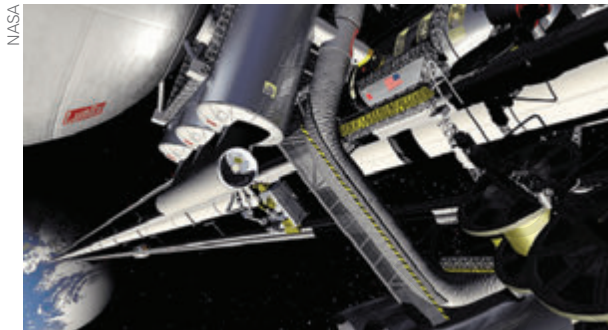
- g_T é a aceleração da gravidade na superfície da Terra.

- R_T é o raio da Terra.

- a) nula. c) $g_T \left(\frac{R_T - h}{R_T} \right)^2$ e) $g_T \left(\frac{R_T - h}{R_T + h} \right)^2$
b) $g_T \left(\frac{h}{R_T} \right)^2$ d) $g_T \left(\frac{R_T}{R_T + h} \right)^2$

- 15. UFSC** – Quer subir de elevador até o espaço? Apesar de essa ideia já ter surgido há mais de 100 anos, um avanço em nanotecnologia pode significar que iremos de elevador até o espaço com um cabo feito de diamante ou de carbono. A empresa japonesa de construção Obayashi investiga a viabilidade de um elevador espacial, visando a uma estação espacial ligada ao Equador por um cabo de 96 000 quilômetros feito de nanotecnologia de carbono, conforme a figura a seguir. A estação espacial orbitaria a Terra numa posi-

ção geoestacionária e carros robóticos com motores magnéticos levariam sete dias para alcançar a estação espacial, transportando carga e pessoas até o espaço por uma fração dos custos atuais.



- 01)** a estação espacial japonesa deve possuir movimento circular ao redor da Terra com velocidade linear igual à velocidade linear de rotação da superfície do planeta.
- 02)** as pessoas que visitarem a estação espacial poderão flutuar no seu interior, porque lá não haverá atração gravitacional.
- 04)** a velocidade angular da estação espacial deve ser igual à velocidade angular de rotação da Terra.
- 08)** um carro robótico terá, no trajeto da Terra até a estação espacial, vetor velocidade constante.
- 16)** o período do movimento da estação espacial ao redor da Terra deve ser igual ao período de rotação diária da Terra.
- 32)** a força de atração gravitacional da Terra será a força centrífuga, responsável por manter a estação espacial em órbita.
- 64)** o valor da aceleração da gravidade (g) na posição da estação espacial terá um módulo menor que seu valor na superfície da Terra.

- 16. UFPR** – Em 18 de junho de 2016, foi lançado o foguete Ariane 5 ECA, que transportava o satélite de comunicação EchoStar XVIII, com o objetivo de transferi-lo para uma órbita geoestacionária. As órbitas geoestacionárias são aquelas em que o período de revolução do satélite é de 24 h, o que corresponde a seu posicionamento sempre sobre um mesmo ponto da superfície terrestre no plano do Equador. Considere o raio R_1 da órbita desse satélite como sendo de 42 000 km.

Em 15 de setembro de 2016, foi lançado o foguete Vega, transportando os satélites SkySats, denominados de 4 a 7 (satélites de uma empresa do Google), para mapeamento com alta precisão da Terra inteira. A altitude da órbita desses satélites, em relação à superfície terrestre, é de 500 km. Considerando o raio da Terra como sendo de aproximadamente 6 500 km e que a velocidade de um satélite, tangencial à órbita, pode ser calculada pela raiz quadrada do produto da constante gravitacional G pela massa M da Terra dividida pelo raio da órbita do satélite, determine:

(Obs.: não é necessário o conhecimento dos valores de G e M e todos os cálculos devem ser claramente apresentados. Alguns dos valores estão com aproximações por conveniência de cálculo. Não é necessário determinar os valores das raízes quadradas; basta deixar os valores numéricos, após os devidos cálculos, indicados no radical.)

- a) O valor numérico da velocidade V_2 do satélite EchoStar XVIII, em relação à velocidade V_1 de um dos satélites SkySats.
- b) O valor do período T_2 dos satélites SkySats, em horas, por aplicação da terceira lei de Kepler.

17. Fuvest – A notícia “Satélite brasileiro cai na Terra após lançamento falhar”, veiculada pelo jornal *O Estado de S. Paulo* em 10/12/2013, relata que o satélite CBERS-3, desenvolvido em parceria entre Brasil e China, foi lançado no espaço a uma altitude de 720 km (menor do que a planejada) e com uma velocidade abaixo da necessária para colocá-lo em órbita em torno da Terra. Para que o satélite pudesse ser colocado em órbita circular na altitude de 720 km, o módulo de sua velocidade (com direção tangente à órbita) deveria ser de, aproximadamente,

Note e adote:

- raio da Terra = $6 \cdot 10^3$ km
- massa da Terra = $6 \cdot 10^{24}$ kg
- constante da gravitação universal $G = 6,7 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2/(\text{s}^2 \text{ kg})$

- a) 61 km/s
b) 25 km/s
c) 11 km/s
d) 7,7 km/s
e) 3,3 m/s

ESTUDO PARA O ENEM**18. Enem**

C4-H12

Acompanhando a intenção da burguesia renascentista de ampliar seu domínio sobre a natureza e sobre o espaço geográfico, através da pesquisa científica e da invenção tecnológica, os cientistas também iriam se atirar nessa aventura, tentando conquistar a forma, o movimento, o espaço, a luz, a cor e mesmo a expressão e o sentimento.

SEVCENKO, N. *O Renascimento*. Campinas: Unicamp, 1984.

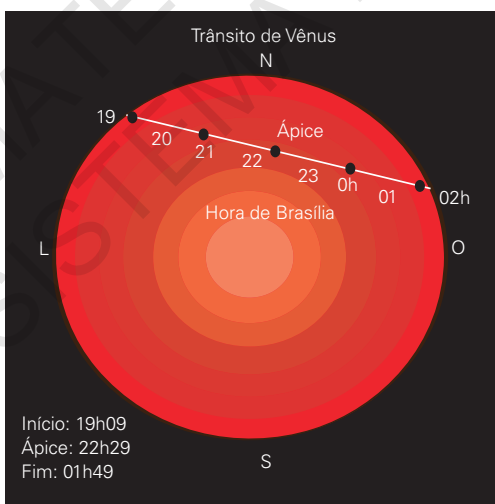
O texto apresenta um espírito de época que afetou também a produção artística, marcada pela constante relação entre

- a) fé e misticismo.
b) ciência e arte.
c) cultura e comércio.
d) política e economia.
e) astronomia e religião.

19. Unesp

C6-H20

No dia 5 de junho de 2012, pôde-se observar, de determinadas regiões da Terra, o fenômeno celeste chamado trânsito de Vênus, cuja próxima ocorrência se dará em 2117.



Tal fenômeno só é possível porque as órbitas de Vênus e da Terra, em torno do Sol, são aproximadamente coplanares, e porque o raio médio da órbita de Vênus é menor que o da Terra.

Portanto, quando comparado com a Terra, Vênus tem

- a) o mesmo período de rotação em torno do Sol.
b) menor período de rotação em torno do Sol.
c) menor velocidade angular média na rotação em torno do Sol.
d) menor velocidade escalar média na rotação em torno do Sol.
e) menor frequência de rotação em torno do Sol.

20. Enem

C6-H20

Observações astronômicas indicam que no centro de nossa galáxia, a Via Láctea, provavelmente exista um buraco negro cuja massa é igual a milhares de vezes a massa do Sol. Uma técnica simples para estimar a massa desse buraco negro consiste em observar algum objeto que orbite ao seu redor e medir o período de uma rotação completa, T , bem como o raio médio, R , da órbita do objeto, que supostamente se desloca, com boa aproximação, em movimento circular uniforme. Nessa situação, considere que a força resultante, pelo movimento circular, é igual, em magnitude, à força gravitacional que o buraco negro exerce sobre o objeto.

A partir do conhecimento do período de rotação, da distância média e da constante gravitacional, G , a massa do buraco negro é

- a) $\frac{4\pi^2 \cdot R^2}{G \cdot T^2}$
b) $\frac{\pi^2 \cdot R^3}{2 \cdot G \cdot T^2}$
c) $\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot R^3}{G \cdot T^2}$
d) $\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot R^3}{G \cdot T^2}$
e) $\frac{\pi^2 \cdot R^5}{G \cdot T^2}$

49

EQUILÍBRIO DE PONTO MATERIAL

- Conceito de ponto material e corpo extenso
- Condição de equilíbrio para ponto material
- Soma de vetores

HABILIDADES

- Diferenciar os tipos de equilíbrio.
- Caracterizar o equilíbrio de um corpo extenso e de um ponto material.
- Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.
- Relacionar propriedades físicas, químicas ou biológicas de produtos, sistemas ou procedimentos tecnológicos às finalidades a que se destinam.
- Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes.

KITIPHONGPHO30/SHUTTERSTOK



WELCOMIA/SHUTTERSTOK

O mesmo automóvel que pode ser considerado um ponto material ao rodar por uma rodovia deve ser analisado como um corpo extenso no momento de uma baliza.

Na Física, chamamos de **ponto material** (ou partícula) todo corpo que pode ter suas dimensões desprezadas por serem muito pequenas quando comparadas às demais medidas envolvidas em um problema. Porém, caso suas dimensões interfiram na análise da situação-problema, tal corpo deverá ser considerado um **corpo extenso**. É importante ressaltar que tais conceitos são relativos, ou seja, dependem do referencial (cenário) considerado.

O planeta Terra, por exemplo, em seu movimento de translação ao redor do Sol, é considerado um ponto material em movimento; já em seu movimento rotacional, deve ser considerado um corpo extenso.

Assim, o movimento de um ponto material, quando ocorre, será sempre em relação a um dado referencial, tendo sua posição variada no decorrer do tempo. Dessa forma, a discussão sobre o equilíbrio de ponto material é relativamente simples e será apresentada a seguir.

Equilíbrio de ponto material

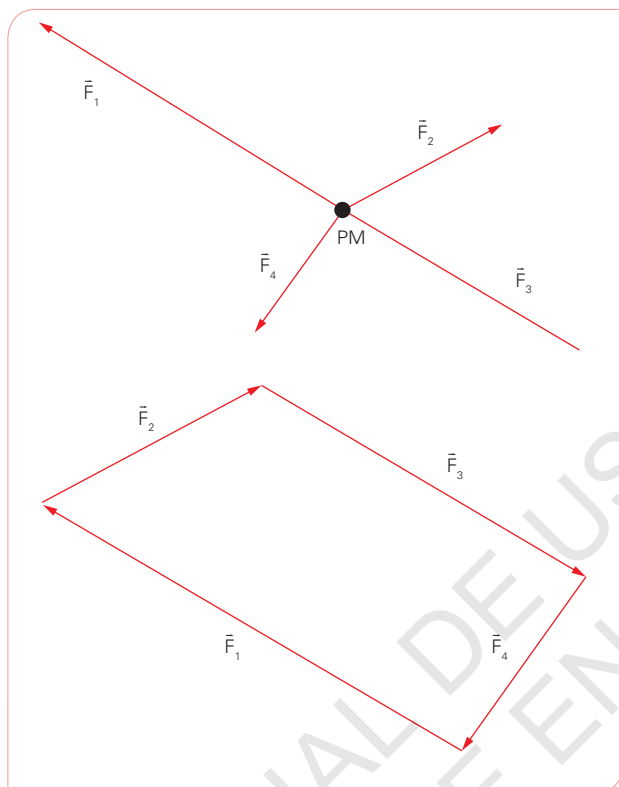
Diz-se que um corpo está em equilíbrio quando seu estado de movimento não se altera. Isso acontece no repouso (equilíbrio estático) e no movimento retilíneo uniforme (MRU – equilíbrio dinâmico), apenas – de acordo com o princípio da inércia, em ambas as situações a resultante das forças que agem sobre o corpo é nula.

É importante ressaltar que as diversas interações presentes na natureza são as causas das alterações no estado de movimento dos corpos e, em consequência, na ausência dessas ações (ou quando sua resultante for nula) o corpo tende naturalmente a manter sua velocidade vetorial constante. Isso é inércia! Ou seja, se a força resultante sobre uma partícula for nula, pode-se afirmar que ela certamente está em repouso ou em MRU.

Portanto, equilíbrio não é sinônimo de repouso. Todo corpo em repouso está em equilíbrio, porém nem todo corpo em equilíbrio está em repouso – pode estar em MRU ou em movimento de rotação uniforme, no caso dos corpos extensos.

Condição de equilíbrio translacional: $\vec{F}_R = \vec{0}$

$$\vec{F}_R = \vec{0} \Leftrightarrow \vec{V} = \text{constante} \Rightarrow \begin{cases} \vec{V} = \vec{0} \text{ (repouso)} \\ \vec{V} \neq \vec{0} \text{ (MRU)} \end{cases}$$



Ponto material (PM) sujeito à ação de quatro forças cuja resultante é nula.

Caso todas as forças que atuam sobre uma partícula sejam decompostas em direções perpendiculares, pode-se discutir o equilíbrio em cada um dos eixos de maneira independente.

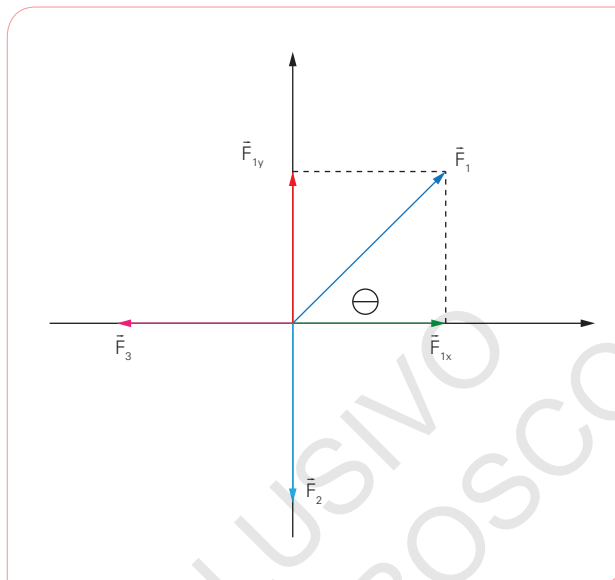
Condição de equilíbrio translacional em x:

$$\sum \vec{F}_x = \vec{0}$$

Condição de equilíbrio translacional em y:

$$\sum \vec{F}_y = \vec{0}$$

Considere que sobre uma partícula em equilíbrio atuam três forças coplanares: \vec{F}_1, \vec{F}_2 e \vec{F}_3 .



Após a decomposição da força \vec{F}_1 nas direções x e y, a aplicação das condições de equilíbrio nos leva às seguintes relações:

$$\sum \vec{F}_x = \vec{0} \Rightarrow F_{1x} = F_3 \Rightarrow F_1 \cdot \cos \theta = F_3$$

$$\sum \vec{F}_y = \vec{0} \Rightarrow F_{1y} = F_2 \Rightarrow F_1 \cdot \sin \theta = F_2$$

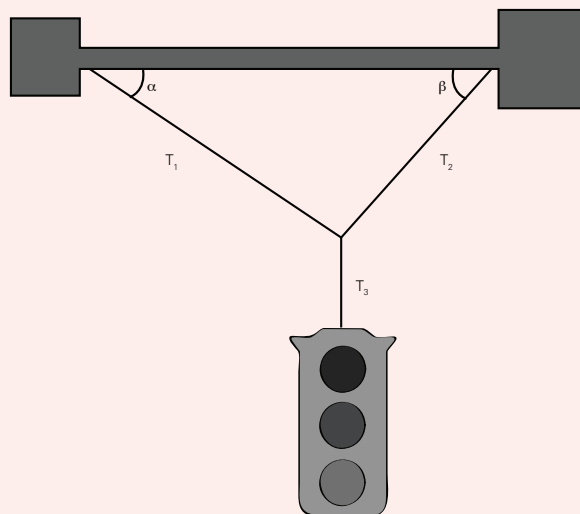
EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1. Uema

O Shopping São Luís passou por um processo de expansão, com um investimento da ordem de 100 milhões de reais. A obra foi entregue ao público em abril de 2014.

Na parte interna do shopping, para controle do trânsito, foi instalado um semáforo que pesa 80 N, conforme figura ao lado.

Fonte: REVISTA FECOMÉRCIO. 60 anos o Estado do Maranhão. São Luís: Fecomércio, 2013. (Adaptado)

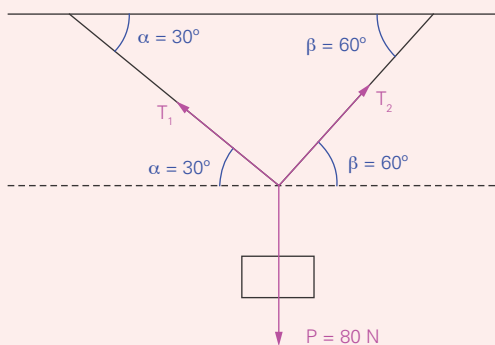


Considere a figura para responder às perguntas.

- a) Para o caso em que $\alpha = 30^\circ$ e $\beta = 60^\circ$, determine as tensões sofridas pelos cabos 1, 2 e 3, sendo $\sin 30^\circ = 1/2$, $\sin 60^\circ = (\sqrt{3})/2$, $\cos 30^\circ = (\sqrt{3})/2$ e $\cos 60^\circ = 1/2$.
- b) Calcule em qual situação as tensões nos cabos 1 e 2 podem ser iguais.

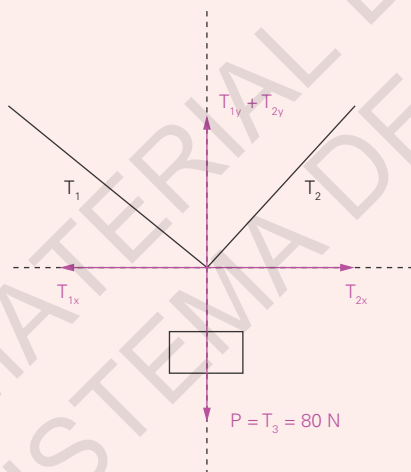
Resolução

a) Tendo como base as informações contidas no enunciado, bem como que $\alpha = 30^\circ$ e $\beta = 60^\circ$, pode ser feito um esquema das forças que estão atuando no sistema.



Nesse esquema, não foi representada a tração T_3 , pois essa tração é exatamente o valor do peso do semáforo. Logo, $T_3 = 80 \text{ N}$.

Decompondo as trações nos fios, tem-se:



Onde,

$$\begin{cases} T_{1x} = T_1 \cdot \cos(30^\circ) \\ T_{1y} = T_1 \cdot \sin(30^\circ) \\ T_{2x} = T_2 \cdot \cos(60^\circ) \\ T_{2y} = T_2 \cdot \sin(60^\circ) \end{cases}$$

Para o equilíbrio estático do sistema, é necessário que $\Sigma F = 0$. Para isso, duas condições devem ser satisfeitas:

1) O somatório das forças no eixo x deve ser igual a zero ($\Sigma F_x = 0$). Dessa forma,

$$T_1 \cdot \cos(30^\circ) = T_2 \cdot \cos(60^\circ)$$

$$T_1 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = T_2 \cdot \frac{1}{2}$$

$$T_2 = T_1 \cdot \sqrt{3}$$

2) O somatório das forças no eixo y deve ser igual a zero ($\Sigma F_y = 0$). Dessa forma,

$$T_1 \cdot \sin(30^\circ) + T_2 \cdot \sin(60^\circ) = T_3$$

$$T_1 \cdot \frac{1}{2} + T_2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 80$$

Substituindo $T_2 = T_1 \cdot \sqrt{3}$:

$$T_1 \cdot \frac{1}{2} + (T_1 \cdot \sqrt{3}) \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 80$$

$$\frac{T_1}{2} + \frac{3 \cdot T_1}{2} = 80$$

$$4 \cdot T_1 = 160$$

$$T_1 = 40 \text{ N}$$

Com o valor de T_1 , pode-se chegar ao valor de T_2 :

$$T_2 = T_1 \cdot \sqrt{3}$$

$$T_2 = 40 \cdot \sqrt{3} \text{ N}$$

Dessa forma, os valores das tensões sofridas nos cabos 1, 2 e 3 são:

$$\begin{cases} T_1 = 40 \text{ N} \\ T_2 = 40 \cdot \sqrt{3} \text{ N} \\ T_3 = 80 \text{ N} \end{cases}$$

b) Analisando a equação do eixo x:

$$T_1 \cdot \cos(\alpha) = T_2 \cdot \cos(\beta)$$

$$T_1 = T_2 \Leftrightarrow \cos(\alpha) = \cos(\beta)$$

Logo,

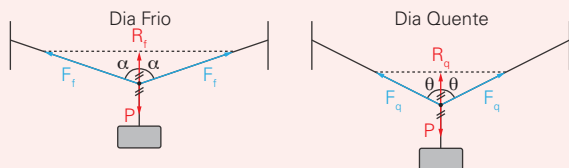
$$\alpha = \beta$$

► **2. Uece** – Um varal de roupas é construído com um cabo de aço longo, muito fino e flexível. Em dias de calor intenso, há dilatação térmica do cabo. Assim, para uma dada massa presa ao centro do varal, a tensão no cabo de aço comparada à de um dia frio seria maior, menor ou a mesma? Justifique sua opção.

Resolução

A tensão no cabo de aço é menor em um dia quente, se comparada àquela em um dia frio.

A figura ilustra as duas situações.



Somente pela análise da figura, já se percebe que, em um dia quente, a intensidade da tração no cabo de aço é menor: $F_q < F_f$. Basta comparar os comprimentos das respectivas setas.

Analisando a situação de equilíbrio, também pode-se fazer:

$$\left\{ \begin{array}{l} R_f = P \Rightarrow 2 \cdot F_f \cos \alpha = P \\ R_q = P \Rightarrow 2 \cdot F_q \cos \theta = P \end{array} \right\} \Rightarrow 2 \cdot F_f \cdot \cos \alpha = 2 \cdot F_q \cdot \cos \theta \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{F_q}{F_f} = \frac{\cos \alpha}{\cos \theta}.$$

$$\text{Como: } \alpha > \theta \Rightarrow \cos \alpha < \cos \theta \Rightarrow \boxed{F_q < F_f}.$$

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

ROTEIRO DE AULA

PONTO MATERIAL

Dimensões desconsideráveis

Conceito

relativo

Na horizontal

$$\underline{\underline{\sum \vec{F}_x = \vec{0}}}$$

Condições de equilíbrio

Princípio

da inércia

Na horizontal

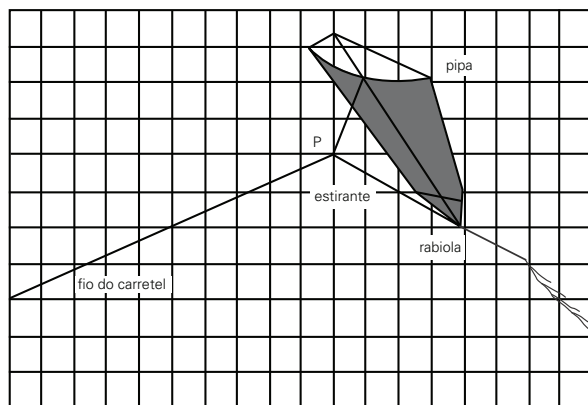
$$\underline{\underline{\sum \vec{F}_y = \vec{0}}}$$

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. CPS – Há muitos conceitos físicos no ato de empinar pipas. Talvez por isso essa brincadeira seja tão divertida.

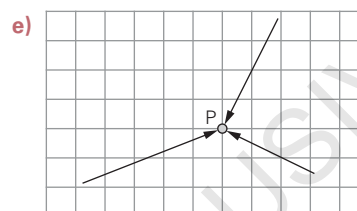
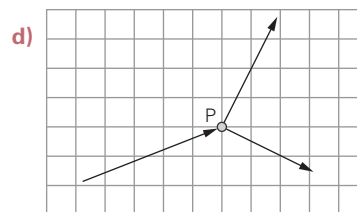
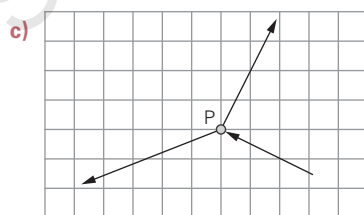
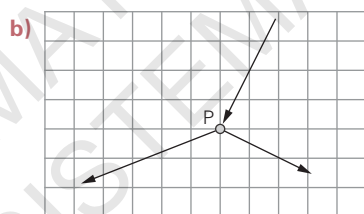
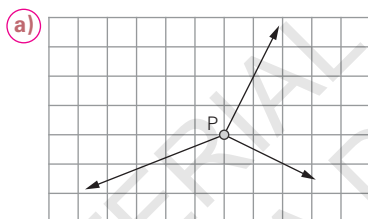
Uma questão física importante para que uma pipa ganhe altura está na escolha certa do ponto em que a linha do carretel é amarrada ao estirante (ponto P), conforme a figura.



Na figura, a malha quadriculada coincide com o plano que contém a linha, o estirante e a vareta maior da pipa.

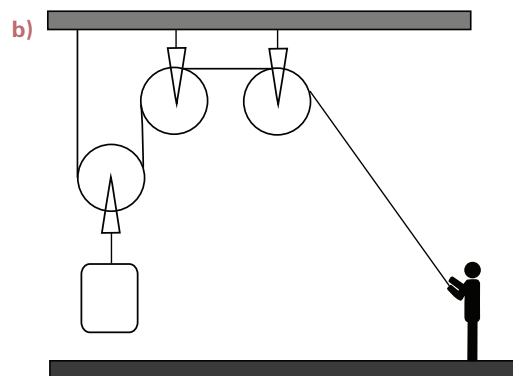
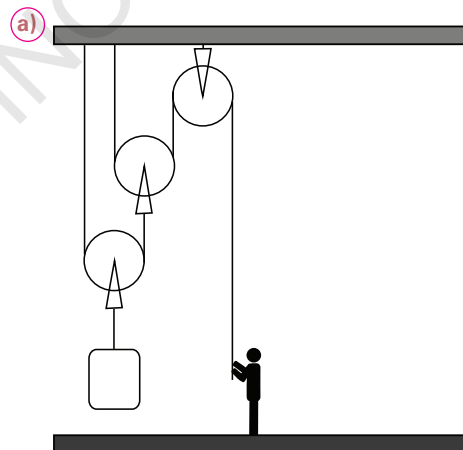
O estirante é um pedaço de fio amarrado à pipa com um pouco de folga e em dois pontos: no ponto em que as duas varetas maiores se cruzam e no extremo inferior da vareta maior, junto à rabiola.

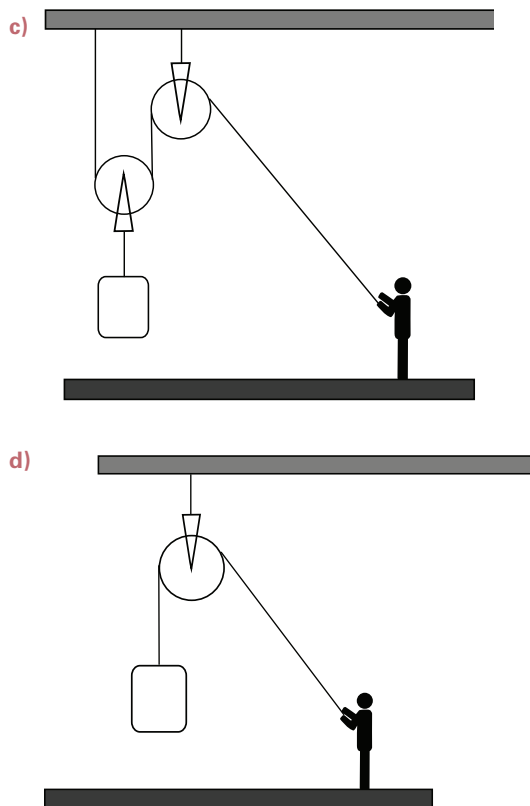
Admitindo que a pipa esteja pairando no ar, imóvel em relação ao solo, e tendo como base a figura, os vetores que indicam as forças atuantes sobre o ponto P estão bem representados em



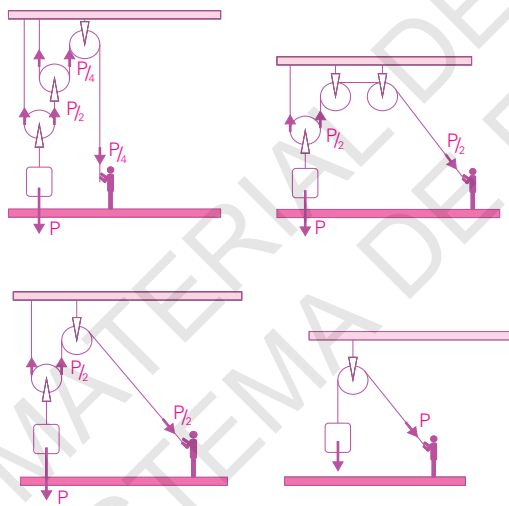
É a única opção que indica de maneira correta os sentidos das forças atuantes no ponto P, embora não tenha havido rigor na representação dos módulos dessas forças, uma vez que a resultante não está rigorosamente nula.

2. CFTMG – Quatro funcionários de uma empresa receberam a tarefa de guardar caixas pesadas de 100 kg em prateleiras elevadas de um depósito. Como nenhum deles conseguiria suspender sozinho pesos tão grandes, cada um resolveu montar um sistema de roldanas para a tarefa. O dispositivo que exigiu menos força do operário que o montou foi





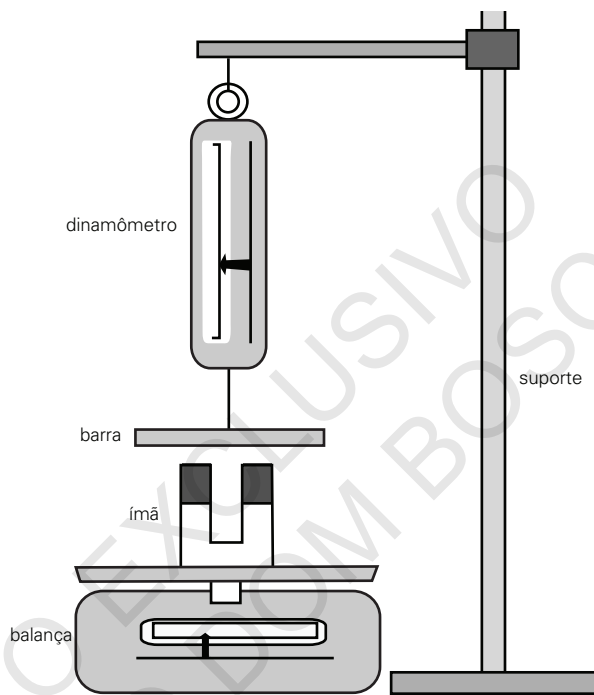
Num mesmo fio, a tração tem a mesma intensidade em todos os pontos. Quando há uma polia móvel, a intensidade da tração fica dividida por dois. A figura ilustra as situações.



Nota-se que o primeiro dispositivo é o que exige do operário força de menor intensidade.

3. Unifesp – De posse de uma balança e de um dinamômetro (instrumento para medir forças), um estudante decide investigar a ação da força magnética de um ímã em forma de U sobre uma pequena barra de ferro. Inicialmente, distantes um do outro, o estudante coloca o ímã sobre uma balança e anota a indicação de sua massa. Em seguida, ainda distante do ímã, prende a barra ao dinamômetro e anota a indicação da força

medida por ele. Por fim, monta o sistema de tal forma que a barra de ferro, presa ao dinamômetro, interaja magneticamente com o ímã, ainda sobre a balança, como mostra a figura.

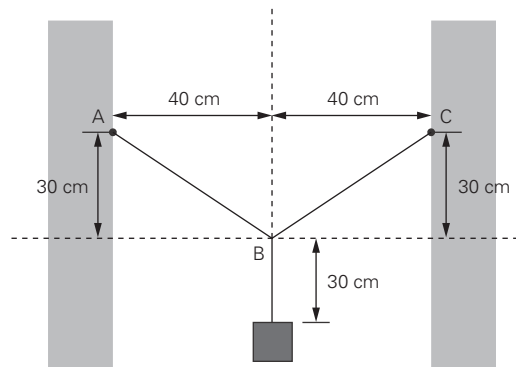


A balança registra, agora, uma massa menor do que a registrada na situação anterior, e o dinamômetro registra uma força equivalente à:

- Força peso da barra.
- Força magnética entre o ímã e a barra.
- Soma da força peso da barra com metade do valor da força magnética entre o ímã e a barra.
- Soma da força peso da barra com a força magnética entre o ímã e a barra.
- Soma das forças peso da barra e magnética entre o ímã e a barra, menos a força elástica da mola do dinamômetro.

O dinamômetro registra a força de tração sobre ele, que, na configuração adotada, é igual à soma da força peso da barra com a força magnética entre ela e o ímã.

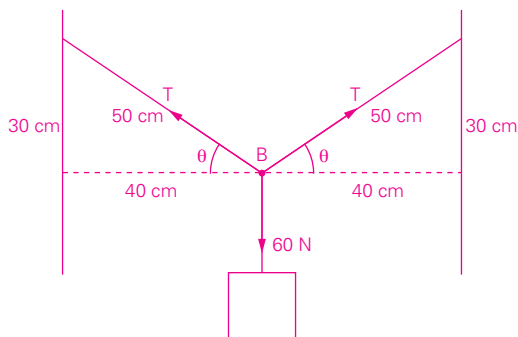
4. Eear – Um pedreiro decidiu prender uma luminária de 6 kg entre duas paredes. Para isso dispunha de um fio ideal de 1,3 m, que foi utilizado totalmente e sem nenhuma perda, conforme pode ser observado na figura.



Sabendo que o sistema está em equilíbrio estático, determine o valor, em N, da tração que existe no pedaço \overline{AB} do fio ideal preso à parede. Adote o módulo da aceleração da gravidade no local igual a 10 m/s^2 .

- a) 30
b) 40
c) 50
d) 60

Isolando o ponto B, temos:



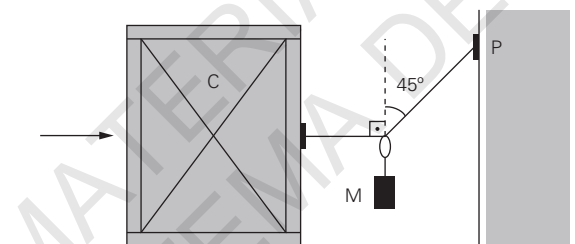
$$2 \cdot T \cdot \sin \theta = m \cdot g$$

$$2 \cdot T \cdot \frac{3}{5} = 6 \cdot 10$$

$$\therefore T = 50 \text{ N}$$

5. Fuvest – Para vencer o atrito e deslocar um grande contêiner C na direção indicada, é necessária uma força $F = 500 \text{ N}$.

Na tentativa de movê-lo, blocos de massa $m = 15 \text{ kg}$ são pendurados em um fio, que é esticado entre o contêiner e o ponto P na parede, como na figura. Para movimentar o contêiner, é preciso pendurar no fio, no mínimo,

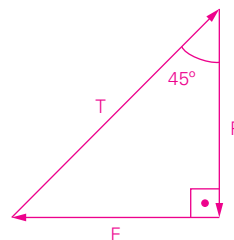


- a) 1 bloco
b) 2 blocos
c) 3 blocos
d) 4 blocos
e) 5 blocos

Obs.: $\sin 45^\circ = \cos 45^\circ \approx 0,7$

$\text{tg } 45^\circ = 1$

Para que o contêiner entre em movimento, é necessário um peso mínimo, conforme o diagrama a seguir:



$$\text{tg } 45^\circ = \frac{F}{P} \Rightarrow 1 = \frac{500 \text{ N}}{P} \Rightarrow P = 500 \text{ N}$$

Dentre as opções, e considerando $g \approx 10 \text{ N/kg}$, serão necessários 4 blocos (600 N).

6. UFRJ

C5-H17

Arcos de pedra semicirculares são estruturas que têm resistido ao tempo. As rochas quebram mais facilmente quando submetidas à tensão do que à compressão. Considere o arco de pedras da figura a seguir.



Sabendo que o sistema está em equilíbrio, o vetor que melhor representa a resultante das forças que todos os blocos vizinhos exercem sobre o bloco A é

a) vetor nulo.

b)

c)

d)

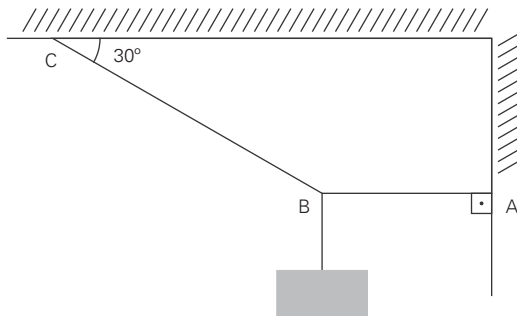
e)

A resultante de todas as forças que as outras pedras aplicam sobre a que está em destaque deve equilibrar seu peso.

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

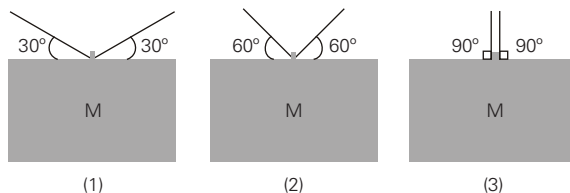
Habilidade: Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

- 10. Uerj** – No esquema, está representado um bloco de massa igual a 100 kg em equilíbrio estático.



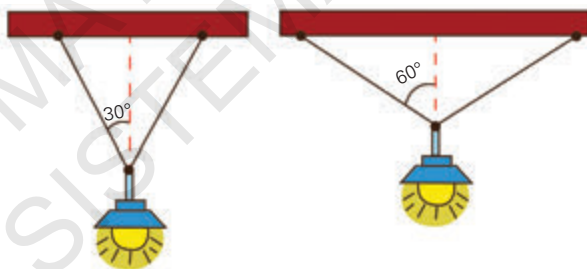
Determine, em newtons, a tração no fio ideal AB.

- 11. UFRGS** – Na figura a seguir, blocos idênticos estão suspensos por cordas idênticas em três situações distintas, (1), (2) e (3).



Assinale a alternativa que apresenta as situações na ordem crescente de probabilidade de rompimento das cordas. (O sinal de igualdade indica situações com a mesma probabilidade de rompimento.)

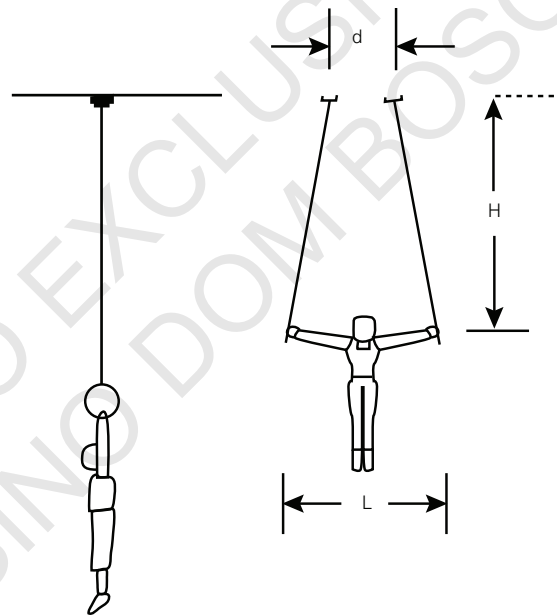
- a) (3), (2), (1).
 b) (3), (2) = (1).
 c) (1), (2), (3).
 d) (1) = (2), (3).
 e) (1) = (2) = (3).
- 12. Unesp** – Um lustre está pendurado no teto de uma sala por meio de dois fios inextensíveis, de mesmo comprimento e de massas desprezíveis, como mostra a figura 1, na qual o ângulo que cada fio faz com a vertical é de 30° . As forças de tensão nos fios têm a mesma intensidade.



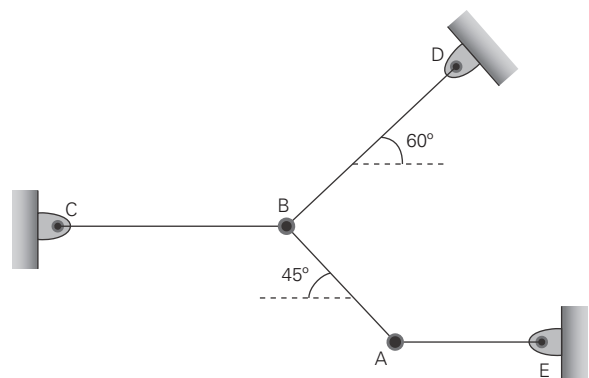
Considerando $\cos 30^\circ \cong 0,87$, se a posição do lustre for modificada e os fios forem presos ao teto mais distantes um do outro, de modo que o ângulo que cada um faz com a vertical passe a ser o dobro do original, como mostra a figura 2, a tensão em cada fio será igual a

- a) 0,50 do valor original.
 b) 1,74 do valor original.
 c) 0,86 do valor original.
 d) 2,00 do valor original.
 e) 3,46 do valor original.

- 13. Unicamp** – Uma das modalidades de ginástica olímpica é a das argolas. Nessa modalidade, os músculos mais solicitados são os dos braços, que suportam as cargas horizontais, e os da região dorsal, que suportam os esforços verticais. Considerando um atleta cuja massa é de 60 kg e sendo os comprimentos indicados na figura $H = 3,0$ m, $L = 1,5$ m e $d = 0,5$ m, responda:



- a) Qual a tensão em cada corda quando o atleta se encontra pendurado no início do exercício com os braços na vertical?
 b) Quando o atleta abre os braços na horizontal, qual a componente horizontal da tensão em cada corda?
- 14. Efomm** – Cada esfera (A e B) da figura pesa 1,00 kN. Elas são mantidas em equilíbrio estático por meio de quatro cordas finas e inextensíveis nas posições mostradas. A tração na corda BD, em kN, é



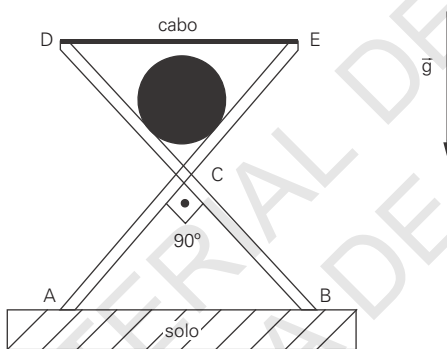
- a) $\frac{2\sqrt{2}}{3}$
 b) 1
 c) $\frac{2\sqrt{3}}{3}$
 d) $\frac{3\sqrt{2}}{3}$
 e) $\frac{4\sqrt{3}}{3}$

15. Aman – Um cilindro maciço e homogêneo de peso igual a 1 000 N encontra-se apoiado, em equilíbrio, sobre uma estrutura composta de duas peças rígidas e iguais, DB e EA, de pesos desprezíveis, que formam entre si um ângulo de 90° e estão unidas por um eixo articulado em C. As extremidades A e B estão apoiadas em um solo plano e horizontal. O eixo divide as peças de tal modo que $DC = EC$ e $CA = CB$, conforme a figura a seguir.

Um cabo inextensível e de massa desprezível encontra-se na posição horizontal em relação ao solo, unindo as extremidades D e E das duas peças. Desprezando o atrito no eixo articulado, o atrito das peças com o solo e o do cilindro com as peças, a tensão no cabo DE é:

$$\text{Dados: } \cos 45^\circ = \sin 45^\circ = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

\vec{g} é a aceleração da gravidade



desenho ilustrativo – fora de escala

- a) 200 N
 b) 400 N
 c) 500 N
 d) 600 N
 e) 800 N

16. ITA – Um sistema é constituído por uma sequência vertical de N molas ideais interligadas, de mesmo comprimento natural l e constante elástica k , cada qual acoplada a uma partícula de massa m . Sendo o sistema suspenso a partir da mola 1 e estando em equilíbrio estático, pode-se afirmar que o comprimento da

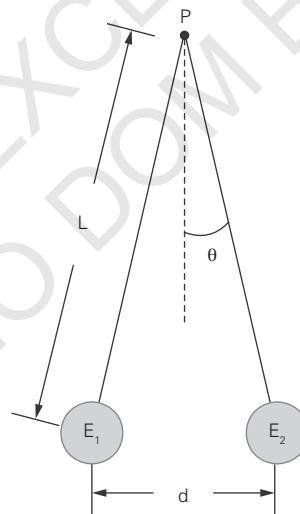
- a) mola 1 é igual a $l + (N - 1) \cdot m \cdot g/k$.
 b) mola 2 é igual a $l + N \cdot m \cdot g/k$.
 c) mola 3 é igual a $l + (N - 2) \cdot m \cdot g/k$.

- d) mola $N - 1$ é igual a $l + m \cdot g/k$.
 e) mola N é igual a l .

17. Fuvest – Um grupo de alunos, em uma aula de laboratório, eletriza um canudo de refrigerante por atrito com um lenço de papel. Em seguida, com o canudo, eles eletrizam uma pequena esfera condutora, de massa 9 g, inicialmente neutra, pendurada em um fio de seda isolante, de comprimento L , preso em um ponto fixo P. No final do processo, a esfera e o canudo estão com cargas de sinais opostos.

- a) Descreva as etapas do processo de eletrização da esfera.

Em seguida, os alunos colocam a esfera eletrizada (E_1) em contato com outra esfera (E_2), idêntica à primeira, eletricamente neutra e presa na extremidade de outro fio de seda isolante, também de comprimento L , fixo no ponto P. O sistema adquire a configuração ilustrada na figura, sendo $d = 8$ cm.



Para o sistema em equilíbrio nessa configuração final, determine

- b) o módulo da tensão \vec{T} em um dos fios isolantes;
 c) o módulo da carga q_2 da esfera E_2 ;
 d) a diferença N entre o número de elétrons e de prótons na esfera E_2 após a eletrização.

Note e adote:

Para a situação descrita, utilize: $\cos \theta = 1$ e $\sin \theta = 0,1$.

Aceleração da gravidade: 10 m/s^2 .

Força elétrica entre duas cargas puntiformes Q_1 e Q_2 com distância r uma da outra: $K \cdot Q_1 \cdot Q_2 / r^2$.

$K = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$.

Carga do elétron: $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

Ignore a massa dos fios.

ESTUDO PARA O ENEM

18. Enem

C1-H3

Durante uma faxina, a mãe pediu que o filho a ajudasse, deslocando um móvel para mudá-lo de lugar. Para escapar da tarefa, o filho disse ter aprendido na escola que não poderia puxar o móvel, pois a terceira lei de Newton define que, se puxá-lo, o móvel o puxará igualmente de volta, e assim não conseguirá exercer uma força que possa colocá-lo em movimento.

Qual argumento a mãe utilizará para apontar o erro de interpretação do garoto?

- a) A força de ação é aquela exercida pelo garoto.
- b) A força resultante sobre o móvel é sempre nula.
- c) As forças que o chão exerce sobre o garoto se anulam.
- d) A força de ação é um pouco maior que a força de reação.
- e) O par de forças de ação e reação não atua em um mesmo corpo.

19. Enem

C5-H17

Uma pessoa necessita da força de atrito em seus pés para se deslocar sobre uma superfície. Logo, uma pessoa que sobe uma rampa em linha reta será auxiliada pela força de atrito exercida pelo chão em seus pés.

Em relação ao movimento dessa pessoa, quais são a direção e o sentido da força de atrito mencionada no texto?

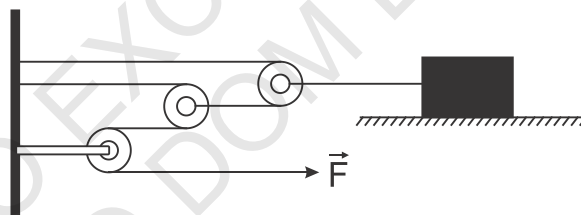
- a) Perpendicular ao plano e no mesmo sentido do movimento.
- b) Paralelo ao plano e no sentido contrário ao do movimento.
- c) Paralelo ao plano e no mesmo sentido do movimento.
- d) Horizontal e no mesmo sentido do movimento.
- e) Vertical e com sentido para cima.

20. Enem

C5-H17

Uma invenção que significou um grande avanço tecnológico na Antiguidade, a polia composta, ou a associação de polias, é atribuída a Arquimedes (287 a.C. a 212 a.C.). O aparato consiste em associar uma série de polias móveis a uma polia fixa. A figura exemplifica um arranjo possível para esse aparato. É relatado que Arquimedes teria demonstrado para o rei Hierão um outro arranjo desse aparato, movendo sozinho, sobre a areia da praia, um navio repleto de passageiros e cargas, algo que seria impossível sem a participação de muitos homens. Suponha que a massa do navio era de 3000 kg, que o coeficiente de atrito estático entre o navio e a areia era de 0,8 e que Arquimedes tenha puxado o navio com uma força \vec{F} , paralela à direção do movimento e de módulo igual a 400 N.

Considere os fios e as polias ideais, a aceleração da gravidade igual a 10 m/s^2 e que a superfície da praia é perfeitamente horizontal.



Disponível em: <www.histedbr.fae.unicamp.br>. Acesso em: 28 fev. 2013. (Adaptado)

O número mínimo de polias móveis usadas, nessa situação, por Arquimedes foi

- a) 3.
- b) 6.
- c) 7.
- d) 8.
- e) 10.

50

MOMENTO DE UMA FORÇA

- Conceito de momento de uma força
- Momento de binário

HABILIDADES

- Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.
- Relacionar propriedades físicas, químicas ou biológicas de produtos, sistemas ou procedimentos tecnológicos às finalidades a que se destinam.
- Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes.



Braço de alavanca.

“Dê-me um ponto de apoio e moverei a Terra.”

MAGNAGHI, Ceno Pietr. Análise e tradução comentada da obra de Arquimedes intitulada *Método sobre os teoremas mecânicos*. Disponível em: <<http://www.ifi.unicamp.br/~assis/tese-Ceno.pdf>>. Acesso em: fev. 2019.

A citação anterior é atribuída a Arquimedes e sintetiza a engenhosidade do brilhante pensador grego (séc. III a.C.) e criador de soluções tecnológicas geniais. Foi dita quando ele cumpriu uma tarefa solicitada pelo rei Hierão e lançou ao mar, utilizando-se de engrenagens, polias, alavancas e a força das mãos, um navio com muitas toneladas. Acompanhe o que Plutarco escreveu em *Vidas paralelas*:

Arquimedes escreveu ao rei Hierão, de quem era amigo próximo, informando que, dada uma força, qualquer peso podia ser movido. E até mesmo se gabou, somos informados, de que, se houvesse uma outra Terra, indo para ela ele poderia mover a nossa Terra. Hierão ficou admirado e lhe solicitou que demonstrasse isso com uma experiência real, mostrando um grande peso sendo movido por uma pequena máquina. De acordo com esse desejo Arquimedes tomou um dos navios de carga da frota do rei, o qual não podia ser retirado das docas exceto com grande esforço e empregando muitos homens. Além disso, carregou o navio com muitos passageiros e com carga total. Sentando-se distante do navio, sem fazer esforço, mas apenas segurando uma polia em suas mãos e movendo as cordas lentamente, moveu o navio em linha reta, de maneira tão suave e uniforme como se o navio estivesse no mar.

Arquimedes, o centro de gravidade e a lei da alavanca – Andre K. Torres Assis

Arquimedes se referia – e aplicava como ninguém – ao conceito que hoje a ciência entende por **torque** (ou momento de uma força). Trata-se da grandeza vetorial que indica a **tendência de rotação produzida por uma força**, e é informação imprescindível para a compreensão de diversas ferramentas cotidianas e do equilíbrio de corpos extensos.

MOMENTO DE UMA FORÇA (M_F) OU TORQUE (τ)

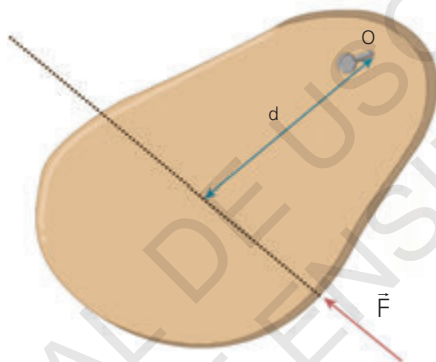
A ação de forças provoca alteração do estado de movimento (ou repouso) dos corpos – movimento que tanto pode ser de translação como de rotação. Uma força aplicada em uma estrutura pode fazer com que ela gire. A capacidade – ou tendência – de essa força provocar a rotação de um corpo extenso é quantificada por seu momento (ou torque).



TSUYOSHI_KINUYO/ISTOCKPHOTO

Gangorra é exemplo de força que pode causar torque em um corpo.

Ao fixar uma prancha de madeira sobre uma superfície com o auxílio de um prego (imagem a seguir), ela fica impedida de realizar movimento de translação, mas é livre para girar ao redor do ponto O. A força \vec{F} aplicada produz torque.



É bastante intuitivo e facilmente verificável por experiência que, sendo o torque uma consequência da ação da força, suas intensidades são diretamente proporcionais.

O torque é determinado em relação a um ponto (polo, eixo ou fulcro), sendo a distância deste à linha de ação da força (braço da força) outra importante variável.



AVAILABLELIGHT/ISTOCKPHOTO

Quanto maior o braço da chave de roda, menor é a força aplicada para produzir o torque necessário a fim de rotacionar os parafusos.



CHUYU/ISTOCKPHOTO

Quanto mais distante do eixo de rotação uma porta for empurrada, menor é a força necessária para que ocorra seu giro.

Sendo o momento diretamente proporcional à intensidade da força e a seu braço, tem-se:

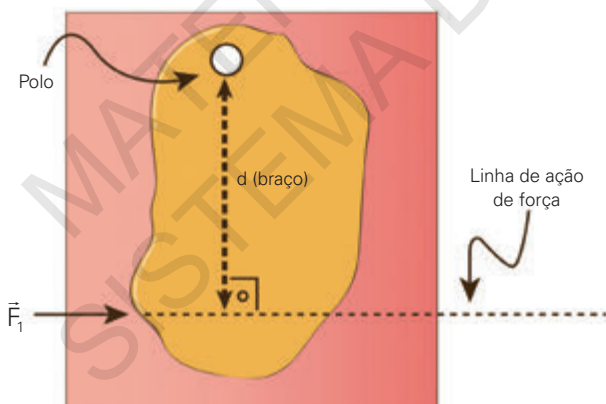
$$M_F = \pm F \cdot d$$

- $M_F > 0$: Momento anti-horário
- $M_F < 0$: Momento horário

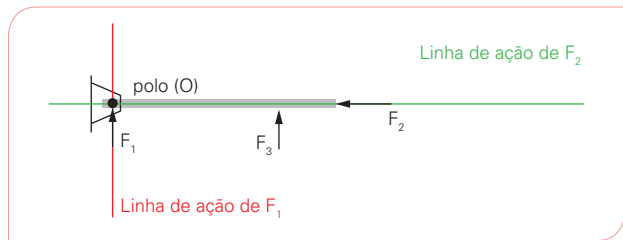
No Sistema Internacional de Unidades: $[M] = \mathbf{N \cdot m}$ (newton-metro).

É importante ressaltar que o momento é uma grandeza vetorial, porém, em nosso curso, discutiremos apenas situações em que as forças aplicadas são coplanares, permitindo que tratemos o momento de maneira escalar. Essa abordagem facilita o estudo matemático do torque, porém não elimina a necessidade de se verificar em qual sentido (horário ou anti-horário) a força induz à rotação; afinal, essa informação é crucial para promover a rotação desejada em uma estrutura ou garantir o equilíbrio dos corpos. Considera-se positivo o torque no sentido anti-horário e negativo o torque no sentido horário.

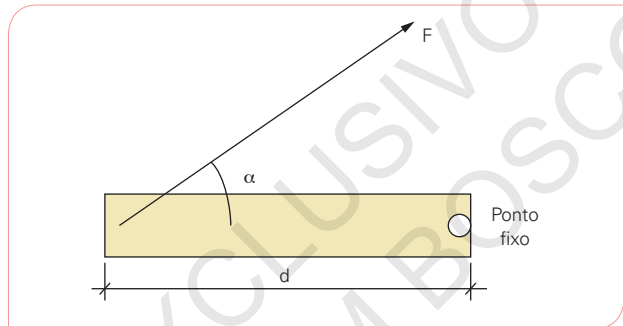
Note que o braço da força é a menor distância entre o polo (ponto de referência) e a linha de ação da força; logo, deve ser medido na perpendicular. Trata-se da distância entre um ponto e uma reta.



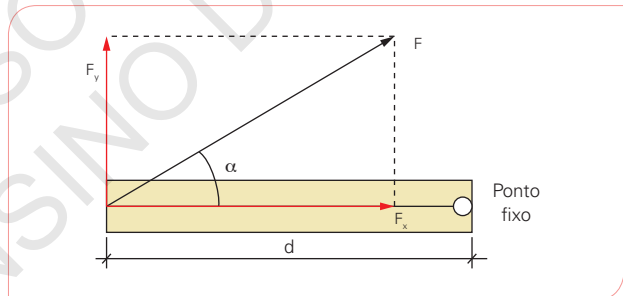
Assim sendo, caso a linha de ação de uma força passe pelo polo, o ponto estará sobre a reta e o braço da força será nulo, assim como seu torque. No esquema a seguir, as linhas de ação das forças \vec{F}_1 e \vec{F}_2 passam pelo polo e, conseqüentemente, não geram torque em relação a esse ponto.



Na situação a seguir, uma força \vec{F} atua sobre uma barra que possui um de seus extremos fixo a um eixo.



A força pode ser decomposta em suas componentes perpendiculares \vec{F}_x e \vec{F}_y de acordo com o esquema a seguir.



Como a linha de ação da \vec{F}_x passa pelo eixo de rotação, essa componente não gera torque em relação ao ponto de fixação. Conseqüentemente, somente a componente \vec{F}_y é responsável pelo torque produzido pela força \vec{F} . Assim sendo:

$$M_F = M_{F_y} = \pm F_y \cdot d = \pm F \cdot d \cdot \text{sen} \alpha$$

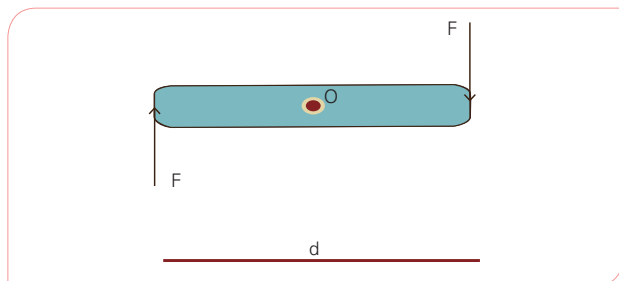
MOMENTO DE UM BINÁRIOO

Há também uma situação especial em que duas forças opostas (de mesmas intensidade e direção, mas de sentidos contrários) atuam em um mesmo corpo, segundo linhas de ação não coincidentes.



Exemplos de binários.

Esse par de forças denomina-se binário, e seu momento é equivalente à soma dos momentos das forças individuais. No esquema a seguir, um binário atua sobre uma estrutura de comprimento d . O torque resultante do binário em relação a seu ponto médio (O) pode ser determinado da seguinte forma:



$$|M_T| = |M_{F_1}| + |M_{F_2}|$$

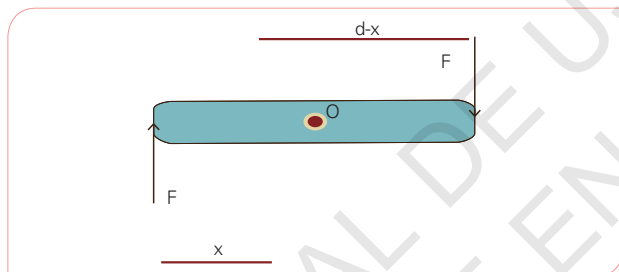
$$|M_T| = F \cdot \frac{d}{2} + F \cdot \frac{d}{2}$$

$$|M_T| = F \cdot d$$

$$M_T = \pm F \cdot d$$

O sinal depende do sentido de giro do binário.

De modo equivalente, o torque total pode ser definido para qualquer outro ponto da barra. Acompanhe o raciocínio.



$$|M_T| = |M_{F_1}| + |M_{F_2}|$$

$$|M_T| = F \cdot x + F \cdot (d - x)$$

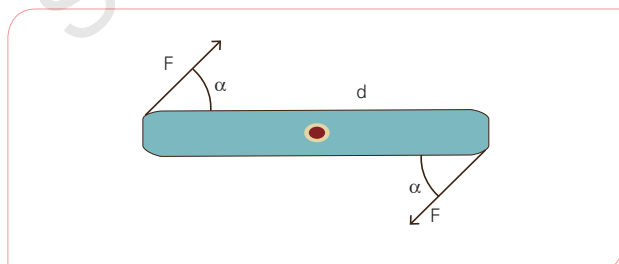
$$|M_T| = F \cdot x + F \cdot d - F \cdot x$$

$$|M_T| = F \cdot d$$

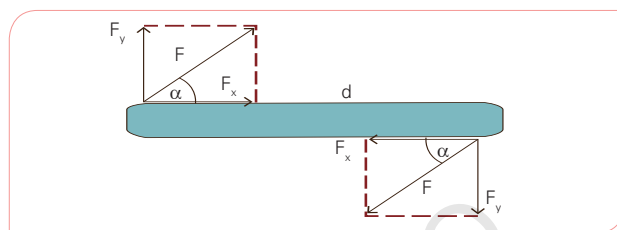
$$M_T = \pm F \cdot d$$

Onde, para $M_F > 0$, temos um momento anti-horário e, para $M_F < 0$, temos um momento horário.

No binário apresentado a seguir, pode-se proceder de maneira semelhante ao que foi feito anteriormente.



Decompõe-se a força e considera-se apenas sua componente que gera torque, ou seja, cuja linha de ação não passa pelo polo (O).



Assim sendo, tem-se:

$$|M_T| = |M_{F_1}| + |M_{F_2}|$$

$$|M_T| = F_y \cdot x + F_y \cdot (d - x)$$

$$|M_T| = F_y \cdot x + F_y \cdot d - F_y \cdot x$$

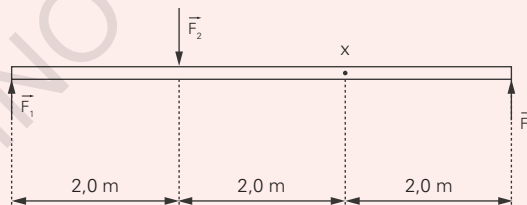
$$|M_T| = F_y \cdot d$$

$$M_T = \pm F_y \cdot d = \pm F \cdot d \cdot \sin \alpha$$

O sinal \pm depende da convenção do sentido de giro do binário.

EXERCÍCIO RESOLVIDO

Mackenzie



A barra homogênea, de peso desprezível, está sob a ação de três forças de intensidades $F_1 = 20 \text{ N}$, $F_2 = 40 \text{ N}$ e $F_3 = 60 \text{ N}$. Em relação ao ponto x, determine a intensidade (em $\text{N} \cdot \text{m}$) e o sentido (horário ou anti-horário) do momento resultante que atua sobre a barra.

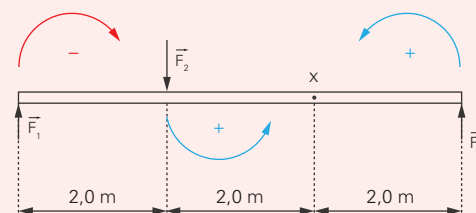
Resolução

O momento resultante, usando a convenção de sinais para os momentos conforme a figura a seguir, será:

convenção de sinais para cálculo do momento

sentido horário

sentido anti-horário



$$M_{\text{resultante}} = M_{F_1} + M_{F_2} + M_{F_3} = -F_1 \cdot d_1 + F_2 \cdot d_2 + F_3 \cdot d_3$$

$$M_{\text{resultante}} = -20 \text{ N} \cdot 4 \text{ m} + 40 \text{ N} \cdot 2 \text{ m} + 60 \text{ N} \cdot 2 \text{ m} \Rightarrow$$

$$M_{\text{resultante}} = -80 \text{ Nm} + 200 \text{ Nm}$$

$$M_{\text{resultante}} = 120 \text{ Nm} = 1,2 \cdot 10^2 \text{ Nm (anti-horário)}$$

ROTEIRO DE AULA

MOMENTO DE UMA FORÇA

Momento de uma força ou

torque

Tendência

de rotação

produzida por uma força.

Módulo proporcional

Força

Braço

Unidade do SI

newton-metro

(N·m)

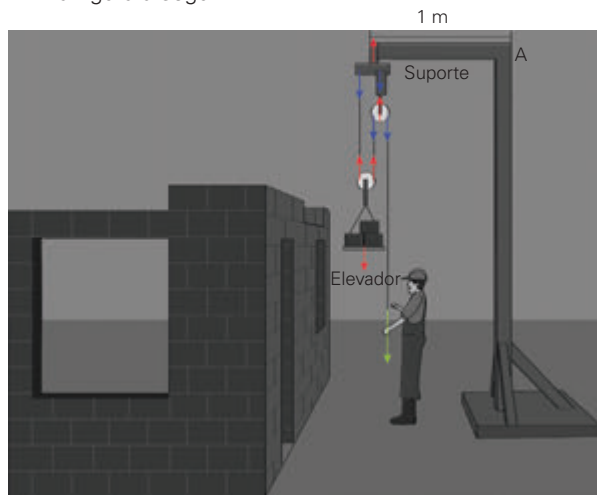
Distância entre

o polo e a linha de ação da força

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

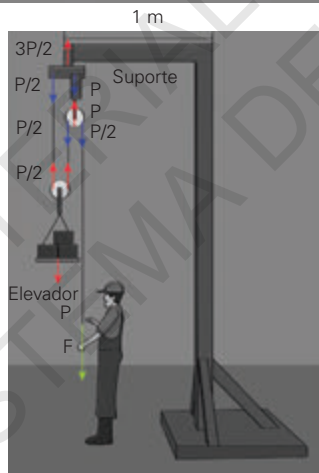
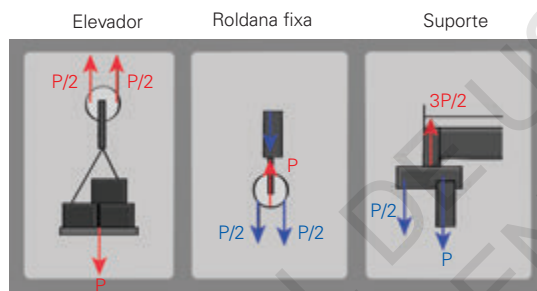
EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. UEL – Um pedreiro precisa transportar material para o primeiro piso de uma construção. Para realizar essa tarefa, ele utiliza um sistema do tipo elevador mostrado na figura a seguir.



O peso máximo que pode ser levantado pelo sistema é limitado pelo peso do pedreiro, e não pelo suporte ou pela corda. O pedreiro pesa 800 N.

A partir dessas informações, responda aos itens a seguir.



a) Construa um diagrama de forças para o sistema e, considerando $g = 10 \frac{m}{s^2}$, calcule o peso máximo que poderia ser levantado pelo pedreiro.

b) Considerando o elevador com peso máximo, calcule o módulo do torque no ponto A.

a) Diagrama de forças:

A força motriz para mover o peso P pelo pedreiro é $\frac{P}{2}$.

Logo, como o sistema é limitado pelo peso do pedreiro de 800 N, é possível erguer o dobro disso, ou seja,

$$\frac{P_{\text{máx}}}{2} = 800 \text{ N} \therefore P_{\text{máx}} = 1600 \text{ N}$$

b) O torque é dado pelo produto do módulo da força total aplicada no suporte pela distância perpendicular ao ponto de aplicação, isto é, 1 m.

Assim, temos:

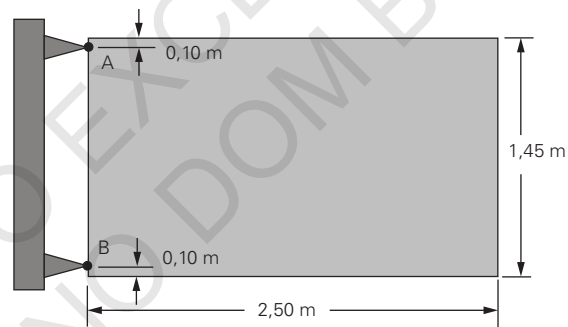
Força total no suporte:

$$F_{\text{total}} = \frac{P_{\text{máx}}}{2} + P_{\text{máx}} \Rightarrow F_{\text{total}} = \frac{3 \cdot P_{\text{máx}}}{2} \therefore F_{\text{total}} = \frac{3}{2} \cdot 1600 \text{ N} = 2400 \text{ N}$$

Portanto, o torque será:

$$\tau = F \cdot d \Rightarrow \tau = 2400 \text{ N} \cdot 1 \text{ m} \therefore \tau = 2400 \text{ Nm}$$

2. UFRJ – Um portão retangular de massa igual a 50 kg tem 2,50 m de comprimento, 1,45 m de altura e está preso a duas dobradiças, A e B. O vértice da dobradiça A dista 0,10 m do topo do portão, e o vértice da dobradiça B, 0,10 m da base, como indica a figura a seguir.



Suponha que o sistema esteja em repouso, que o peso do portão esteja aplicado em seu centro geométrico e que a aceleração g da gravidade local seja 10 m/s^2 .

a) Calcule o módulo da força resultante exercida pelas duas dobradiças sobre o portão.

b) Calcule o módulo do torque produzido pela força peso em relação à dobradiça B.

a) No portão agem três forças: o peso (\vec{P}) e as forças aplicadas pelas dobradiças, A e B, respectivamente, (\vec{F}_A) e (\vec{F}_B). Como ele está em equilíbrio, a resultante dessas três forças é nula, ou seja: $\vec{F}_A + \vec{F}_B + \vec{P} = \vec{0} \rightarrow \vec{F}_A + \vec{F}_B = -\vec{P}$.

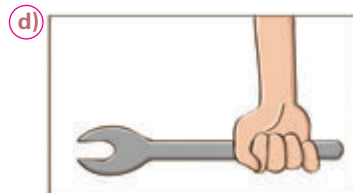
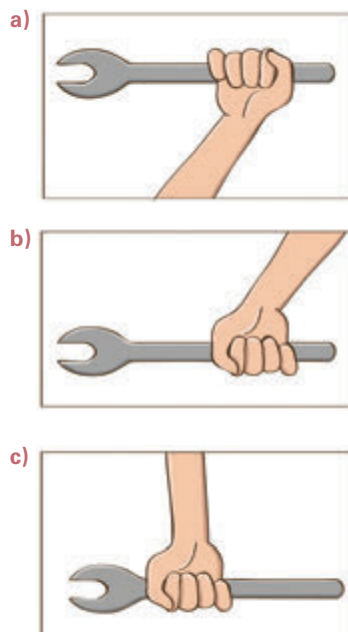
Sendo R_{AB} a resultante das forças aplicadas pelas dobradiças, temos, em módulo:

$$R_{AB} = P = m \cdot g \Rightarrow R_{AB} = 500 \text{ N.}$$

$$b) M = F \cdot b \rightarrow M_p = 500 \cdot 1,25 = 625 \text{ Nm}$$

3. UFRN – Vários tipos de carros populares estão sendo montados com algumas economias. Eles vêm, por exemplo, com apenas uma luz de ré e, às vezes, sem o retrovisor do lado direito. Uma outra economia está associada ao tamanho reduzido da chave de rodas. Essa chave é fabricada com um comprimento de 25 cm. Alguns desses carros saem de fábrica com os parafusos de suas rodas submetidos a um aperto compatível a um torque (final) de $100 \text{ N} \cdot \text{m}$. Esse torque, M, calculado em relação ao ponto central do parafuso, está relacionado com a força aplicada na chave, força F, pela expressão $M = F \cdot d$, em que d (única dimensão relevante da chave de rodas) é chamado braço da alavanca, conforme ilustrado na figura adiante.

Para apertar uma peça, aplicando-se a menor intensidade de força possível, essa ferramenta deve ser segurada de acordo com o esquema indicado em:



Quanto maior o braço da alavanca (distância da linha de ação da força ao apoio), menor a intensidade da força para se obter o mesmo torque. Além disso, é a componente da força perpendicular à chave a responsável pelo torque produzido.

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar propriedades físicas, químicas ou biológicas de produtos, sistemas ou procedimentos tecnológicos às finalidades a que se destinam.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. Acafe – Para cortar galhos de árvores um jardineiro usa uma tesoura de podar, como mostra a figura 1. Porém, alguns galhos ficam na copa das árvores e, como ele não queria subir nelas, resolveu improvisar, acoplando à tesoura cabos maiores, conforme figura 2.

Figura 1



Figura 2



Assim, complete as lacunas de forma a tornar a frase conceitualmente **correta**.

Utilizando a tesoura da _____, o rapaz teria que fazer uma força _____ a força aplicada na tesoura da _____ para produzir o mesmo torque.

- a) figura 2 – menor do que – figura 1
 b) figura 2 – maior do que – figura 1
 c) figura 1 – menor do que – figura 2
 d) figura 1 – igual – figura 2

8. CPS – Leia o texto e assinale a alternativa que completa correta e respectivamente suas lacunas.

Na construção civil, o termo recalque se refere à acomodação do solo, após a construção de uma edificação. O recalque uniforme costuma ser previsto. Porém, quando ele não é uniforme, pode até causar o desabamento de construções.

Observe o que ocorreu com um prédio, quando o recalque não foi uniforme.



YONHAP NEWS/IP ARCHIVE/GLOW IMAGES

Se o prédio inclinado fosse considerado um bloco retangular, inicialmente com sua base apoiada sobre o solo horizontal, haveria uma inclinação limite, a partir da qual ele tombaria, situação que seria causada no momento em que a projeção _____ de seu centro de gravidade estivesse _____ da base de sustentação.

- a) horizontal, fora
 b) horizontal, dentro
 c) transversal, fora
 d) vertical, dentro
 e) vertical, fora

9. Uece – Uma gangorra em um parquinho infantil é ocupada por dois gêmeos idênticos e de mesma massa, Cosmo e Damião. Na brincadeira, enquanto um dos irmãos

sobe em um dos assentos do brinquedo, o outro desce no outro assento. O brinquedo pode ser descrito como uma haste rígida, com um assento em cada extremidade, e livre para girar em um plano vertical em torno do ponto central. Considere os torques na haste da gangorra exercidos pelas forças peso de Cosmo (τ_c) e de Damião (τ_d), em relação ao ponto central. Na configuração em que Cosmo está na posição mais alta, é correto afirmar que

- a) $|\tau_c| < |\tau_d|$.
- b) $|\tau_c| = |\tau_d|$.
- c) $|\tau_c| > |\tau_d|$.
- d) $|\tau_c| > -|\tau_d|$.

10. **Udesc** – Ao se fechar uma porta, aplica-se uma força na maçaneta para ela rotacionar em torno de um eixo fixo onde estão as dobradiças.

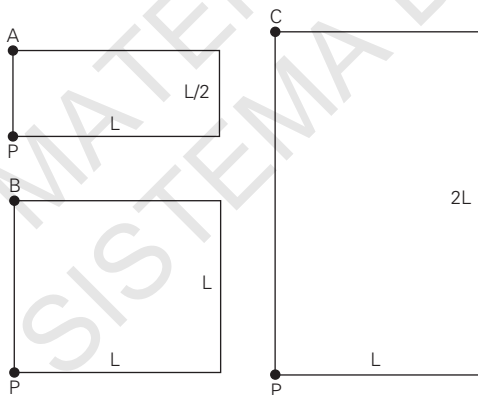
Com relação ao movimento dessa porta, analise as proposições.

- I. Quanto maior a distância perpendicular entre a maçaneta e as dobradiças, menos efetivo é o torque da força.
- II. A unidade do torque da força no SI é o $N \cdot m$, podendo também ser medida em Joule (J).
- III. O torque da força depende da distância perpendicular entre a maçaneta e as dobradiças.
- IV. Qualquer que seja a direção da força, o seu torque será não nulo, conseqüentemente a porta rotacionará sempre.

Assinale a alternativa correta.

- a) Somente a afirmativa II é verdadeira.
- b) Somente as afirmativas I e II são verdadeiras.
- c) Somente a afirmativa IV é verdadeira.
- d) Somente a afirmativa III é verdadeira.
- e) Somente as afirmativas II e III são verdadeiras.

11. **Uece** – Três chapas retangulares rígidas repousam em um plano horizontal e podem girar livremente em torno de eixos verticais passando por P. As dimensões das chapas são identificadas na figura a seguir, em termos do comprimento L. Nos pontos A, B e C, são aplicadas três forças horizontais iguais.



A partir da segunda Lei de Newton, pode-se mostrar que a aceleração angular inicial de módulo $\alpha \neq 0$ de cada chapa é proporcional ao momento da respectiva força em relação ao eixo de rotação de cada corpo. Desprezando todos os atritos, é correto afirmar-se que

- a) $4 \alpha_A = 2 \alpha_B = \alpha_C$.
- b) $\alpha_A = 2 \alpha_B = 4 \alpha_C$.
- c) $\alpha_A = \alpha_B = \alpha_C$.
- d) $\frac{\alpha_A}{4} = \frac{\alpha_B}{2} = 2 \alpha_C$.

12. **Uece** – Em um parque de diversões, uma roda-gigante gira com velocidade angular constante. De modo simplificado, pode-se descrever o brinquedo como um disco vertical e as pessoas como massas puntiformes presas em sua borda. A força peso exerce sobre uma pessoa um torque em relação ao ponto central do eixo da roda-gigante. Sobre esse torque, é correto afirmar-se que

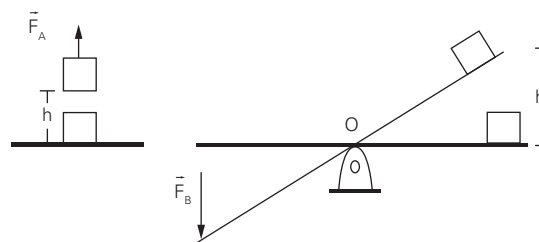
- a) é zero nos pontos mais baixo e mais alto da trajetória.
- b) é não nulo e assume um valor máximo no ponto mais alto e um mínimo no ponto mais baixo da trajetória.
- c) é não nulo e assume um valor máximo no ponto mais baixo e um mínimo no ponto mais alto da trajetória.
- d) é não nulo e tem valores iguais no ponto mais baixo e no mais alto da trajetória.

13. **PUC-RJ (adaptado)** – Um pêndulo é formado por uma bola de 4,0 kg e um fio ideal de 0,2 m de comprimento. No ponto mais alto de sua trajetória, o cabo que sustenta o pêndulo forma um ângulo de 30° com a vertical.

Calcule, em $N \cdot m$, o módulo do torque realizado pelo peso da bola nesse ponto.

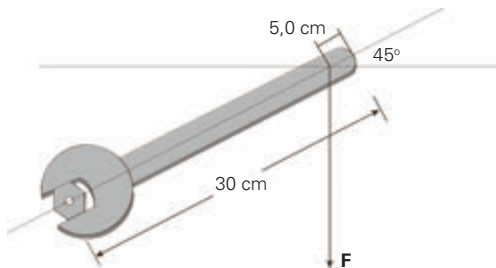
Considere $g = 10,0 \text{ m/s}^2$

14. **CFT-CE** – Duas pessoas, A e B, erguem a uma mesma altura h dois corpos de mesma massa, muito lentamente (situações quase estáticas), de modo a não variar suas energias cinéticas. A pessoa A ergue diretamente com as mãos, enquanto a B usa uma alavanca interfixa de massa e atritos desprezíveis (veja figura). Se a distância do ponto de aplicação da força de B, em relação ao eixo de rotação O, é maior que a distância do ponto de aplicação da força peso em relação ao mesmo eixo, podemos afirmar CORRETAMENTE que o módulo do momento realizado pela pessoa B é:



- a) maior que o módulo do momento do peso do corpo e realiza mais trabalho que a pessoa A
- b) igual ao módulo do momento do peso do corpo e a pessoa B realiza igual trabalho que a pessoa A
- c) menor que o módulo do momento do peso do corpo e a pessoa B realiza menos trabalho que a pessoa A
- d) menor que o módulo do momento do peso do corpo e a pessoa B realiza igual trabalho que a pessoa A
- e) igual ao módulo do momento do peso do corpo e a pessoa B realiza menos trabalho que a pessoa A

- 15. Unioeste** – Uma pessoa usa uma chave de boca para apertar um parafuso, conforme a figura a seguir. A distância do centro do parafuso até a extremidade do cabo da chave de boca é de 30 cm e a força F , vertical, aplicada a 5 cm da extremidade do cabo da chave, possui intensidade $F = 20$ N.



Assinale a alternativa CORRETA.

- O torque gerado por F tem módulo igual a $2,5\sqrt{2}$ N·m e orientação paralela à F .
- O torque gerado por F atua ao longo do eixo do parafuso, sendo sua orientação perpendicular à F e ao plano da página.
- A orientação da força F representada na figura é aquela que fornece a situação de torque máximo, pois o ângulo entre o torque e o vetor força F é de 90° .
- Na situação apresentada na figura, a componente de F paralela ao eixo do cabo da chave é nula, por esse motivo essa componente não gera torque.
- Após uma rotação no parafuso em 45° no sentido horário, de forma que o cabo da chave de boca esteja na posição horizontal e mantendo F na vertical, o torque terá módulo nulo.

- 16. Unicamp** – Grandes construções representam desafios à engenharia e demonstram a capacidade de realização humana. Pontes com estruturas de sustentação sofisticadas são exemplos dessas obras que coroam a mecânica de Newton.

- A ponte pênsil de São Vicente (SP) foi construída em 1914. O sistema de suspensão de uma ponte pênsil é composto por dois cabos principais. Desse cabos principais partem cabos verticais responsáveis pela sustentação da ponte. O desenho esquemático da figura 1, a seguir, mostra um dos cabos principais (AOB), que está sujeito a uma força de tração T exercida pela torre no ponto B. A componente vertical da tração T_V tem módulo igual a um quarto do peso da ponte, enquanto a horizontal T_H tem módulo igual $4,0 \cdot 10^6$ N. Sabendo que o peso da ponte é $P = 1,2 \cdot 10^7$ N, calcule o módulo da força de tração T .

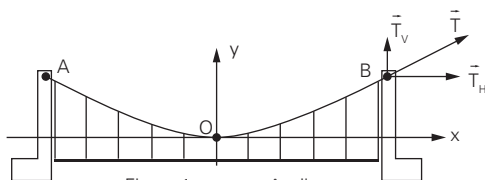


Figura 1 - ponte pênsil

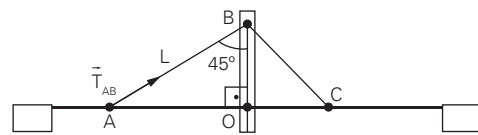
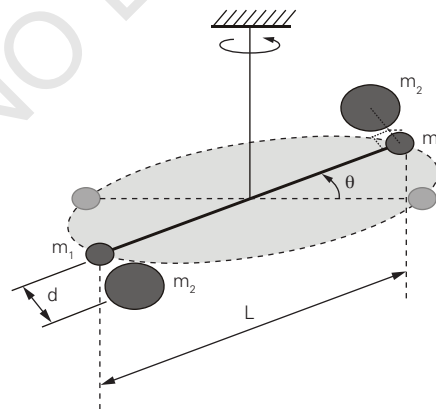


Figura 2 - ponte estaiada

- Em 2008 foi inaugurada em São Paulo a ponte Octávio Frias de Oliveira, a maior ponte estaiada em curva do mundo. A figura 2 mostra a vista lateral de uma ponte estaiada simplificada. O cabo AB tem comprimento $L = 50$ m e exerce, sobre a ponte, uma força T_{AB} de módulo igual a $1,8 \cdot 10^7$ N. Calcule o módulo do torque dessa força em relação ao ponto O.

- Dados: $\sin 45^\circ = \cos 45^\circ = \frac{\sqrt{2}}{2}$

- 17. UFPR** – A balança de torção de Cavendish é um instrumento capaz de medir a força gravitacional F e determinar a constante de gravitação universal G , e foi utilizada para a verificação da teoria da gravitação de Newton. A balança é constituída por uma haste horizontal de comprimento L e massa desprezível, suspensa no ponto médio por um fio preso ao teto. Nas extremidades da haste estão fixadas esferas com massa m_1 , conforme mostrado na figura.



Ao se aproximar esferas com massa m_2 , no plano horizontal que contém a haste, o fio sofre torção e o conjunto desloca-se de um ângulo θ por conta da força gravitacional entre as massas m_1 e m_2 . Ao sofrer deformação, o fio reage com um torque em sentido contrário dado por $M = k\theta$, onde k é a constante de torção do fio. O deslocamento cessa e o sistema para em uma nova posição, quando ocorre equilíbrio entre o torque (ou momento) da força gravitacional entre m_1 e m_2 e o torque (ou momento) M da reação do fio. Nessa situação, as esferas de massas m_1 e m_2 estão a uma distância d entre si. Cavendish mediu o ângulo de torção θ , o comprimento L da haste horizontal que une as esferas de massa m_1 , as massas m_1 e m_2 das esferas e a distância de equilíbrio d . Nos itens a seguir deduza equações literais para:

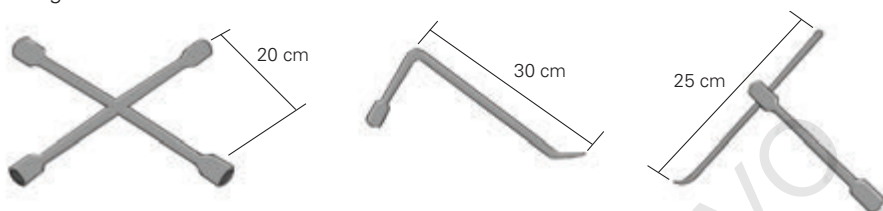
- o momento da força gravitacional sobre a haste, por conta da atração gravitacional entre m_1 e m_2 , em função das variáveis medidas m_1 , m_2 , L e d .
- a constante gravitacional G em função das variáveis medidas m_1 , m_2 , θ , L e d .

ESTUDO PARA O ENEM

18. Enem

C5-H18

Retirar a roda de um carro é uma tarefa facilitada por algumas características da ferramenta utilizada, habitualmente denominada chave de roda. As figuras representam alguns modelos de chaves de roda:



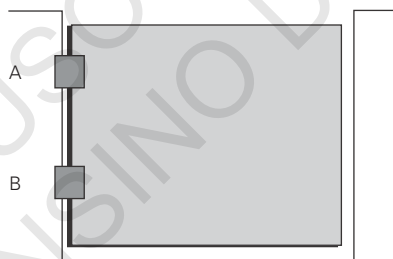
Em condições usuais, qual desses modelos permite a retirada da roda com mais facilidade?

- 1, em função de o momento da força ser menor.
- 1, em função da ação de um binário de forças.
- 2, em função de o braço da força aplicada ser maior.
- 3, em função de o braço da força aplicada poder variar.
- 3, em função de o momento da força produzida ser maior.

19. Enem

C5-H18

Um portão está fixo em um muro por duas dobradiças A e B, conforme mostra a figura, sendo P o peso do portão.



Caso um garoto se dependure no portão pela extremidade livre, e supondo que as reações máximas suportadas pelas dobradiças sejam iguais,

- é mais provável que a dobradiça A arrebente primeiro que a B.
- é mais provável que a dobradiça B arrebente primeiro que a A.
- seguramente as dobradiças A e B arrebentarão simultaneamente.
- nenhuma delas sofrerá qualquer esforço.
- o portão quebraria ao meio, ou nada sofreria.

20. Uece

C6-H20

Dois bicicletas são equipadas com freios de diferentes tecnologias. Uma delas tem a rotação do pneu reduzida pela ação da força de atrito entre uma pastilha de freio e o aro, próximo ao pneu. Na outra, o freio faz a pastilha realizar força de atrito em um disco concêntrico ao pneu, mas com diâmetro muito pequeno em relação ao aro. Supondo que a força de atrito seja de mesma intensidade nos dois sistemas, é correto afirmar que o torque sobre o aro, τ_{aro} , e sobre o disco, τ_{disco} , tenham a seguinte relação

- $\tau_{\text{aro}} \geq \tau_{\text{disco}} > 0$.
- $\tau_{\text{aro}} < \tau_{\text{disco}} < 0$.
- $\tau_{\text{aro}} = \tau_{\text{disco}} > 0$.
- $\tau_{\text{disco}} > \tau_{\text{aro}} > 0$.



FÍSICA 1B

CIÊNCIAS DA NATUREZA E SUAS TECNOLOGIAS

51

EQUILÍBRIO ESTÁTICO DE CORPO EXTENSO

- Condições de equilíbrio estático para corpos extensos

HABILIDADES

- Diferenciar tipos de equilíbrio.
- Caracterizar o equilíbrio de um corpo extenso.
- Relacionar condições de equilíbrio para um corpo extenso.
- Reconhecer a posição do centro de gravidade de um corpo simétrico.
- Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.
- Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes.
- Relacionar propriedades físicas, químicas ou biológicas de produtos, sistemas ou procedimentos tecnológicos às finalidades a que se destinam.



ALEKSANDR SIMONOV/SHUTTERSTOCK

Na estrutura de pedras em equilíbrio estático, tanto a resultante das forças como a dos momentos são nulas.

Quando todas as forças de um sistema estão aplicadas em um mesmo ponto, os momentos de todas as forças em relação a esse ponto são nulos, pois o braço é nulo. Esse é o fato que torna desnecessário avaliar o torque – ou movimento rotacional – em pontos materiais.

Como visto no módulo anterior, para garantir que um ponto material esteja em equilíbrio, basta que a resultante das forças sobre a partícula seja nula; afinal, suas dimensões são desprezíveis e, dessa forma, o corpo não sofre rotação. Porém, para corpos extensos, além do equilíbrio translacional, é necessário assegurar o equilíbrio rotacional, ou seja, duas são as condições de equilíbrio estático para corpos extensos.

- Equilíbrio translacional: a soma das forças é nula.

$$\sum \vec{F} = \vec{F}_r = \vec{0}$$

- Equilíbrio rotacional: a soma dos momentos é nula.

$$\sum \vec{M} = \vec{0}$$

Caso prefira, é possível a seguinte interpretação:

$$|\sum M_{\text{Hor.}}| = |\sum M_{\text{Anti-hor.}}|$$

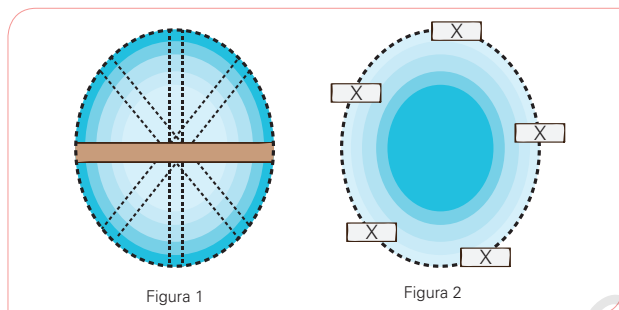
Afinal, se a tendência de uma estrutura rotacionar no sentido horário for a mesma de rotação no sentido anti-horário, não haverá movimento de rotação.

TOPSELLER/SHUTTERSTOCK



Na ponte estaiada, as resultantes das forças e dos momentos são nulas.

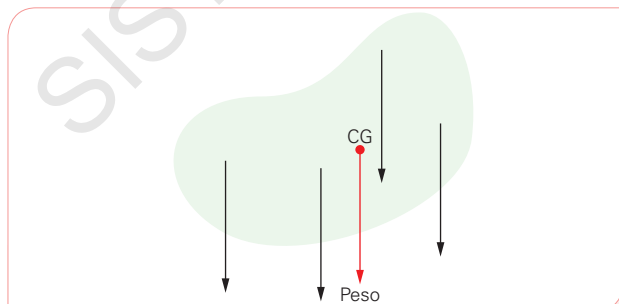
Um binário de forças é uma excelente demonstração de que a força resultante ser nula não é suficiente para garantir o equilíbrio de corpos extensos. No binário, a força resultante é nula, mas o momento, não ($M = F \cdot d$) e, conseqüentemente, a rotação produzida não é uniforme, e sim com velocidade de módulo variável.



Não se deve confundir movimento de rotação uniforme com movimento circular uniforme. No primeiro, o corpo gira em torno de si mesmo (Fig. 1). Já no segundo, o corpo translada em torno de um ponto externo (Fig. 2). No primeiro caso, há equilíbrio dinâmico; no segundo, não.

REGRA PRÁTICA DE ARQUIMEDDES

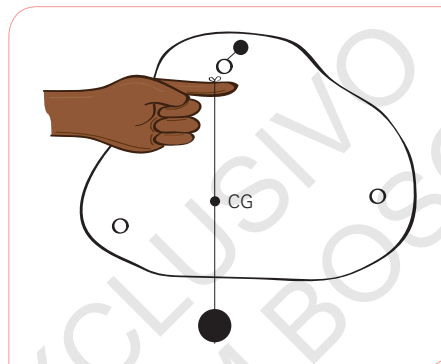
A Terra exerce força de atração sobre os corpos, ou seja, a força peso. Sua representação em um ponto material se faz sobre o próprio ponto. Já para um corpo extenso, as dimensões do corpo não podem ser desprezadas. A atração gravitacional da Terra age sobre cada partícula do corpo, formando um sistema de forças paralelas aplicadas em pontos diferentes. Assim, para um sólido, homogêneo ou não, representamos a resultante das forças de gravidade que agem nas partes que o compõem em um ponto específico; esse ponto chama-se **centro de gravidade (CG)**.



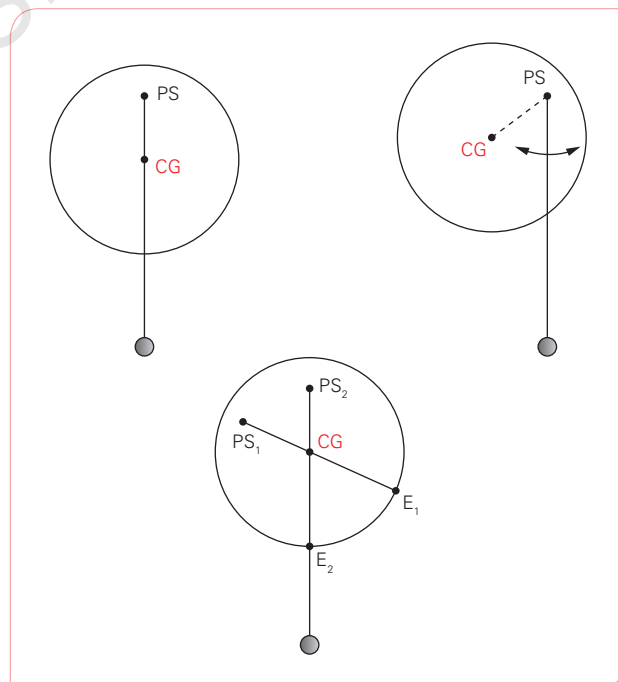
Representação do centro de gravidade (**CG**) de um corpo como local onde teoricamente atua todo o seu peso.

O genial Arquimedes (séc. III a.C.) possuía uma regra prática para determinar o centro de gravidade dos corpos.

Todo corpo, suspenso por qualquer ponto, assume um estado de equilíbrio quando o ponto de suspensão e o centro de gravidade do corpo estão ao longo de uma mesma linha vertical.

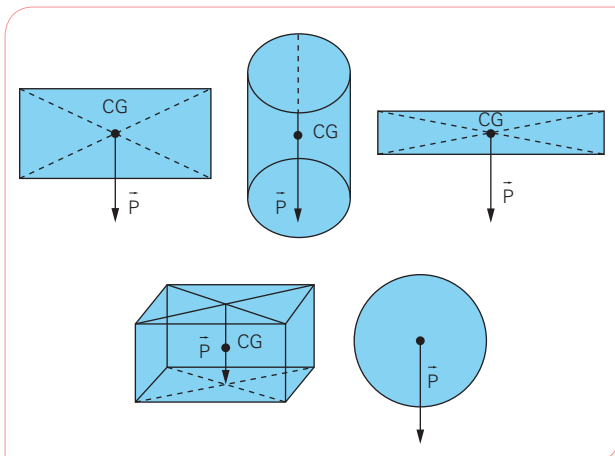


Por esse raciocínio, uma estrutura de espessura desprezível (placa, chapa, disco, folha etc.) teria seu **centro de gravidade (CG)** determinado ao se realizar, por duas oportunidades, a suspensão da estrutura por um único ponto. Em cada procedimento, risca-se uma reta vertical que passa pelo ponto de suspensão (PS) no qual a estrutura se equilibra. No cruzamento das duas retas definidas pelos dois procedimentos realizados, está o CG.



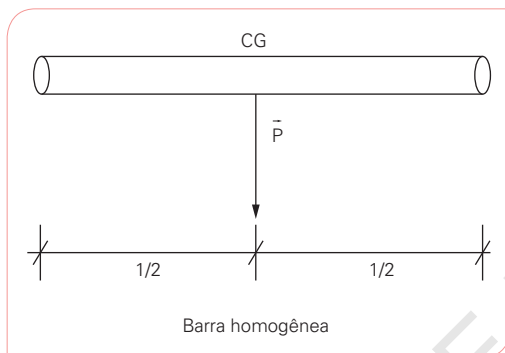
Esquemas dos procedimentos propostos por Arquimedes para determinar o CG.

Em corpo homogêneo (feito do mesmo material) e de maneira definida, o centro de gravidade está em seu centro geométrico. Observe as figuras a seguir.



Se um corpo admitir um elemento de sistema (ponto eixo ou plano), o centro de gravidade localiza-se sobre esse elemento.

Para uma barra homogênea, o centro de gravidade localiza-se no meio de sua espessura e seu comprimento.



TIPOS DE EQUILÍBRIO

Quando o ponto de suspensão e o centro de gravidade do corpo estão na mesma vertical, qualquer corpo suspenso fica em equilíbrio – que pode ser estável, instável ou indiferente.

Figura 1



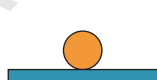
Na figura 1 tem-se equilíbrio estável

Figura 2

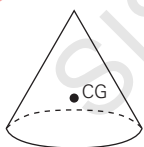


Na figura 2, equilíbrio instável

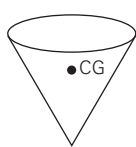
Figura 3



Na figura 3, equilíbrio indiferente



Equilíbrio estável



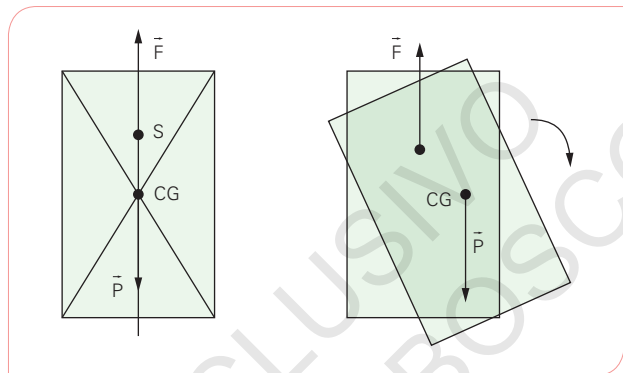
Equilíbrio instável



Equilíbrio indiferente

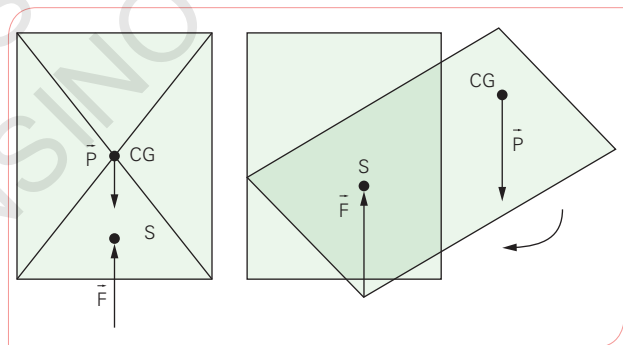
Equilíbrio estável

Nesta condição, o torque da força peso faz que o corpo retorne à posição original após uma pequena perturbação ser produzida nele. Pode-se dizer que é a configuração de posição preferencial e ocorre quando o centro de gravidade está verticalmente abaixo do ponto de suspensão.



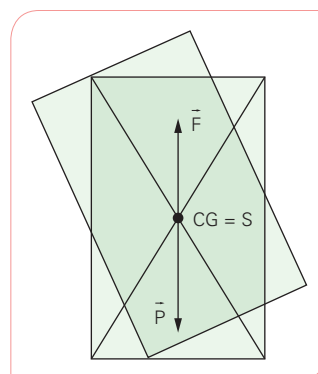
Equilíbrio instável

Neste caso, o torque da força peso faz que o corpo afaste-se da posição de equilíbrio original após uma pequena perturbação ser produzida nele. Ocorre quando o centro de gravidade está verticalmente acima do ponto de suspensão.



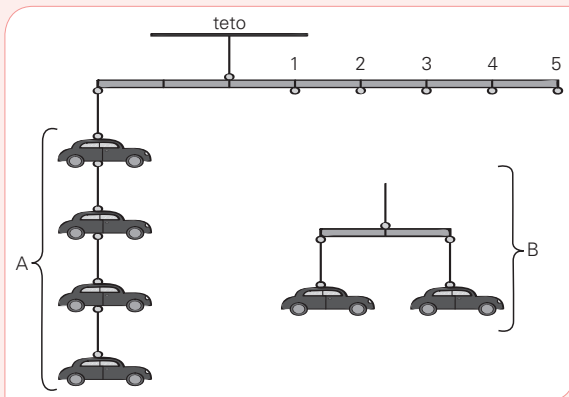
Equilíbrio indiferente

Quando o CG coincide com o ponto de suspensão, o equilíbrio é indiferente, porque, afastando a placa da posição de equilíbrio e girando-a em torno de S, ela permanece em equilíbrio na nova posição.



EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1. Famerp – O pai de uma criança pretende pendurar, no teto do quarto de seu filho, um móvel constituído por: seis carrinhos de massas iguais, distribuídos em dois conjuntos, A e B; duas hastes rígidas de massas desprezíveis, com marcas igualmente espaçadas; e fios ideais. O conjunto A já está preso a uma das extremidades da haste principal do móvel.



Sabendo que o móvel será pendurado ao teto pelo ponto P, para manter o móvel em equilíbrio, com as hastes na horizontal, em qual ponto da haste principal o pai da criança deverá pendurar o conjunto B?

Resolução

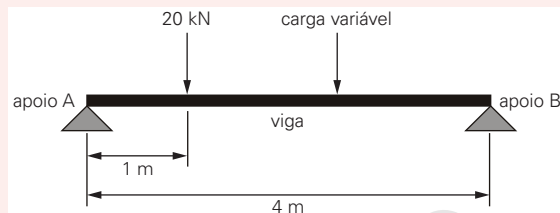
Sendo d , x e P , respectivamente, a distância entre os pontos nos quais o móvel pode ser pendurado, a distância do ponto P até onde será pendurado o conjunto B e o peso dos carrinhos, para o torque ser nulo no ponto P, devemos ter que:

$$|\sum M_{\text{Hor.}}| = |\sum M_{\text{Anti-hor.}}|$$

$$2P \cdot x = 4P \cdot 2d$$

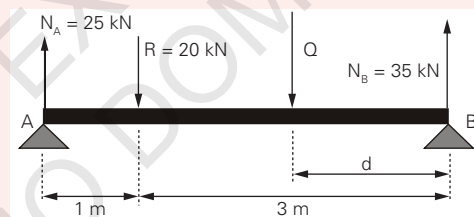
$$x = 4d$$

Portanto, o conjunto B deverá ser pendurado no ponto 4.

2. IME (adaptado)

A figura mostra uma viga em equilíbrio. Essa viga mede 4 m e seu peso é desprezível. Sobre ela, há duas cargas concentradas, sendo uma fixa e outra variável. A carga fixa de 20 kN está posicionada a 1 m do apoio A, enquanto a carga variável só pode se posicionar entre a carga fixa e o apoio B. Para que as reações verticais (de baixo para cima) dos apoios A e B sejam iguais a 25 kN e 35 kN, respectivamente, determine:

- em kN, a intensidade da carga variável;
- sua posição em relação ao apoio B.

Resolução

- Sendo Q a carga desconhecida do equilíbrio de translação, temos:

$$Q + 20 = N_A + N_B \Rightarrow Q + 20 = 25 + 35 \Rightarrow \boxed{Q = 40 \text{ kN}}$$

- Em relação ao ponto B, o equilíbrio de rotação nos dá:

$$|\sum M_{\text{Anti-hor.}}| = |\sum M_{\text{Hor.}}|$$

$$Q \cdot d + R(3) = N_A(4) \Rightarrow 40 \cdot d + 20(3) = 25(4) \Rightarrow 40 \cdot d = 40 \Rightarrow$$

$$\boxed{d = 1 \text{ m}}$$

MATERIAL DE ENSINO
SISTEMA DE ENSINO

ROTEIRO DE AULA

CORPOS EXTENSOS

Dimensões não
desconsideráveis

Condições de
equilíbrio estático

Conceito

relativo

Equilíbrio
translacional

Equilíbrio
rotacional

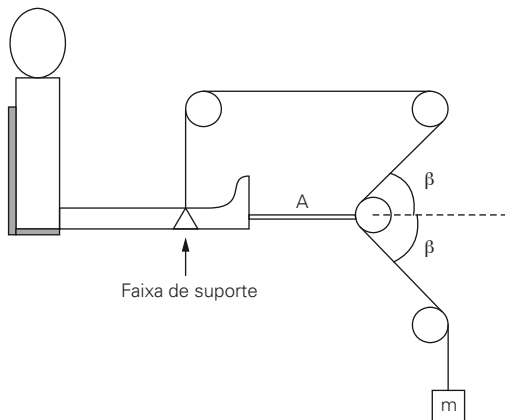
$$\vec{F}_R = \vec{0}$$

$$\Sigma M_{hor} = \Sigma M_{anti-hor}$$

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. UFG – Para tratar fraturas do fêmur é comumente utilizado um aparato chamado de sistema de tração de Russel, em que uma haste rígida A traciona o fêmur, como esquematizado na figura a seguir. Considere que a perna esteja completamente engessada, que a massa da haste seja desprezível e que as polias e fios sejam ideais.



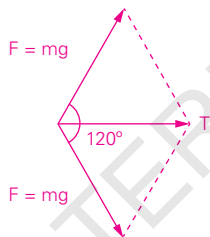
Para o caso em que a perna esteja orientada horizontalmente, com $\beta = 60^\circ$ e $m = 7,50 \text{ kg}$, calcule:

- o módulo da tração em newtons exercida ao longo da perna, considerando $g = 10 \text{ m/s}^2$;
- a massa da perna, considerando que seu comprimento seja $L = 1,0 \text{ m}$, que seu centro de massa fique a uma distância de 45 cm da cabeça do fêmur e que a faixa de suporte esteja colocada a 10 cm da planta do pé.

a) A intensidade da força de tração (F) no fio é igual ao peso da massa suspensa (m).

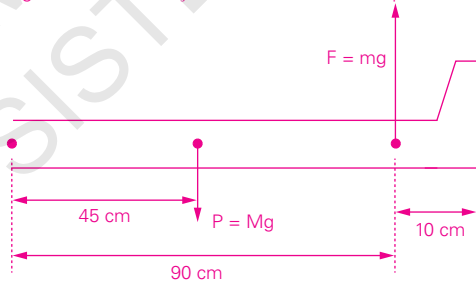
$$F = m \cdot g = 7,5 \cdot 10 = 75 \text{ N.}$$

A tração na haste (T) é dada pela lei dos cossenos.



$$T^2 = F^2 + F^2 + 2 \cdot F \cdot F \cdot \cos 120^\circ \Rightarrow T^2 = F^2 + F^2 - F^2 \Rightarrow T = F \Rightarrow \boxed{T = 75 \text{ N}}$$

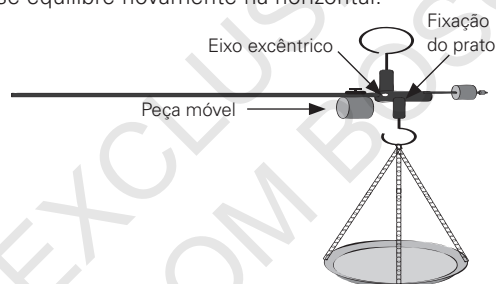
b) A figura mostra as forças verticais atuantes na perna.



O momento resultante é nulo.

$$M_p + M_f = 0 \Rightarrow M \cdot g(45) - m \cdot g(90) = 0 \Rightarrow M = 2 \cdot m = 2 \cdot 7,5 \Rightarrow \boxed{M = 15 \text{ kg}}$$

2. UFSM (adaptado) – Nas feiras livres, onde alimentos *in natura* podem ser vendidos diretamente pelos produtores aos consumidores, as balanças mecânicas ainda são muito utilizadas. A “balança romana”, representada na figura, é constituída por uma barra suspensa por um gancho, presa a um eixo excêntrico, que a divide em dois braços de comprimentos diferentes. O prato, onde se colocam os alimentos a serem pesados, é preso ao braço menor. Duas peças móveis, uma em cada braço, são posicionadas de modo que a barra repouse na horizontal, e a posição sobre a qual se encontra a peça móvel do braço maior é então marcada como o zero da escala. Quando os alimentos são colocados sobre o prato, a peça do braço maior é movida até que a barra se equilibre novamente na horizontal.



Sabendo que o prato é preso a uma distância de 5 cm do eixo de articulação e que o braço maior mede 60 cm , qual deve ser, em kg , a massa da peça móvel para que seja possível pesar até 6 kg de alimentos?

Para que haja equilíbrio de rotação, o torque resultante deve ser nulo.

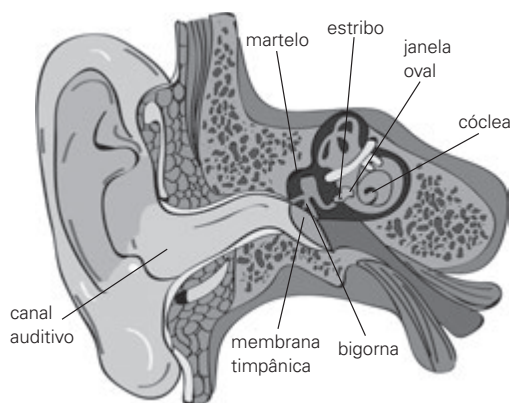
Com o prato vazio, quando a peça móvel do braço maior está no zero, o torque do peso desse braço deve equilibrar o torque do peso da peça do braço menor somado ao torque do peso do prato.

Colocando alimento no prato, a peça móvel do braço maior deve ser deslocada até que o torque de seu peso (P_p) equilibre o torque do peso do alimento (P_A).

$$\text{Assim: } M_p \cdot g = M_A \cdot g \Rightarrow m_p \cdot g \cdot d_p = m_A \cdot g \cdot d_A \Rightarrow m_p = \frac{m_A \cdot d_A}{d_p} = \frac{6 \cdot 5}{60} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{m_p = 0,5 \text{ kg}}$$

3. Unesp – No sistema auditivo humano, as ondas sonoras são captadas pela membrana timpânica, que as transmite para um sistema de alavancas formado por três ossos (martelo, bigorna e estribo). Esse sistema transporta as ondas até a membrana da janela oval, de onde são transferidas para o interior da cóclea. Para melhorar a eficiência desse processo, o sistema de alavancas aumenta a intensidade da força aplicada, o que, somado à diferença entre as áreas das janelas timpânica e oval, resulta em elevação do valor da pressão.



Considere que a força aplicada pelo estribo sobre a janela oval seja 1,5 vez maior do que a aplicada pela membrana timpânica sobre o martelo e que as áreas da membrana timpânica e da janela oval sejam $42,0 \text{ mm}^2$ e $3,0 \text{ mm}^2$, respectivamente. Quando uma onda sonora exerce sobre a membrana timpânica uma pressão de valor P_T , a correspondente pressão exercida sobre a janela oval vale

- a) $42 P_T$
 b) $14 P_T$
 c) $63 P_T$
 d) $21 P_T$
 e) $7 P_T$

Do enunciado: $F_o = 1,5 \cdot F_T$

Como $F = PA$, vem:

$$P_o \cdot A_o = 1,5 \cdot P \cdot A_T$$

$$P_o \cdot 3 = 1,5 \cdot P_T \cdot 42$$

$$\therefore P_o = 21 \cdot P_T$$

4. **Famerp** – Uma barra homogênea em forma de paralelepípedo, de massa $8,0 \text{ kg}$ e comprimento 60 cm , é sustentada em suas extremidades pelos apoios X e Y (figura 1). Um objeto Q, de massa $6,0 \text{ kg}$ e dimensões desprezíveis, é colocado sobre essa barra, distando 20 cm da extremidade X (figura 2).

FIGURA 1

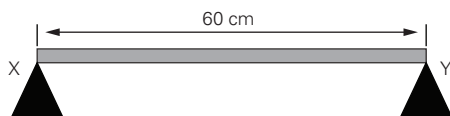
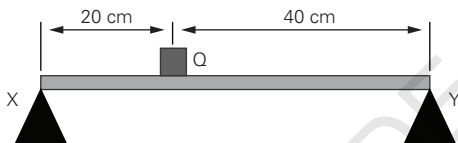


FIGURA 2



Considerando a aceleração gravitacional igual a 10 m/s^2 , determine:

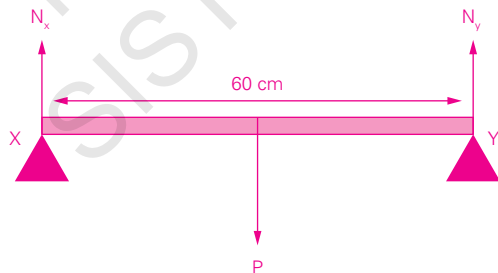
- a) as intensidades das forças exercidas, em newtons, pelo apoio X e pelo apoio Y sobre a barra, na situação descrita na figura 1.
 b) as intensidades das forças exercidas, em newtons, pelo apoio X e pelo apoio Y sobre a barra, na situação descrita na figura 2.

a) Neste caso temos uma simetria em relação aos dois apoios; portanto, serão iguais entre si e cada um terá a metade do peso da barra.

$$N_x = N_y$$

Assim, pelo equilíbrio de forças:

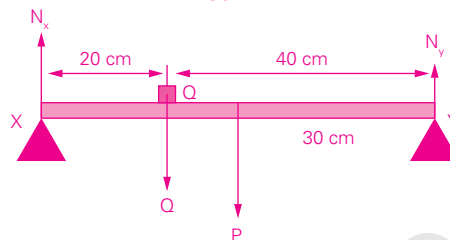
FIGURA 1



$$N_x + N_y = P \Rightarrow 2 \cdot N_x = P \Rightarrow N_x = \frac{P}{2} = \frac{80 \text{ N}}{2} \therefore N_x = N_y = 40 \text{ N}$$

- b) Usando o equilíbrio de forças:

FIGURA 2



$$N_x + N_y = P + Q \Rightarrow N_x + N_y = 80 + 60 \therefore N_x + N_y = 140 \quad (1)$$

Sabendo que, para o sistema estar em equilíbrio, é necessário também que o somatório dos momentos seja nulo, então, considerando o apoio Y como eixo de rotação:

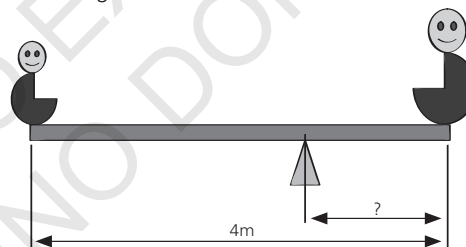
$$M_{N_x} = M_Q + M_P \Rightarrow N_x \cdot d_{N_x} = Q \cdot d_Q + P \cdot d_P \Rightarrow N_x \cdot 60 = 60 \cdot 40 + 80 \cdot 30$$

$$N_x = \frac{4800}{60} \therefore N_x = 80 \text{ N}$$

Substituindo na equação (1), temos:

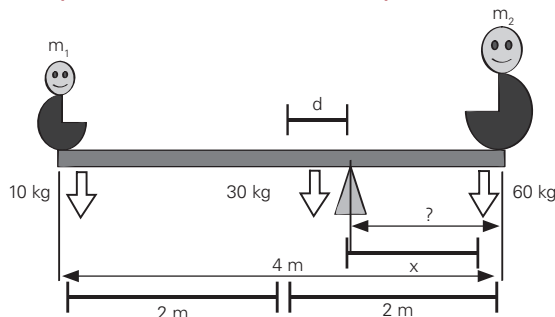
$$N_x + N_y = 140 \Rightarrow 80 + N_y = 140 \therefore N_y = 60 \text{ N}$$

5. **Eear** – Dois garotos decidem brincar de gangorra usando uma prancha de madeira de massa igual a 30 kg e 4 metros de comprimento, sobre um apoio, conforme mostra a figura.



Sabendo que um dos garotos tem 60 kg e o outro, 10 kg , qual a distância, em metros, do apoio à extremidade em que está o garoto de maior massa?

- a) 1
 b) 2
 c) 3
 d) 4



$$T_{\text{anti-horário}} = T_{\text{horário}}$$

$$m_1 \cdot g \cdot d_1 + m_2 \cdot g \cdot d_2 = m_3 \cdot g \cdot d_3 \quad (+g)$$

$$m_1 \cdot d_1 + m_2 \cdot d_2 = m_3 \cdot d_3$$

$$10 \cdot (2 + d) + 30 \cdot d = 60 \cdot x$$

$$20 + 10d + 30d - 60x = 0$$

$$40d - 60x = -20$$

$$40(2 - x) - 60x = -20$$

$$80 - 40x - 60x = -20$$

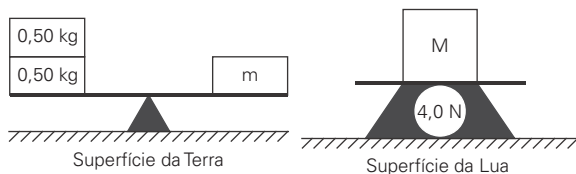
$$-100x = -100$$

$$x = 1$$

6. Enem

C3-H12

A figura mostra uma balança de braços iguais, em equilíbrio, na Terra, onde foi colocada uma massa m , e a indicação de uma balança de força na Lua, onde a aceleração da gravidade é igual a $1,6 \text{ m/s}^2$, sobre a qual foi colocada uma massa M .



A razão das massas $\frac{M}{m}$ é

a) 4,0.

b) 2,5.

c) 0,4.

d) 1,0.

e) 0,25.

Quanto à primeira figura, na superfície da Terra, se os braços da balança são iguais, as massas nas extremidades também são iguais. Assim, $m = 0,5 + 0,5 \Rightarrow m = 1 \text{ kg}$.

A segunda figura mostra que o peso do bloco na superfície da Lua é 4 N . Então:

$$P = Mg_{\text{Lua}} \Rightarrow M = \frac{P}{g_{\text{Lua}}} = \frac{4}{1,6} \Rightarrow M = 2,5 \text{ kg}$$

Fazendo a relação pedida.

$$\frac{M}{m} = \frac{2,5}{1} \Rightarrow \frac{M}{m} = 2,5$$

Competência: Construir noções de grandezas e medidas para a compreensão da realidade e a solução de problemas do cotidiano.

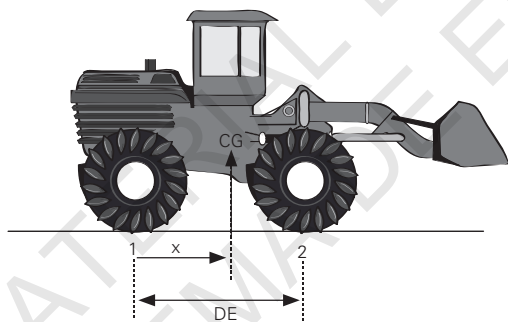
Habilidade: Resolver situação-problema que envolva medidas de grandezas.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. Uece – Uma escada, em equilíbrio estático, é apoiada em uma parede vertical e repousa formando um ângulo de 60° com uma calçada horizontal. Sobre as forças de contato atuando na escada, é correto afirmar que

- as forças normais nos dois pontos de contato formam um ângulo de 60° entre si.
- as forças normais nos dois pontos de contato são perpendiculares entre si.
- a força normal sobre a escada no ponto de apoio com a parede forma um ângulo de 60° com a vertical.
- a força normal sobre a escada no ponto de apoio com a parede forma um ângulo de 30° com a vertical.

8. Unesp – A figura mostra, em corte, um trator florestal “derrubador-amontoador” de massa $13\,000 \text{ kg}$; x é a abscissa de seu centro de gravidade (CG). A distância entre seus eixos, traseiro e dianteiro, é $DE = 2,5 \text{ m}$.

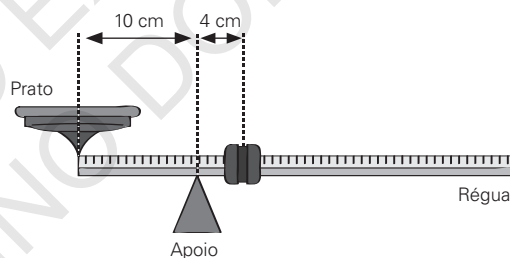


Admita que 55% do peso total do trator é exercido sobre os pontos de contato dos pneus dianteiros com o solo (2), e o restante, sobre os pontos de contato dos pneus traseiros com o solo (1). Determine a abscissa x do centro de gravidade desse trator, em relação ao ponto 1.

Adote $g = 10 \text{ m/s}^2$ e dê a resposta com dois algarismos significativos.

9. AFA – Em feiras livres ainda é comum encontrar balanças mecânicas, cujo funcionamento é baseado no equilíbrio de corpos extensos. Na figura a seguir tem-se a representação de uma dessas balanças, constituída basicamente de uma régua metálica homogênea de massa desprezível, um ponto de apoio, um prato fixo em uma extremidade da régua e um cursor que pode

se movimentar desde o ponto de apoio até a outra extremidade da régua. A distância do centro do prato ao ponto de apoio é de 10 cm . O cursor tem massa igual a $0,5 \text{ kg}$. Quando o prato está vazio, a régua fica em equilíbrio na horizontal com o cursor a 4 cm do apoio.

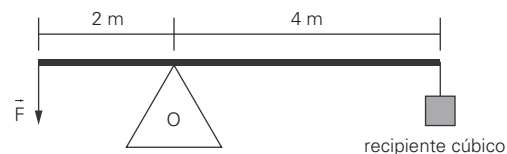


Colocando 1 kg sobre o prato, a régua ficará em equilíbrio na horizontal se o cursor estiver a uma distância do apoio, em cm, igual a

- 18
- 20
- 22
- 24

10. Eear – Uma barra de 6 m de comprimento e de massa desprezível é montada sobre um ponto de apoio (O), conforme pode ser visto na figura. Um recipiente cúbico de paredes finas e de massa desprezível com 20 cm de aresta é completamente cheio de água e, em seguida, é colocado preso a um fio na outra extremidade.

A intensidade da força \vec{F} , em N, aplicada na extremidade da barra para manter em equilíbrio todo o conjunto (barra, recipiente cúbico e ponto de apoio) é

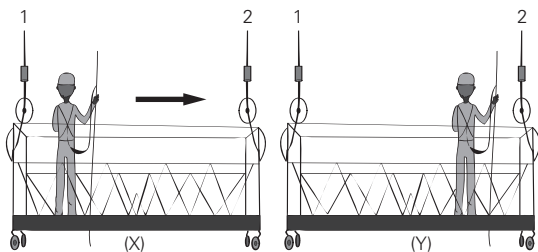


Adote:

- o módulo da aceleração da gravidade no local igual a 10 m/s^2 ;
- a densidade da água igual a $1,0 \text{ g/cm}^3$; e
- o fio, que prende o recipiente cúbico, ideal e de massa desprezível.

- 40
- 80
- 120
- 160

15. UFRGS – Nas figuras (X) e (Y), a seguir, está representado um limpador de janelas trabalhando em um andaime suspenso pelos cabos 1 e 2, em dois instantes de tempo.



Durante o intervalo de tempo limitado pelas figuras, você observa que o trabalhador caminha sobre o andaime indo do lado esquerdo, figura (X), para o lado direito, figura (Y).

Assinale a alternativa que preenche corretamente as lacunas da sentença a seguir, na ordem em que aparecem.

Após o trabalhador ter-se movido para a direita (figura [Y]), podemos afirmar corretamente que, em relação à situação inicial (figura [X]), a soma das tensões nos cabos 1 e 2 _____, visto que _____.

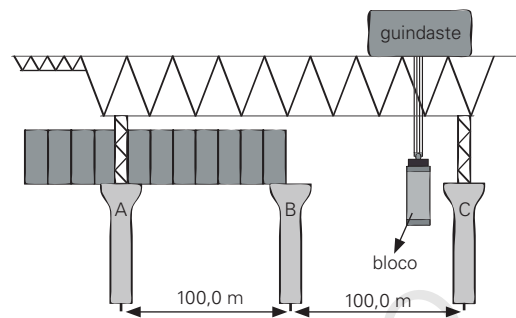
- permanece a mesma – as tensões nos cabos 1 e 2 permanecem as mesmas
- permanece a mesma – a diminuição da tensão no cabo 1 corresponde a igual aumento na tensão no cabo 2
- aumenta – aumenta a tensão no cabo 2 e permanece a mesma tensão no cabo 1
- aumenta – aumenta a tensão no cabo 1 e permanece a mesma tensão no cabo 2
- diminui – diminui a tensão no cabo 1 e permanece a mesma tensão no cabo 2

16. UFSC

A BR-101, também conhecida como Rodovia Translitorânea, faz a ligação do Brasil de norte a sul. Sua duplicação, portanto, é uma obra de grande importância. A construção da nova ponte de Laguna, batizada em homenagem à lagunense Anita Garibaldi, a heroína de dois mundos (América Latina e Europa), faz parte da obra de duplicação dessa rodovia e substituirá a atual ponte de Laguna, a Ponte Henrique Lage, inaugurada em 1º de setembro de 1934. A construção da nova ponte de Laguna e a conclusão da duplicação da rodovia BR-101 darão um grande impulso ao desenvolvimento econômico dessa região e, também, ao turismo.

Disponível em: <www.pontedelaguna.com.br>. Acesso em: 17 ago. 2014. (Adaptado)

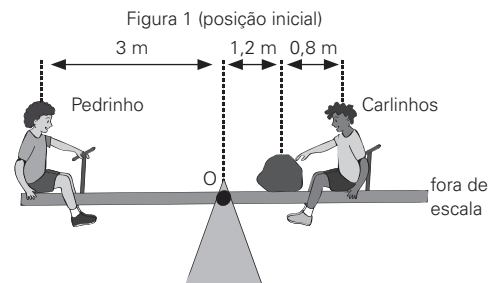
O desenho a seguir ilustra o sistema de guindaste usado para suspender os blocos de concreto que darão a base para a pista de rolamento dos veículos. Uma estrutura metálica fica apoiada sobre dois pilares (A e C), dando suporte ao guindaste que suspende os blocos de concreto, para que sejam fixados aos demais. Vamos admitir que a estrutura metálica possua uma massa de 200 toneladas ($200 \cdot 10^3 \text{kg}$), cujo centro de massa esteja a 80,0 m do pilar A, que cada bloco possua uma massa de 10 toneladas e que o guindaste tenha uma massa de 5 toneladas. Adote $g = 10 \text{ m/s}^2$.



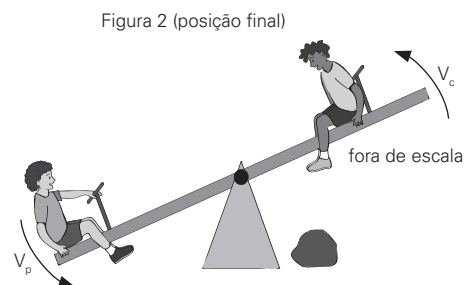
Com base nos dados, é CORRETO afirmar que:

- para que todo o sistema (estrutura, guindaste e bloco) esteja em equilíbrio, é necessário que a soma dos momentos seja zero, $\sum \vec{M} = 0$, assim como a soma das forças, $\sum \vec{F} = 0$.
- a altura do bloco suspenso pelo guindaste influencia seu torque em relação ao pilar A ou ao pilar C.
- à medida que o guindaste se desloca em direção ao pilar B, a força de reação dos pilares A e C aumenta e diminui, respectivamente.
- supondo que o bloco suspenso esteja a 20,0 m do pilar C, as forças de reação nos pilares A e C são, respectivamente, $121,5 \cdot 10^4 \text{ N}$ e $93,5 \cdot 10^4 \text{ N}$.
- inserir um novo ponto de sustentação da estrutura no pilar B não altera as forças de reação nos pilares A e C.
- as forças de reação nos pilares A e C se alteram durante a subida do bloco, em velocidade constante, pelo guindaste.

17. Unesp – Pedrinho e Carlinhos são garotos de massas iguais a 48 kg cada um e estão inicialmente sentados, em repouso, sobre uma gangorra constituída de uma tábua homogênea articulada em seu ponto médio, no ponto O. Próxima a Carlinhos, há uma pedra de massa M que mantém a gangorra em equilíbrio na horizontal, como representado na figura 1.



Quando Carlinhos empurra a pedra para o chão, a gangorra gira e permanece em equilíbrio na posição final, representada na figura 2, com as crianças em repouso nas mesmas posições em que estavam inicialmente.



Calcule o valor da relação $\frac{V_p}{V_c}$, sendo V_p e V_c os módulos das velocidades escalares médias de Pedrinho e de

Carlinhos, respectivamente, em seus movimentos entre as posições inicial e final. Em seguida, calcule o valor da massa M , em kg.

ESTUDO PARA O ENEM

18. Ifsul

C6-H20

Em física, um determinado corpo, ao ser analisado, pode ser considerado como sendo um ponto material ou um corpo extenso. Considerar um corpo como ponto material equivale a admitir que, na situação física em que está sendo analisado, ele só poderá apresentar movimento de translação, uma vez que não se pode admitir o movimento de rotação para um único ponto. Por outro lado, o corpo extenso pode apresentar tanto movimento de translação quanto movimento de rotação.

Com base no texto e em seus conhecimentos, analise as afirmativas a seguir:

- I. Um corpo extenso está em equilíbrio de translação apenas quando seu centro de massa está em repouso em relação a um determinado referencial inercial.
- II. A condição de equilíbrio de translação de um corpo extenso é que a soma das forças externas que atuam no corpo seja nula.
- III. A condição de equilíbrio de rotação de um corpo extenso sob a ação de um conjunto de forças coplanares é que o momento resultante em relação a qualquer eixo perpendicular ao plano das forças seja nulo.

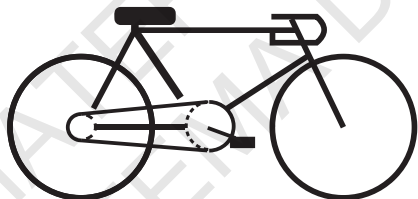
Está(ão) correta(s) apenas a(s) afirmativa(s):

- a) I.
- b) II.
- c) I e III.
- d) II e III.

19. Enem

C1-H2

As bicicletas possuem uma corrente que liga uma coroa dentada dianteira, movimentada pelos pedais, a uma coroa localizada no eixo da roda traseira, como mostra a figura.



O número de voltas dadas pela roda traseira a cada pedalada depende do tamanho relativo dessas coroas.

Quanto ao funcionamento de uma bicicleta de marchas, na qual cada marcha é uma combinação de uma das coroas dianteiras com uma das coroas traseiras, são formuladas as seguintes afirmativas:

- I. em uma bicicleta que tenha duas coroas dianteiras e cinco traseiras, temos um total de dez marchas possíveis, na qual cada marcha representa a associação de uma das coroas dianteiras com uma das traseiras.
- II. em alta velocidade, convém acionar a coroa dianteira de maior raio com a coroa traseira de maior raio também.
- III. em uma subida íngreme, convém acionar a coroa dianteira de menor raio e a coroa traseira de maior raio.

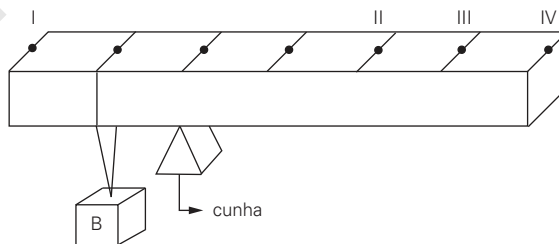
Entre as afirmações anteriores, estão corretas:

- a) I e III, apenas.
- b) I, II e III, apenas.
- c) I e II, apenas.
- d) II, apenas.
- e) III, apenas.

20. CFTMG

C3-H12

No desenho a seguir, um corpo B, de massa igual a $4M$, está suspenso em um dos pontos equidistantes de uma barra homogênea, de comprimento L e massa M , que se encontra apoiado em uma cunha.

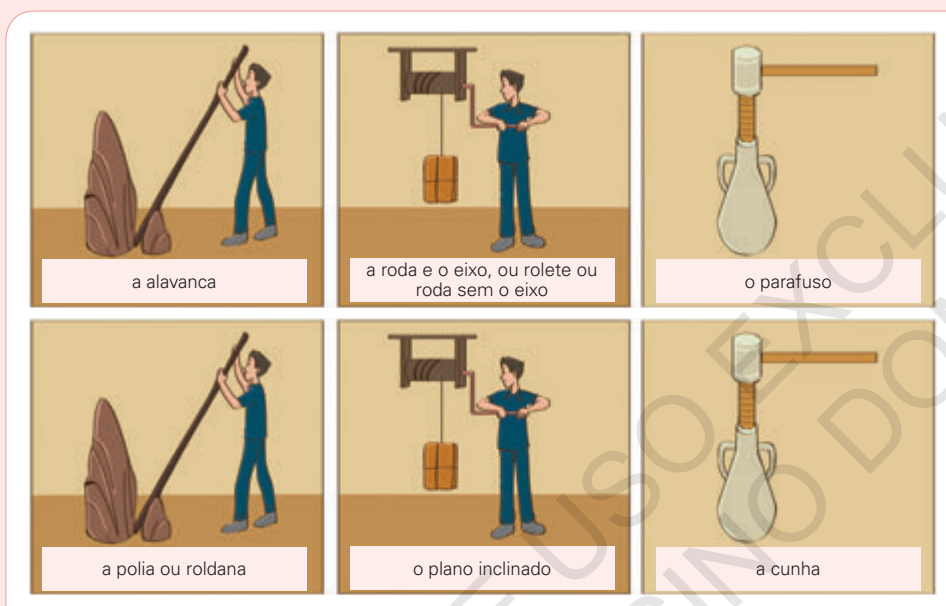


Para que a barra permaneça em equilíbrio horizontal, um corpo A de massa M deverá ser suspenso no ponto

- a) I.
- b) II.
- c) III.
- d) IV.

TIPOS DE ALAVANCAS E APLICAÇÕES

52



Máquinas simples.

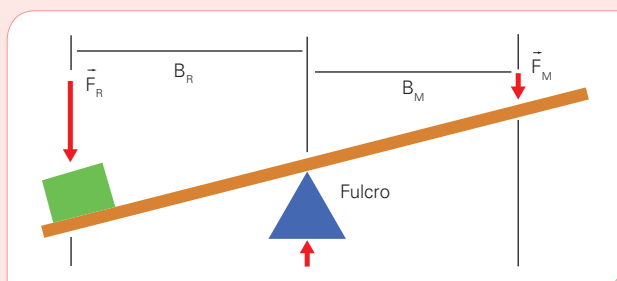
Só é possível contar a história da humanidade através dos instrumentos produzidos em cada um dos períodos históricos. A história do homem se confunde com a história das coisas. A primeira machadinha produzida na Idade da Pedra Lascada (Paleolítico) abriu um leque de possibilidades de intervenção sobre a natureza e, dentre tantas consequências, aumentou o tamanho e a capacidade cerebral, que, por sua vez, possibilitaram a criação de ferramentas cada vez mais complexas.

Desde a Renascença, os mecanismos formados por uma única peça que visam à realização de tarefas por meio de menores esforços são chamados de máquinas simples. Tais mecanismos fornecem ao operador do sistema uma vantagem mecânica.

Ainda hoje é muito importante o estudo das máquinas simples, pois os princípios que embasam sua construção e seu funcionamento aplicam-se a todas as outras máquinas.

ALAVANCA

A alavanca é um corpo rígido, sólido, de formato alongado (relativamente fino, como uma haste) e que pode ser posta em rotação quando apoiada em um ponto de fixação.



- Condições de equilíbrio estático para corpos extensos
- Tipos de alavancas e suas aplicações

HABILIDADES

- Diferenciar tipos de alavancas.
- Caracterizar o equilíbrio de um corpo extenso.
- Relacionar condições de equilíbrio para um corpo extenso.
- Reconhecer a posição do centro de gravidade de um corpo simétrico.
- Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.
- Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes.
- Relacionar propriedades físicas, químicas ou biológicas de produtos, sistemas ou procedimentos tecnológicos às finalidades a que se destinam.

Toda alavanca é caracterizada por três elementos:

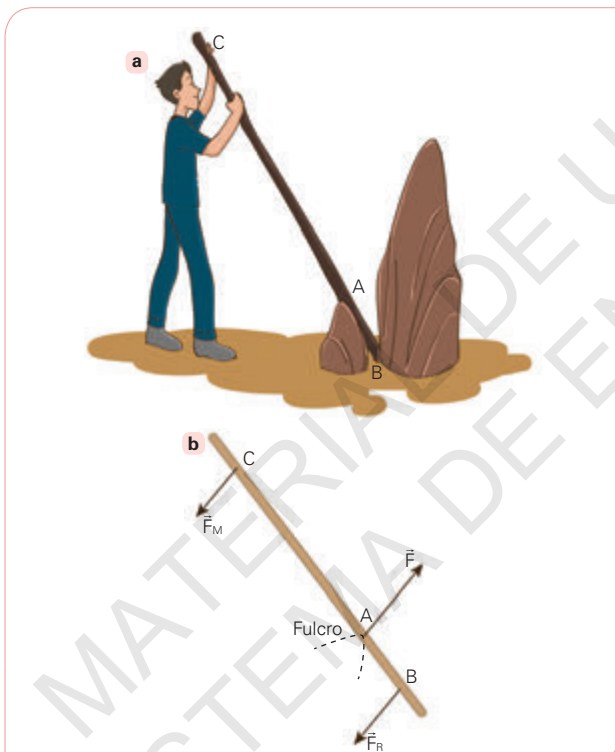
- Força potente (F_p) ou força motriz (F_M).
É a força ativa que aciona a máquina, aplicada pelo operador do sistema e capaz de produzir movimento.
- Força resistente (F_R).
É a força que se opõe ao movimento induzido pela força potente. É a força que o operador deseja vencer ou equilibrar.
- Ponto de fixação (O).
Denominado fulcro, polo ou eixo, permanece sempre em repouso em relação à Terra.

Tipos de alavancas

A posição relativa entre os três elementos característicos da alavanca é que determina sua classe (tipo).

Interfixa

É aquela cujo fulcro ocupa uma posição intermediária aos pontos nos quais as forças (potente e resistente) são aplicadas.



O ponto de fixação (A) ocupa uma posição intermediária à força potente (aplicada em C) e à resistência (em B).

Exemplos de aplicação cotidiana: balança de braços iguais, balança romana, gangorra, tesoura, pé-de-cabra, ação do martelo ao tirar um prego preso em uma tábua, alicate, remo, furador de papel e abridor de latas.

Inter-resistente

Trata-se daquela em que a força resistente é aplicada em um foco entre o ponto de apoio e a posição de aplicação da força potente.

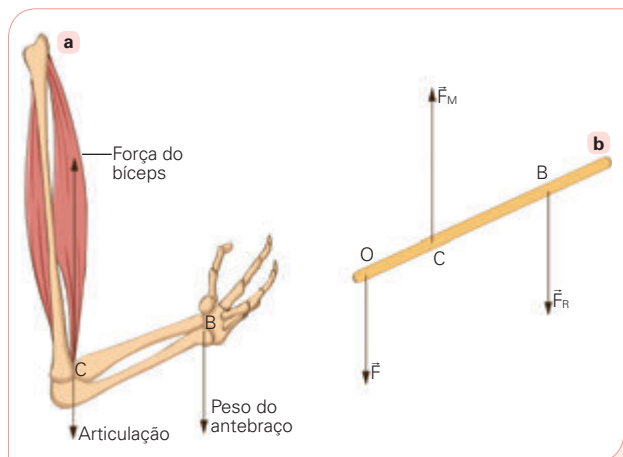


A força de resistência (B) aplicada pela carga ocupa uma posição intermediária à força potente (aplicada em C pelo operador) e à fixação (O).

Exemplos de aplicação cotidiana: carrinho de mão, quebra-nozes, furador manual de papel, abridor de garrafas, chave inglesa, manivela e pedal de bicicleta.

Interpotente

Refere-se ao caso em que a força potente (ou motriz) é aplicada em um ponto que se encontra entre a fixação e o ponto de aplicação da força resistente.



A força potente realizada pelo biceps (em C) ocupa uma posição intermediária à força resistente (aplicada em B) e à articulação (O).

Exemplos de aplicação cotidiana: pinça, pegador de gelo e vara de pescar.

Vantagem mecânica (VM)

A vantagem mecânica de uma alavanca indica o quanto maior é a carga responsável pela força resistente

em relação à força potente. Portanto, ela é definida pela seguinte razão:

$$VM = \frac{F_r}{F_p}$$

De maneira direta, quanto maior a VM de uma alavanca, menor será o esforço empregado pelo operário na realização de determinada tarefa.

Em uma alavanca equilibrada, pode-se dizer que os torques produzidos pelas forças potente e resistente equilibram-se. Desse modo, tem-se:

$$\begin{aligned} |M_{potente} &= M_{resistente}| \\ F_p \cdot B_p &= F_r \cdot B_r \\ \frac{F_r}{F_p} &= \frac{B_p}{B_r} \end{aligned}$$

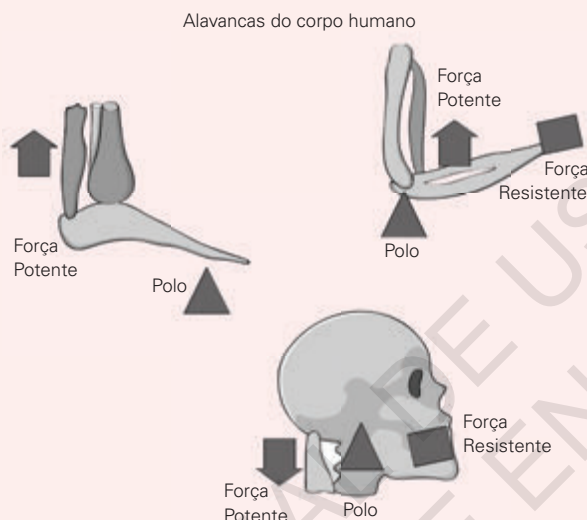
$$VM = \frac{F_r}{F_p} = \frac{B_p}{B_r}$$

Na relação anterior, B_p e B_r representam os braços de forças (potente e resistente) que atuam sobre a alavanca.

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1. Acafe – Basicamente, uma alavanca é uma barra que pode girar em torno de um ponto de apoio, chamado de polo. Mesmo no nosso corpo existem muitas alavancas, já que há muitas partes articuláveis.

Na figura a seguir, vemos o exemplo de três tipos de alavancas diferentes: no pé (1), no braço/antebraço (2) e na cabeça (3).

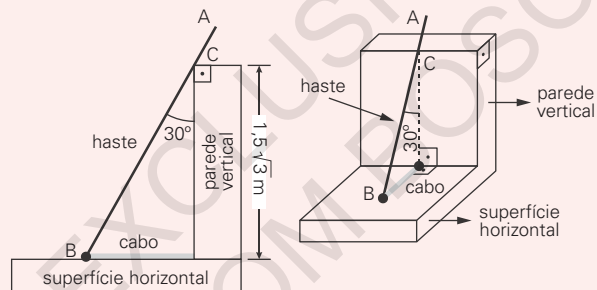


Classifique, conforme a posição do ponto de apoio em relação às forças aplicadas, cada uma das alavancas mencionadas.

Resolução

O nome da alavanca é dado pela força interna, ou seja, pela força que está entre as outras duas. Na figura (1), temos a força resistente entre a força potente e o apoio, portanto, a alavanca é inter-resistente. Já na figura (2), temos a força potente entre o apoio e a força resistente, sendo o caso de uma alavanca inter-potente. Finalmente, na figura (3), o apoio está entre as outras forças, então é um exemplo de uma alavanca inter-fixa.

2. Aman – Uma haste AB rígida, homogênea, com 4 m de comprimento e 20 N de peso, encontra-se apoiada no ponto C de uma parede vertical, de altura $1,5 \cdot \sqrt{3}$ m, formando um ângulo de 30° com ela, conforme representado nos desenhos a seguir.



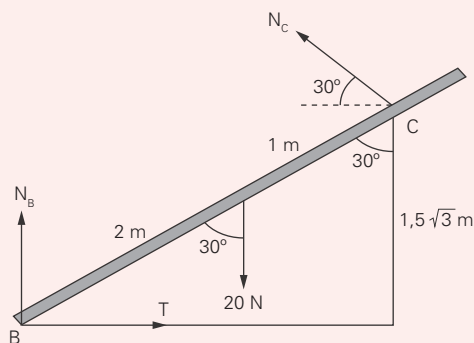
Desenhos ilustrativos fora de escala.

Para evitar o escorregamento da haste, um cabo horizontal ideal encontra-se fixo na extremidade da barra no ponto B, e a outra extremidade do cabo está fixa na parede vertical.

Desprezando todas as forças de atrito e considerando que a haste encontra-se em equilíbrio estático, determine a força de tração no cabo.

Dados: $\sin 30^\circ = \cos 60^\circ = 0,5$ e $\sin 60^\circ = \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}$

Resolução



$$\cos 30^\circ = \frac{1,5\sqrt{3}}{BC} \Rightarrow BC = 3 \text{ m}$$

$$\Sigma M_B = 0: 20 \sin 30^\circ \cdot 2 - N_C \cdot 3 = 0 \Rightarrow N_C = \frac{20}{3} \text{ N}$$

$$\Sigma F_x = 0: T - N_C \cos 30^\circ = 0 \Rightarrow T = \frac{20}{3} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\therefore T = \frac{10\sqrt{3}}{3} \text{ N}$$

ROTEIRO DE AULA

ALAVANCAS

Elementos
fundamentais

Força potente –
fixação – força
resistente

Força potente –
força resistente
– fixação

Fixação – força
potente – força
resistente

Força e braço são
inversamente proporcionais

Força

potente

Alavanca

interfixa

Alavanca

inter-resistente

Alavanca

interpotente

Força

resistente

Exemplos:

Gangorra, alicate,

tesoura, ...

Exemplos:

Quebra-nozes,

carrinho de mão,

furador de papel...

Exemplos:

Pinça, pegador de

macarrão, ...

Fixação (fulcro)

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. Acafe – Uma família comprou uma casa nova e estava se preparando para a mudança: os homens carregando a mobília e a mãe com a filha empacotando os objetos menores. De repente, a mãe pega um porta-retrato com uma foto tirada na construção da antiga casa. A menina observa que era possível ver na foto dois pedreiros trabalhando, um deles usando o carrinho de mão para carregar massa e o outro empregando o martelo para arrancar um prego da madeira. Sua avó aparecia com a vassoura na mão varrendo a varanda e sua mãe, através da janela com uma pinça na mão, aparando a sobancelha. Com isso, lembrou-se das aulas de Física e percebeu que todos os personagens da foto portavam máquinas simples.

Assinale o tipo de máquinas simples (alavancas) associado a cada um dos quatro objetos vistos na foto, respectivamente.

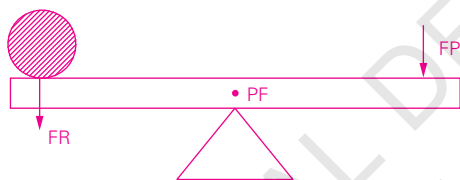
- a) Inter-resistente/interfixa/interpotente/interpotente.
 b) Interpotente/interfixa/inter-resistente/interpotente.
 c) Interfixa/interpotente/interpotente/inter-resistente
 d) Inter-resistente/interpotente/interfixa/interpotente.

Sabendo que uma alavanca consiste basicamente de:

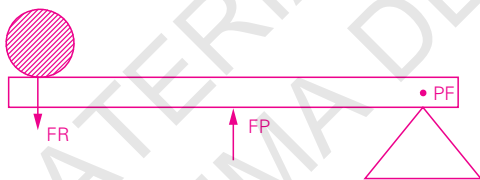
- Um ponto fixo (PF), ou chamado de apoio;
- Um ponto em que é aplicada a força potente (FP), força utilizada para executar o movimento;
- Um ponto em que é aplicada a força resistente (FR), força que deve ser vencida para o movimento acontecer.

Dependendo da posição desses três pontos, a alavanca funciona de uma forma diferente. Para cada uma delas, existe um nome específico. Há três tipos de alavancas descritas e diferenciadas a seguir:

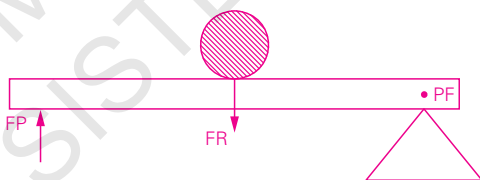
1) Alavanca interfixa: é quando o PF se encontra entre a FP e a FR, como mostrado na figura.



2) Alavanca interpotente: é quando a FP se encontra entre a FR e o PF, conforme mostrado na figura.



3) Alavanca inter-resistente: é quando a FR se encontra entre o PF e a FP, conforme mostrado na figura.



Assim, fazendo a comparação dos tipos de alavanca com as ferramentas citadas no enunciado, temos que:

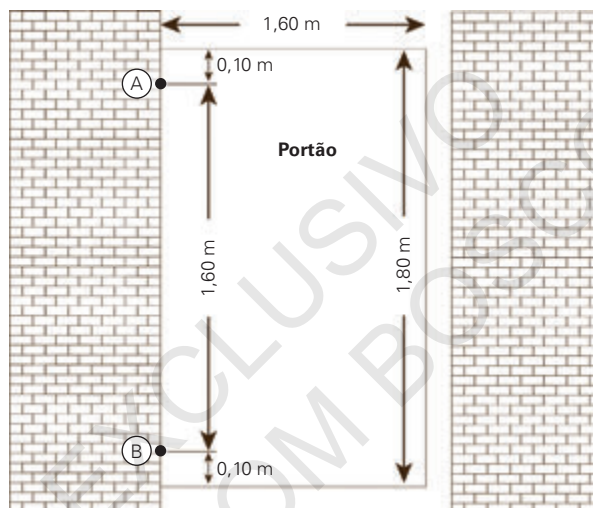
Carrinho de mão → Alavanca inter-resistente

Martelo → Alavanca interfixa

Vassoura → Alavanca interpotente

Pinça → Alavanca interpotente

2. Aman – Um portão maciço e homogêneo de 1,60 m de largura e 1,80 m de comprimento, pesando 800 N, está fixado em um muro por meio das dobradiças A, situada a 0,10 m abaixo do topo do portão, e B, situada a 0,10 m de sua parte inferior. A distância entre as dobradiças é de 160 m, conforme o desenho a seguir.



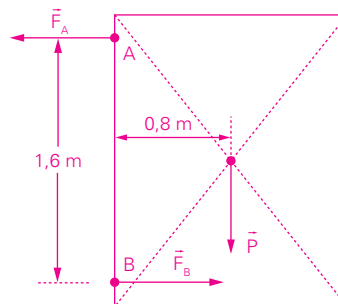
Elas têm peso e dimensões desprezíveis, e cada dobradiça suporta uma força cujo módulo da componente vertical é metade do peso do portão.

Considerando que o portão está em equilíbrio e que seu centro de gravidade está localizado em seu centro geométrico, o módulo da componente horizontal da força em cada dobradiça A e B vale, respectivamente:

- a) 130 N e 135 N
 b) 135 N e 135 N
 c) 400 N e 400 N
 d) 450 N e 450 N
 e) 600 N e 650 N

Se o portão está em equilíbrio, o somatório dos momentos em relação a qualquer ponto é nulo.

A figura mostra as componentes horizontais das forças atuantes nas dobradiças.

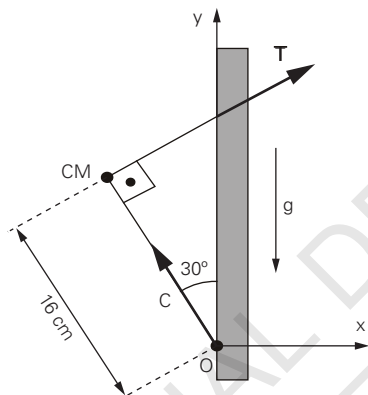


Em relação ao ponto B, temos:

$$M_{FA}^B = M_P^B \Rightarrow F_A \cdot 1,6 = 800 \cdot (0,8) \Rightarrow F_A = \frac{6400}{1,6} = 400 \text{ N.}$$

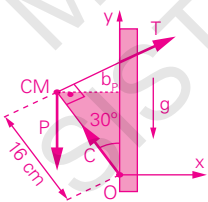
$$\therefore F_A = F_B = 400 \text{ N.}$$

3. Fuvest – Para manter-se equilibrado em um tronco de árvore vertical, um pica-pau agarra-se pelos pés, puxando-se contra o tronco, e apoia sobre ele sua cauda, constituída de penas muito rígidas, conforme a figura. No esquema a seguir, estão indicadas as direções das forças nos pés (T) e na cauda (C) do pica-pau – que passam por seu centro de massa (CM) –, além da distância da extremidade da cauda ao CM do pica-pau, que tem 1 N de peso (P).



- Calcule os momentos das forças P e C em relação ao ponto O indicado no esquema.
- Escreva a expressão para o momento da força T em relação ao ponto O e determine o módulo dessa força.
- Determine o módulo da força C na cauda do pica-pau.

a) A figura a seguir mostra as três forças atuantes no pica-pau. Sejam $|M_p|$ e $|M_c|$ os módulos dos momentos dessas forças.



No triângulo destacado na figura:

$$\text{sen } 30^\circ = \frac{b_p}{16} \Rightarrow b_p = 16 \left(\frac{1}{2} \right) = 8 \text{ cm} \Rightarrow b_p = 8 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

Lembrando que o módulo do momento de uma força (\vec{F}) é dado pelo produto da intensidade dessa força por seu braço (b \rightarrow distância da linha de ação da força até o polo), vem:

$$|M_p| = P \cdot b_p = 1 \cdot 8 \cdot 10^{-2} \Rightarrow 8 \cdot 10^{-2} \text{ N} \cdot \text{m}.$$

$$|M_c| = C \cdot b_c = 0, \text{ pois a linha de ação dessa força passa pelo ponto O } (b_c = 0).$$

$$\text{b) Em módulo: } |M_T| = T \cdot b_T.$$

Como o pica-pau está em equilíbrio de rotação, o momento resultante sobre ele é nulo. Ou seja, o somatório dos momentos no sentido horário é igual ao somatório dos momentos em sentido anti-horário. Como M_c é nulo:

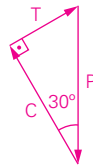
$$|M_T| = |M_p| \Rightarrow T \cdot b_T = |M_p| \Rightarrow T \cdot (16 \cdot 10^{-2}) = 8 \cdot 10^{-2} \Rightarrow T = 0,5 \text{ N}.$$

c) Como o pica-pau está em equilíbrio de translação, a resultante das forças atuantes sobre ele é nula. Pela regra da poligonal:

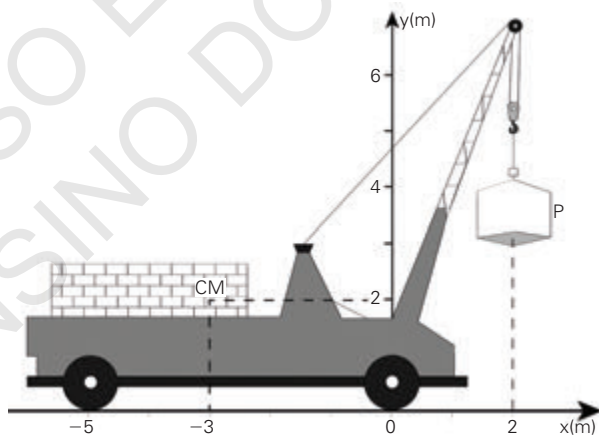
$$\cos 30^\circ = \frac{C}{P} \Rightarrow C = P \cdot \cos 30^\circ = 1(0,87) \Rightarrow C = 0,87 \text{ N}.$$

Observação: podemos calcular aqui, também, a intensidade da força \vec{T} :

$$\text{sen } 30^\circ = \frac{T}{P} \Rightarrow T = P \cdot \text{sen } 30^\circ = 1(0,5) \Rightarrow T = 0,5 \text{ N}.$$



4. Fuvest



O guindaste da figura pesa 50 000 N sem carga, e os pontos de apoio de suas rodas no solo horizontal estão em $x = 0$ e $x = -5$ m. O centro de massa (CM) do guindaste sem carga está localizado na posição ($x = -3$ m, $y = 2$ m). Na situação mostrada na figura, a maior carga P que esse guindaste pode levantar pesa

- 7 000 N
- 50 000 N
- 75 000 N**
- 100 000 N
- 150 000 N

Dados:

$$P_G = 50\,000 \text{ N}; d_G = 3 \text{ m}; d_p = 2 \text{ m}.$$

Na condição de carga máxima, há iminência de tombamento, sendo nula a normal em cada uma das rodas traseiras.

O momento resultante em relação às rodas dianteiras é nulo.

$$M_{RG} = M_p \Rightarrow 50\,000 \cdot 3 = P \cdot 2 \Rightarrow \boxed{P = 75\,000 \text{ N}}.$$

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. FCMMG – O brasileiro Arthur Zanetti tem se destacado no cenário da ginástica olímpica, especialmente na modalidade das argolas. As figuras destacam quatro posições clássicas dessa modalidade.



Posição 1



Posição 2



Posição 3



Posição 4

Para que o ginasta, que será considerado com o corpo rígido, permaneça em equilíbrio nas posições indicadas, é necessário que

- o centro de massa do atleta esteja situado fora de seu corpo apenas na posição 4.
- o ginasta se encontre em condição de equilíbrio instável na posição 3 e em equilíbrio estável em 4.
- a força das mãos aplicada sobre as argolas seja superior ao peso do ginasta nas posições 2 e 3.
- a linha imaginária que liga suas mãos passe pelo centro de massa de seu corpo apenas na posição 1.

8. CFTMG – A ilustração seguinte mostra o deslocamento de remadores em um lago, e os remos são considerados alavancas.



Um estudante, ao analisar essa situação, na margem do lago, afirmou que

- a alavanca é do tipo interfixa.
- o ponto fixo da alavanca encontra-se na água.

III. o braço da força resistente é menor que o da força potente.

IV. a força da água sobre o barco é menor que a exercida pelos remadores.

São corretas apenas as afirmativas

- I e II.
- I e IV.
- II e III.
- III e IV.

9. UFSC – Marta foi ao salão de beleza escovar os cabelos. Como chegou 20 minutos antes de seu horário, ficou sentada no sofá do salão observando o trabalho dos cabeleireiros. Notou alguns instrumentos utilizados nos afazeres do salão e resolveu desenhá-los e escrever as seguintes proposições sobre a física envolvida:



I. O ar quente que sai do secador faz que a água retida nos cabelos sofra condensação mais rapidamente.

II. No secador de cabelos, o ar é aquecido porque entra em contato com um condutor que está sendo percorrido por uma corrente elétrica.



III. Este espelho conjuga uma imagem maior e direita, portanto, é do tipo côncavo.



IV. A tesoura é um exemplo de alavanca interfixa.



V. Este espelho reflete os raios de luz de maneira difusa e conjuga uma imagem enantiomorfa.

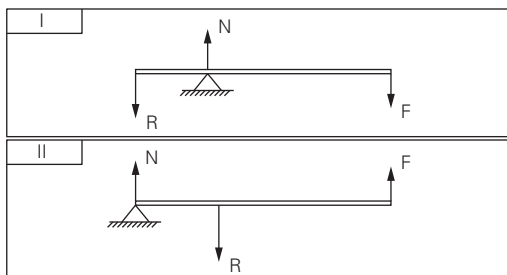


VI. A pinça é um exemplo de alavanca interpotente.

De acordo com as figuras, é correto afirmar que:

- as proposições II e IV estão corretas.
- as proposições I, III e IV estão corretas.
- todas as proposições estão corretas.
- as proposições III e VI estão corretas.
- as proposições II, III e V estão corretas.

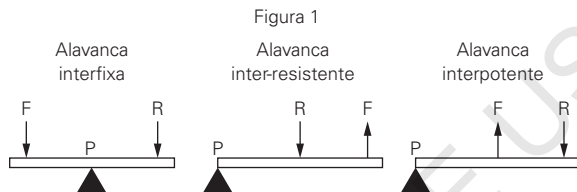
10. Uerj – As figuras a seguir mostram dois tipos de alavanca: a alavanca interfixa (I) e a alavanca inter-resistente (II). Estão indicadas, em ambas as figuras, a força no apoio N, a força de resistência R e a força de ação F.



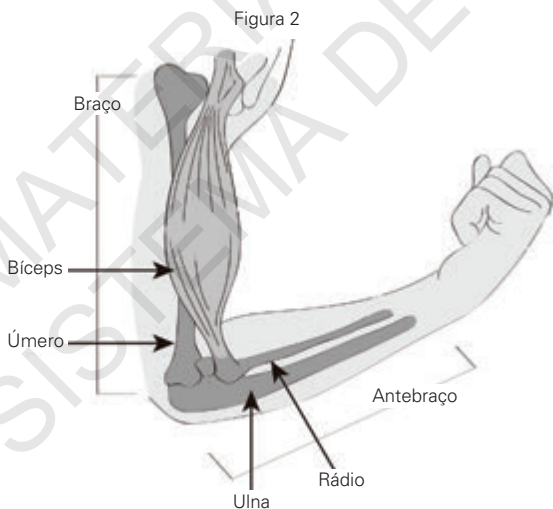
Esses dois tipos de alavanca são, respectivamente, a base para o funcionamento das seguintes máquinas simples:

- alicate e pinça
- tesoura e quebra-nozes
- carrinho de mão e pegador de gelo
- espremedor de alho e cortador de unha

11. Fatec – De acordo com a mecânica clássica, são reconhecidos três tipos básicos de alavanca: a interfixa, a inter-resistente e a interpotente, definidas de acordo com a posição relativa da força potente (F), da força resistente (R) e do ponto de apoio (P), conforme a figura 1.



Os seres vivos utilizam esse tipo de mecanismo para a realização de diversos movimentos. Isso ocorre com o corpo humano quando, por exemplo, os elementos ósseos e musculares do braço e do antebraço interagem para produzir movimentos e funcionam como uma alavanca, conforme a figura 2.

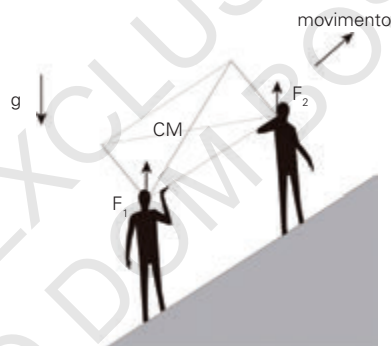


Nessa alavanca, o ponto de apoio está localizado na articulação entre o úmero, o rádio e a ulna. A força potente é aplicada próxima à base do rádio, onde o tendão do biceps se insere, e a força resistente corresponde ao peso do próprio antebraço.

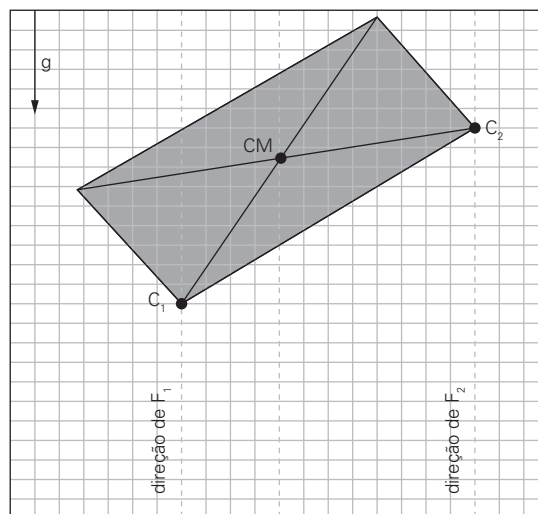
Com base nessas informações, é possível concluir, corretamente, que a contração do biceps provoca no membro superior um movimento de

- extensão, por um sistema de alavanca interfixa.
- extensão, por um sistema de alavanca interpotente.
- flexão, por um sistema de alavanca inter-resistente.
- flexão, por um sistema de alavanca interpotente.
- flexão, por um sistema de alavanca interfixa.

12. Fuvest – Para carregar um pesado pacote, de massa $M = 90 \text{ kg}$, ladeira acima com velocidade constante, duas pessoas exercem forças diferentes. O Carregador 1, mais abaixo, exerce uma força F_1 sobre o pacote, enquanto o Carregador 2, mais acima, exerce uma força F_2 . No esquema a seguir estão representados, em escala, o pacote e os pontos C_1 e C_2 , de aplicação das forças, assim como suas direções de ação.



- Determine, a partir de medições a serem realizadas no esquema a seguir, a razão $R = \frac{F_1}{F_2}$ entre os módulos das forças exercidas pelos dois carregadores.
- Estabeleça os valores dos módulos de F_1 e F_2 , em newtons.
- Indique, no esquema, com a letra V a posição em que o Carregador 2 deveria sustentar o pacote para que as forças exercidas pelos dois carregadores fossem iguais.



Note e adote:

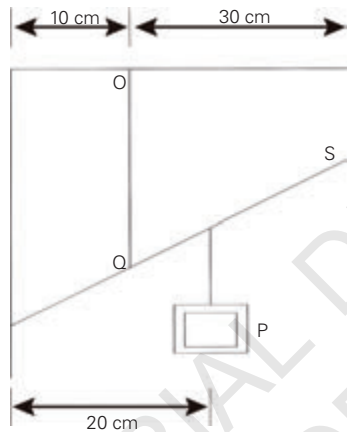
A massa do pacote é distribuída uniformemente e, portanto, seu centro de massa, CM, coincide com seu centro geométrico.

- 13. Efomm** – Uma régua escolar de massa M uniformemente distribuída com comprimento de 30 cm está apoiada na borda de uma mesa, com $\frac{2}{3}$ de seu comprimento sobre a superfície. Um aluno decide colocar um corpo C de massa $2M$ sobre a régua, em um ponto dela que está suspenso (conforme a figura). Qual é a distância mínima x , em cm, da borda livre da régua em que deve ser colocado o corpo para que o sistema permaneça em equilíbrio?

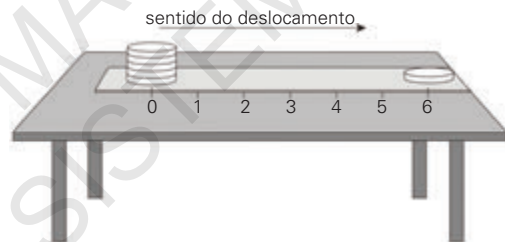


- a) 1,25 c) 5,00 e) 10,0
b) 2,50 d) 7,50

- 14. ITA (adaptado)** – A figura mostra uma barra de 50 cm de comprimento e massa desprezível, suspensa por uma corda OQ , sustentando um peso de 3000 N no ponto indicado. Sabendo que a barra se apoia sem atrito nas paredes do vão, determine, para a situação de equilíbrio estático, a razão (T/R) entre a tensão (T) na corda e a reação (R) na parede no ponto S .



- 15. Uerj** – Um sistema é constituído por seis moedas idênticas fixadas sobre uma régua de massa desprezível que está apoiada na superfície horizontal de uma mesa, conforme ilustrado a seguir. Observe que, na régua, estão marcados pontos equidistantes, numerados de 0 a 6.

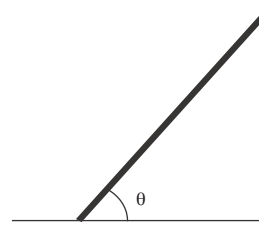


Ao se deslocar a régua da esquerda para a direita, o sistema permanecerá em equilíbrio na horizontal até que determinado ponto da régua atinja a extremidade da mesa.

De acordo com a ilustração, esse ponto está representado pelo seguinte número:

- a) 4 b) 3 c) 2 d) 1

- 16. Mackenzie**



Uma barra homogênea de comprimento L e peso P encontra-se apoiada em uma parede vertical lisa e em um chão horizontal áspero, formando um ângulo θ , como mostra a figura anterior. O coeficiente de atrito estático mínimo (μ_e) entre a barra e o chão deve ser

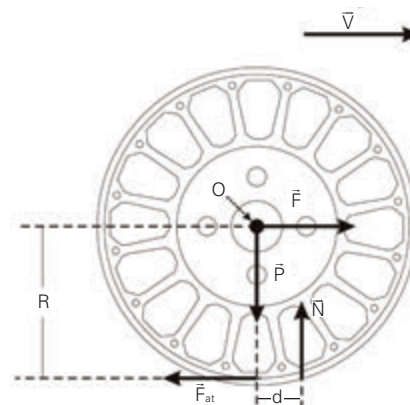
- a) $\frac{\cos \theta}{2 \cdot \sin \theta}$ c) $\frac{\cos \theta}{L \cdot \sin \theta}$ e) $\frac{\sin \theta}{L \cdot \cos \theta}$
b) $\frac{\cos \theta}{\sin \theta}$ d) $\frac{\sin \theta}{2 \cdot \cos \theta}$

- 17. Unicamp**

- a) O ar atmosférico oferece uma resistência significativa ao movimento dos automóveis. Suponha que um determinado automóvel movido a gasolina, trafegando em linha reta a uma velocidade constante de $v = 72$ km/h com relação ao ar, seja submetido a uma força de atrito $F_{ar} = 380$ N. Em uma viagem de uma hora, aproximadamente quantos litros de gasolina serão consumidos somente para “vencer” o atrito imposto pelo ar?

Dados: calor de combustão da gasolina: 35 MJ/L. Rendimento do motor a gasolina: 30%.

- b) A má calibração dos pneus é outro fator que gera gasto extra de combustível. Isso porque o rolamento é real e a baixa pressão aumenta a superfície de contato entre o solo e o pneu. Como consequência, o ponto efetivo de aplicação da força normal de módulo N não está verticalmente abaixo do eixo de rotação da roda (ponto O), e sim ligeiramente deslocado para a frente a uma distância d , como indica a figura a seguir.



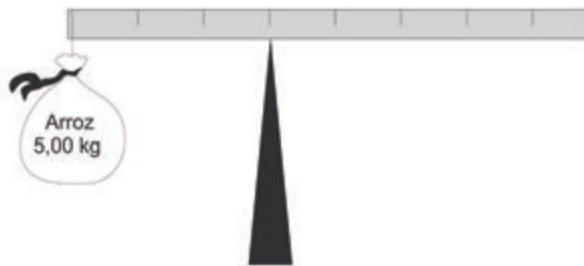
As forças que atuam sobre a roda não tracionada são: força \vec{F} , que leva a roda para a frente; força peso \vec{P} , força de atrito estático \vec{F}_{at} ; e força normal \vec{N} . Para uma velocidade de translação \vec{V} constante, o torque em relação ao ponto O , resultante das forças de atrito estático \vec{F}_{at} e normal \vec{N} , deve ser nulo. Sendo $R = 30$ cm, $d = 0,3$ cm e $N = 2500$ N, calcule o módulo da força de atrito estático F_{at} .

ESTUDO PARA O ENEM

18. Enem

C3-H12

Em um experimento, um professor levou para a sala de aula um saco de arroz, um pedaço de madeira triangular e uma barra de ferro cilíndrica e homogênea. Ele propôs que fizessem a medição da massa da barra utilizando esses objetos. Para isso, os alunos fizeram marcações na barra, dividindo-a em oito partes iguais, e em seguida apoiaram-na sobre a base triangular, com o saco de arroz pendurado em uma de suas extremidades, até atingir a situação de equilíbrio.



Nessa situação, qual foi a massa da barra obtida pelos alunos?

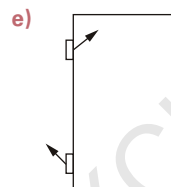
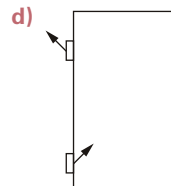
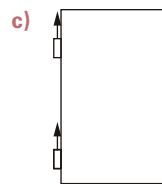
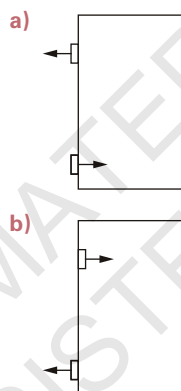
- a) 3,00 kg
- b) 3,75 kg
- c) 5,00 kg
- d) 6,00 kg
- e) 15,00 kg

19. Enem

C5-H18

O mecanismo que permite articular uma porta (de um móvel ou de acesso) é a dobradiça. Normalmente, são necessárias duas ou mais dobradiças para que uma porta seja fixa em um móvel ou em um batente, permanecendo em equilíbrio e podendo ser articulada com facilidade.

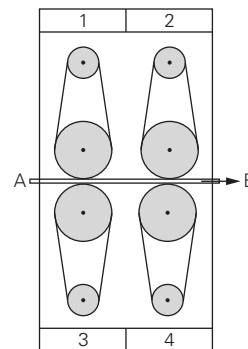
No plano, o diagrama vetorial das forças que as dobradiças exercem na porta está representado em



20. Enem

C5-H18

Na preparação da madeira em uma indústria de móveis, utiliza-se uma lixadeira constituída de quatro grupos de polias, como ilustra o esquema a seguir. Em cada grupo, duas polias de tamanhos diferentes são interligadas por uma correia provida de lixa. Uma prancha de madeira é empurrada pelas polias, no sentido $A \rightarrow B$ (como indicado no esquema), ao mesmo tempo que um sistema é acionado para frear seu movimento, de modo que a velocidade da prancha seja inferior à da lixa.



O equipamento anteriormente descrito funciona com os grupos de polias girando da seguinte forma:

- a) 1 e 2 no sentido horário; 3 e 4 no sentido anti-horário.
- b) 1 e 3 no sentido horário; 2 e 4 no sentido anti-horário.
- c) 1 e 2 no sentido anti-horário; 3 e 4 no sentido horário.
- d) 1 e 4 no sentido horário; 2 e 3 no sentido anti-horário.
- e) 1, 2, 3 e 4 no sentido anti-horário.

13

MOVIMENTO HARMÔNICO SIMPLES

- Movimento harmônico simples (MHS)
- As grandezas físicas que qualificam o MHS
- Funções horárias do MHS

HABILIDADES

- Reconhecer características ou propriedades de fenômenos ondulatórios ou oscilatórios, relacionando-os a seus usos em diferentes contextos.
- Reconhecer equações de MHS.
- Comparar MHS com MCU.
- Relacionar propriedades físicas, químicas ou biológicas de produtos, sistemas ou procedimentos tecnológicos às finalidades a que se destinam.
- Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

SEBRA/SHUTTERSTOCK



Cordas de um violão são exemplo de um movimento harmônico simples.

Movimentos que se repetem em intervalos de tempo iguais e sucessivos são ditos periódicos. A repetição no movimento de uma partícula ocorre quando, decorrido o intervalo de tempo de um período (T), ela volta a estar na mesma posição e com mesmas velocidade e aceleração.

A natureza está repleta de eventos periódicos. Dentre os movimentos periódicos, o movimento harmônico simples (MHS) destaca-se por seu estudo ser uma rica oportunidade para a aplicação das leis da mecânica. Neste ponto, a análise das forças que atuam sobre uma partícula que descreve um MHS permite determinar sua posição, sua velocidade e sua aceleração em cada instante.

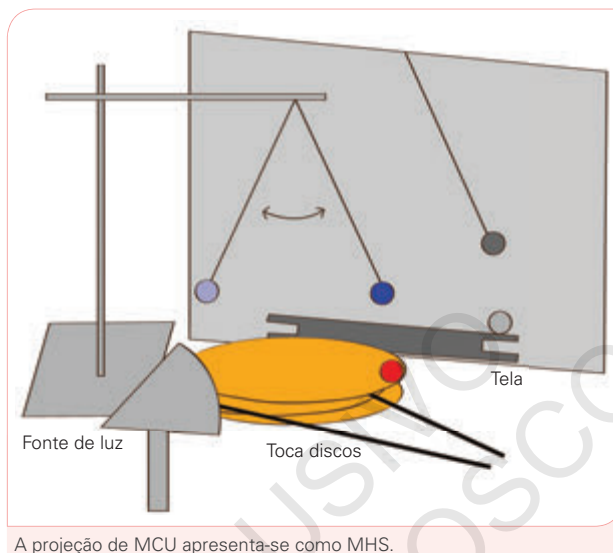
Dentre os movimentos oscilatórios, o MHS possui tratamento matemático pouco exigente e modela satisfatoriamente diversos fenômenos naturais. Ressalta-se que todo fenômeno periódico resulta da composição de dois (ou mais) movimentos harmônicos simples.

O pêndulo simples, as cordas de um violão, o pistão de um motor, o sistema massa-mola, a gangorra ou a projeção de um movimento circular uniforme (MCU) são os mais tradicionais exemplos de MHS e são assim classificados por apresentarem as características a seguir:

- Periódico: repete-se em intervalos iguais de tempo.
- Oscilatório: ocorre inversão no sentido do movimento da partícula nos extremos da trajetória.

Em movimentos oscilatórios, no momento da inversão do sentido do movimento, a velocidade da partícula anula-se. Durante o tratamento matemático, tal inversão é caracterizada pela mudança no sinal (+ ou -) associada à velocidade.

- Unidimensional: trajetória retilínea.
- O pêndulo simples, quando consideradas situações de pequena amplitude ($\theta < 5^\circ$), descreve uma trajetória que pode ser aproximada a uma reta.
- Ação de uma força resultante restauradora.
- As alterações no movimento da partícula oscilante são produzidas por uma **força restauradora** ($\vec{F} = -k \cdot \vec{x}$), cuja intensidade é diretamente proporcional à posição da partícula e ao sentido, sempre voltado à posição de equilíbrio em torno da qual o movimento acontece.

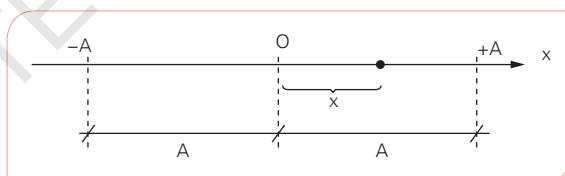
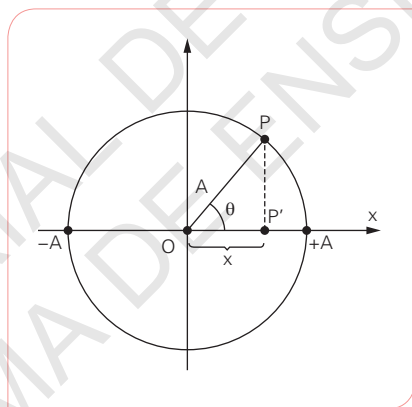
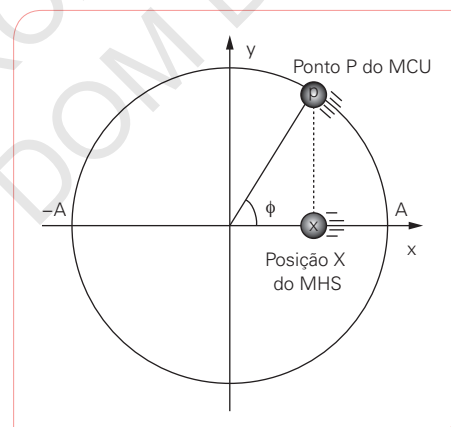


A CINEMÁTICA DO MHS

Uma forma de estabelecer funções horárias que descrevem o MHS (posição, velocidade e aceleração) é relacionar o MCU de um ponto P sobre uma circunferência de raio ($r = A$) ao movimento de um ponto P', projeção de P sobre o diâmetro da circunferência, como ilustrado a seguir:

Função horária da posição

A projeção de P sobre o eixo x, P', descreve movimento harmônico simples indo do ponto +A até -A e retornando para +A, conforme a figura:



A análise do triângulo POP' permite determinar a posição de P' em cada instante do movimento.

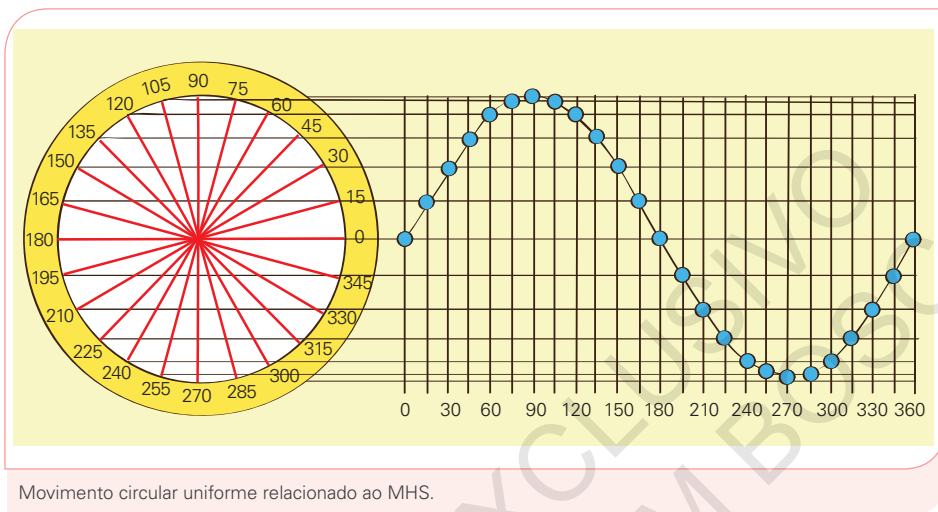
$$\cos \theta = \frac{x}{A} \Rightarrow x = A \cdot \cos \theta$$

A função horária da posição angular que descreve o movimento do ponto P sobre a trajetória circular é dada por:

$$\theta = \theta_0 + \omega \cdot t$$

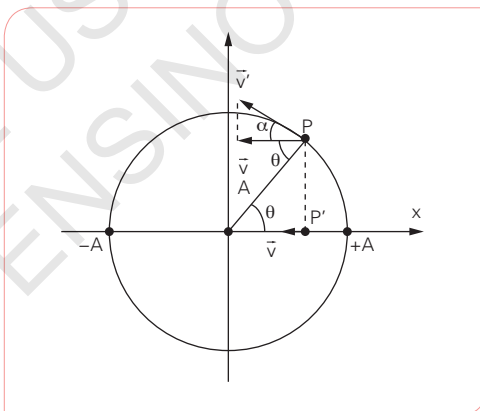
Assim sendo, eis a função horária da posição no MHS:

$$x(t) = A \cdot \cos(\theta_0 + \omega \cdot t)$$



Função horária da velocidade

O ponto P realiza MCU de raio A e velocidade angular ω , enquanto o ponto P' realiza MHS de amplitude A e pulsação ω .



A projeção de \vec{v}' sobre o eixo x determina a velocidade \vec{v} de P'.

$$\sin \theta = \frac{|\vec{v}|}{|\vec{v}'|} \Rightarrow |\vec{v}| = |\vec{v}'| \cdot \sin \theta \Rightarrow v = -v' \cdot \sin \theta$$

O sinal negativo da função anterior é um indicador de sentido, haja vista que o sentido de \vec{v} é oposto à orientação do eixo x em posições positivas ($x > 0$); o mesmo tipo de oposição ocorre em posições negativas ($x < 0$).

Do MCU, tem-se que $|\vec{v}'| = \omega \cdot A$ e, portanto, $v = -\omega \cdot A \cdot \sin \theta$.

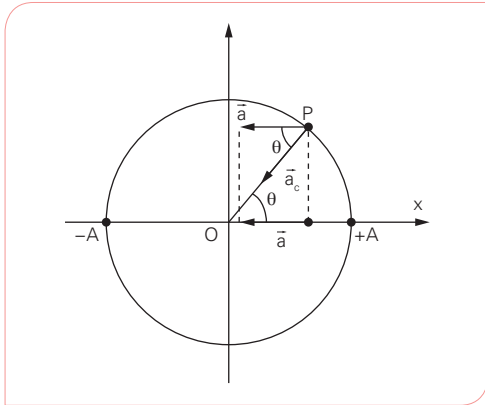
Como $\theta = \theta_0 + \omega \cdot t$, conclui-se que:

$$v(t) = -\omega \cdot A \cdot \sin(\theta_0 + \omega \cdot t)$$

Função horária da aceleração

No MCU, a aceleração é centrípeta e, portanto, radial com sentido para o centro. A componente da aceleração centrípeta na direção do eixo em que o MCU foi

projetado (no caso, o eixo x) define a aceleração do MHS realizado por P'.



$$\cos \theta = \frac{|a|}{|a_{cp}|} \Rightarrow |a| = |a_{cp}| \cdot \cos \theta \Rightarrow a = -a_{cp} \cdot \cos \theta$$

O sinal negativo da função anterior é um indicador de sentido, haja vista que o sentido de \vec{a} é oposto à orientação do eixo x em posições positivas ($x > 0$). O mesmo tipo de oposição ocorre em posições negativas ($x < 0$).

Como $a_{cp} = \omega^2 \cdot r = \omega^2 \cdot A$, pode-se dizer que $a = -\omega^2 \cdot A \cdot \cos \theta$

Sendo θ variável ao longo do tempo de acordo com a relação $\theta = \theta_0 + \omega \cdot t$.

$$a(t) = -\omega^2 \cdot A \cdot \cos(\theta_0 + \omega \cdot t)$$

Já que $x(t) = A \cdot \cos(\theta_0 + \omega \cdot t)$, pode-se expressar a aceleração em função da posição da seguinte forma:

$$a = -\omega^2 \cdot x$$

Observe o quadro a seguir, que relaciona as grandezas discutidas até aqui.

Símbolo	Grandeza física	Unidade no SI
θ_0	posição ou fase inicial	rad
ω	velocidade angular, pulsação ou frequência angular	rad/s
t	instante (tempo)	s
A	amplitude ($x_{máx}$ ou $x_{mín}$)	m
x	posição ou elongação	m
v	velocidade	m/s
a	aceleração	m/s ²

Outras relações do MCU que colaboram para a análise do MHS são:

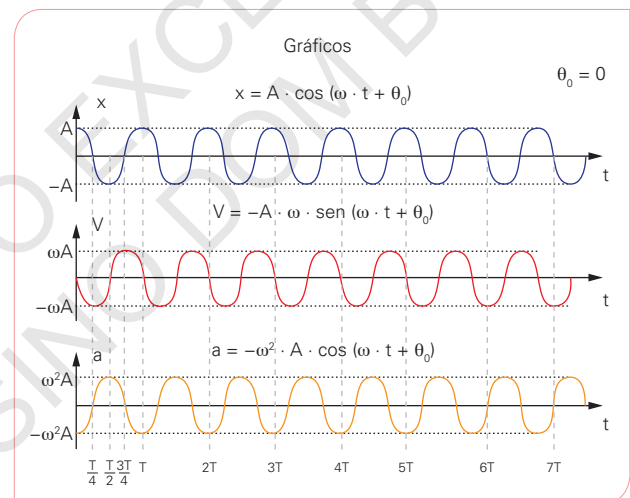
$$\omega = \frac{2 \cdot \pi}{T} \quad \omega = 2 \cdot \pi \cdot f \quad f = \frac{1}{T}$$

Gráficos do MHS

A análise dos pontos fundamentais do MHS (extremos e posição de equilíbrio) trata dos máximos e mínimos das funções horárias deduzidas há pouco:

- $x(t) = A \cdot \cos(\theta_0 + \omega \cdot t) \Rightarrow |x_{máx}| = A$
- $v(t) = -\omega \cdot A \cdot \sin(\theta_0 + \omega \cdot t) \Rightarrow |v_{máx}| = \omega \cdot A$
- $a(t) = -\omega^2 \cdot A \cdot \cos(\theta_0 + \omega \cdot t) \Rightarrow |a_{máx}| = \omega^2 \cdot A$

Posição	Velocidade	Aceleração	Força resultante
$x = -A$	$v = 0$	$ \vec{a} $ é máximo	$ \vec{F}_R $ é máximo
$x = 0$	$ \vec{v} $ é máxima	$a = 0$	$F_R = 0$
$x = A$	$v = 0$	$ \vec{a} $ é máximo	$ \vec{F}_R $ é máximo



EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1. UFJF – Uma criança está brincando em um balanço no parque, ao meio-dia, com o sol a pino. A posição de sua sombra, projetada no chão, executa um movimento harmônico simples e é descrita pela função $x(t) = a \cdot \cos(b \cdot t + d)$, onde x é dado em metros e t , em segundos, $a = 1,2$ m, $b = 0,8\pi$ rad/s e $d = \pi/4$.

Indique CORRETAMENTE os valores do período, da velocidade e da aceleração máximas que a sombra atinge.

Resolução

a) Cálculo do período:

Usando a função dada, considerando o ângulo inicial para o tempo igual a zero, temos:

$$\theta = b \cdot t + d \xrightarrow{t=0} \theta_0 = \frac{\pi}{4} \text{ rad}$$

Logo, para uma volta completa, devemos somar $2 \cdot \pi \cdot \text{rad}$:

$$\theta = 2 \cdot \pi \text{ rad} + \frac{\pi}{4} \text{ rad} \therefore \theta = \frac{9 \cdot \pi}{4} \text{ rad}.$$

Assim o período será:

$$b \cdot t + d = \theta \Rightarrow 0,8\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}} \cdot T + \frac{\pi}{4} \text{ rad} = \frac{9\pi}{4} \text{ rad} \therefore T = 2,5 \text{ s}$$

Outra opção mais simples para o cálculo do período é pegar a velocidade angular fornecida e resolvê-lo a partir da equação que relaciona as duas grandezas.

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi}{T} \Rightarrow T = \frac{2 \cdot \pi}{\omega} = \frac{2 \cdot \pi \text{ rad}}{0,8\pi \text{ rad/s}} \therefore T = 2,5 \text{ s}$$

b) Cálculo da velocidade máxima:

A equação da velocidade em função do tempo no MHS é:

$$v(t) = -v_{\text{máx}} \cdot \text{sen}(\omega t + \theta_0)$$

A velocidade máxima equivale ao fator multiplicador da função trigonométrica correspondente à equação:

$$v(t) = -\omega \cdot a \cdot \text{sen}(\omega t + \theta_0)$$

Assim, a velocidade máxima, em módulo, é:

$$v_{\text{máx}} = \omega \cdot a \Rightarrow v_{\text{máx}} = 0,8\pi \text{ rad/s} \cdot 1,2 \text{ m} \therefore v_{\text{máx}} = 3,0 \text{ m/s}$$

c) Cálculo da aceleração máxima:

A equação da aceleração em função do tempo no MHS é:

$$a(t) = -a_{\text{máx}} \cdot \cos(\omega t + \theta_0)$$

A aceleração máxima também equivale ao fator multiplicador da função trigonométrica correspondente à equação:

$$a(t) = -\omega^2 \cdot a \cdot \cos(\omega t + \theta_0)$$

Assim, a aceleração máxima, em módulo, é:

$$a_{\text{máx}} = \omega^2 \cdot a \Rightarrow a_{\text{máx}} = (0,8\pi \text{ rad/s})^2 \cdot 1,2 \text{ m} \therefore a_{\text{máx}} = 7,6 \text{ m/s}^2$$

2. Aman – Peneiras vibratórias são utilizadas na indústria de construção para classificação e separação de agregados em diferentes tamanhos. O equipamento é constituído de um motor que faz vibrar uma peneira retangular, disposta no plano horizontal, para separação dos grãos. Em certa indústria de mineração, ajusta-se a posição da peneira de modo que ela execute um movimento harmônico simples (MHS) de função horária $x = 8 \cdot \cos(8\pi t)$, onde x é a posição medida em centímetros e t , o tempo em segundos.

Qual a frequência, em Hz, dessa peneira?

Resolução

A função horária da elongação de um MHS é:

$$x = A \cdot \cos(\omega \cdot t + \theta_0)$$

Comparando com a função horária dada:

$$\omega = 8 \cdot \pi \Rightarrow 2 \cdot \pi \cdot f = 8 \cdot \pi \Rightarrow f = 4 \text{ Hz.}$$

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

ROTEIRO DE AULA

MOVIMENTO
HARMÔNICO SIMPLESMovimento
unidimensionalForça
restauradora

Periódico

Função horária
da posição

$$x(t) = A \cdot \cos(\omega \cdot t + \theta_0)$$

Função horária
da velocidade

$$v(t) = -\omega \cdot A \cdot \sin(\omega \cdot t + \theta_0)$$

Função da
aceleração

horária

$$a(t) = -\omega^2 \cdot A \cdot \cos(\omega \cdot t + \theta_0)$$

em relação à
posição

$$a = -\omega^2 \cdot x$$

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. EBMSP – Em um passado recente, a função prioritária do pai era dar suporte material à família, mas, atualmente, os pais sabem que, para cada função ligada ao suporte material de um filho, estão vinculadas funções de suporte afetivo e emocional que no passado era delegado às mulheres. No século passado o pai ouvia o filho chorar pela primeira vez de longe, hoje ele tem a oportunidade de acompanhar tudo de dentro da sala de parto. Hoje em dia, os pais descobrem a paternidade no ultrassom e, quando ouvem o coração de seu filho batendo pela primeira vez, se permitem ficar emocionados, fazem planos de ensinar o filho a jogar bola, ficam imaginando as viagens e todas as alegrias que poderão ter juntos. A ultrassonografia é um método diagnóstico que lança mão de ecos produzidos pelo som e os transforma em imagens com auxílio da computação gráfica. O som pode se propagar como uma onda periódica, caracterizada por seu comprimento e por sua frequência, sendo a forma senoidal considerada a onda mais simples.

Para uma onda de forma senoidal representada algebricamente pela função $f(x) = 3 + 2 \cdot \sin\left(5 \cdot x - \frac{\pi}{2}\right)$, determine

- sua amplitude,
- seu comprimento,
- sua frequência.

a) A partir da equação de f , temos $A = 2$.

b) Sendo 2π o período fundamental da função seno, tem-se que o comprimento é dado por:

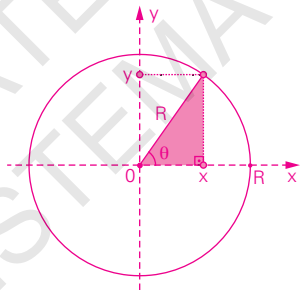
$$\omega = \frac{2 \cdot \pi}{T} \Rightarrow 5 = \frac{2 \cdot \pi}{T} \Rightarrow T = \frac{2 \cdot \pi}{5} \text{ s.}$$

c) Sabendo que a frequência corresponde ao inverso do período, segue que a resposta é $f = \frac{1}{T} = \frac{5}{2 \cdot \pi}$ Hz.

2. Uece – Considere uma partícula se movimentando por uma trajetória circular no plano xy . As projeções do movimento nos eixos x e y são relativas a movimentos

- harmônicos simples.
- harmônico simples e uniforme, respectivamente.
- uniforme e harmônico simples, respectivamente.
- uniformes.

A figura mostra a posição de uma partícula que gira em movimento circular uniforme, com velocidade angular ω , em um instante t .



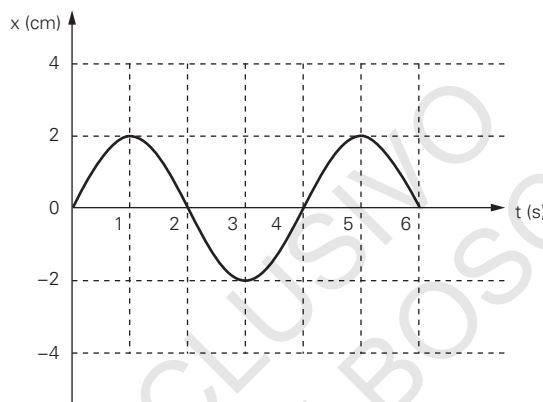
Supondo fase inicial nula ($\theta_0 = 0$), a posição angular da partícula é: $\theta = \omega \cdot t$.

No triângulo retângulo destacado:

$$\begin{cases} \cos \theta = \frac{x}{R} \Rightarrow x = R \cdot \cos \theta \Rightarrow x = R \cdot \cos(\omega t) \\ \sin \theta = \frac{y}{R} \Rightarrow y = R \cdot \sin \theta \Rightarrow y = R \cdot \sin(\omega t) \end{cases}$$

Essas funções são características de um movimento harmônico simples (MHS).

3. UFPR – A peça de uma máquina está presa a uma mola e executa um movimento harmônico simples, oscilando em uma direção horizontal. O gráfico a seguir representa a posição x da peça em função do tempo t , com a posição de equilíbrio em $x = 0$.



Com base no gráfico, determine:

- O período e a frequência do sistema peça-mola.
- Os instantes em que a velocidade da peça é nula. Justifique sua resposta.
- Os instantes em que a aceleração da peça é máxima. Justifique sua resposta.

a) O gráfico fornece a posição da peça em função do tempo. O período é o intervalo de tempo para que a situação cinemática se repita. Assim:

$$T = 4 \text{ s.}$$

Como a frequência é o inverso do período, temos:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{4} \Rightarrow f = 0,25 \text{ Hz.}$$

b) A velocidade da peça é nula nos instantes em que a elongação é máxima ou mínima, quando ocorre inversão no sentido do movimento, ou seja: $t = 1 \text{ s}$; $t = 3 \text{ s}$ e $t = 5 \text{ s}$.

c) Os instantes em que a aceleração da peça é máxima (em módulo) são aqueles em que a força elástica tem intensidade máxima. Como $F = k \cdot |x|$, a força é máxima quando a elongação é máxima ou mínima, ou seja: $t = 1 \text{ s}$; $t = 3 \text{ s}$ e $t = 5 \text{ s}$.

4. Uece – Em um sistema massa-mola, um objeto oscila de modo que sua posição seja dada por $x = A \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t)$, onde A é uma constante com dimensão de comprimento, x é a posição, f , a frequência e t , o tempo. A maior extensão do trajeto que o objeto percorre em um ciclo é

- $\frac{A}{2}$
- A .
- $2 \cdot A$.
- $2 \cdot \pi \cdot f$

Como $-1 \leq \cos(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t) \leq 1$, temos que:

$$\begin{cases} x_{\min} = A \cdot (-1) = -A \\ x_{\max} = A \cdot 1 = A \end{cases}$$

Portanto, a maior extensão do trajeto percorrido é de $A - (-A) = 2 \cdot A$.

5. Uece – Em um oscilador harmônico simples, do tipo massa-mola, a posição e a velocidade podem variar com o tempo conforme as seguintes funções:

- $\sin(\omega \cdot t)$ e $\sin(\omega \cdot t)$.
- $\sin(\omega \cdot t)$ e $\cos(\omega \cdot t)$.

c) $\cos(\omega \cdot t)$ e $\text{tg}(\omega \cdot t)$.

d) $\text{tg}(\omega \cdot t)$ e $\cos(\omega \cdot t)$.

De acordo com o sistema de referência adotado e a direção de oscilação do sistema massa-mola, a posição e a velocidade podem variar de acordo com as funções:

$$\begin{cases} x = A \cdot \cos(\omega \cdot t + \theta_0) & \text{e } v_x = -A \cdot \text{sen}(\omega \cdot t + \theta_0) \\ y = A \cdot \text{sen}(\omega \cdot t + \theta_0) & \text{e } v_y = A \cdot \cos(\omega \cdot t + \theta_0) \end{cases}$$

Considerando amplitude unitária ($A = 1$) e fase inicial nula ($\theta_0 = 0$), chega-se à alternativa correta.

6. Uece – Um objeto de massa m se desloca sem atrito em um plano vertical próximo à superfície da Terra. Em

um sistema de referência fixo ao solo, as coordenadas x e y do centro de massa desse objeto são dadas por $x(t) = 9,8 \cdot \cos(10t)$ e $y(t) = 9,8 \cdot \text{sen}(10t)$. Assim, é correto afirmar-se que

a) a energia potencial gravitacional de m é crescente todo o tempo.

b) a energia potencial gravitacional de m é constante.

c) a energia cinética de m é constante.

d) a energia cinética de m oscila com o tempo.

Pelos equações dadas, as projeções do centro de massa desse objeto realizam movimento harmônico simples (MHS). Logo, o objeto realiza movimento circular uniforme (MCU) e a energia cinética do objeto é constante.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. Epcar-Afa – Uma partícula de massa m pode ser colocada a oscilar em quatro experimentos diferentes, como mostra a Figura 1 a seguir.

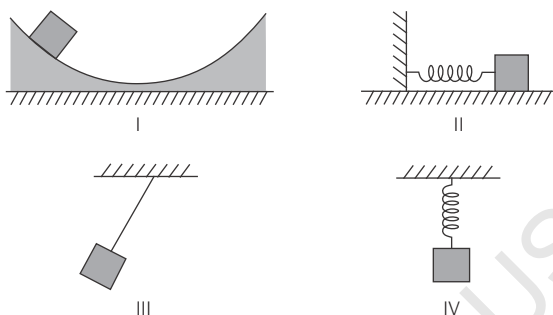


Figura 1

Para apenas duas dessas situações, tem-se o registro do gráfico senoidal da posição da partícula em função do tempo, apresentado na Figura 2.

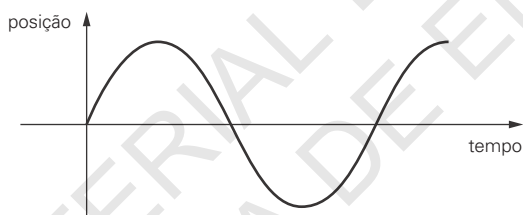


Figura 2

Considere que não existam forças dissipativas nos quatro experimentos; que, nos experimentos II e IV, as molas sejam ideais e que as massas oscilem em trajetórias perfeitamente retilíneas; que no experimento III o fio conectado à massa seja ideal e inextensível; e que nos experimentos I e III a massa descreva uma trajetória que é um arco de circunferência.

Nessas condições, os experimentos em que a partícula oscila certamente em movimento harmônico simples são, apenas

a) I e III

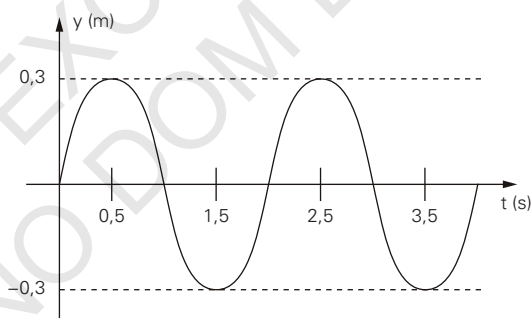
c) III e IV

b) II e III

d) II e IV

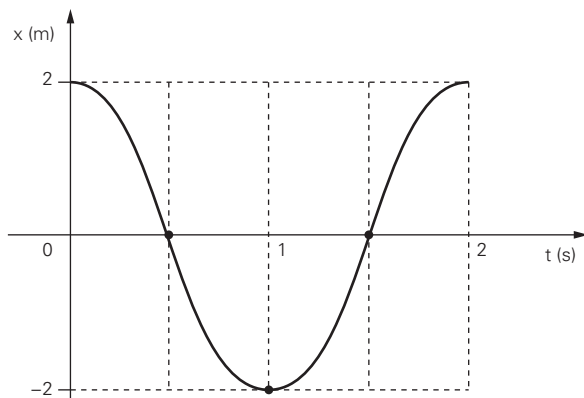
8. UPE – Um gerador que produz energia a partir das ondas do mar consiste essencialmente em uma boia que sobe e desce com o movimento das ondas, fazendo um motor girar e produzir eletricidade. Com o objetivo de verificar

a disponibilidade e eficiência dessa forma de geração de energia na costa pernambucana, um grupo de pesquisadores instalou uma boia no mar. Um trecho do gráfico da altura da boia y em função do tempo t é mostrado a seguir:



A altura foi medida em relação ao nível da água do mar sem ondas. Com base nessas informações, determine a função da posição vertical (y) dessa boia.

9. Ifsul – Uma partícula, executando um movimento harmônico simples, move-se ao longo de um eixo Ox , e sua posição, em função do tempo ao longo desse eixo, é representada no gráfico da figura a seguir.



A partir da análise do gráfico, a função horária, em unidades SI, que representa corretamente o movimento harmônico simples descrito por essa partícula é

a) $x = 2 \cdot \cos(\pi \cdot t)$

b) $x = 2 \cdot \text{sen}(\pi \cdot t)$

c) $x = 4 \cdot \text{sen}(\pi \cdot t + \pi)$

d) $x = 4 \cdot \cos(\pi \cdot t + \pi/2)$

10. Ifsul – Uma partícula oscila em movimento harmônico simples ao longo de um eixo x entre os pontos $x_1 = -35$ cm e $x_2 = 15$ cm. Sabe-se que essa partícula leva 10 s para sair da posição x_1 e passar na posição $x = -10$ cm.

Analisar as seguintes afirmativas referentes ao movimento dessa partícula:

- I. A amplitude do movimento é igual a 50 cm e a posição de equilíbrio é o ponto $x = 0$.
- II. Na posição $x = -10$ cm, a velocidade da partícula atinge o valor máximo.
- III. Nos pontos $x_1 = -35$ cm e $x_2 = 15$ cm, a velocidade da partícula é nula.
- IV. O período do movimento é 10 s.

Estão corretas apenas as afirmativas

- a) I e II.
- b) II e III.
- c) I e IV.
- d) III e IV.

11. EBMSP – Em um passado recente, a função prioritária do pai era dar suporte material à família, mas, atualmente, os pais sabem que para cada função ligada ao suporte material de um filho, estão vinculadas funções de suporte afetivo e emocional que no passado era delegado às mulheres. No século passado o pai ouvia o filho chorar pela primeira vez de longe, hoje ele tem a oportunidade de acompanhar tudo de dentro da sala de parto. Hoje em dia, os pais descobrem a paternidade no ultrassom e, quando ouvem o coração de seu filho batendo pela primeira vez se permitem ficar emocionados, fazem planos de ensinar o filho a jogar bola, ficam imaginando as viagens e todas as alegrias que poderão ter juntos.

A ultrassonografia é um método diagnóstico que lança mão de ecos produzidos pelo som e os transforma em imagens com auxílio da computação gráfica. O som pode se propagar como uma onda periódica, caracterizada por seu comprimento e por sua frequência, sendo a forma senoidal considerada a onda mais simples.

Para uma onda de forma senoidal representada alge-

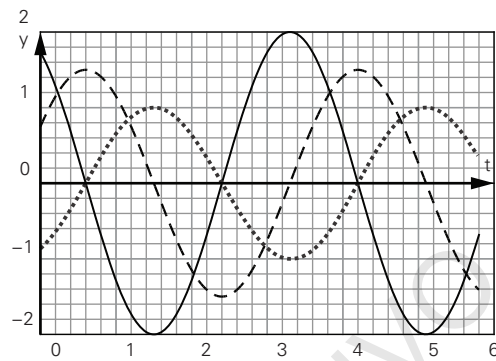
bricamente pela função $f(x) = 3 + 2 \cdot \sin\left(5 \cdot x - \frac{\pi}{2}\right)$, determine

- a) sua amplitude,
- b) sua frequência.

12. Uece – A energia elétrica é disponibilizada em nossas residências na forma de tensão alternada. Isso significa que entre os dois conectores de uma tomada há uma diferença de potencial elétrico que varia com o tempo conforme uma função do tipo $U = (200\sqrt{2}) \cdot \sin(2\pi \cdot 60 \cdot t)$, onde U é a diferença de potencial e t é o tempo. A constante $(200\sqrt{2})$ é válida para estados em que o fornecimento de energia elétrica monofásica é de 200 V nominal, como na maioria das residências do Ceará. É correto afirmar que essa diferença de potencial tem um valor máximo e uma frequência, respectivamente, de

- a) $200\sqrt{2}$ Volts e 60 kHz.
- b) $200\sqrt{2}$ Volts e 60 kHz.
- c) 200 Volts e 60 kHz.
- d) 200 Volts e 60 kHz.

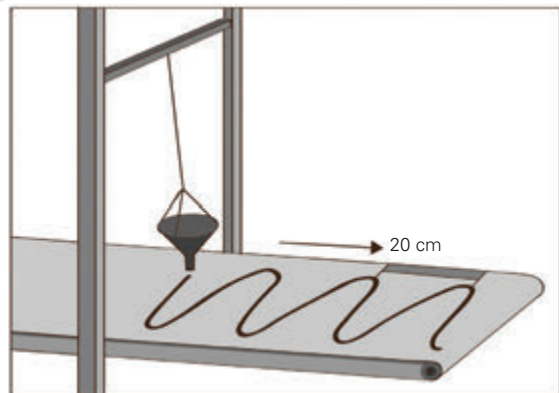
13. ITA



Na figura, as linhas cheia, tracejada e pontilhada representam a posição, a velocidade e a aceleração de uma partícula em um movimento harmônico simples. Com base nessas curvas, assinale a opção correta dentre as seguintes proposições:

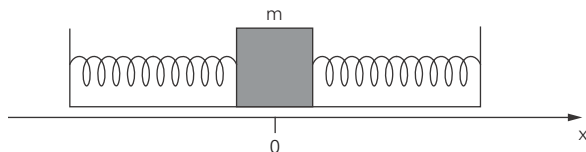
- I. As linhas cheia e tracejada representam, respectivamente, a posição e a aceleração da partícula.
 - II. As linhas cheia e pontilhada representam, respectivamente, a posição e a velocidade da partícula.
 - III. A linha cheia necessariamente representa a velocidade da partícula.
- a) Apenas I é correta.
 - b) Apenas II é correta.
 - c) Apenas III é correta.
 - d) Todas são incorretas.
 - e) Não há informações suficientes para análise.

14. UFMG – Em uma feira de ciências, Rafael apresenta um dispositivo para traçar senoides, como o mostrado na figura a seguir.



Esse dispositivo consiste em um pequeno funil cheio de areia, que, pendurado na extremidade de um fio longo, oscila em um plano perpendicular à direção do movimento da esteira rolante, mostrada na figura. A areia escoca, lentamente, do funil sobre a esteira, que se move no sentido indicado pela seta. Quando a esteira se move a uma velocidade de 5,0 cm/s, observa-se que a distância entre dois máximos sucessivos da senoide é de 20 cm.

- a) Considerando as informações dadas e a situação descrita, calcule o período de oscilação do funil.
- b) Em seguida, Rafael aumenta em quatro vezes o comprimento do fio que prende o funil. Calcule a distância entre os máximos sucessivos da senoide nessa nova situação.

15. Esc. Naval – Analise a figura a seguir.

A figura mostra duas molas ideais idênticas presas a um bloco de massa m e a dois suportes fixos. Esse bloco está apoiado sobre uma superfície horizontal sem atrito e oscila com amplitude A em torno da posição de equilíbrio $x = 0$.

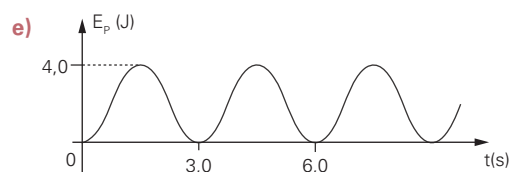
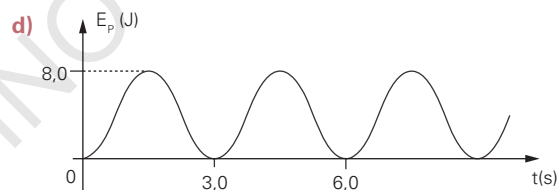
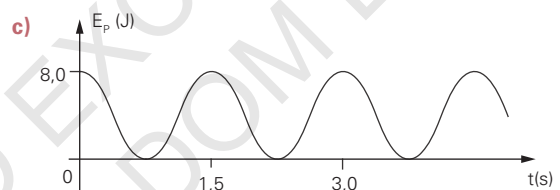
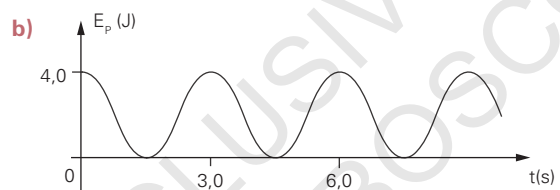
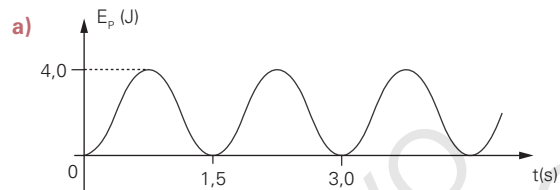
Considere duas posições do bloco sobre o eixo x : $x_1 = \frac{A}{4}$ e $x_2 = -\frac{3 \cdot A}{4}$. Sendo v_1 e v_2 as respectivas velocidades do bloco nas posições x_1 e x_2 , determine a razão entre os módulos das velocidades v_1/v_2 .

16. UEM – Considere uma pista de ciclismo de forma circular com extensão de 900 m e largura para comportar dois ciclistas lado a lado, e, também, dois ciclistas A e B partindo do mesmo ponto inicial P dessa pista e no mesmo instante, sendo que A parte com velocidade constante de 36 km/h no sentido anti-horário e B, com velocidade constante de 54 km/h no sentido horário. Desprezando-se pequenas mudanças de trajetória e posição, para que não ocorra colisão entre os ciclistas, assinale o que for correto.

- 01)** Após 1 min de corrida, o ângulo central, correspondente ao arco de menor medida delimitado pelas posições dos dois ciclistas, mede, aproximadamente, $\frac{2\pi}{3}$.
- 02)** Os dois ciclistas se cruzam pela primeira vez, após a partida inicial, no tempo $t = 23$ s, aproximadamente.
- 04)** A velocidade angular média do ciclista A é de $\frac{\pi}{45}$.
- 08)** Após 2 h de corrida, a diferença entre as distâncias totais percorridas pelos dois ciclistas é de, aproximadamente, 18 km.
- 16)** A aceleração centrípeta do ciclista B é de $\frac{\pi}{2}$ m/s².

17. Esc. Naval – Considere uma partícula que se move sob a ação de uma força conservativa. A varia-

ção da energia cinética, E_c , em joules, da partícula em função do tempo, t , em segundos, é dada por $E_c(t) = 4,0 \cdot \sin^2\left(\frac{2}{3} \cdot \pi \cdot t - \frac{\pi}{2}\right)$. Sendo assim, o gráfico que pode representar a energia potencial, $E_p(t)$, da partícula é

**ESTUDO PARA O ENEM****18. Enem** C6-H20

A corrida dos 100 m rasos é uma das principais provas do atletismo e qualifica o homem mais rápido do mundo. Um corredor de elite foi capaz de percorrer essa distância em 10 s, com 41 passadas. Ele iniciou a corrida com o pé direito.

O período de oscilação do pé direito desse corredor foi mais próximo de

- a)** $\frac{1}{10}$ s **c)** $\frac{1}{2}$ s **e)** 4 s
- b)** $\frac{1}{4}$ s **d)** 2 s

19. Enem C1-H1

Um enfeite para berço é constituído de um aro metálico com um ursinho pendurado, que gira com velocidade angular constante. O aro permanece orientado na ho-

rizontal, de modo que o movimento do ursinho seja projetado na parede por sua sombra.

Enquanto o ursinho gira, sua sombra descreve um movimento

- a)** circular uniforme.
b) retilíneo uniforme.
c) retilíneo harmônico simples.
d) circular uniformemente variado.
e) retilíneo uniformemente variado.

20. AFA C5-H17

Como a hipermetropia acontece na infância

É muito comum bebês e crianças apresentarem algum tipo de erro refrativo, e a hipermetropia é o caso mais constante. Isso porque esse tipo de ametropia (erro de refração) pode se manifestar desde a fase de recém-nascido.

PÊNDULO SIMPLES

54

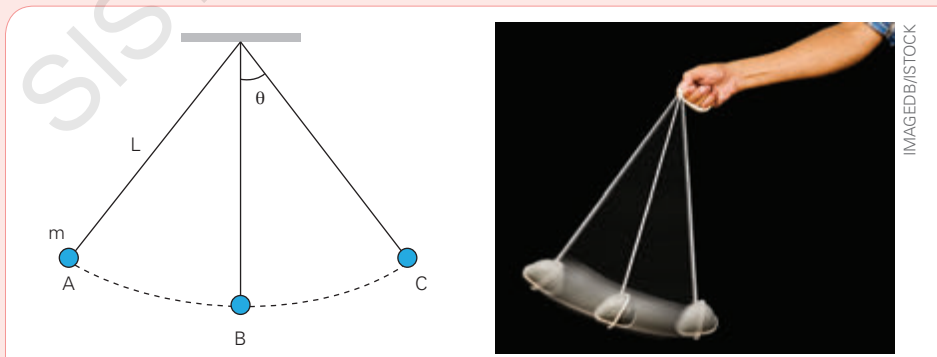
CAHKT/IISTOCK



Vista interior da Catedral de Pisa, Itália.

Segundo diversos historiadores da ciência, Galileu, enquanto assistia à missa na Catedral de Pisa, percebeu que o período de oscilações de um candelabro pendurado ao teto, colocado em movimento pelo vento, não dependia da amplitude de suas oscilações. Ele comparou os períodos dessas oscilações com sua própria pulsação. O fato é que Galileu aplicou o método científico ao realizar experiências com pêndulos de diversos comprimentos e pesos e percebeu que as oscilações desses pêndulos, embora de amplitudes diferentes, sempre levam o mesmo tempo na oscilação completa (ida e volta).

O pêndulo simples é um sistema ideal, constituído de uma partícula suspensa por um fio flexível, inextensível e de massa desprezível e comprimento (L), que oscila após ser deslocada da vertical e abandonada. Trata-se de um importante exemplo de movimento periódico e, para pequenas amplitudes ($\theta \leq 5^\circ$), realiza, com boa aproximação, um MHS.



IMAGED/IISTOCK

- Movimento harmônico simples (MHS)
- O pêndulo simples
- Período e frequência do pêndulo simples

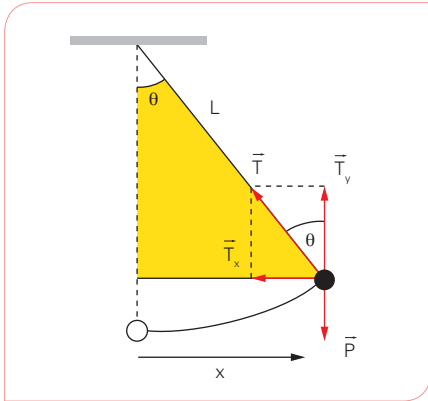
HABILIDADES

- Reconhecer características ou propriedades de fenômenos ondulatórios ou oscilatórios, relacionando-os a seus usos em diferentes contextos.
- Relacionar propriedades físicas, químicas ou biológicas de produtos, sistemas ou procedimentos tecnológicos às finalidades a que se destinam.
- Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.
- Associar a solução de problemas de comunicação, transporte, saúde ou outro, com o correspondente desenvolvimento científico e tecnológico.

Período do pêndulo simples

O período (T) de um pêndulo é o intervalo de tempo associado a uma oscilação completa (ida + volta). A expressão que o determina será deduzida e, para a compreensão do raciocínio proposto a seguir, é importante notar que, quando o ângulo θ for bem pequeno, a posição da partícula ao longo de todo o ciclo é sempre muito próxima à mesma linha horizontal. Por isso, sua trajetória será considerada retilínea.

Desconsiderando ações resistivas do ar, apenas a força de tração aplicada pelo fio e a força peso agem sobre a partícula.



$$T_x = T \cdot \sin \theta$$

$$T_y = T \cdot \cos \theta$$

A decomposição da força de tração indica que sua componente vertical (T_y) equilibra o peso da partícula, enquanto sua componente horizontal (T_x) atua como a força resultante restauradora do MHS. Assim sendo:

$$\frac{T_x}{T_y} = \frac{F_R}{P} \Rightarrow \frac{T \cdot \sin \theta}{T \cdot \cos \theta} = \frac{m \cdot |a|}{m \cdot g} \Rightarrow |a| = g \cdot \operatorname{tg} \theta$$

Das equações do MHS, tem-se que $a = -\omega^2 \cdot x$, conseqüentemente,

$$\omega^2 \cdot x = g \cdot \operatorname{tg} \theta$$

Na condição discutida ($\theta \leq 5^\circ$), é válida a aproximação $\operatorname{sen} \theta \approx \operatorname{tg} \theta$.

$$\omega^2 \cdot x = g \cdot \operatorname{sen} \theta$$

Aplicando a relação trigonométrica no triângulo reatângulo destacado na imagem, tem-se:

$$\operatorname{sen} \theta = \frac{x}{L}$$

Substituindo na expressão anterior:

$$\omega^2 \cdot x = g \cdot \frac{x}{L} \Rightarrow \omega^2 = \frac{g}{L}$$

A análise do MCU indica que $\omega = \frac{2 \cdot \pi}{T}$ e, portanto:

$$\left(\frac{2 \cdot \pi}{T}\right)^2 = \frac{g}{L}$$

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{L}{g}}$$

Por definição, a frequência é o inverso do período, assim sendo:

$$f = \frac{1}{T}$$

e, portanto:

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{g}{L}}$$

No Sistema Internacional de Unidades:

[T] = s (segundo)

[f] = Hz (hertz)

[L] = m (metro)

[g] = m/s²

É importante ressaltar que, nas condições delimitadas, o período de oscilação:

- independe da massa da partícula ou da amplitude;
- distancia-se do obtido pela fórmula à medida que o ângulo θ aumenta.



A posição da partícula presa à haste determina o compasso do metrônomo.

Um relógio de pêndulo é um contador de oscilações de período conhecido. Para um pêndulo de período igual a 1 segundo, a cada 60 oscilações completas o mecanismo desloca o ponteiro dos minutos em 6° , indicando assim a passagem de 1 minuto.

Desse modo, quando um relógio de pêndulo atrasa ou adianta, é necessário ajustar o comprimento do pêndulo de acordo com a relação $T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{L}{g}}$. Em um relógio que adianta, por exemplo, deve-se aumentar seu período – aumentando o comprimento da haste/fio – para que ele demore mais para ir e voltar.



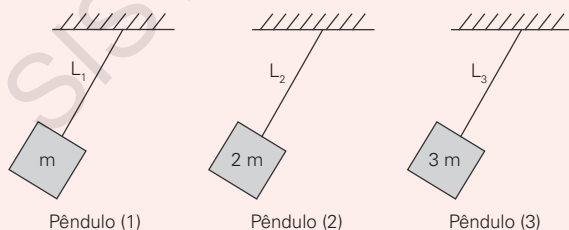
Relógio de pêndulo.

De maneira equivalente, um relógio de pêndulo:

- passará a atrasar caso sofra aquecimento, pois, pela dilatação térmica, o aumento da haste provoca aumento no período do pêndulo;
- calibrado no Equador terrestre adiantará caso seja levado a regiões polares, pelo aumento do campo gravitacional terrestre ($g_{\text{polo}} > g_{\text{equador}}$).

EXERCÍCIO RESOLVIDO

AFA – Três pêndulos simples, 1, 2 e 3, que oscilam em MHS possuem massas respectivamente iguais a m , $2m$ e $3m$. Eles são mostrados na figura a seguir.



Os fios que sustentam as massas são ideais, inextensíveis e possuem comprimentos, respectivamente, de L_1 , L_2 e L_3 .

Para cada um dos pêndulos registrou-se a posição (x), em metros, em função do tempo (t), em segundos, e os gráficos desses registros são apresentados nas figuras 1, 2 e 3, a seguir.

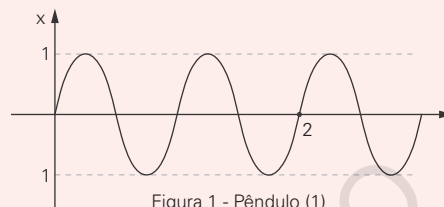


Figura 1 - Pêndulo (1)

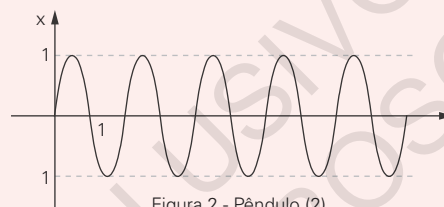


Figura 2 - Pêndulo (2)

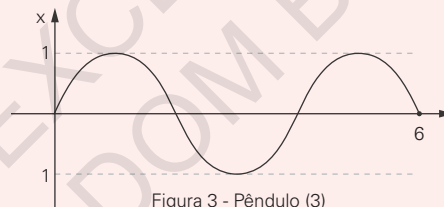


Figura 3 - Pêndulo (3)

Considerando a inexistência de atritos e que a aceleração da gravidade seja $g = \pi^2 \text{ m/s}^2$, determine a relação entre os comprimentos de cada par de pêndulos.

Resolução

Para a situação-problema, devemos explorar a relação entre o período de oscilação T de um pêndulo simples em relação ao comprimento L , que é dado por:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{L}{g}}$$

De acordo com o dado: $g = \pi^2 \text{ m/s}^2$, temos então:

$$T = 2\sqrt{L}$$

Isolando L :

$$L = \frac{T^2}{4}$$

Através dos gráficos, retiramos os períodos de oscilação de cada pêndulo:

$$T_1 = 1 \text{ s}; T_2 = 2 \text{ s}; T_3 = 4 \text{ s}$$

Finalmente:

$$L_1 = \frac{T_1^2}{4} = \frac{1}{4} \text{ m}$$

$$L_2 = \frac{T_2^2}{4} = 1 \text{ m}$$

$$L_3 = \frac{T_3^2}{4} = 4 \text{ m}$$

Relacionando os comprimentos, ficamos com:

$$L_1 = \frac{L_2}{4}; L_2 = \frac{L_3}{4} \text{ e } L_3 = 16 L_1$$

ROTEIRO DE AULA

PÊNDULO SIMPLES

Para oscilações de
pequena abertura

Movimento

Harmônico Simples

Período

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{L}{g}}$$

Independente

da massa do ob-
jeto que oscila.

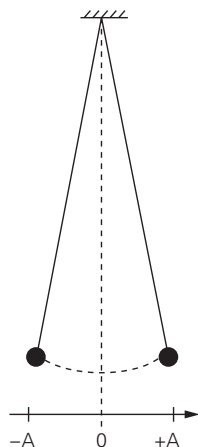
Frequência

$$f = \frac{1}{T}$$

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. Unifesp – Um estudante faz o estudo experimental de um movimento harmônico simples (MHS) com um cronômetro e um pêndulo simples como o da figura, adotando o referencial nela representado.

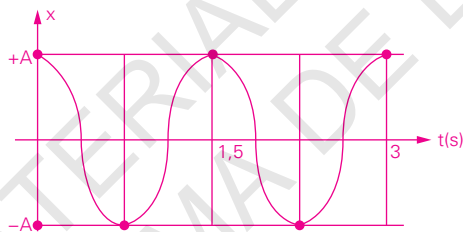


Ele desloca o pêndulo para a posição +A e o abandona quando cronometra o instante $t = 0$. Na vigésima passagem do pêndulo por essa posição, o cronômetro marca $t = 30$ s.

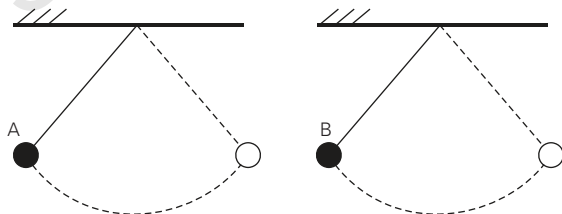
- a) Determine o período (T) e a frequência (f) do movimento desse pêndulo.
- b) Esboce o gráfico x (posição) \times t (tempo) desse movimento, do instante $t = 0$ a $t = 3,0$ s; considere desprezível a influência de forças resistivas.

$$\text{a) } T = \frac{30}{20} = 1,5 \text{ s; } f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1,5} \approx 0,67 \text{ Hz}$$

b) Observando-se que, em $t = 0$, $x = +A$, temos o gráfico senoidal a seguir.



2. UFU – Considere duas situações em que dois pêndulos (A e B) de mesmo comprimento oscilam livremente em um cenário isento de resistência do ar. A esfera A tem o mesmo volume que a B, todavia, por serem de materiais diferentes, a densidade de A é um terço da de B. Ambas são soltas da mesma altura e do repouso para iniciarem a oscilação.



Com base na situação descrita, são feitas algumas afirmações.

- I. O período de oscilação de A é igual ao de B.
- II. A velocidade com que B passa pelo ponto mais baixo da trajetória é três vezes maior do que a velocidade com que A passa pelo mesmo ponto.
- III. A aceleração com que B passa pelo ponto mais baixo da trajetória é maior do que a de A nesse mesmo ponto.

Em relação às afirmações, marque V para as verdadeiras e F para as falsas e assinale a alternativa correta.

- a) I – F; II – V; III – F.
- b) I – V; II – F; III – V.
- c) I – F; II – V; III – V.
- d) I – V; II – F; III – F**

[I] Verdadeira. O período de oscilação dos pêndulos somente depende do comprimento da corda, e, como ambos têm o mesmo comprimento, também terão o mesmo período, que é dado por:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{L}{g}}$$

[II] Falsa. Usando a conservação de energia mecânica, a velocidade no ponto mais baixo da trajetória depende, basicamente, da altura inicial, e, como ambos foram abandonados na mesma posição, então suas velocidades no ponto mais baixo da trajetória são iguais, independentemente de a massa ser diferente.

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

[III] Falsa. A aceleração no ponto mais baixo da trajetória é nula, e é máxima nos pontos mais altos da trajetória.

3. UPF – Um pêndulo simples, de comprimento de 100 cm, executa uma oscilação completa em 6 s em um determinado local. Para que esse mesmo pêndulo, no mesmo local, execute uma oscilação completa em 3 s, seu comprimento deverá ser alterado para:

- a) 200 cm.
- b) 150 cm.
- c) 75 cm.
- d) 50 cm.
- e) 25 cm.**

Para o pêndulo simples, a expressão que relaciona seu período de oscilação T com seu comprimento L é:

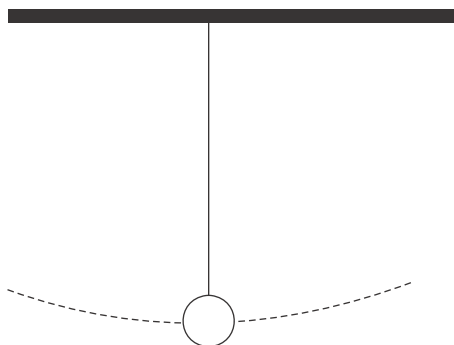
$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{L}{g}}$$

Usando os dados fornecidos e fazendo a razão entre as expressões, temos:

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{L_1}{g}}}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{L_2}{g}}} \Rightarrow \frac{T_1}{T_2} = \frac{\sqrt{L_1}}{\sqrt{L_2}} \Rightarrow \sqrt{L_2} = \frac{T_2 \sqrt{L_1}}{T_1} \Rightarrow L_2 = \frac{T_2^2 \cdot L_1}{T_1^2}$$

$$\Rightarrow L_2 = \frac{(3 \text{ s})^2 \cdot 100 \text{ cm}}{(6 \text{ s})^2} \therefore L_2 = 25 \text{ cm}$$

- 4. Puccamp** – Alguns relógios utilizam-se de um pêndulo simples para funcionarem. Um pêndulo simples é um objeto preso a um fio que é colocado a oscilar, de acordo com a figura a seguir.



Desprezando-se a resistência do ar, esse objeto estará sujeito à ação de duas forças: seu peso e a tração exercida pelo fio. Pode-se afirmar que, enquanto o pêndulo oscila, a tração exercida pelo fio

- tem valor igual ao peso do objeto apenas no ponto mais baixo da trajetória.
- tem valor igual ao peso do objeto em qualquer ponto da trajetória.
- tem valor menor que o peso do objeto em qualquer ponto da trajetória.
- tem valor maior que o peso do objeto no ponto mais baixo da trajetória.
- relaciona-se a uma força peso e constitui um par ação-reação.

[A] Falsa. Essa alternativa estaria correta caso o pêndulo estivesse em repouso.

[B] Falsa. Pois o bloco está em movimento.

[C] Falsa. Se a afirmação fosse verdadeira a corda se romperia.

[D] Verdadeira.

[E] Falsa. Um par ação-reação não atua em um mesmo corpo.

- 5. Fuvest** – Um pêndulo simples, constituído por um fio de comprimento L e uma pequena esfera, é colocado em oscilação. Uma haste horizontal rígida é inserida perpendicularmente ao plano de oscilação desse pêndulo, interceptando o movimento do fio na metade de seu comprimento, quando ele está na direção vertical.

A partir desse momento, o período do movimento da esfera é dado por

Note e adote:

- A aceleração da gravidade é g .
- Ignore a massa do fio.
- O movimento oscilatório ocorre com ângulos pequenos.
- O fio não adere à haste horizontal.

a) $2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{L}{g}}$

b) $2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{L}{2g}}$

c) $\pi \sqrt{\frac{L}{g} + \frac{L}{2g}}$

d) $2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{L}{g} + \frac{L}{2g}}$

e) $\pi \left(\sqrt{\frac{L}{g}} + \sqrt{\frac{L}{2g}} \right)$

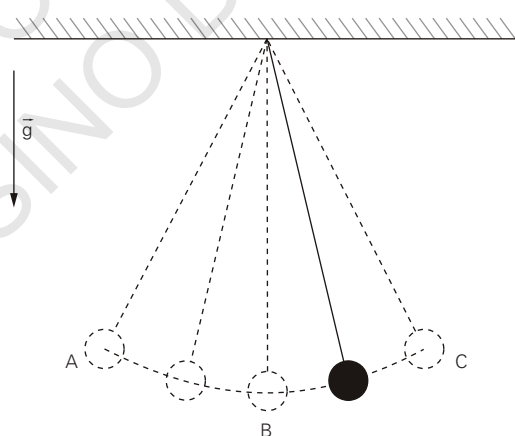
O período de oscilações de pequena amplitude para um pêndulo simples é

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{L}{g}}$$

Na situação descrita, o período é dado pela soma do tempo de meia oscilação com comprimento L ao tempo de outra meia oscilação com comprimento $\frac{L}{2}$. Assim:

$$T = \frac{2 \cdot \pi}{2} \sqrt{\frac{L}{g}} + \frac{2 \cdot \pi}{2} \sqrt{\frac{L/2}{g}} \Rightarrow T = \pi \left(\sqrt{\frac{L}{g}} + \sqrt{\frac{L}{2g}} \right)$$

- 6. UPE** – Um pêndulo é solto a partir do repouso, e seu movimento subsequente é mostrado na figura.



Sabendo que ele gasta 2,0 s para percorrer a distância AC, é CORRETO afirmar que sua amplitude e sua frequência valem, respectivamente,

- AC e 0,12 Hz
- AB e 0,25 Hz
- BC e 1,0 Hz
- BA e 2,0 Hz
- BC e 4,0 Hz

A amplitude corresponde à máxima distância da posição central, que é igual a AB ou BC, e o tempo para ir de A até C é a metade do período. Assim, o período é $T = 4$ s. A frequência é igual ao inverso do período. Então:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{4} \Rightarrow f = 0,25 \text{ Hz}$$

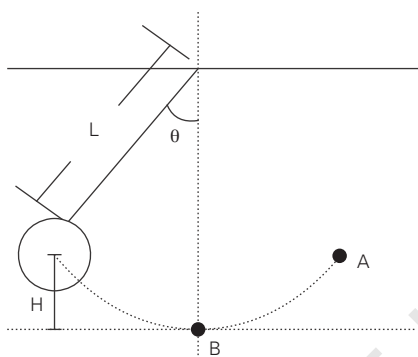
EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. **Unesp** – O período de oscilação de um pêndulo simples, que oscila com amplitude muito pequena, é dado por $T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{L}{g}}$, onde L é o comprimento do pêndulo

e g , a aceleração da gravidade. Se esse comprimento fosse quadruplicado,

- o que ocorreria com seu período?
- o que ocorreria com sua frequência?

8. **Udesc** – Um pêndulo é formado por uma haste rígida inextensível de massa desprezível, e em uma das extremidades há uma esfera sólida de massa m . A outra extremidade é fixada em um suporte horizontal. A haste tem comprimento L e a esfera tem raio r . O pêndulo é deslocado de sua posição de equilíbrio de uma altura H e executa um movimento harmônico simples no plano, conforme mostra a figura.



Com relação ao movimento desse pêndulo, analise as proposições.

- A energia mecânica em A e B são iguais.
- As energias cinética e potencial em A e B são iguais.
- A energia cinética em A é mínima.
- A energia potencial em B é máxima.

Assinale a alternativa correta.

- Somente as afirmativas I e II são verdadeiras.
- Somente as afirmativas III e IV são verdadeiras.
- Somente as afirmativas I e III são verdadeiras.
- Somente as afirmativas I e IV são verdadeiras.
- Todas as afirmativas são verdadeiras.

9. **Ifsul** – O pêndulo simples é um sistema ideal constituído de uma partícula suspensa a um fio flexível, inextensível e de massa desprezível. Quando o sistema é afastado de sua posição de equilíbrio e liberado a oscilar, seu período de oscilação é

- independente do comprimento do pêndulo.
- diretamente proporcional à massa pendular.
- inversamente proporcional à amplitude de oscilação.
- inversamente proporcional à raiz quadrada da intensidade do campo gravitacional.

10. **Uece** – Um pêndulo de relógio antigo foi construído com um fio metálico muito fino e flexível. Prendeu-se a uma das extremidades do fio uma massa e fixou-se a outra extremidade ao teto. Considerando ex-

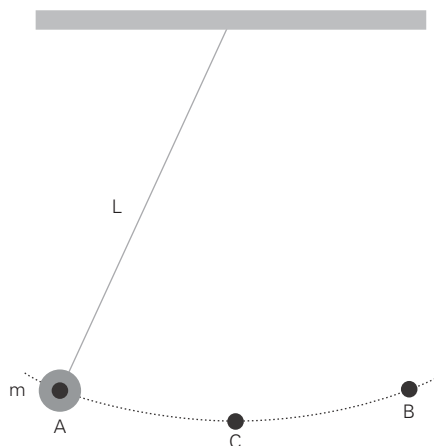
clusivamente os efeitos da temperatura ambiente no comprimento do fio, pode-se afirmar corretamente que, com um aumento de temperatura, o período e a frequência do pêndulo

- diminui e aumenta, respectivamente.
- aumenta e diminui, respectivamente.
- aumenta e mantém-se constante, respectivamente.
- se mantêm constantes.

11. **Uece** – Considere um pêndulo de relógio de parede feito com um fio flexível, inextensível, de massa desprezível e com comprimento de 24,8 cm. Esse fio prende uma massa puntiforme e oscila com uma frequência próxima a 1 Hz. Considerando que a força de resistência do ar seja proporcional à velocidade dessa massa, é correto afirmar que

- a força de atrito é máxima onde a energia potencial gravitacional é máxima.
- a energia cinética é máxima onde a energia potencial é máxima.
- a força de atrito é mínima onde a energia cinética é máxima.
- a força de atrito é máxima onde a energia potencial gravitacional é mínima.

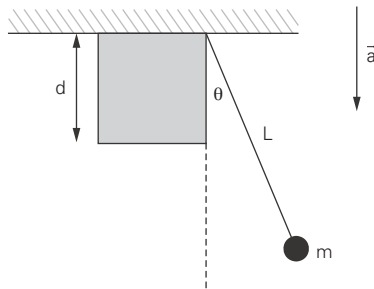
12. **UEM** – Considere um pêndulo simples ideal composto de uma massa m presa a uma extremidade de um fio inextensível de comprimento L . A outra extremidade é presa ao teto, conforme mostra a figura, e a massa m é solta da posição A. Considere que as oscilações do pêndulo são suficientemente pequenas, de tal forma que o movimento do pêndulo seja harmônico simples.



Assinale o que for **correto**.

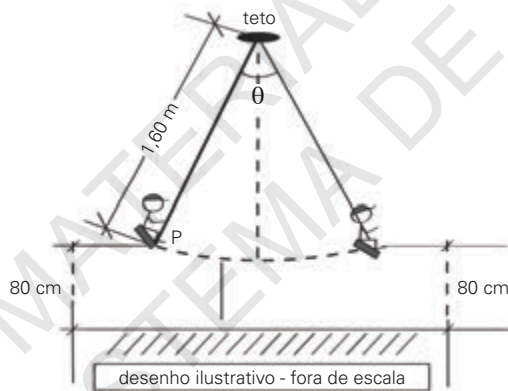
- A energia potencial em A é maior que a energia potencial em C.
- A energia cinética é menor na posição C.
- A energia mecânica total do pêndulo na posição A é maior que na posição C.
- Para qualquer massa m , o período de oscilação do pêndulo pode ser de 1 segundo se a razão for $g/L = (2 \cdot \pi)^2$, onde g é a aceleração da gravidade.
- A posição horizontal da massa em diferentes tempos pode ser descrita por uma função do tipo cosseno.

- 13. UPE** – Um pêndulo ideal de massa $m = 0,5 \text{ kg}$ e comprimento $L = 1,0 \text{ m}$ é liberado do repouso a partir de um ângulo θ muito pequeno. Ao oscilar, ele interage com um obstáculo em forma de cubo, de aresta d , que está fixado ao teto.



Sabendo que o período de oscilação do pêndulo é igual a $T = 1,5 \text{ s}$ e que a aceleração da gravidade no local do experimento tem módulo $a = \pi^2 \text{ m/s}^2$, determine o valor de d em metros.

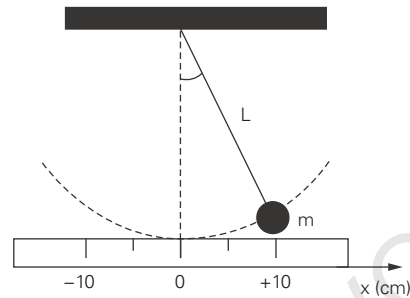
- a) 0,25 m
b) 0,50 m
c) 0,75 m
d) 1,00 m
e) 1,50 m
- 14. Aman** – Uma criança de massa 25 kg brinca em um balanço cuja haste rígida não deformável e de massa desprezível, presa ao teto, tem 1,60 m de comprimento. Ela executa um movimento harmônico simples que atinge uma altura máxima de 80 cm em relação ao solo, conforme representado no desenho a seguir, de maneira que o sistema criança mais balanço passa a ser considerado um pêndulo simples com centro de massa na extremidade P da haste. Pode-se afirmar, com relação à situação exposta, que



Dados: intensidade da aceleração da gravidade $g = 10 \text{ m/s}^2$ considere o ângulo de abertura não superior a 10°

- a) a amplitude do movimento é 80 cm.
b) a frequência de oscilação do movimento é 1,25 Hz.
c) o intervalo de tempo para executar uma oscilação completa é de $0,8\pi \text{ s}$.
d) a frequência de oscilação depende da altura atingida pela criança.
e) o período do movimento depende da massa da criança.

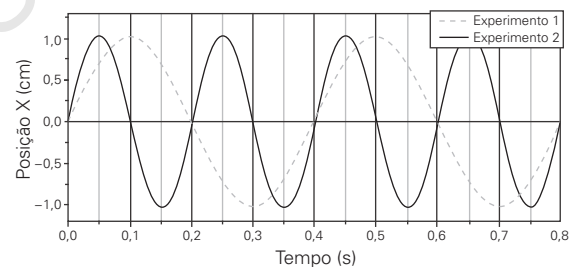
- 15. UFJF**



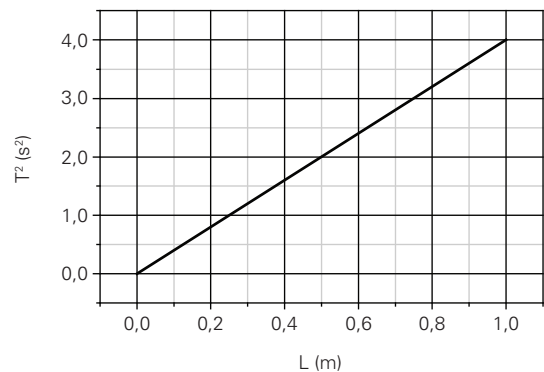
O pêndulo simples ideal consiste em uma massa pequena (para que o atrito com o ar possa ser desprezado) presa a um fio de massa desprezível e comprimento L , como mostra a figura anterior. Para oscilações pequenas, o período T e a frequência angular ω são relacionados de forma que $T = \frac{2 \cdot \pi}{\omega} = \sqrt{\frac{L}{g}}$, onde g é a

aceleração da gravidade. Com o intuito de determinar o valor da aceleração da gravidade em sua casa, um aluno montou um pêndulo simples e mediu o período de oscilação para diferentes comprimentos do fio. Ele usou uma régua graduada em centímetros e um sensor de movimento para determinar a posição horizontal x do pêndulo em função do tempo.

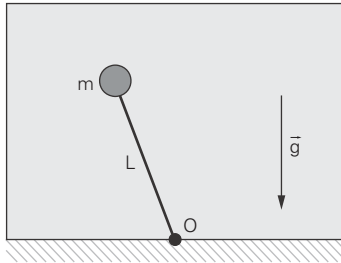
- a) O gráfico a seguir mostra a posição horizontal do pêndulo para dois experimentos, com comprimentos de fios diferentes, em função do tempo. Com base nesses resultados, calcule a razão entre os comprimentos dos fios para os dois experimentos.



- b) O aluno realizou novas medidas e montou o gráfico do período do pêndulo ao quadrado em função do comprimento do fio. Com base nesses resultados, calcule o valor da gravidade encontrado pelo aluno.



16. UPE

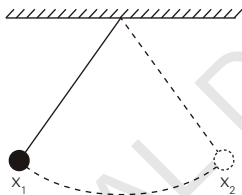


Uma pequena esfera de massa $m = 250 \text{ g}$ é presa a um fio ideal, de comprimento $L = 25 \text{ cm}$, fixado em um ponto O , no fundo de um tanque. O sistema está imerso em um líquido de densidade desconhecida e oscila com pequena amplitude com um período $T = 3 \text{ s}$. A densidade da esfera é menor que a densidade do líquido. Desconsiderando os efeitos resistivos, determine a massa de líquido deslocada pela esfera.

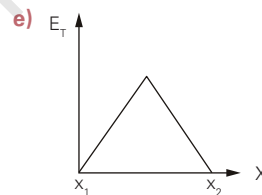
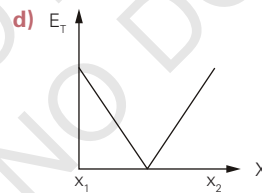
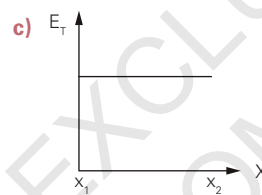
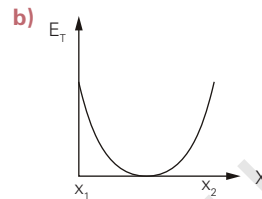
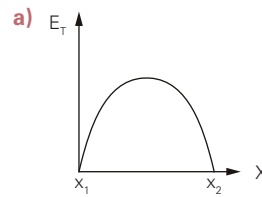
Dados: $g = 10 \text{ m/s}^2$ e $\pi = 3$.

- a) 150 g
- b) 275 g
- c) 450 g
- d) 650 g
- e) 975 g

17. UFRGS – A figura a seguir representa o movimento de um pêndulo que oscila sem atrito entre os pontos x_1 e x_2 .



Qual dos seguintes gráficos melhor representa a energia mecânica total do pêndulo – E_T – em função de sua posição horizontal?



ESTUDO PARA O ENEM

18. Enem

C1-H1

Christiaan Huygens, em 1656, criou o relógio de pêndulo. Nesse dispositivo, a pontualidade baseia-se na regularidade das pequenas oscilações do pêndulo. Para manter a precisão desse relógio, diversos problemas foram contornados. Por exemplo, a haste passou por ajustes até que, no início do século XX, houve uma inovação, que foi sua fabricação usando uma liga metálica que se comporta regularmente em um largo intervalo de temperaturas.

YODER, J. G. *Unrolling time: Christiaan Huygens and the mathematization of nature*. Cambridge: Cambridge University Press, 2004. (Adaptado)

Desprezando a presença de forças dissipativas e considerando a aceleração da gravidade constante, para que esse tipo de relógio realize corretamente a contagem do tempo, é necessário que o(a)

- a) comprimento da haste seja mantido constante.
- b) massa do corpo suspenso pela haste seja pequena.
- c) material da haste possua alta condutividade térmica.

d) amplitude da oscilação seja constante a qualquer temperatura.

e) energia potencial gravitacional do corpo suspenso se mantenha constante.

19. Uece

C6-H20

Considere um pêndulo construído com uma esfera de 1 kg presa ao teto por um fio inextensível, completamente flexível e com massa desprezível. Note que essa massa se desloca dentro de um fluido, o ar, que exerce na esfera uma força de arrasto em sentido oposto a seu vetor velocidade. De modo simplificado, a força de arrasto na esfera pode ser descrita como $\vec{F} = -b\vec{V}$, onde \vec{V} é o vetor velocidade da massa e b , uma constante positiva. Assim, é correto afirmar que no ponto mais baixo da trajetória a força de arrasto é

- a) vertical e tem maior módulo.
- b) horizontal e tem menor módulo.
- c) horizontal e tem maior módulo.
- d) vertical e tem menor módulo.

20. Fuvest

C5-H17

Foram identificados, até agora, aproximadamente 4000 planetas fora do Sistema Solar, dos quais cerca de 10 são provavelmente rochosos e estão na chamada região habitável, isto é, orbitam sua estrela a uma distância compatível com a existência de água líquida, tendo talvez condições adequadas à vida da espécie humana. Um deles, descoberto em 2016, orbita Próxima Centauri, a estrela mais próxima da Terra. A massa, M_p , e o raio, R_p , desse planeta são diferentes da massa, M_T , e do raio, R_T , do planeta Terra, por fatores α e β : $M_p = \alpha \cdot M_T$ e $R_p = \beta \cdot R_T$.

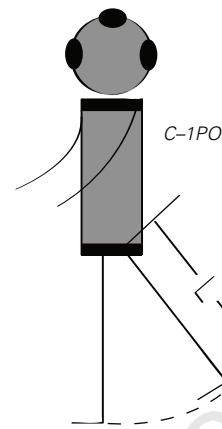
a) Qual seria a relação entre α e β se ambos os planetas tivessem a mesma densidade?

Imagine que você participe da equipe encarregada de projetar o robô C-1PO, que será enviado em uma missão não tripulada a esse planeta. Características do desempenho do robô, quando estiver no planeta, podem ser avaliadas a partir de dados relativos entre o planeta e a Terra.

Nas condições do item a), obtenha, em função de β ,

b) a razão $r_g = \frac{g_p}{g_T}$ entre o valor da aceleração da gravidade, g_p , que será sentida por C-1PO na superfície do planeta e o valor da aceleração da gravidade, g_T , na superfície da Terra;

c) a razão $r_t = \frac{t_p}{t_T}$ entre o intervalo de tempo, t_p , necessário para que C-1PO dê um passo no planeta e o intervalo de tempo, t_T , do passo que ele dá aqui na Terra (considere que cada perna do robô, de comprimento L , faz um movimento como o de um pêndulo simples de mesmo comprimento);



d) a razão $r_v = \frac{v_p}{v_T}$ entre os módulos das velocidades do robô no planeta, v_p , e na Terra, v_T .

Note e adote:

A Terra e o planeta são esféricos.

O módulo da força gravitacional F entre dois corpos de massas M_1 e M_2 , separados por uma distância r , é dado por $F = G \frac{M_1 \cdot M_2}{r^2}$, em que G é a constante de gravitação universal.

O período de um pêndulo simples de comprimento L é dado por $T = 2 \cdot \pi (L/g)^{1/2}$, em que g é a aceleração local da gravidade.

Os passos do robô têm o mesmo tamanho na Terra e no planeta.

SISTEMA MASSA-MOLA

PAS/CEVO/ISTOCK



Kawasaki ZR 1100.

Além de responsáveis pela altura do automóvel em relação ao solo, as molas absorvem as irregularidades do piso por meio de sua enorme flexibilidade e resistência ao impacto. A energia absorvida é liberada por oscilações que geram desconforto e instabilidade ao carro. Se o carro tivesse apenas molas, ele teria a tendência de perder contato com o solo, comprometendo a aderência e aumentando exponencialmente os riscos para a condução. É por isso que elas precisam da ajuda dos amortecedores. Os amortecedores foram desenvolvidos para limitar as oscilações da carroçaria, gerindo a abertura e o fecho da suspensão e garantindo bons níveis de conforto e estabilidade. Um amortecedor hidráulico é constituído por um pistão e válvulas, fixados numa haste e que se movem dentro de um tubo cheio de óleo específico para aguentar as mais altas pressões e elevadas temperaturas. As válvulas regulam a passagem do óleo, controlando a velocidade do movimento da haste, o que irá se traduzir na capacidade de processamento da peça.

Disponível em: <<https://www.kbb.com.br/detalhes-noticia/suspensao-como-funciona-qual-serventia/?ID=1259>>.
Acesso em: 9 mar. 2019.

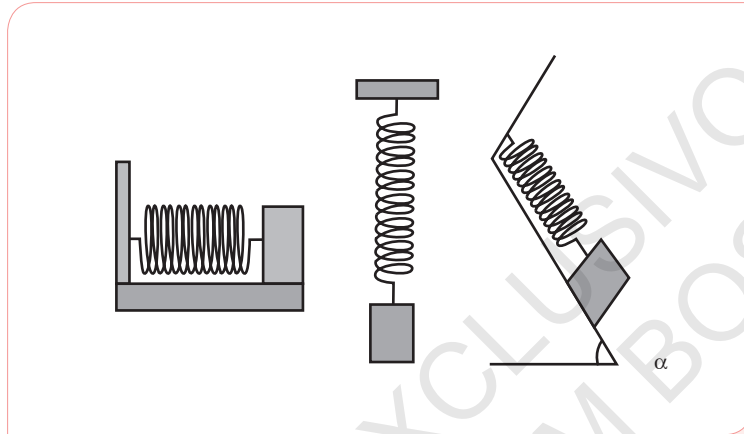
- Movimento harmônico simples (MHS)
- O sistema massa-mola
- Período, frequência e energia de um sistema massa-mola

HABILIDADES

- Reconhecer características ou propriedades de fenômenos ondulatórios ou oscilatórios, relacionando-os a seus usos em diferentes contextos.
- Reconhecer equações de MHS.
- Compreender oscilador harmônico.
- Analisar tipos de energia no MHS.
- Relacionar transformações de energia em um MHS.
- Diferenciar pêndulo simples do sistema massa-mola.
- Relacionar propriedades físicas, químicas ou biológicas de produtos, sistemas ou procedimentos tecnológicos às finalidades a que se destinam.
- Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

O sistema massa-mola e o pêndulo simples (discutido no módulo anterior) realizam, em condições ideais, movimentos que muito se aproximam de movimentos harmônicos simples (MHS) com períodos de oscilação constantes.

Entende-se por sistema massa-mola o conjunto de um corpo de massa m com uma mola de constante elástica k . Prende-se o corpo em uma das extremidades da mola e a outra é presa em um suporte fixo. Dessa forma, o conjunto é posto a oscilar periodicamente.



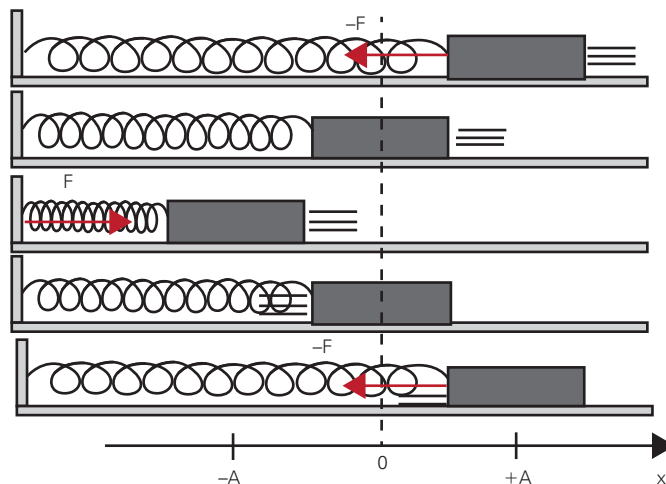
O período de oscilação de um sistema massa-mola independe da direção da oscilação.

Período do sistema massa-mola

O período (T) é o intervalo de tempo associado a uma oscilação completa (ida + volta) do corpo preso à mola. Desconsiderando ações resistivas, a força elástica é a força resultante restauradora do MHS.

$$\vec{F}_R = \vec{F}_{el} = -k \cdot \vec{x}$$

O sinal negativo na expressão anterior indica que a força elástica apresenta sentido oposto à deformação da mola em qualquer momento do movimento. Dessa forma, quando o corpo ocupa posições positivas (mola distendida), a força elástica puxa o bloco no sentido oposto à orientação do eixo x . No entanto, quando o corpo ocupa posições negativas (mola comprimida), a força elástica empurra o bloco no mesmo sentido da orientação da trajetória e, assim, visa o tempo todo levar o corpo de volta à posição de equilíbrio da mola ($x = 0$).



A partir do princípio fundamental da dinâmica $F_R = m \cdot a$, tem-se:

$$F_R = F_{el}$$

$$m \cdot |a| = k \cdot |x|$$

Como no MHS é válida a relação $a = -\omega^2 \cdot x$ (deduzida no módulo anterior), segue que:

$$m \cdot \omega^2 \cdot |x| = k \cdot |x|$$

Do MCU, temos que $\omega = \frac{2 \cdot \pi}{T}$. Assim sendo:

$$m \cdot \left(\frac{2 \cdot \pi}{T}\right)^2 = k$$

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}}$$

Por definição, a frequência é o inverso do período. Então:

$$f = \frac{1}{T}$$

E, portanto:

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{k}{m}}$$

- No Sistema Internacional de Unidades (SI):

[T] = s (segundo)

[f] = Hz (hertz)

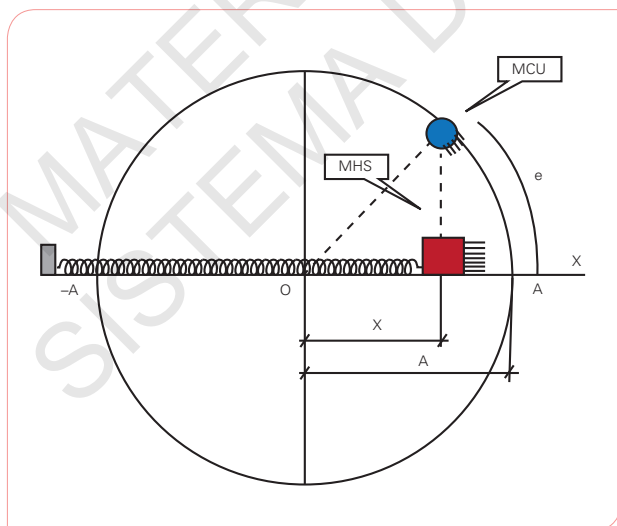
[m] = kg (quilograma)

[k] = N/m (newton/metro)

Observação: o período e a frequência do sistema massa-mola independem do campo gravitacional ou da direção de oscilação.

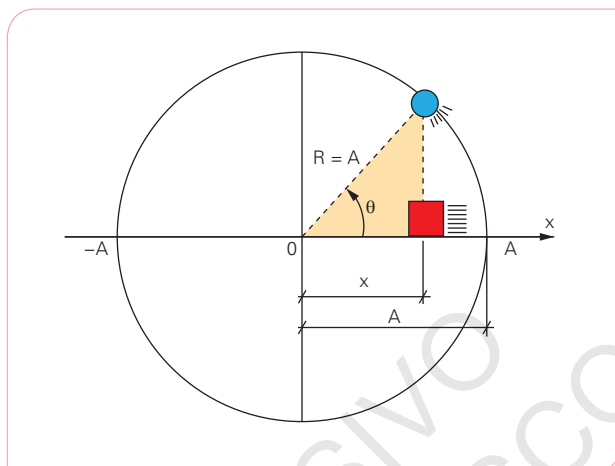
RELAÇÃO DO SISTEMA MASSA-MOLA COM O MHS

O MHS pode ser pensado como sendo a projeção de um movimento circular uniforme sobre um dos diâmetros da circunferência.



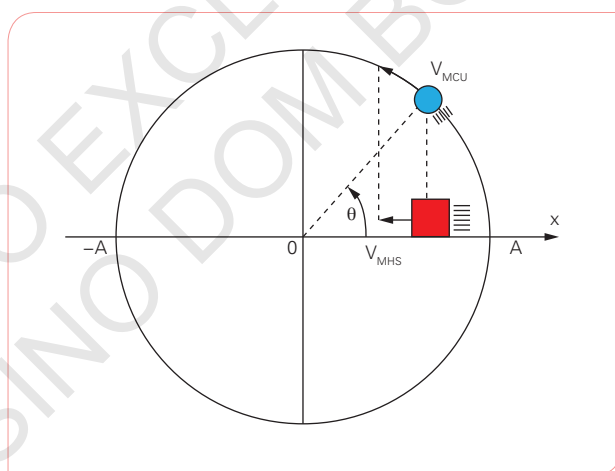
- posição (x)

$$x(t) = A \cdot \cos(\theta_0 + \omega \cdot t)$$



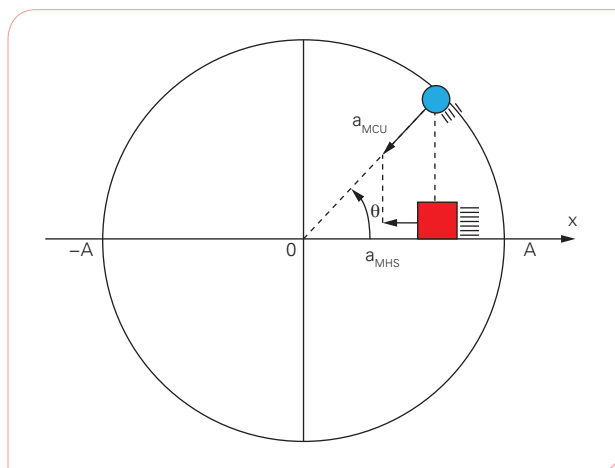
- velocidade (v)

$$v(t) = -\omega \cdot A \cdot \sin(\theta_0 + \omega \cdot t)$$



- aceleração (x)

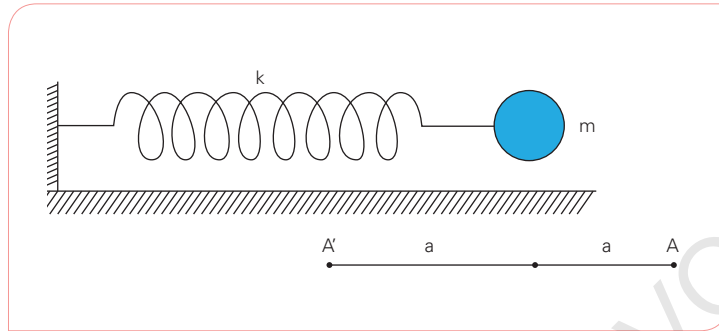
$$a(t) = -\omega^2 \cdot A \cdot \cos(\theta_0 + \omega \cdot t)$$



ENERGIA NO SISTEMA MASSA-MOLA

Desconsiderando possíveis atritos e a resistência do ar, e também que apenas forças conservativas realizam trabalho, a energia mecânica do sistema (dada

pela soma da energia cinética com a potencial) será constante e o sistema será dito conservativo.



$$E_{\text{mec}} = E_c + E_{\text{pot.el}} = \text{constante}$$

Ao longo do movimento, a energia potencial elástica converte-se em energia cinética (e vice-versa), de modo que a soma de ambas (energia mecânica) permanece constante.

- **Energia potencial elástica**

Como visto anteriormente, a energia potencial associada à deformação da mola varia com a posição ocupada pelo corpo, de acordo com a seguinte relação:

$$E_{\text{p.el}} = \frac{k \cdot x^2}{2}$$

$$\text{Em } x = 0 \rightarrow E_{\text{p.el}} = 0.$$

$$\text{Em } x = +A \text{ ou } x = -A \rightarrow E_{\text{p.el}} = \frac{k \cdot A^2}{2}$$

- **Energia mecânica**

Nos extremos do movimento, a energia cinética do sistema é nula, haja vista que o corpo apresenta velocidade nula. Dessa forma, a energia mecânica será dada pela potencial elástica.

- Em $x = +A$ ou $x = -A$, tem-se:

$$E_{\text{mec}} = E_c + E_{\text{pot.el}}$$

$$E_{\text{mec}} = 0 + \frac{k \cdot A^2}{2}$$

$$E_{\text{mec}} = \frac{k \cdot A^2}{2} = \text{constante}$$

- **Energia cinética**

A energia cinética do sistema massa-mola é variável em função da posição ocupada pelo corpo oscilante, e ela aumenta à medida que a energia potencial diminui, de acordo com a seguinte função:

$$E_{\text{mec}} = E_c + E_{\text{pot.el}} = \frac{m \cdot v^2}{2} + \frac{k \cdot x^2}{2} = \text{constante}$$

$$E_c = \frac{k \cdot A^2}{2} - \frac{k \cdot x^2}{2}$$

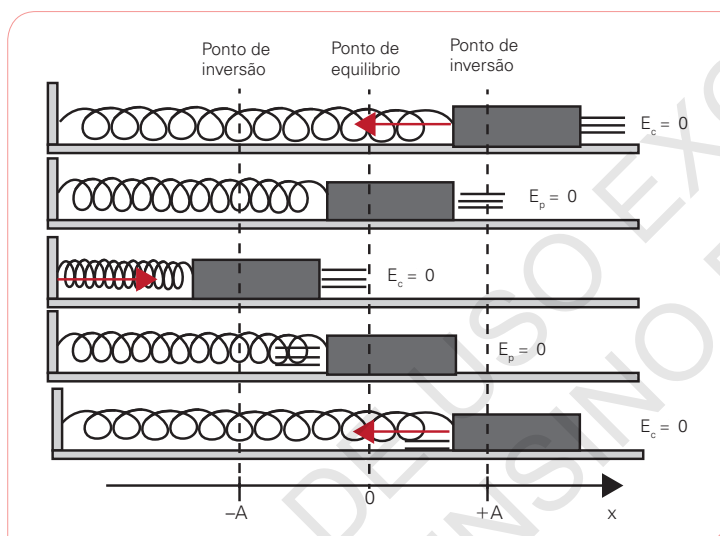
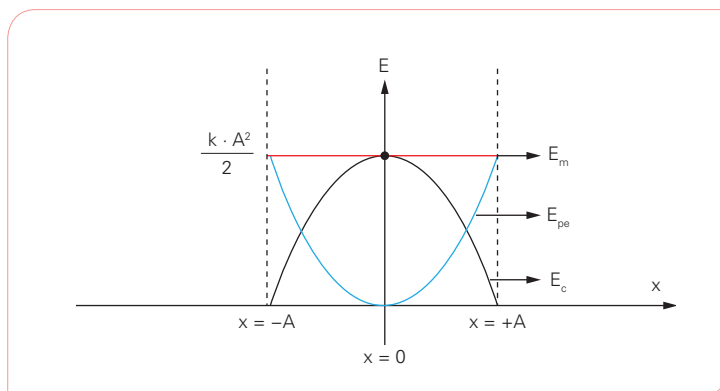
$$E_c = \frac{k}{2} \cdot (A^2 - x^2)$$

- Em $x = +A$ ou $x = -A \rightarrow E_c = 0$

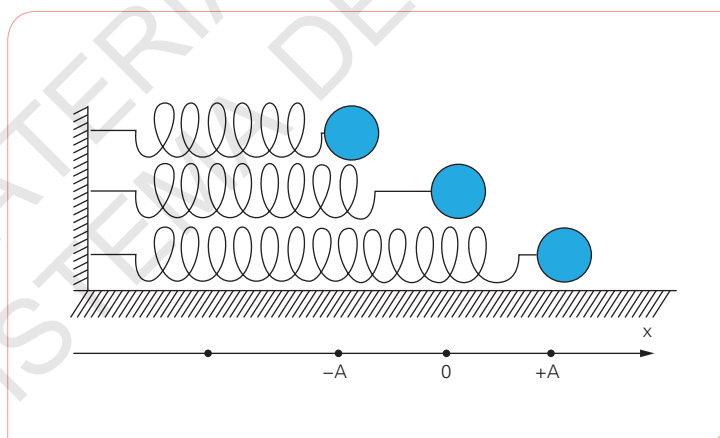
- Para $-A < x < +A$ e $x \neq 0 \rightarrow E_c = \frac{k}{2} \cdot (A^2 - x^2)$

- Em $x = 0 \rightarrow E_c^{\text{máx}} = \frac{k \cdot A^2}{2}$

Observe no gráfico a seguir o comportamento de cada uma das modalidades de energia discutidas anteriormente.



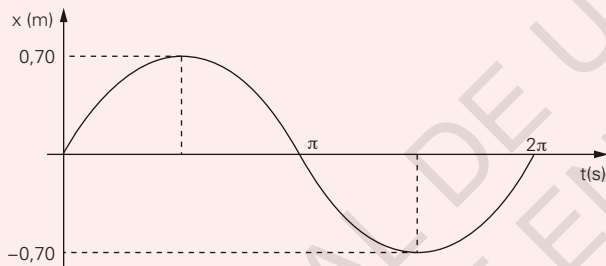
Análise a tabela a seguir, que caracteriza as posições notáveis (de equilíbrio, de máxima e de mínima elongação) do sistema massa-mola.



posição	$x = -A$	$x = 0$	$x = A$
velocidade	$v = 0$	$ \vec{v} $ é máxima	$v = 0$
aceleração	$ \vec{a} $ é máximo	$a = 0$	$ \vec{a} $ é máximo
força resultante	$ \vec{F}_R $ é máximo	$F_R = 0$	$ \vec{F}_R $ é máximo
energia potencial elástica	$E_{\text{pot.el}} = \frac{k \cdot A^2}{2}$	$E_{\text{pot.el}} = 0$	$E_{\text{pot.el}} = \frac{k \cdot A^2}{2}$
energia cinética	$E_c = 0$	$E_c = \frac{k \cdot A^2}{2}$	$E_c = 0$
energia mecânica	$E_c = \frac{k \cdot A^2}{2}$	$E_{\text{mec}} = \frac{k \cdot A^2}{2}$	$E_{\text{mec}} = \frac{k \cdot A^2}{2}$

EXERCÍCIO RESOLVIDO

1. UEG – A posição em função do tempo de um sistema massa-mola em um MHS é representada no gráfico a seguir. Admita que a inércia translacional do sistema seja 0,70 kg e responda ao que se pede.



- Qual é a amplitude e o período do MHS?
- Qual é a constante elástica da mola?
- Qual é o módulo da aceleração da massa quando sua energia cinética for a metade da energia total do sistema?

Resolução

a) A amplitude é igual à abscissa do ponto de elongação máxima. Do gráfico: $A = 0,70$ m.

O período corresponde ao tempo para uma oscilação completa. Também do gráfico, $T = 2\pi$ s.

b) O período de um sistema massa-mola é dado por:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}} \quad \text{Assim:}$$

$$T^2 = 4 \cdot \pi^2 \cdot \frac{m}{k} \Rightarrow k = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot m}{T^2} = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot (0,7)}{(2 \cdot \pi)^2} \Rightarrow k = 0,7 \text{ N/m.}$$

c) Supondo que o sistema esteja oscilando sobre uma superfície horizontal, a energia total (mecânica) do sistema massa-mola é igual à energia potencial elástica no ponto de elongação máxima ($x = A$). Assim:

$$E_{\text{mec}} = \frac{k \cdot A^2}{2} \quad \text{Como o sistema é conservativo, se}$$

$$E_{\text{cin}} = \frac{1}{2} E_{\text{mec}}, \text{ a energia potencial elástica corresponde à outra metade. Ou seja: } E_{\text{cin}} = E_{\text{pot}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{k \cdot A^2}{2} = \frac{k \cdot A^2}{4}$$

$$\text{Mas: } E_{\text{pot}} = \frac{k \cdot x^2}{2}.$$

$$\text{Então: } \frac{k \cdot x^2}{2} = \frac{k \cdot A^2}{4} \Rightarrow x^2 = \frac{A^2}{2} \Rightarrow x = \frac{A}{\sqrt{2}}$$

Propriedade fundamental do MHS: o módulo da aceleração é diretamente proporcional ao módulo da elongação (x):

$$|a| = \omega^2 \cdot x \Rightarrow |a| = \frac{4 \cdot \pi^2}{T^2} \cdot \frac{A}{\sqrt{2}} = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 0,7}{4 \cdot \pi^2 \cdot \sqrt{2}} \cong \frac{0,7}{1,4} = 0,5 \text{ m/s}^2.$$

ROTEIRO DE AULA

SISTEMA
MASSA-MOLADesconsiderando forças
dissipativas

Período

Frequência

Movimento

harmônico

simples

Sistema

conservativo

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}}$$

Independente

do campo
gravitacional

Independente

da direção de
oscilação

$$f = \frac{1}{T}$$

$$E_{\text{mec}} = E_c + E_p = \text{cte}$$

Energia mecânica:

$$E_{\text{mec}} = \frac{k \cdot A^2}{2}$$

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. UEM – Uma das extremidades de uma mola está fixa no teto. Um estudante coloca e retira algumas vezes uma massa de 0,5 kg na extremidade livre dessa mola. A massa é solta lentamente até atingir o equilíbrio. Para cada vez, ele registra a distensão sofrida pela mola, (x_i), como mostram os dados a seguir:

$$x_1 = 9,9 \text{ cm}; x_2 = 10,2 \text{ cm}; x_3 = 9,8 \text{ cm}; x_4 = 10,3 \text{ cm}; x_5 = 9,8 \text{ cm}.$$

Considere a aceleração da gravidade como 10 m/s². Sobre a experiência, classifique em verdadeiras (V) ou falsas (F) as seguintes afirmações:

- I. () O valor médio dessas distensões é 10,1 cm.
- II. () A constante elástica da mola vale 5 N/m.
- III. () Se o estudante deixar essa massa realizar movimento harmônico simples vertical, o período de oscilação é de aproximadamente 1,25 s.
- IV. () Independentemente da amplitude inicial, o período é sempre o mesmo no movimento harmônico simples.
- V. () A energia mecânica desse oscilador é 25 A²J, onde A é a amplitude desse movimento harmônico simples.

I) Falsa.

$$x_m = \frac{9,9+10,2+9,8+10,3+9,8}{5} \Rightarrow x_m = 10,0 \text{ cm}$$

II) Falsa.

$$F = k \cdot x$$

$$m \cdot g = k \cdot x_m$$

$$k = \frac{m \cdot g}{x_m} \Rightarrow k = \frac{0,5 \cdot 10}{10 \cdot 10^{-2}} \Rightarrow k = 50 \text{ N/m}$$

III) Falsa.

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}} \Rightarrow T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{0,5}{50}} \Rightarrow T = 2 \cdot \pi \cdot 0,1 \Rightarrow T \approx 0,63 \text{ s}$$

IV) Verdadeira. De acordo com a equação:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}}, \text{ percebemos que o período não depende da amplitude da onda.}$$

V) Verdadeira.

$$E_m = \frac{k \cdot A^2}{2} \Rightarrow E_m = \frac{50 \cdot A^2}{2} \Rightarrow E_m = 25 \cdot A^2 \text{ J}$$

2. UFC – Uma partícula de massa m move-se sobre o eixo x , de modo que as equações horárias para sua velocidade e sua aceleração são, respectivamente, $v(t) = -\omega \cdot A \cdot \sin(\omega \cdot t + \theta_0)$ e $a(t) = -\omega^2 \cdot A \cdot \cos(\omega \cdot t + \theta_0)$, com ω , A e θ_0 constantes.

- a) Determine a força resultante em função do tempo, $F(t)$, que atua na partícula.
- b) Considere que a força resultante também pode ser escrita como $F(t) = -k \cdot x(t)$, onde $k = m \cdot \omega^2$. Determine a equação horária para a posição da partícula, $x(t)$, ao longo do eixo x .

- c) Usando as expressões para as energias cinética, $E_c = \frac{m \cdot v^2}{2}$, e potencial, $E_p = \frac{k \cdot x^2}{2}$, mostre que a energia mecânica da partícula é constante.

$$a) F(t) = m \cdot \omega^2 \cdot A \cdot \cos(\omega \cdot t + \theta_0)$$

$$b) x(t) = A \cdot \cos(\omega \cdot t + \theta_0)$$

c) Usando as equações para a energia cinética e potencial, com as equações horárias da posição e da velocidade, temos que

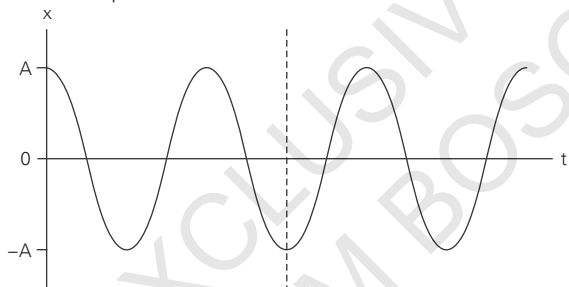
$$E_{c(t)} = 1/2 \cdot m \cdot v^2(t) = m \cdot \omega^2 \cdot A^2 \cdot \sin^2(\omega \cdot t + \theta_0) = 1/2 \cdot k \cdot A^2 \cdot \sin^2(\omega \cdot t + \theta_0)$$

$$E_{p(t)} = 1/2 \cdot k \cdot x^2(t) = 1/2 \cdot k \cdot A^2 \cdot \cos^2(\omega \cdot t + \theta_0).$$

A energia mecânica é a soma da energia cinética com a energia potencial. Logo,

$$E_{mec} = E_c + E_p = 1/2 \cdot k \cdot A^2 \cdot \sin^2(\omega \cdot t + \theta_0) + 1/2 \cdot k \cdot A^2 \cdot \cos^2(\omega \cdot t + \theta_0) = 1/2 \cdot k \cdot A^2, \text{ que é uma constante.}$$

3. Ifsul – O gráfico a seguir representa a posição de uma massa presa à extremidade de uma mola.

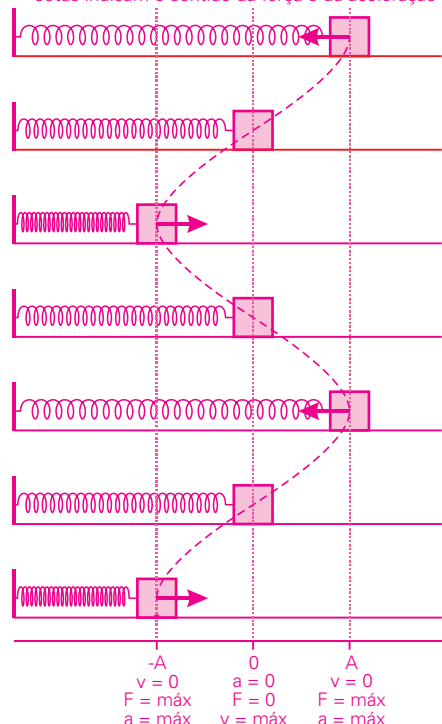


Com base nesse gráfico, afirma-se que a velocidade e a força no instante indicado pela linha tracejada são, respectivamente:

- a) positiva, e a força aponta para a direita.
- b) negativa, e a força aponta para a direita.
- c) nula, e a força aponta para a direita.**
- d) nula, e a força aponta para a esquerda.

A velocidade da massa nos pontos correspondentes à amplitude máxima do sistema massa-mola sem atrito é nula, pois representa os pontos em que há mudança de direção de movimento; a aceleração e a força elástica são máximas, apontando no sentido contrário ao do movimento imediatamente anterior. Na figura a seguir, estão representados os sentidos da força e da aceleração para esses pontos em que as posições da massa são: $x = A$ e $x = -A$.

Nota-se na figura que, em $x = -A$, a força elástica aponta para a direita. setas indicam o sentido da força e da aceleração



Disponível em: <<http://www.sofisica.com.br/conteudos/Ondulatória/MHS/massamola.php>>. Acesso em: 1 mar. 2017. (Adaptado)

4. **Uece** – Em um oscilador harmônico simples, a energia potencial na posição de energia cinética máxima
- tem um máximo e diminui na vizinhança desse ponto.
 - tem um mínimo, aumenta à esquerda e se mantém constante à direita desse ponto.
 - tem um mínimo e aumenta na vizinhança desse ponto.
 - tem um máximo, aumenta à esquerda e se mantém constante à direita desse ponto.

Como se trata de um sistema conservativo, no ponto central, a energia cinética é máxima e diminui nos pontos vizinhos; então, a energia potencial tem um mínimo nesse ponto, aumentando na vizinhança dele.

5. **Aman** – Uma mola ideal está suspensa verticalmente, presa a um ponto fixo no teto de uma sala por uma de suas extremidades. Um corpo de massa 80 g é preso à extremidade livre da mola, e verifica-se que a mola desloca-se para uma nova posição de equilíbrio. O corpo é puxado verticalmente para baixo e abandonado, de modo que o sistema massa-mola passa a executar um movimento harmônico simples. Desprezando as forças dissipativas, sabendo que a constante elástica da mola vale 0,5 N/m e considerando $\pi = 3,14$, o período do movimento executado pelo corpo é de
- 1,256 s
 - 2,512 s
 - 6,369 s
 - 7,850 s
 - 15,700 s

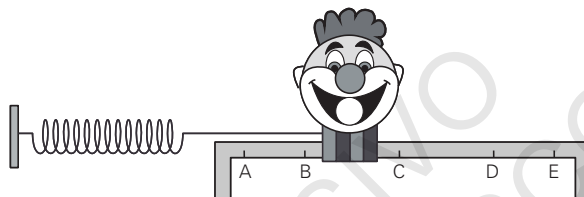
Dados: $m = 80 \text{ g} = 0,08 \text{ kg}$; $k = 0,5 \text{ N/m}$;
 $\pi = 3,14$.

O período do sistema massa-mola é:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}} \Rightarrow T = 2 \cdot (3,14) \cdot \sqrt{\frac{0,08}{0,5}} = 6,28 \cdot \sqrt{0,16} = 6,28 \cdot (0,4) \Rightarrow \\ \Rightarrow T = 2,512 \text{ s.}$$

6. **Unesp** C5-H18

Em um parque de diversões, existe uma atração na qual o participante tenta acertar bolas de borracha na boca da figura de um palhaço que, presa a uma mola ideal, oscila em movimento harmônico simples entre os pontos extremos A e E, passando por B, C e D, de modo que em C, ponto médio do segmento AE, a mola apresenta seu comprimento natural, sem deformação.



Uma pessoa, ao fazer suas tentativas, acertou a primeira bola quando a boca passou por uma posição em que o módulo de sua aceleração é máximo e acertou a segunda bola quando a boca passou por uma posição onde o módulo de sua velocidade é máximo. Dos pontos indicados na figura, essas duas bolas podem ter acertado a boca da figura do palhaço, respectivamente, em

- A e C.
- B e E.
- C e D.
- E e B.
- B e C.

O módulo da aceleração é máximo nos pontos onde a força elástica tem intensidade máxima, ou seja, onde a mola apresenta deformação máxima, o que corresponde aos pontos A e E.

O módulo da velocidade é máximo no ponto central C, onde toda a energia potencial elástica transforma-se em energia cinética.

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar propriedades físicas, químicas ou biológicas de produtos, sistemas ou procedimentos tecnológicos às finalidades a que se destinam.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. **Unicamp** – Numa antena de rádio, cargas elétricas oscilam sob a ação de ondas eletromagnéticas em uma dada frequência. Imagine que essas oscilações tivessem sua origem em forças mecânicas e não elétricas: cargas elétricas fixas em uma massa presa a uma mola. A amplitude do deslocamento dessa “antena-mola” seria de 1 mm e a massa, de 1 g para um rádio portátil. Considere um sinal de rádio AM de 1 000 kHz.

- Qual seria a constante de mola dessa “antena-mola”? A frequência de oscilação é dada por: $f = \left(\frac{1}{2 \cdot \pi} \right) \sqrt{(k/m)}$, onde k é a constante da mola e m , a massa presa à mola.
- Qual seria a força mecânica necessária para deslocar essa mola por 1 mm?

8. **Uece** – Considere um sistema massa-mola que oscila verticalmente sob a ação da gravidade, g , e tem a mola de constante elástica k e distensão x . Sendo a massa m , é correto afirmar que a energia potencial do sistema é função de

- k e x^2 , apenas.
- m , g , x e k .
- m e g , apenas.
- m , g e x , apenas.

9. **Efomm** – Em uma mola ideal pendurada no teto, foi colocado um corpo de massa igual a 10 kg, que causou uma deformação na mola igual a 50 cm. Posteriormente, a massa de 10 kg foi substituída por uma massa de 12,5 kg. Nessa nova condição, o sistema foi posto para oscilar. Admitindo que a aceleração da gravidade é $g = 10 \text{ m/s}^2$, determine o período de oscilação do movimento.

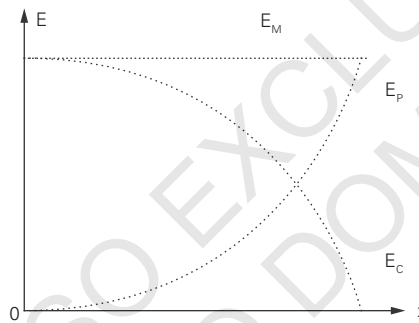
- $\frac{\pi}{2} \text{ s}$
- $\frac{3\pi}{4} \text{ s}$
- $\pi \text{ s}$
- $\frac{2\pi}{3} \text{ s}$
- $2\pi \text{ s}$

10. Uece – Se fossem desprezados todos os atritos e retirados os amortecedores, um automóvel parado em uma via horizontal poderia ser tratado como um sistema massa-mola. Suponha que a massa suspensa seja de 1 000 kg e que a mola equivalente ao conjunto que o sustenta tenha coeficiente elástico k .

Como há ação também da gravidade, é correto afirmar que, se o carro oscilar verticalmente, a frequência de oscilação

- a) não depende da gravidade e é função apenas do coeficiente elástico k .
- b) é função do produto da massa do carro pela gravidade.
- c) não depende da gravidade e é função da razão entre k e a massa do carro.
- d) depende somente do coeficiente elástico k .

11. UEPG – Um caso particular de movimento oscilatório é chamado de movimento harmônico simples (MHS), em que o corpo passa a oscilar, periodicamente, de maneira simétrica em relação ao ponto de equilíbrio. No gráfico, estão representadas a energia cinética (E_c), a energia potencial (E_p) e a energia mecânica (E_M) ao longo das posições de um corpo em MHS. Sobre os fenômenos envolvidos nesse movimento, assinale o que for correto.



01) Caso, na oscilação do corpo, ocorra a ação de forças dissipativas como o atrito, parte da energia mecânica se transformará em energia térmica e o movimento deixará de ser um MHS.

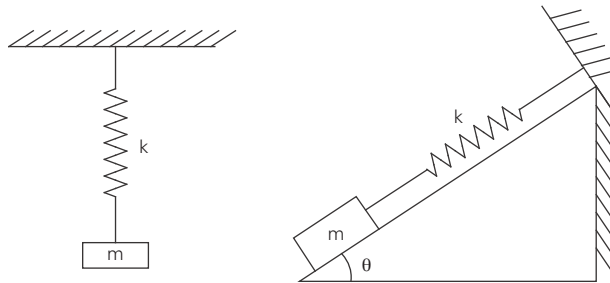
02) Para pequenas amplitudes, o movimento do pêndulo simples é um caso particular do MHS.

04) Pela lei da conservação da energia, embora a energia mecânica não varie, as energias cinética e potencial sofrem variações.

08) Quando um corpo oscila periodicamente em linha reta, sob a ação de uma força resultante expressa pela lei de Hooke, ele está realizando um MHS.

16) No ponto de amplitude máxima, a velocidade do corpo é mínima e as energias cinética e potencial são máximas.

12. Cefet-MG – Um estudante utilizou uma mola de constante elástica k e um bloco de massa m para montar dois experimentos conforme ilustra a figura.



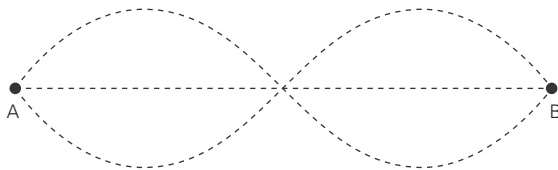
Inicialmente, o sistema foi colocado para oscilar na vertical e a frequência observada foi f . Ao montar o sistema no plano inclinado e com atrito desprezível, a frequência de oscilação observada foi

- a) f
- b) $f \cdot \text{tg } \theta$
- c) $f \cdot \text{sen } \theta$
- d) $f \cdot \text{cos } \theta$
- e) $f \cdot \text{sen}^2 \theta$

13. Uece – Uma massa m presa a uma mola de constante elástica k oscila de modo que a coordenada posição da massa seja dada por $x = X_{\text{máx}} \cdot \text{sen}(\sqrt{k/m} \cdot t)$ e a velocidade, $v = \sqrt{k/m} \cdot X_{\text{máx}} \cdot \text{cos}(\sqrt{k/m} \cdot t)$. Assim, pode-se afirmar corretamente que

- a) a energia cinética máxima é dada por $\frac{1}{2} \frac{k}{m} \cdot X_{\text{máx}}^2$.
- b) a energia mecânica do sistema é dada por $k \cdot X_{\text{máx}}^2 / 2$.
- c) a energia potencial elástica máxima é dada por $\frac{1}{2} k \cdot X_{\text{máx}}^2 \cdot \text{sen}^2(\sqrt{k/m})$.
- d) a energia cinética mínima é dada por $\frac{-1}{2} k \cdot X_{\text{máx}}^2 \cdot \text{cos}^2(\sqrt{k/m})$.

14. AFA – Uma onda estacionária é estabelecida em uma corda homogênea de comprimento $2 \cdot \pi \cdot m$, presa pelas extremidades, A e B, conforme figura a seguir.



Considere que a corda esteja submetida a uma tensão de 10 N e que sua densidade linear de massa seja igual a 0,1 kg/m.

Nessas condições, a opção que apresenta um sistema massa-mola ideal, de constante elástica k , em N/m, e massa m , em kg, que oscila em movimento harmônico simples na vertical com a mesma frequência da onda estacionária considerada é

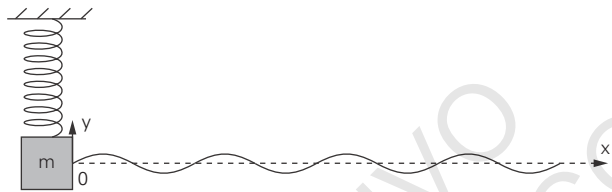
- a) $k = 10 \text{ N/m}$
 $m = 1 \text{ kg}$
- b) $k = 50 \text{ N/m}$
 $m = 5 \text{ kg}$
- c) $k = 100 \text{ N/m}$
 $m = 10 \text{ kg}$
- d) $k = 200 \text{ N/m}$
 $m = 2 \text{ kg}$

15. UEPG – Um objeto de massa $m = 0,1 \text{ kg}$ está preso a uma mola de constante elástica $k = 0,4\pi^2 \text{ N/m}$. A mola é esticada em 10 cm, pela aplicação de uma força externa; o conjunto é então solto e começa a oscilar, efetuando um movimento harmônico simples. Na ausência de forças dissipativas, assinale o que for correto.

- 01) O período do movimento é 1 s.
- 02) A amplitude de oscilação é 10 cm.
- 04) A energia potencial elástica da mola quando ela está esticada em 10 cm é $4 \cdot 10^{-2} \cdot \pi^2 \text{ J}$.

- 08) O módulo da força elástica exercida pela mola para um alongamento de 10 cm é $2 \cdot 10^{-2} \cdot \pi^2 \text{ N}$.
- 16) A energia cinética do objeto no ponto de equilíbrio é $4 \cdot 10^{-2} \cdot \pi^2 \text{ J}$.

16. Esc. Naval – Analise a figura a seguir.



A figura mostra uma montagem em que o bloco de massa $m = 0,70 \text{ kg}$, preso à extremidade de uma mola vertical, oscila em torno de sua posição de equilíbrio. No bloco, prende-se uma corda muito longa estendida na horizontal. A massa específica linear da corda é $1,6 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m}$. Após algum tempo, estabelece-se na corda uma onda transversal cuja equação é dada por $y(x, t) = 0,030 \cdot \text{cos}(2,0x - 30t)$, onde x e y estão em metros e t , em segundos.

Nessas condições, a constante elástica da mola, em N/m, e a tração na corda, em mN, são, respectivamente:

- a) 157 e 144
- b) 210 e 36
- c) 210 e 160
- d) 630 e 36
- e) 630 e 144

17. UFSC – Pedro, Tiago, João e Felipe resolveram comprar um carro do ano 2000, mas se esqueceram de verificar os registros sobre as revisões periódicas. A fim de evitar problemas físicos devido ao excesso de oscilação do carro durante viagens longas, decidem analisar a qualidade dos amortecedores. Eles modelam o carro, na situação em que estão os quatro como passageiros, como um único corpo sobre uma mola ideal, realizando um MHS. Então, eles fazem três medidas, obtendo os seguintes valores:

- I. 1 000 kg para a massa do carro;
- II. 250 kg para a soma de suas massas;
- III. 5,0 cm para a compressão da mola quando os quatro estavam dentro do carro parado.

Sobre o MHS e com base no exposto, é CORRETO afirmar que:

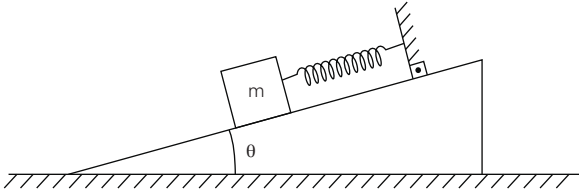
- 01) a frequência e o período do MHS realizado dependem da amplitude.
- 02) a frequência de oscilação do carro com os passageiros é de $\frac{5}{\pi} \sqrt{2} \text{ Hz}$.
- 04) A energia cinética é máxima na posição de equilíbrio.
- 08) a constante elástica da mola é $25 \cdot 10^4 \text{ N/m}$.
- 16) o período de oscilação do carro vazio é de 1,0 s.

ESTUDO PARA O ENEM

18. AFA

C1-H1

Em um local onde a aceleração da gravidade é constante, um corpo de massa m , com dimensões desprezíveis, é posto a oscilar, unido a uma mola ideal de constante elástica k , em um plano fixo e inclinado de um ângulo θ , como mostra a figura.



Nessas condições, o sistema massa-mola executa um movimento harmônico simples de período T .

Colocando-se o mesmo sistema massa-mola para oscilar na vertical, também em movimento harmônico simples, seu novo período passa a ser T' .

Nessas condições, a razão T'/T é

- a) 1
 b) $\sin \theta$
 c) $\frac{1}{2}$
 d) $\frac{1}{\sin \theta}$

19. Ufop

C1-H1

Dois sistemas oscilantes, um bloco pendurado em uma mola vertical e um pêndulo simples, são preparados na Terra de tal forma que possuam o mesmo período. Se os dois osciladores forem levados para a Estação Espacial Internacional (ISS), como se comportarão seus períodos nesse ambiente de microgravidade?

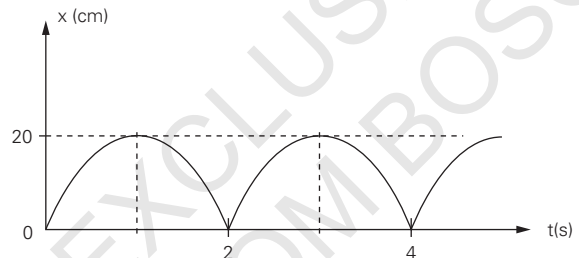
- a) Os períodos de ambos os osciladores se manterão os mesmos de quando estavam na Terra.

- b) O período do bloco pendurado na mola não sofrerá alteração, já o período do pêndulo deixará de ser o mesmo.
 c) O período do pêndulo será o mesmo, no entanto, o período do bloco pendurado na mola será alterado.
 d) Os períodos de ambos os osciladores sofrerão modificação em relação a quando estavam na Terra.

20. UFPB (adaptado)

C5-H17

Em uma experiência sobre movimento periódico, um estudante mede a posição de um bloco que se move unidimensionalmente em função do tempo, obtendo o gráfico da figura a seguir.



Baseando-se nesse gráfico, julgue as afirmativas:

- () O período do movimento do bloco é de 4 s.
 () A amplitude da oscilação é de 20 cm.
 () A maior distância, a partir da origem, que o bloco atinge é de 0,2 m.
 () A velocidade do bloco é sempre positiva.
 () A frequência de oscilação do bloco é de 0,5 Hz.

- a) F - V - V - F - V.
 b) F - F - F - V - V.
 c) V - V - F - F - V.
 d) V - F - V - F - V.
 e) V - F - F - V - F.

ANÁLISE DIMENSIONAL

56

YULKAPOPKOVA/ISTOCK



Preparação de uma receita.

É importante que uma família tenha conhecimento de seus rendimentos e despesas; afinal, só assim se pode ter controle sobre a própria vida financeira. Na culinária, o cuidado com as quantidades é a diferença entre o sucesso ou o desastre ao reproduzir uma receita. Na aeronáutica, tantas coisas devem ser medidas, assim como nas mais corriqueiras ações cotidianas. Em ciência, medir as variáveis que podem (ou não) interferir em um fenômeno é etapa fundamental de seu método e nos permite identificar e caracterizar as inúmeras relações de causa e consequência presentes na natureza.

Grandezas físicas

Chama-se de grandeza física tudo aquilo que pode ser medido. Além disso, deve-se atentar ao fato de que **medir** é sinônimo de **comparar**, e quem compara o faz com um padrão, a **unidade de medida**. A física se utiliza de sete **grandezas físicas fundamentais**, das quais todas as outras são derivadas.

Grandeza física fundamental	Unidade no Sistema Internacional (SI)	Símbolo dimensional
Massa	quilograma (kg)	m
Comprimento	metro (m)	l
Tempo	segundo (s)	t
Temperatura	kelvin (K)	Θ
Corrente elétrica	ampère (A)	I
Quantidade de matéria	mol (mol)	N
Intensidade luminosa	candela (cd)	J

- Análise dimensional
- O Sistema Internacional de Unidades (SI)
- Múltiplos e submúltiplos da unidade base

HABILIDADES

- Compreender a homogeneidade dimensional das relações matemáticas.
- Reconhecer as grandezas fundamentais da física e suas unidades de medida no SI.
- Operar conversão de unidades.
- Utilizar os múltiplos e submúltiplos da unidade-base.
- Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.
- Relacionar propriedades físicas, químicas ou biológicas de produtos, sistemas ou procedimentos tecnológicos às finalidades a que se destinam.

Os símbolos dimensionais da tabela anterior são aplicados em uma importante ferramenta, a **análise dimensional**. Tal recurso é utilizado para que se verifique a homogeneidade dimensional de relações matemáticas nas conversões de unidades ou na previsão de fórmulas.

Seguem, como curiosidade, as definições do Bureau Internacional de Pesos e Medidas (BIPM) para as unidades fundamentais do Sistema Internacional (SI).

Grandeza	Unidade, símbolo: definição da unidade
comprimento	Metro, m: o metro é o comprimento do trajeto percorrido pela luz no vácuo durante um intervalo de tempo de 1/299 792 458 segundo.
massa	Quilograma, kg: o quilograma é unidade de massa igual à massa do protótipo internacional do quilograma.
tempo	Segundo, s: o segundo é a duração de 9 192 631 770 períodos da radiação correspondente à transição entre os dois níveis hiperfinos do estado fundamental do átomo de césio 133.
Corrente elétrica	Ampère, A: o ampère é a intensidade de uma corrente elétrica constante que, mantida em dois condutores paralelos, retilíneos, de comprimento infinito, de seção circular desprezível e situados à distância de 1 metro entre si, no vácuo, produziria entre esses condutores uma força igual a $2 \cdot 10^{-7}$ newtons por metro de comprimento.
Temperatura termodinâmica	Kelvin, K: o Kelvin, unidade de temperatura termodinâmica, é 1/273,16 da temperatura termodinâmica no ponto tríplice da água.
Quantidade de substância	Mol, mol: o mol é a quantidade de substância de um sistema contendo tantas entidades elementares quantos átomos existem em 0,012 quilograma de carbono 12. Quando se utiliza o mol, as entidades elementares devem ser específicas, podendo ser átomos, moléculas, íons, elétrons, assim como outras partículas, ou agrupamentos específicos dessas partículas.
Intensidade luminosa	Candela, cd: a candela é a intensidade luminosa, em dada direção, de uma fonte que emite uma radiação monocromática de frequência $540 \cdot 10^{12}$ hertz, cuja intensidade energética nessa direção é 1/683 watt por esterradiano.

HOMOGENEIDADE DIMENSIONAL

Toda relação matemática só é verdadeira se o primeiro membro possuir a mesma dimensão do segundo membro da fórmula ou função.

$$[1^{\text{º}} \text{ membro}] = [2^{\text{º}} \text{ membro}]$$

Ressalta-se que essa é uma condição necessária para a validade da relação, porém não é suficiente.

Para a determinação das expressões dimensionais das grandezas físicas derivadas (ou secundárias), é importante levar em consideração algumas regras:

- Só se pode somar ou subtrair grandezas físicas de mesma dimensão.
- Todo expoente é adimensional e, portanto, não possui unidade de medida.
- Toda grandeza definida pela razão de duas grandezas físicas, de mesma dimensão, é adimensional. Coeficiente de atrito, índice de refração e rendimento enquadram-se nesse caso.

$\mu = \frac{\text{força de atrito}}{\text{força normal}}$	$n = \frac{\text{velocidade da luz no vácuo}}{\text{velocidade da luz no meio}}$	$e = \frac{\text{potência útil}}{\text{potência total}}$
--	--	--

Dessa forma, toda grandeza derivada (D) pode ser expressa pelo produto de potências das grandezas fundamentais (F_n).

$$D = k \cdot F_1^\alpha \cdot F_2^\beta \cdot \dots \cdot F_n^\gamma$$

$$[D] = [k] \cdot [F_1]^\alpha \cdot [F_2]^\beta \cdot \dots \cdot [F_n]^\gamma$$

Acompanhe os exemplos a seguir:

- **Velocidade (v)**

$$v = \frac{\Delta S}{\Delta t} \Rightarrow [v] = \frac{[\Delta S]}{[\Delta t]} \Rightarrow [v] = \frac{l}{t} = l \cdot t^{-1}$$

$$\text{No SI: } [v] = \frac{m}{s} = m \cdot s^{-1}$$

Nota-se que a grandeza física velocidade é derivada de duas grandezas fundamentais: comprimento e tempo. A partir de sua expressão dimensional ($l \cdot t^{-1}$), aprende-se que a velocidade pode ser medida em diversas unidades, mas sempre pela razão entre uma unidade de comprimento e uma de tempo (m/s, km/h, polegadas/dia, pés/minuto etc.).

- **Aceleração (a)**

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \Rightarrow [a] = \frac{[\Delta v]}{[\Delta t]} \Rightarrow [a] = \frac{l \cdot t^{-1}}{t} = l \cdot t^{-2}$$

$$\text{No SI: } [a] = \frac{m/s}{s} = m \cdot s^{-2}$$

- **Força (F)**

$$F_R = m \cdot a \Rightarrow [F_R] = [m] \cdot [a] \Rightarrow [F_R] = m \cdot l \cdot t^{-2}$$

$$\text{No SI: } [F] = kg \cdot \frac{m}{s^2} = kg \cdot m \cdot s^{-2} = N \text{ (newton)}$$

- **Pressão (p)**

$$p = \frac{F}{A} \Rightarrow [P] = \frac{[F]}{[A]} \Rightarrow [P] = \frac{m \cdot l \cdot t^{-2}}{l^2} = m \cdot l^{-1} \cdot t^{-2}$$

$$\text{No SI: } [p] = kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}$$

- **Trabalho (τ)**

$$\tau = F \cdot d \cdot \cos \theta \Rightarrow [\tau] = [F] \cdot [d] \cdot [\cos \theta]$$

$$[\tau] = m \cdot l \cdot t^{-2} \cdot l \cdot 1 = m \cdot l^2 \cdot t^{-2}$$

$$\text{No SI: } [\tau] = kg \cdot m^2 \cdot s^{-2} = J \text{ (joule)}$$

- **Potência (P)**

$$p = \frac{\tau}{\Delta t} \Rightarrow [p] = \frac{[\tau]}{[\Delta t]} \Rightarrow [p] = \frac{m \cdot l^2 \cdot t^{-2}}{t} = m \cdot l^2 \cdot t^{-3}$$

$$\text{No SI: } [p] = kg \cdot m^2 \cdot s^{-3} = W \text{ (watt)}$$

- **Carga elétrica (Q)**

$$Q = i \cdot \Delta t \Rightarrow [Q] = [i] \cdot [\Delta t] \Rightarrow [Q] = l \cdot t$$

$$\text{No SI: } [Q] = A \cdot s = C \text{ (coulomb)}$$

- **Campo elétrico (E)**

$$E = \frac{F_{el}}{|q|} \Rightarrow [E] = \frac{[F_{el}]}{[q]} \Rightarrow [E] = \frac{m \cdot l \cdot t^{-2}}{l \cdot t} = m \cdot l \cdot t^{-3} \cdot l^{-1}$$

$$\text{No SI: } [E] = kg \cdot m \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$$

DETERMINAÇÃO DE FÓRMULAS

A partir da análise dimensional, é possível determinar a expressão matemática que relaciona as grandezas físicas envolvidas em um fenômeno.

Durante um procedimento experimental, alguém curioso pelo comportamento da natureza observa o movimento de um pêndulo e percebe que seu período (T) de oscilação é dependente da massa (m) do objeto oscilante, do comprimento (L) do pêndulo e do campo gravitacional local (g). Dessa forma, formula a seguinte relação, em que k é uma constante de proporcionalidade adimensional:

$$T = k \cdot m^\alpha \cdot l^\beta \cdot g^\gamma$$

$$[T] = [m]^\alpha \cdot [l]^\beta \cdot [g]^\gamma$$

Substituindo pelas expressões dimensionais, tem-se:

$$T = m^\alpha \cdot l^\beta \cdot \left(\frac{l}{t^2}\right)^\gamma$$

$$m^0 \cdot l^0 \cdot t^1 = m^\alpha \cdot l^\beta \cdot \frac{l^\gamma}{t^{2\gamma}}$$

$$m^0 \cdot l^0 \cdot t^1 = m^\alpha \cdot l^{\beta+\gamma} \cdot t^{-2\gamma}$$

Determinam-se agora os expoentes α , β e γ :

$$\alpha = 0$$

$$-2\gamma = 1 \rightarrow \gamma = -1/2$$

$$\beta + \gamma = 0 \rightarrow \beta = 1/2$$

Assim, conclui-se que a relação desejada é a seguinte:

$$T = k \cdot m^0 \cdot l^{1/2} \cdot g^{-1/2}$$

$$T = k \cdot \sqrt{\frac{l}{g}}$$

No Módulo 54, foi demonstrado o valor da constante k ($k = 2\pi$) da relação anterior. Desse modo, tem-se:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g}}$$

MÚLTIPLOS E SUBMÚLTIPLOS DA UNIDADE-BASE

Tudo que acontece na natureza é objeto de estudo da física, desde subpartículas do núcleo atômico até grandes conglomerados de estrelas. Dessa forma, para que se possa representar e operar quantidades extremamente pequenas ou absurdamente grandes de massa, distância, energia ou qualquer outra grandeza física, pode-se fazer uso de prefixos (múltiplos e submúltiplos) associados a qualquer unidade-base. Na tabela a seguir há alguns exemplos.

Prefixo	Fator de multiplicação	Potência correspondente
tera (T)	1 000 000 000 000	10^{12}
giga (G)	1 000 000 000	10^9
mega (M)	1 000 000	10^6
quilo (k)	1 000	10^3
hecto (h)	100	10^2
deca (da)	10	10^1
deci (d)	1/10	10^{-1}
centi (c)	1/100	10^{-2}
mili (m)	1/1 000	10^{-3}
micro (μ)	1/1 000 000	10^{-6}
nano (η)	1/1 000 000 000	10^{-9}
pico (p)	1/1 000 000 000 000	10^{-12}

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1. FGV – A força resistiva (F_r) que o ar exerce sobre os corpos em movimento assume, em determinadas condições, a expressão $F_r = k \cdot v^2$, em que v é a velocidade do corpo em relação a um referencial inercial e k é uma constante para cada corpo. Com base na relação anterior, indique a unidade de k , no Sistema Internacional de Unidades.

Resolução:

Foi dado pelo enunciado que $F_r = k \cdot v^2$. Assim, pôde-se dizer que $k = \frac{F_r}{v^2}$.

Sabendo que no SI qualquer força é expressa em newtons (N) e que a velocidade é m/s, podemos substituir na equação anterior, de modo a encontrar a unidade para a constante k .

$$k = \frac{F_r}{v^2} = \frac{N}{(m/s)^2}$$

$$\text{Então, } F = m \cdot a \rightarrow N = \text{kg} \cdot \frac{m}{s^2}$$

Exemplos de utilização:

- Frequência da rede Wi-Fi:
 $2\,400\,000\,000 \text{ Hz} = 2,4 \cdot 10^9 \text{ Hz} = 2,4 \text{ GHz}$
- Potência de Itaipu:
 $700\,000\,000 \text{ W} = 700 \cdot 10^6 \text{ W} = 700 \text{ MW}$
- Potência de um chuveiro:
 $6\,000 \text{ W} = 6 \cdot 10^3 \text{ W} = 6 \text{ kW}$
- Cafeína presente em um analgésico:
 $0,030 \text{ g} = 3 \cdot 10^{-2} \text{ g} = 3 \text{ cg} = 30 \text{ mg}$
- Espessura de um fio de cabelo:
 $0,000080 \text{ m} = 80 \cdot 10^{-6} \text{ m} = 80 \text{ }\mu\text{m}$
- Raio atômico: $0,0000000001 \text{ m} = 0,1 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 0,1 \text{ }\eta\text{m}$

$$k = \frac{\text{kg} \cdot \frac{m}{s^2}}{m^2/s^2} = \text{kg} \cdot \frac{m}{s^2} \cdot \frac{s^2}{m^2}$$

$$k = \frac{\text{kg}}{m}$$

2. Fatec – Sabe-se que a grandeza física potência pode ser expressa como sendo a energia utilizada pela unidade de tempo em um determinado sistema. Considerando como grandezas fundamentais o tempo (T), o comprimento (L) e a massa (M), determine a expressão dimensional da potência.

Resolução:

Desenvolvendo as unidades das grandezas fundamentais para as grandezas derivadas, temos:

$$[\text{Pot}] = \frac{[\tau]}{[t]} = \frac{[F] \cdot [d]}{[t]} = \frac{[m] \cdot [a] \cdot [d]}{[t]} = \frac{[m] \cdot \frac{[d]}{[t]^2} \cdot [d]}{[t]}$$

$$\therefore [\text{Pot}] = \frac{m \cdot l^2}{t^3} = m \cdot l^2 \cdot t^{-3}$$

ROTEIRO DE AULA

TUDO AQUILO QUE PODE SER MEDIDO

Grandezas físicas

Medir é
comparar.

Grandezas físicas
fundamentais

O padrão de
comparação é a
unidade de medida.

Massa

Comprimento

Tempo

Tempera-
tura

Corrente
elétrica

Quantida-
de de
matéria

Intensida-
de lumino-
sa

Símbolo di-
dimensional:
M

Símbolo di-
dimensional:
L

Símbolo di-
dimensional:
T

Símbolo di-
dimensional:
 θ

Símbolo di-
dimensional:
I

Símbolo di-
dimensional:
N

Símbolo di-
dimensional:
J

Unidade SI:
quilograma (kg)

Unidade SI:
metro (m)

Unidade SI:
segundo (s)

Unidade SI:
kelvin (K)

Unidade SI:
ampère (A)

Unidade SI:
mol (mol)

Unidade SI:
candela (cd)

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. Uema

Na eternidade
Eu quisera ter
Tantos ano-luz
Quantos fosse precisar
Para cruzar o túnel
Do tempo do seu olhar

Seu olhar – Gilberto Gil, 1984.

A letra da música usa a palavra composta ano-luz no sentido prático. Em geral, esse sentido não é obrigatoriamente o mesmo dado ao termo na área da ciência.

Na física, um ano-luz é uma medida que relaciona a velocidade da luz e o tempo de um ano.

- Qual a grandeza física que está associada à palavra "ano"?
- Com base na física moderna, explique qual grandeza está associada à palavra "luz".
- A terminologia ano-luz está associada a qual grandeza física?
- Demonstre matematicamente a expressão que ratifica a questão anterior.

a) Ano está relacionado com a grandeza tempo, e significa o intervalo para que a Terra circule totalmente o Sol em sua translação. Um ano representa 365,25 dias, exatamente, sendo esse quarto de dia restante juntado a cada quatro anos para termos mais um dia inteiro nos anos considerados bissextos.

b) A grandeza associada à luz é a velocidade, pois a luz percorre aproximadamente 300 mil quilômetros por segundo, que é considerado o limite máximo de velocidade de qualquer objeto. Einstein menciona em seu artigo de 1905, sobre a relatividade restrita, no postulado 2, que: "A velocidade da luz no vácuo tem o mesmo valor c , qualquer que seja o movimento da fonte". Esse postulado nos diz que, independentemente do movimento ou não das fontes de luz, a luz sempre mantém sua velocidade c para quaisquer observadores.

c) A terminologia ano-luz está associada à distância percorrida pela luz em um ano.

d) Para comprovar o fato de a terminologia ano-luz estar associada à distância, a seguir comprova-se o fato com a determinação do valor referente a 1 ano-luz com a análise dimensional, demonstrando se tratar de uma distância.

$$1 \text{ ano-luz} = 365 \text{ dias} \cdot \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ dia}} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} \cdot 300000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

$$\therefore 1 \text{ ano-luz} = 9,46 \cdot 10^{12} \text{ km}$$

2. UEPG – A necessidade de medir é intrínseca à física. Uma grandeza física está relacionada a algo que possa ser medido, comparado a determinada unidade. O Sistema Internacional de Unidades (SI) – é composto por grandezas fundamentais e grandezas derivadas. Sobre as grandezas físicas e suas correspondentes unidades no SI, assinale o que for correto.

- Quantidade de matéria é uma grandeza fundamental, e sua unidade é o mol.
- Velocidade é uma grandeza derivada, e sua unidade é o metro/segundo.
- Corrente elétrica é uma grandeza fundamental, e sua unidade é o ampère.
- Temperatura termodinâmica é uma grandeza fundamental, e sua unidade é o kelvin.

15 (01 + 02 + 04 + 08)

Todas as proposições estão corretas.

3. FGV – Para efeito de análise dimensional das grandezas físicas, são consideradas fundamentais, no Sistema Internacional de unidades (SI), a massa (M), o comprimento (L) e o tempo (T).

Ao se estudar o comportamento dos elétrons no efeito fotoelétrico, a expressão $E_c = h \cdot f = U_0$ é a que relaciona a energia cinética máxima de emissão (E_c) e a função trabalho (U_0) com a frequência da radiação incidente (f) e a constante de Planck (h).

Com base nas informações dadas, é correto afirmar que a constante de Planck tem as dimensões

- $m \cdot l \cdot t^{-2}$
- $m \cdot l \cdot t^{-1}$
- $m \cdot l^2 \cdot t^{-1}$
- $m \cdot l^2 \cdot t^{-2}$
- $m \cdot l^2 \cdot t^{-3}$

$$E_c = h \cdot f$$

$$m \cdot l^2 \cdot t^{-2} = [h] t^{-1}$$

$$\therefore [h] = m \cdot l^2 \cdot t^{-1}$$

4. Uece – Considere um tanque cilíndrico contendo água até uma altura h , em metros. No fundo do tanque há uma torneira, através da qual passa um determinado volume (em m^3 – de água a cada segundo, resultando em uma vazão ϕ (em m^3/s). É possível escrever a altura em função da vazão ϕ através da equação $h = R \cdot \phi$, onde a constante de proporcionalidade R pode ser entendida como uma resistência mecânica à passagem do fluido pela torneira. Assim, a unidade de medida dessa resistência é

- s/m^2
- s/m^3
- m^3/s
- m/s

$$h = R\phi \Rightarrow R = \frac{h}{\phi}$$

$$[R] = \frac{[h]}{[\phi]} = \frac{m}{m^3/s}$$

$$\therefore [R] = s/m^2$$

5. Unicamp – O fluxo (Φ) representa o volume de sangue que atravessa uma seção transversal de um vaso sanguíneo em um determinado intervalo de tempo. Esse fluxo pode ser calculado pela razão entre a diferença de pressão $\left(P = \frac{\text{Força}}{\text{Área}} \right)$ do sangue nas duas extremidades

do vaso (P_1 e P_2), também chamada de gradiente de pressão, e a resistência vascular (R), que é a medida da dificuldade de escoamento do fluxo sanguíneo, decorrente, principalmente, da viscosidade do sangue ao longo do vaso.

A figura ilustra o fenômeno descrito.



HALL, J. E.; Guyton, A. C. *Tratado de fisiologia médica*, 2001. (Adaptado)

Assim, o fluxo sanguíneo Φ pode ser calculado pela seguinte fórmula, chamada de lei de Ohm:

$$\phi = \frac{(P_1 - P_2)}{R}$$

Considerando a expressão dada, a unidade de medida da resistência vascular (R), no Sistema Internacional de Unidades, está corretamente indicada na alternativa

- a) $\frac{\text{kg} \cdot \text{s}}{\text{m}^5}$ c) $\frac{\text{kg} \cdot \text{s}^2}{\text{m}}$ e) $\frac{\text{kg}^2 \cdot \text{m}^5}{\text{s}^2}$
 b) $\frac{\text{kg} \cdot \text{m}^4}{\text{s}}$ **d) $\frac{\text{kg}}{\text{m}^4 \cdot \text{s}}$**

No Sistema Internacional de Unidades, temos:

$$\text{Fluxo: } [\Phi] = \left[\frac{\text{volume}}{\text{tempo}} \right] = \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] = [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$$

Gradiente de pressão:

$$[P_1 - P_2] = \left[\frac{\text{força}}{\text{área}} \right] = \left[\frac{\text{kg} \cdot \text{m} / \text{s}^2}{\text{m}^2} \right] = [\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{m}^{-2}] = [\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}]$$

Da expressão fornecida no enunciado:

$$\Phi = \frac{(P_1 - P_2)}{R} \Rightarrow R = \frac{(P_1 - P_2)}{\Phi} \Rightarrow [R] = \left[\frac{\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}}{\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}} \right] = [\text{kg} \cdot \text{m}^{-4} \cdot \text{s}^{-1}] \Rightarrow$$

$$[R] = \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^4 \cdot \text{s}} \right]$$

6. Uece

C3-H11

Suponha que o padrão de metro do Sistema Internacional de Unidades seja redefinido para a metade do comprimento atualmente em uso. Assim, o valor da aceleração da gravidade na superfície da Terra seria aproximadamente, em m/s^2 ,

- a) 9,8.
 b) 4,9.
c) 19,6.
 d) 2,5.

Considere que no novo padrão (m'): $1 \text{ m} = 2 \text{ m}'$. Assim sendo:

$$g = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 9,8 \frac{2\text{m}'}{\text{s}^2} = 19,6 \frac{\text{m}'}{\text{s}^2}$$

Competência: Construir noções de grandezas e medidas para a compreensão da realidade e a solução de problemas do cotidiano.

Habilidade: Utilizar a noção de escalas na leitura de representação de situação do cotidiano.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. Sistema Dom Bosco – Diretas:

- a) Quais as três grandezas físicas fundamentais da mecânica?
- b) Um vestibulando, durante a resolução de um exercício de geometria plana, calcula a altura de um triângulo equilátero através da relação: $h = \frac{L^2 \cdot \sqrt{3}}{2}$, onde L é a medida do lado do triângulo. A expressão citada é dimensionalmente homogênea? O exercício foi resolvido corretamente?
- c) O mesmo vestibulando, pouco atento à análise dimensional, calcula o volume de uma esfera através da relação: $V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^2$, onde R é o raio da esfera. A relação citada pode ser verdadeira?
- d) Complete a tabela e a utilize, se julgar necessário, nos exercícios posteriores:

Grandeza física	Relação	Expressão dimensional
Velocidade (v)	$v = \frac{\Delta S}{\Delta t}$	$L \cdot T^{-1}$
Aceleração (a)	$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$	
Força (F)	$F_R = m \cdot a$	
Campo gravitacional (g)	$g = \frac{F}{m}$	

Pressão (p)	$P = \frac{F}{A}$	
Trabalho de uma força (T)	$\tau^f = F \cdot d \cdot \cos \theta$	
Potência (P)	$P = \frac{\tau}{\Delta t}$	
Carga elétrica (q)	$ q = i \cdot \Delta t$	
Campo elétrico (E)	$E = \frac{F_{El}}{ q }$	

- a) Coloque os múltiplos k (quilo), T (tera), G (giga) e M (mega) em ordem crescente.
- b) Coloque os submúltiplos m (mili), c (centi), n (nano) e μ (micro) em ordem crescente.

8. USF – Uma das aplicações possíveis do ultrassom na medicina, além de sua utilização em exames de imagens importantes, conhecidos como ecografia, é a destruição de células cancerígenas. Camadas de tecidos humanos podem ser seletivamente destruídas com um feixe de ultrassom de 10^3 W/cm^2 de intensidade. A energia transferida em 1 minuto por uma onda, com essa intensidade, em uma superfície de 1 mm^2 equivale a

- a) 600 J. c) 10 J. e) 1 J.
 b) 60 J. d) 6 J.

- 9. Uece** – Considere um dado movimento oscilatório em que uma partícula seja sujeita a uma força proporcional a $\cos(\omega \cdot t^2)$, onde t é o tempo. É correto afirmar que, nesse caso, a unidade de medida de ω no SI é
- a) s. b) s^{-1} . c) s^{-2} . d) s^2 .

- 10. Efomm** – Observando um fenômeno físico, Tamires, uma pesquisadora da Nasa, verificou que determinada grandeza era diretamente proporcional ao produto de uma força por uma velocidade e inversamente proporcional ao produto do quadrado de um peso pelo cubo de uma aceleração. Sabendo-se que a constante de proporcionalidade é adimensional, a expressão dimensional da referida grandeza é:

- a) $[L]^{-4} [m]^{-2} [t]^5$ c) $[L]^{-1} [m]^{-3} [t]^7$ e) $[L]^{-3} [m]^{-1} [t]^7$
 b) $[L]^{-2} [m]^{-1} [t]^3$ d) $[L]^{-5} [m]^{-3} [t]^6$

- 11. Fuvest** – Uma gota de chuva se forma no alto de uma nuvem espessa. À medida que vai caindo dentro da nuvem, a massa da gota vai aumentando, e o incremento de massa Δm , em um pequeno intervalo de tempo Δt , pode ser aproximado pela expressão: $\Delta m = \alpha \cdot v \cdot S \cdot \Delta t$, em que α é uma constante, v é a velocidade da gota e S , a área de sua superfície. No Sistema Internacional de Unidades (SI), a constante α é

- a) expressa em $kg \cdot m^3$
 b) expressa em $kg \cdot m^{-3}$
 c) expressa em $m^3 \cdot s \cdot kg^{-1}$
 d) expressa em $m^3 \cdot s^{-1}$
 e) adimensional.

- 12. Uepg** – O Brasil adota o Sistema Internacional de Unidades (SI), porém, há unidades em uso no Brasil que não fazem parte do SI.

Nesse contexto, assinale o que for correto.

- 01) A unidade de capacidade volumétrica litro, mesmo não sendo incluída no SI, é admitida para uso geral e tem como símbolo oficial a letra l (manuscrita), podendo ser simbolizada pela letra L (maiúscula).
 02) Somente as unidades que levam o nome de cientistas devem ser representadas por letras maiúsculas; as demais são com letras minúsculas.
 04) As unidades de pressão centímetro de Hg, milibar e PSI (lib/pol²) são muito usadas e não fazem parte do SI.
 08) A unidade quilograma (kg) excepcionalmente pode ser utilizada como unidade de massa e de peso.

- 13. Uefs** – As grandezas físicas são utilizadas para descrever fenômenos ou propriedades de sistemas e são caracterizadas por terem dimensões, e a análise dimensional é uma técnica que permite entender quais são as combinações de grandezas físicas relevantes para determinado problema.

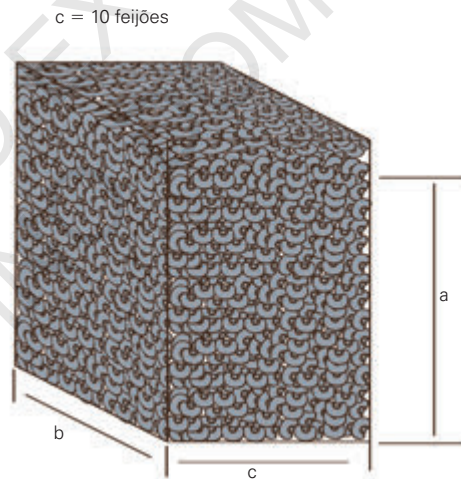
- Considerando-se que a explosão de bombas atômicas libera uma energia, na explosão, dada pela equação $E = \frac{C \rho \cdot R^5}{t^2}$, sendo C uma constante adimensional; ρ a densidade do ar; R o tamanho da frente de choque da onda da explosão; e t o tempo, conclui-se que a energia liberada pela onda tem sua dimensão dada por

- a) $m^2 \cdot l^{-1} \cdot t^{-1}$ c) $m^2 \cdot l \cdot t$ e) $m \cdot l \cdot t$
 b) $m \cdot l \cdot t^{-2}$ d) $m^{-1} \cdot l \cdot t$

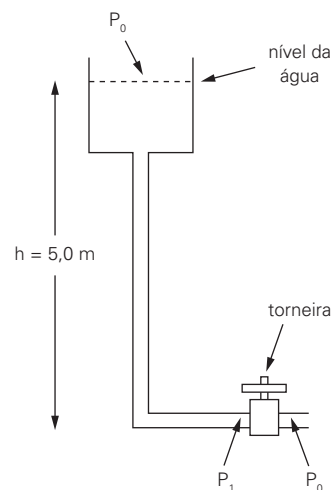
- 14. FGV** – Na função horária $S = B \cdot t^2 + A$, em que S representa as posições ocupadas por um móvel sobre uma trajetória retilínea em função do tempo t , as constantes A e B têm, respectivamente, unidades de medida de
- a) velocidade final e aceleração.
 b) posição inicial e aceleração.
 c) posição inicial e velocidade final.
 d) aceleração e velocidade inicial.
 e) posição e velocidade iniciais.

- 15. UFPE** – Um estudante de Física aceita o desafio de determinar a ordem de grandeza do número de feijões em um pacote de 5 kg, sem utilizar qualquer instrumento de medição. Ele simplesmente despeja os feijões em um recipiente com um formato de paralelepípedo e conta quantos feijões há na aresta de menor comprimento c , como mostrado na figura. Ele verifica que a aresta c comporta 10 feijões. Calcule a potência da ordem de grandeza do número de feijões no recipiente, sabendo-se que a relação entre os comprimentos das arestas

$$\text{é: } \frac{a}{4} = \frac{b}{3} = \frac{c}{1}.$$



- 16. Unicamp (adaptado)**



Uma torneira é usada para controlar a vazão Φ da água que sai de um determinado encanamento. Essa vazão

20. Unifor

C3-H12

Leia com atenção a tirinha a seguir:



<http://revistaescola.abril.com.br//lingua-portuguesa/coletaneas/calvin-seus-amigos-428892.shtml>

Na tirinha, Calvin está estudando sobre a conversão de unidades. Onça é uma unidade de medida inglesa de massa, e cada onça equivale a 28,350 gramas. Quanto vale, aproximadamente, uma libra em quilograma?

- a) 0,45360 kg c) 45,360 kg e) 45,360 kg
 b) 4,5360 kg d) 453,60 kg

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO
 SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

SHUTTERSTOCK / ABC7



FÍSICA 2A

CIÊNCIAS DA NATUREZA E SUAS TECNOLOGIAS

45

INTRODUÇÃO À TERMODINÂMICA

- Trabalho em termodinâmica
- Energia do sistema termodinâmico
- Transformação cíclica

HABILIDADES

- Reconhecer o que é trabalho e como obtê-lo em um gráfico.
- Reconhecer uma transformação cíclica e compreender a variação de temperatura, pressão e volume.



Locomotiva a vapor.

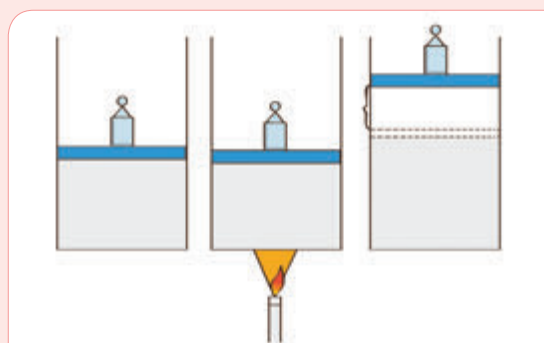
A termodinâmica levou ao desenvolvimento de máquinas que apresentavam uma maior eficiência; um exemplo delas é a locomotiva a vapor.

Na termodinâmica, estuda-se as relações de troca entre o calor e o trabalho que ocorre durante a transformação de um sistema quando este se encontra em contato com o meio externo. Sendo assim, as variações de temperatura, pressão e volume são analisadas de modo a se estabelecer como elas interagem e interferem no sistema físico.

A termodinâmica foi dividida em três leis fundamentais, que dizem que a energia pode ser transferida de um sistema para outro na forma de trabalho ou calor, assim como apresenta o conceito de entropia. Esta, por sua vez, pode ser determinada para todos os sistemas.

Trabalho em termodinâmica

O trabalho em termodinâmica pode ser determinado considerando-se o seguinte experimento, em um recipiente que contém um êmbolo móvel com uma massa sobre ele (corpo), e no qual a pressão é constante. Após um tempo, a temperatura é alterada, assim haverá variação no volume. Como se pode observar na imagem ao lado:



As condições iniciais são dadas por: V_i (volume inicial) e T_i (temperatura inicial), e as finais por: V_f (volume final) e T_f (temperatura final). Quando a temperatura é aumentada, ocorre deslocamento; chamamos de d a distância do deslocamento, e de T o trabalho que foi realizado na reação.

Considerando a área do êmbolo como A , a variação do volume como ΔV e a intensidade da força como F , e relembrando algumas equações mecânicas, temos:

$$A = \frac{\Delta V}{d}$$

$$F = p \cdot A$$

$$\zeta = F \cdot d$$

$$\zeta = A \cdot p \cdot d$$

Quando são realizadas algumas substituições, podemos obter a seguinte expressão:

$$\zeta = p \cdot \Delta \cdot V$$

A variação do volume pode ser tanto positiva (expansão) como negativa (compressão), e cada variação determina se o trabalho que foi realizado é positivo ou negativo. Quando o volume é aumentado (expansão), o trabalho é positivo, e para a redução dele (compressão) o trabalho realizado é negativo.

Quando não temos a variação da pressão, a transformação é chamada de isobárica. Tanto para o caso de quando a pressão é constante quanto para quando não é constante e deseja-se obter o trabalho realizado por meio de um gráfico, basta calcular a área abaixo da curva.

Energia do sistema termodinâmico

Em um sistema termodinâmico, avalia-se a energia que o compõe, tanto a interna como a externa. A energia externa é dada pela relação do sistema com o meio externo, podendo ser energia potencial ou cinética. Já a energia interna é aquela presente no sistema gasoso, podendo ser: potencial (relacionada às forças internas conservativas), térmica (relacionada à agitação das moléculas presentes no gás) e cinética (que se deve às vibrações, à rotação das moléculas e aos movimentos intra-atômicos das partículas).

A energia interna (U) de um sistema é impossível de ser medida diretamente; para isso, costuma-se medir a sua variação (ΔU), que é dada pela variação da energia cinética de translação das moléculas do sistema, levando em consideração que se trata de gases ideais e monoatômicos. E, quando ocorre a variação da temperatura, conseqüentemente há a variação da energia cinética, ou seja, a energia interna do gás.

$$\text{Energia inicial: } E_{ci} = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot T_i$$

$$\text{Energia final: } E_{cf} = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot T_f$$

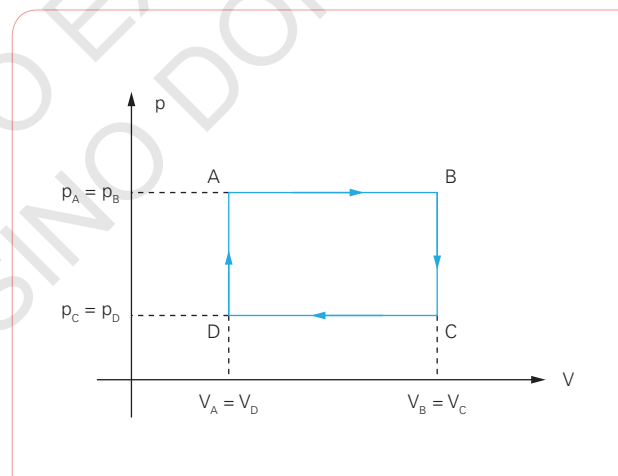
Portanto, a variação da energia corresponde à variação da energia interna (ΔU) e é dada por:

$$\Delta U = \Delta E_c = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T$$

Através da expressão, podemos tirar algumas conclusões, sendo elas: para uma variação de temperatura positiva, temos que a energia interna do gás aumenta; para uma variação negativa, a energia interna diminui. Assim sendo, a variação da energia interna é diretamente proporcional à variação da temperatura. Para o caso de a temperatura do sistema ser zero, não ocorrerá variação da energia interna.

Transformação cíclica

A transformação cíclica mostra que um gás em seu estado final apresenta-se e coincide com seu estado inicial. Quando consideramos uma máquina térmica, que é responsável por transformar energia térmica em mecânica, observamos que, no final do processo, o gás retorna a seu estado inicial.



O diagrama anterior apresenta uma transformação cíclica, e em cada intervalo da curva ocorre um fenômeno. Em AB, temos o gás sendo aquecido a uma pressão constante e seu volume sendo aumentado; em BC, o gás é resfriado a um volume constante e sua pressão é reduzida; em CD, o gás é resfriado a uma pressão constante e seu volume é reduzido; e, finalmente, para fechar esse ciclo, há DA, no qual o gás é aquecido, permanecendo com o mesmo volume e tendo um aumento de sua pressão. Com essa explicação, é possível montar as seguintes proposições:

$$\tau_{AB} = p_A \cdot \Delta V$$

$$\tau_{BC} = 0$$

$$\tau_{CD} = p_D \cdot -\Delta V$$

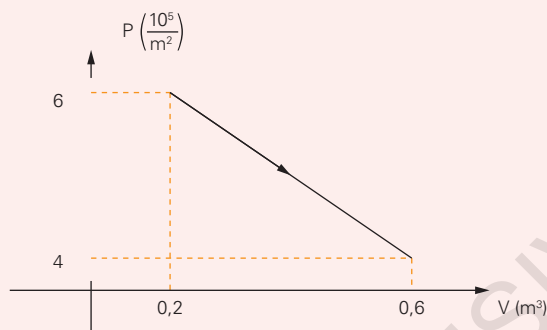
$$\tau_{DA} = 0$$

Podemos depreender que o trabalho na transformação cíclica é dado pela soma do trabalho em cada intervalo. Logo temos:

$$\tau_R = (p_A - p_D) \cdot \Delta V$$

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1. Sistema Dom Bosco – A pressão e o volume de um gás ideal variam em uma transformação termodinâmica AB, como indica o gráfico da figura. Determine o trabalho no processo, indicando se ele é realizado pelo gás ou sobre o gás. Justifique sua resposta.

**Resolução**

Calculando-se o trabalho realizado:

$$T\tau = P \cdot \Delta V$$

$$T\tau = 2 \cdot 10^5 \cdot 0,4 = 0,8 \cdot 10^5 \text{ J}$$

O trabalho é realizado sobre o gás, já que o seu volume diminui.

2. Sistema Dom Bosco – Para 5 moles de um gás, cujo calor específico molar é de $5 \text{ cal/mol}\cdot\text{K}$ e que sofre um aumento de temperatura de 40°C , calcule o calor da variação da energia interna do sistema. **Dado:** $R = 0,082 \text{ atm}\cdot\frac{\text{L}}{\text{mol}}\cdot\text{K}$

Resolução

Calculando-se a energia interna:

$$\Delta U = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta\theta = \frac{3}{2} \cdot 5 \cdot 0,082 \cdot (40 + 273) \cong 192,5 \text{ cal}$$

ROTEIRO DE AULA

INTRODUÇÃO À
TERMODINÂMICA

Trabalho em termodinâmica

$$T\tau = p \cdot \Delta V$$

Energia do sistema
termodinâmico

$$\Delta U = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T$$

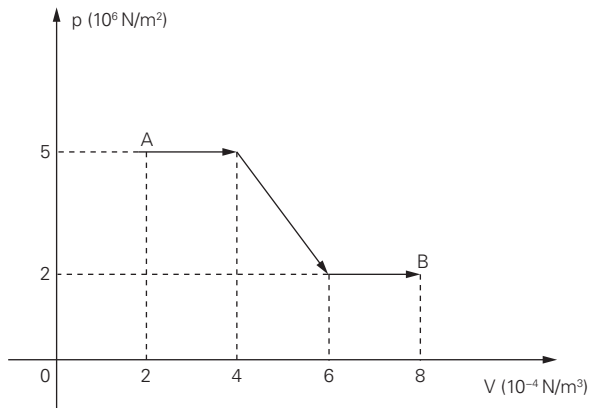
Transformação cíclica

$$T\tau_R = (p_A - p_D) \cdot \Delta V$$

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

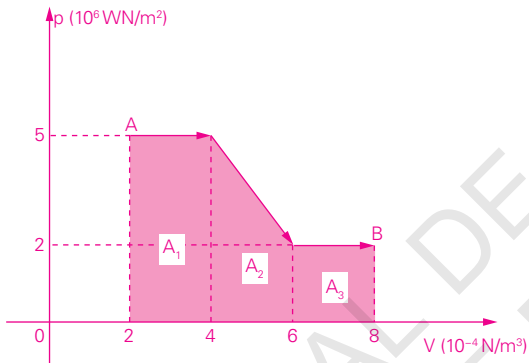
1. UEFS (adaptado)



Um fluido se expande do estado A para o estado B, como indicado no diagrama da figura.

Analisando-se a informação, é correto afirmar que o trabalho realizado nessa expansão, em kJ, é igual a que valor?

O trabalho é a área do gráfico, como mostra a figura a seguir:



$$W = A_1 + A_2 + A_3$$

$$W = \left[(4-2) \cdot 5 + \frac{5+2}{2} (6-4) + (8-6) \cdot 2 \right] 10^6 \cdot 10^{-4}$$

$$W = 2100 \text{ J}$$

$$W = 2,1 \text{ kJ}$$

2. Uema – No controle de qualidade de produção de seringas para aplicação de injeção, fez-se o seguinte teste: escolheu-se uma amostra da seringa fabricada e acrescentou-se $3,0 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$ de determinado gás. Em seguida, levou-se o sistema para uma estufa, em que o volume passou para $3,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$ ao atingir o equilíbrio térmico.

Considerando que esse processo ocorreu sob pressão constante de $1,5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$, calcule, em joules, o trabalho realizado pelo sistema.

O trabalho realizado por um gás a pressão constante é dado por:

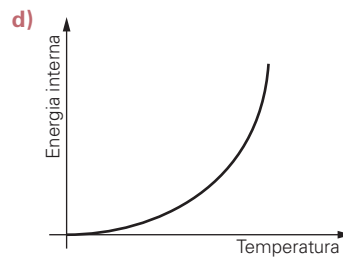
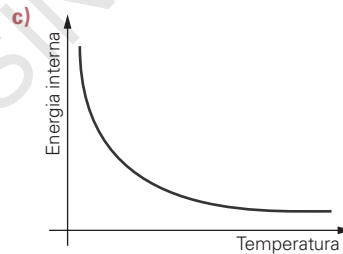
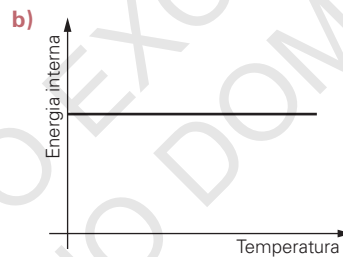
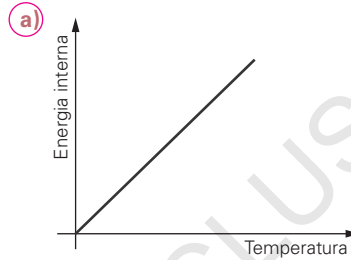
$$T = p \cdot \Delta V$$

$$T = p \cdot (V_f - V_i)$$

$$T = (1,5 \cdot 10^5) \cdot [(3,5 \cdot 10^{-6}) - (3,0 \cdot 10^{-6})]$$

$$T = 0,075 \text{ J}$$

3. UEG – A energia interna de um gás perfeito (gás ideal) tem dependência somente em relação à temperatura. O gráfico que melhor qualifica essa dependência é



A energia interna de um gás é dada por:

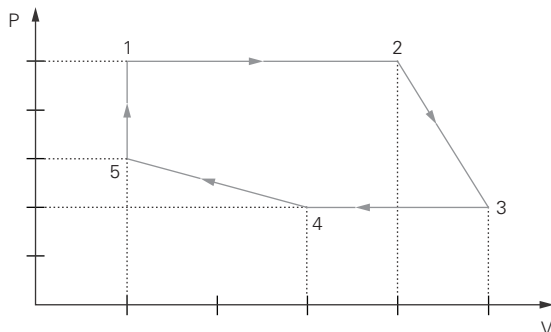
$$E = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot T$$

sendo,

$$\frac{3}{2} \cdot n \cdot R \rightarrow \text{constante}$$

Verifica-se que a energia interna de um gás é diretamente proporcional à sua temperatura. Assim, o único gráfico que representa essa relação é o da alternativa A.

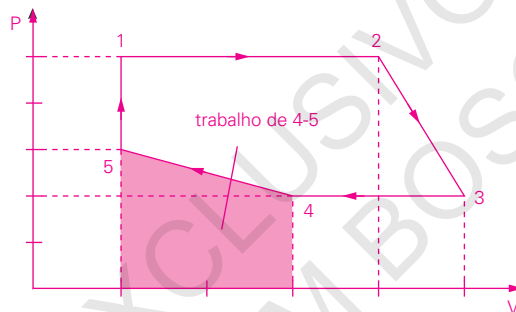
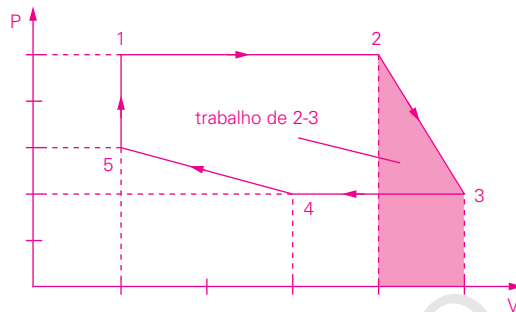
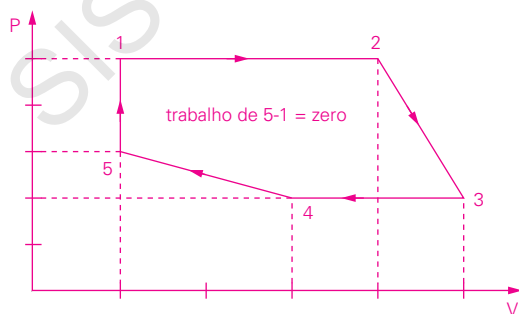
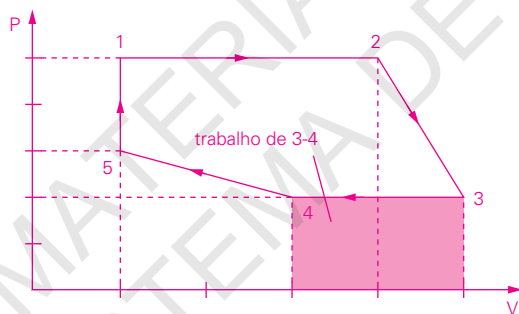
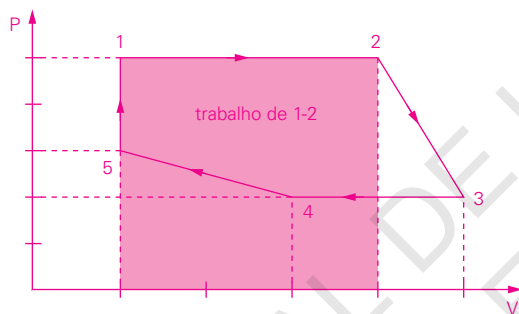
4. Famerp – Certa massa de gás ideal sofre a transformação cíclica 1–2–3–4–5–1 representada no diagrama de pressão (P) e volume (V).



O trecho em que a força exercida pelo gás realiza o maior trabalho é

- a) 2–3
- b) 4–5
- c) 3–4
- d) 1–2**
- e) 5–1

O trabalho realizado pelo gás é dado pela área sob a curva, como demonstrado nos gráficos a seguir:

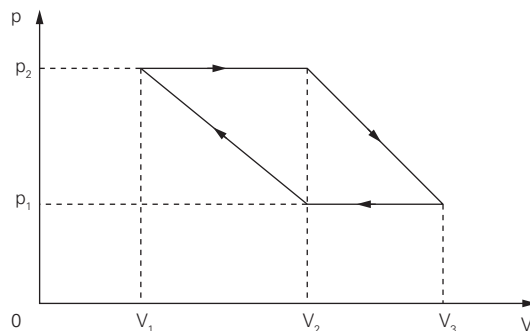


A força exercida pelo gás que realiza maior trabalho é a da transformação de 1 para 2.

5. FGV

C5-H17

Estamos passando por uma fase de grande evolução tecnológica. O aperfeiçoamento das máquinas e motores é evidente e, dentro em breve, o motor térmico será considerado peça de museu. Considere, no entanto, um motor térmico que realiza um ciclo representado qualitativamente pelo gráfico da pressão (p) versus volume (V) da figura, em que sua frequência de giro é f .



Com esses dados, a potência efetiva desse motor será dada por

- a) $P_e = f \cdot [(V_2 - V_1) + (V_3 - V_2)] \cdot (p_2 - p_1)$
- b) $P_e = f \cdot [(V_2 - V_1) + (V_3 - V_2)] \cdot (p_2 - p_1) / 2$**
- c) $P_e = 2 \cdot f \cdot [(V_2 - V_1) + (V_3 - V_2)] \cdot (p_2 - p_1)$
- d) $P_e = f \cdot [(V_2 - V_1) + (V_3 - V_2)] \cdot (p_2 - p_1) / f$
- e) $P_e = 2 \cdot f \cdot [(V_2 - V_1) + (V_3 - V_2)] \cdot (p_2 - p_1) / f$

Calcula-se a área interna do gráfico dividindo os triângulos da esquerda e da direita, assim:

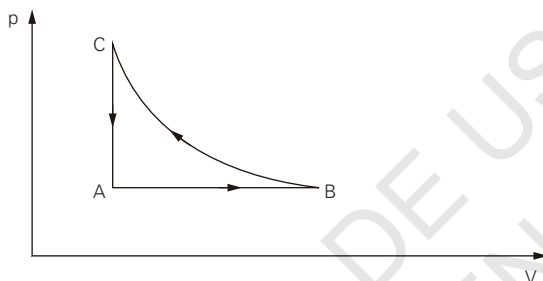
$$A = \frac{(V_2 - V_1) \cdot (p_2 - p_1)}{2} + \frac{(V_3 - V_2) \cdot (p_2 - p_1)}{2}$$

9. Uece – De acordo com dados de um fabricante de fogões, uma panela com 2,2 litros de água à temperatura ambiente chega a 90 °C em pouco mais de seis minutos em um fogão elétrico. O mesmo teste foi feito em um fogão convencional, a GLP, sendo necessários 11,5 minutos. Sobre a água aquecida, é correto afirmar que

- adquiriu mais energia térmica no fogão convencional.
- adquiriu mais energia térmica no fogão elétrico.
- ganha a mesma energia térmica para atingir 90 °C nas duas experiências.
- nos dois experimentos o ganho de energia térmica não depende da variação de temperatura sofrida.

10. Sistema Dom Bosco – Suponha um gás em quantidade de 3 moles, com temperatura inicial de 80 °C, que sofre um processo termodinâmico que resulta em um esfriamento de 30 °C. Nesse caso, calcule a variação da energia interna do sistema. Considere um calor específico molar de 5 cal/mol · K.

11. Fuvest – Certa quantidade de gás sofre três transformações sucessivas, A → B, B → C e C → A, conforme o diagrama $p \times V$ apresentado na figura a seguir.



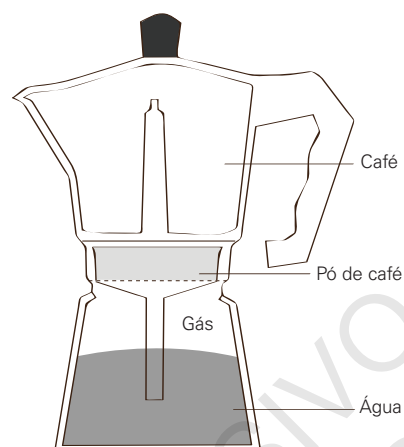
A respeito dessas transformações, afirmou-se o seguinte:

- O trabalho total realizado no ciclo ABCA é nulo.
- A energia interna do gás no estado C é maior que no estado A.
- Durante a transformação A → B, o gás recebe calor e realiza trabalho.

Está correto o que se afirma em:

- I.
- II.
- III.
- I e II.
- II e III.

12. UFG – A figura a seguir ilustra a estrutura e o funcionamento de uma cafeteira italiana. Em sua parte inferior, uma fração do volume é preenchida com água e o restante, por um gás contendo uma mistura de ar e vapor d'água, todos à temperatura ambiente. Quando a cafeteira é colocada sobre a chama do fogão, o café produzido é armazenado no compartimento superior da cafeteira em poucos minutos.



O processo físico responsável diretamente pelo funcionamento adequado da cafeteira é:

- o isolamento adiabático da água.
- a condensação do gás.
- o trabalho realizado sobre a água.
- a expansão adiabática do gás.
- o aumento da energia interna do gás.

TEXTO PARA A PRÓXIMA QUESTÃO:

Leia o texto a seguir e responda à(s) questão(ões).

A vida em grandes metrópoles apresenta atributos que consideramos sinônimos de progresso, como facilidades de acesso aos bens de consumo, oportunidades de trabalho, lazer, serviços, educação, saúde etc. Por outro lado, em algumas delas, devido à grandiosidade dessas cidades e aos milhões de cidadãos que ali moram, existem muitos problemas do que benefícios. Seus habitantes sabem como são complicados o trânsito, a segurança pública, a poluição, os problemas ambientais, a habitação etc. Sem dúvida, são desafios que exigem muito esforço não só dos governantes, mas também de todas as pessoas que vivem nesses lugares. Essas cidades convivem ao mesmo tempo com a ordem e o caos, com a pobreza e a riqueza, com a beleza e a feiura. A tendência das coisas de se desordenarem espontaneamente é uma característica fundamental da natureza. Para que ocorra a organização, é necessária alguma ação que restabeleça a ordem. É o que acontece nas grandes cidades: despoluir um rio, melhorar a condição de vida dos seus habitantes e diminuir a violência, por exemplo, são tarefas que exigem muito trabalho e não acontecem espontaneamente. Se não houver qualquer ação nesse sentido, a tendência é que prevaleça a desorganização. Em nosso cotidiano, percebemos que é mais fácil deixarmos as coisas desorganizadas do que em ordem. A ordem tem seu preço. Portanto, percebemos que há um embate constante na manutenção da vida e do universo contra a desordem. A luta contra a desorganização é travada a cada momento por nós. Por exemplo, desde o momento da nossa concepção, a partir da fecundação do óvulo pelo espermatozoide, nosso organismo vai se desenvolvendo e ficando mais complexo. Partimos de uma única célula e chegamos à fase adulta com trilhões delas, especializadas para determinadas funções. Entretanto, com o passar dos anos, envelhecemos e nosso corpo não consegue mais funcionar adequadamente,

ocorre uma falha fatal e morremos. O que se observa na natureza é que a manutenção da ordem é fruto da ação das forças fundamentais, que, ao interagirem com a matéria, permitem que esta se organize. Desde a formação do nosso planeta, há cerca de 5 bilhões de anos, a vida somente conseguiu se desenvolver às custas de transformar a energia recebida pelo Sol em uma forma útil, ou seja, capaz de manter a organização. Para tal, pagamos um preço alto: grande parte dessa energia é perdida, principalmente na forma de calor. Dessa forma, para que existamos, pagamos o preço de aumentar a desorganização do nosso planeta. Quando o Sol não puder mais fornecer essa energia, dentro de mais 5 bilhões de anos, não existirá mais vida na Terra. Com certeza a espécie humana já terá sido extinta muito antes disso.

OLIVEIRA, A. O caos e a ordem. *Ciência Hoje*. Disponível em: <<http://cienciahoje.uol.com.br/colunas/fisica-sem-misterio/o-caos-ea-ordem>>. Acesso em: 10 abr. 2015. (Adaptado)

13. UEL – Considerando a afirmação presente no texto “a tendência das coisas de se desordenarem espontaneamente é uma característica fundamental da natureza”, e com base nos conhecimentos sobre as leis da termodinâmica, assinale a alternativa correta.

- Quando dois corpos com temperaturas diferentes são colocados em contato, ocorre a transferência espontânea de calor do corpo mais quente para o mais frio.
- O calor gerado por um motor a explosão pode ser convertido de maneira espontânea e integralmente em energia mecânica, elétrica, química ou nuclear.
- O nitrogênio e o hélio misturados e contidos em um recipiente se separam de modo espontâneo após o equilíbrio térmico do sistema.
- Uma máquina térmica perfeita opera, na prática, em ciclos, converte o calor integralmente em trabalho e é capaz de funcionar como um moto-perpétuo.
- As moléculas de tinta que tingem uma porção de água de maneira homogênea tendem a se agrupar espontaneamente e, com isso, restaurar a gota de tinta original.

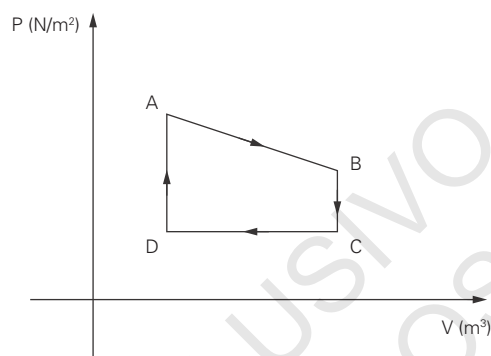
14. UEPG – Assinale o que for correto.

- O calor pode ser considerado a transferência de energia entre dois corpos que apresentam uma diferença de temperatura.
- A energia que um sistema absorve sob a forma de calor ou trabalho sempre faz que sua energia interna aumente.
- Para que haja a transferência de calor entre dois corpos que possuem temperaturas diferentes é necessário que os corpos estejam em contato físico.
- Temperatura é uma propriedade que determina se um sistema estará ou não em equilíbrio térmico com

outro, representando, pois, uma medida do estado de agitação das partículas desse corpo.

V. O trabalho é também um modo de transferir energia.

15. Uern – O gráfico representa um ciclo termodinâmico:



Os trabalhos realizados nas transformações AB, BC, CD e DA são, respectivamente:

- Negativo, nulo, positivo e nulo.
- Positivo, nulo, negativo e nulo.
- Positivo, negativo, nulo e positivo.
- Negativo, negativo, nulo e positivo.

16. UFRR – Um recipiente cilíndrico munido de um pistão contém um gás ideal à temperatura ambiente, com pressão de $1,02 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ e volume de $2,00 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$. Uma força externa F atua sobre o pistão, reduzindo o volume do gás para $1,98 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$. A pressão se mantém constante durante o processo. O trabalho realizado sobre o gás foi de:

- 20,40 J
- 24,00 J
- 20,40 J
- 24,00 J
- 0,24 J

17. Sistema Dom Bosco – Para 1,5 mol de um gás à temperatura de $30 \text{ }^\circ\text{C}$, qual o valor de sua energia interna?
Dado: $R = 8,31 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$.

- 5,6 kJ
- 0,6 kJ
- 0,5 kJ
- 560 kJ
- 600 kJ

ESTUDO PARA O ENEM

18. Enem

C6-H21

O ar atmosférico pode ser utilizado para armazenar o excedente de energia gerada no sistema elétrico, diminuindo seu desperdício, por meio do seguinte processo: água e gás carbônico são inicialmente removidos do ar atmosférico e a massa de ar restante é resfriada até $-198 \text{ }^\circ\text{C}$. Presente na proporção de 78% dessa massa de ar, o nitrogênio gasoso é liquefeito, ocupando um volume 700 vezes menor.

A energia excedente do sistema elétrico é utilizada nesse processo, sendo parcialmente recuperada quando o nitrogênio líquido, exposto à temperatura ambiente, entra em ebulição e se expande, fazendo girar turbinas que convertem energia mecânica em energia elétrica.

MACHADO, R. Disponível em: <www.correiobraziliense.com.br>. Acesso em: 9 set. 2013. (Adaptado)

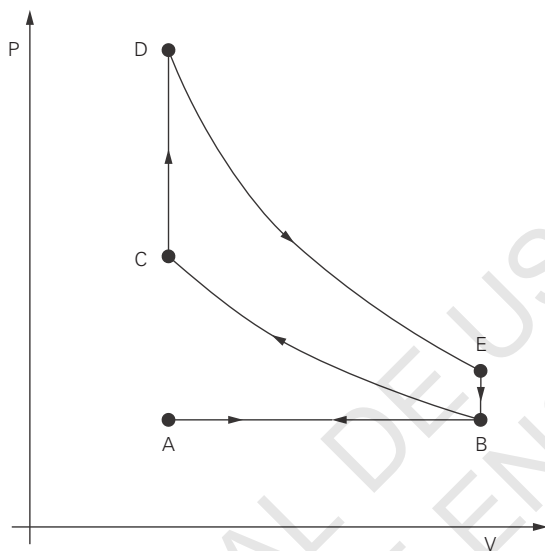
No processo descrito, o excedente de energia elétrica é armazenado pela

- expansão do nitrogênio durante a ebulição.
- absorção de calor pelo nitrogênio durante a ebulição.
- realização de trabalho sobre o nitrogênio durante a liquefação.
- retirada de água e gás carbônico da atmosfera antes do resfriamento.
- liberação de calor do nitrogênio para a vizinhança durante a liquefação.

19. Enem

C6-H21

O motor de combustão interna, utilizado no transporte de pessoas e cargas, é uma máquina térmica cujo ciclo consiste em quatro etapas: admissão, compressão, explosão/expansão e escape. Essas etapas estão representadas no diagrama da pressão em função do volume. Nos motores a gasolina, a mistura ar/combustível entra em combustão por uma centelha elétrica.



Para o motor descrito, em qual ponto do ciclo é produzida a centelha elétrica?

- A
- B
- C
- D
- E

20. Sistema Dom Bosco

C6-H21

Fazendo-se uma comparação do ponto de vista energético entre duas situações distintas, tem-se que um objeto metálico sofre queda livre da altura do 5º andar de um prédio. Sabe-se que cada andar tem a altura de 3 m, e que o objeto possui uma massa de 50 g; ainda, 70% da energia potencial na maior altura desse objeto corresponde a uma variação da energia interna em um sistema composto de 3 moles de um gás, cujo calor específico molar é de $5 \text{ cal/mol} \cdot \text{K}$. Qual será o valor da variação de temperatura em $^{\circ}\text{C}$ a que esse gás deve ser exposto para que sua energia interna sofra essa variação?

- 3,5
- 4,0
- 4,5
- 2,5
- 3,0

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

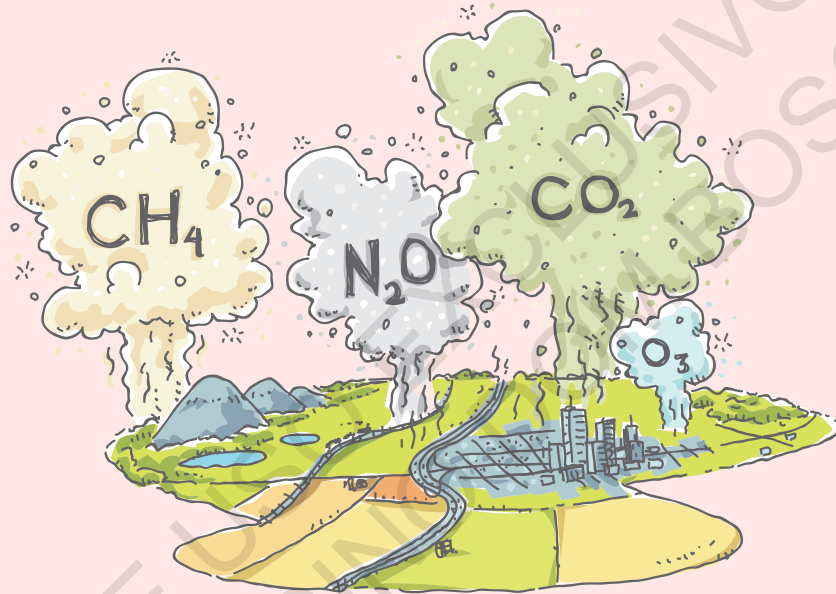
46

COMPORTAMENTO
DOS GASES

- Comportamento dos gases
- Unidades de medida dos gases
- Equação de Clapeyron

HABILIDADES

- Caracterizar um gás ideal.
- Reconhecer as três variáveis de um gás ideal e conhecer suas unidades no Sistema Internacional.
- Aplicar a equação de Clapeyron.
- Aplicar a equação de mudança de estado para os gases ideais.
- Reconhecer as propriedades da teoria cinética dos gases.
- Relacionar a pressão com a velocidade das moléculas presentes nos gases.
- Aplicar a energia cinética dos gases e das moléculas.



Gases que atingem a atmosfera.

BLAMBCA/SHUTTERSTOCK

Os gases são formados pela transformação de uma substância líquida, quando esta atinge um ponto crítico (temperatura e pressão críticas). Esse ponto de criticidade separa o vapor e o gás. O gás se caracteriza por estar acima do ponto crítico.

Os gases considerados reais, entre eles oxigênio, hélio e hidrogênio, apresentam comportamentos diferentes mesmo quando submetidos a altas temperaturas e baixas pressões. Um gás pode ser considerado perfeito quando tem as seguintes características: o número de moléculas é grande e com movimentos desordenados, os choques entre elas são de curta duração e elásticos, as forças atuantes durante o choque são levadas em consideração e as moléculas se mostram como pontos materiais.

As variáveis que determinam a massa de um gás ideal são: temperatura, pressão e volume. Quando se fala de gases, a quantidade de moléculas presentes neles é muito grande; portanto, sua avaliação se dá pelo número de mols.

$$n = \frac{m}{M}$$

onde n é o número de mols, m é a massa do gás e M , a massa de um mol. Com isso, temos que um mol de um gás equivale às moléculas dele, ou seja, ao número de Avogadro ($N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ moléculas/mol).

A temperatura (T) afeta o gás através da vibração das partículas presentes nele (agitação térmica molecular). Para esse caso, consideramos a temperatura na escala Kelvin, por ela ser absoluta; portanto, para a vibração zero é considerado o zero absoluto.

$$T = \theta_c + 273$$

onde θ_c é a temperatura em graus Celsius.

A pressão (p) do gás está relacionada a quando ele se encontra dentro de um recipiente, realizando, assim, pressão nas paredes internas deste último. Um exemplo bem presente dessa pressão no nosso cotidiano é o botijão de gás utilizado na cozinha.



Botijão de gás utilizado na cozinha.

O volume (V) do gás é o mesmo do recipiente em que ele se encontra. Isso acontece porque os gases são expansíveis e, conseqüentemente, suas moléculas tendem a ocupar todo o espaço do ambiente em que se localizam.

Aa unidades das variáveis de um gás no Sistema Internacional são:

- Temperatura: Celsius ($^{\circ}\text{C}$).
- Pressão: Pascal (Pa).
- Volume: metro cúbico (m^3).

Também são utilizadas:

- Pressão: atmosfera (atm) e milímetro de mercúrio (mmHg).
- Volume: litro (ℓ) e centímetro cúbico (cm^3).

Com essas informações, o físico Paul Émile Clapeyron estabeleceu uma relação entre temperatura, pressão, volume e número de mols (equação de Clapeyron). Essa relação diz que o número de mols é diretamente proporcional à razão entre pressão e volume sobre a temperatura.

$$n \cdot R = \frac{p \cdot V}{T} \rightarrow p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

onde n é o número de mols; R , a constante de proporção; p , a pressão; V , o volume; e T , a temperatura. A constante de proporção é $8,31 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ ou $0,082 \text{ (atm} \cdot \ell) / (\text{mol} \cdot \text{K})$.

São chamadas de condições normais de temperatura e pressão para um gás aquelas de quando ele se encontra a 0°C e 1 atm .

Quando temos dois estados diferentes para a mesma massa de gás e há transformação das três variáveis (temperatura, pressão e volume), a equação que representa essa transformação é dada por:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

Observação: nessas transformações, é possível que ocorra a alteração de duas variáveis. Sendo assim, dependendo de qual variação se mantém constante, podemos ter transformações isotérmica, isobárica e isométrica – elas serão explicadas com mais detalhes nos próximos módulos.

A partir dessa lei estabelecida, podemos falar sobre a teoria cinética dos gases. Ela diz que as moléculas se encontram em movimento e não aplicam forças umas nas outras; os choques que ocorrem entre as paredes e essas moléculas são perfeitamente elásticos e seu movimento é retilíneo e uniforme. Finalmente, as moléculas apresentam tamanho desprezível quando comparadas à distância dos espaços existentes entre elas.

Quando analisamos separadamente a pressão que se dá pelo choque entre as moléculas e as paredes dos recipientes, podemos representá-la em função da velocidade média das moléculas.

$$p = \frac{1}{3} \cdot \frac{m}{V} \cdot v^2$$

onde m é a massa do gás; V , o volume que a massa do gás ocupa; e v , a velocidade média das moléculas presentes no gás.

Enquanto isso, a energia cinética dos gases é dada por:

$$E_c = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

Quando essa equação é ajustada, considerando a pressão relacionada com a velocidade das moléculas e com a equação de Clapeyron, temos:

$$\bar{E}_c = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot T$$

onde T é a temperatura; R , a constante universal dos gases; e n , o número de mols. E, como mostrado na equação anterior, podemos afirmar que a temperatura é diretamente proporcional à energia cinética do gás.

As proposições mencionadas nos permitem determinar a velocidade média das moléculas presentes nos gases com o auxílio da massa molar (M).

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{3 \cdot R \cdot T}{M}}$$

A energia cinética média para cada molécula é dada por:

$$\bar{E}_c = \frac{E_c}{N} = \frac{3 \cdot n \cdot R \cdot T}{2 \cdot N}$$

onde n é o número de mols e N é o número de moléculas presentes no gás. Quando relacionamos o número de mols com o número de moléculas, obtemos o número de Avogadro (N_A). Portanto, temos:

$$\bar{E}_c = \frac{3 \cdot R \cdot T}{2 \cdot N_A}$$

A razão entre a constante universal e o número de Avogadro é chamada de constante de Boltzmann (k), que é igual a $1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K.

$$\bar{E}_c = \frac{3}{2} \cdot k \cdot T$$

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1. Sistema Dom Bosco – Uma dada massa de gás ideal, inicialmente a 40 e a $3,0 \cdot 10^3$ Pa, em um recipiente de volume constante, sofre um resfriamento, atingindo 7°C , o que reduz sua massa em estado gasoso pela metade.

Qual a nova pressão, dado o resfriamento do gás?

- a) 1,4
- b) 1,5
- c) 2,0
- d) 2,8
- e) 2,9

Resolução

Utilizando a equação de Clapeyron, temos:

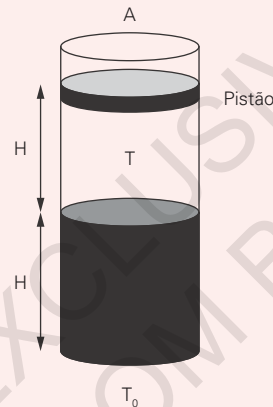
$$P_1 \cdot V_1 = n \cdot R \cdot T_1 \rightarrow 3 \cdot V_1 = n \cdot R \cdot 313$$

$$P_2 \cdot V_1 = \frac{n}{2} \cdot R \cdot T_2 \rightarrow P_2 \cdot V_1 = \frac{n}{2} \cdot R \cdot 280$$

$$\frac{P_2 \cdot V_1}{3 \cdot V_1} = \frac{\frac{n}{2} \cdot R \cdot 280}{n \cdot R \cdot 313}$$

$$P_2 \cong 1,34 \text{ kPa}$$

2. UPE-SSA (adaptado) – Um gás ideal está confinado em um cilindro de comprimento H e área de seção transversal A . Dentro do cilindro, n moles do gás são mantidos a uma temperatura constante T . A base do cilindro é condutora e possui comprimento H com condutividade térmica k . A outra extremidade do cilindro está conectada a um reservatório térmico mantido a uma temperatura $T_0 < T$. O pistão, de massa desprezível, é movido de modo que o fluxo de calor na barra é constante. Considere a constante universal dos gases perfeitos igual a R . Calcule a pressão no ponto em que o êmbolo está em $H/2$.



Resolução

Utilizando a equação de Clapeyron, temos:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$p = \frac{n \cdot R \cdot T}{V}$$

Sabendo-se que o volume é dado pela área vezes a altura, podemos substituir V por $A \cdot H$. Como descrito no enunciado, o êmbolo está posicionado em $\frac{H}{2}$. Então, temos:

$$P = \frac{n \cdot R \cdot T}{V} = \frac{n \cdot R \cdot T}{\frac{H}{2} \cdot A} = \frac{2 \cdot n \cdot R \cdot T}{A \cdot H}$$

ROTEIRO DE AULA

COMPORTAMENTO
DOS GASES

Variáveis de um gás

Pressão

Temperatura

Volume

$$p = \frac{1}{3} \cdot \frac{m}{V} \cdot v^2$$

Equação de Clapeyron

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

Energia cinética dos gases

$$E_c = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot T$$

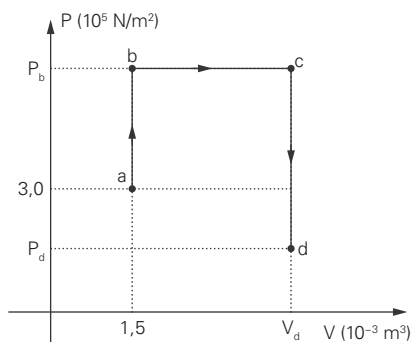
Energia cinética das moléculas

$$\bar{E}_c = \frac{3 \cdot n \cdot R \cdot T}{2 \cdot N}$$

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. UFJF-PISM (adaptado) – A figura a seguir representa um diagrama PV que mostra três transformações que ocorrem sobre um gás ideal, seguindo a sequência “abcd”; em que as letras representam pontos iniciais e finais das transformações e a seta, o sentido das transformações. Os segmentos de reta “ab” e “cd” representam transformações isovolumétricas. O segmento de reta “bc” representa uma transformação isobárica. Sabemos que para os pontos “a” e “b” vale a relação $P_b = 2 \cdot P_a$; para os pontos “a” e “c” vale a relação $V_c = 3 \cdot V_a$; e para os pontos “b” e “d” vale a relação $P_d = \frac{P_b}{4}$. Considere que o gás seja composto por $n = 0,2$ mol de moléculas.

Dado: Constante universal dos gases ideais: $R \approx 8,3 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$.



Calcule as temperaturas nos pontos “a” e “d”.

Utilizando a equação de Clapeyron para o ponto “a”, temos:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$T = \frac{p \cdot V}{R \cdot n} = \frac{3 \cdot 10^5 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3}}{0,2 \cdot 8,3} \approx 271 \text{ K}$$

Realizando as substituições necessárias dadas pelo enunciado do problema, podemos obter a pressão e o volume para o ponto “d”. E, finalmente, é possível obter a temperatura.

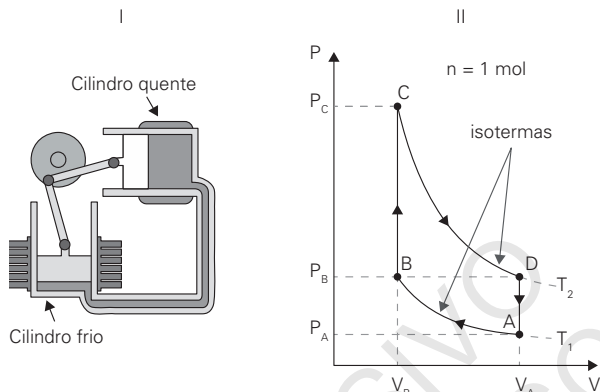
$$P_b = \frac{P_b}{4} = \frac{2 \cdot P_a}{4} = \frac{P_a}{2} = 1,5 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$V_b = V_c = 3 \cdot V_a = 3 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$T = \frac{p \cdot V}{R \cdot n} = \frac{1,5 \cdot 10^5 \cdot 4,5 \cdot 10^{-3}}{0,2 \cdot 8,3} \approx 470 \text{ K}$$

2. Fuvest (adaptado) – O motor Stirling, uma máquina térmica de alto rendimento, é considerado um motor ecológico, pois pode funcionar com diversas fontes energéticas. A figura I mostra esquematicamente um motor Stirling com dois cilindros. O ciclo termodinâmico de Stirling, mostrado na figura II, representa o processo em que o combustível é queimado externamente para aquecer um dos dois cilindros do motor, e uma quantidade fixa de gás inerte se move entre eles, expandindo-se e contraindo-se. Nessa figura, está representado um ciclo de Stirling no diagrama $P \cdot V$ para um mol de gás ideal monoatômico. No estado A, a pressão é $P_A = 4$ atm, a temperatura é $T_1 = 27^\circ \text{C}$ e o volume é V_A . A partir do estado A, o gás é comprimido isotericamente até um terço do volume inicial, atingindo o estado B. Na isoterma T_1 , a quantidade de calor trocada é $Q_1 = 2640 \text{ J}$, e, na isoterma T_2 , é $Q_2 = 7910 \text{ J}$.



Determine o volume V_A , em litros.

Note e adote:

Sabendo-se que a constante universal dos gases é dada por: $R = 8 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)} = 0,08 \text{ atm/(mol} \cdot \text{K)}$

$$0^\circ \text{C} = 273 \text{ K}$$

$$1 \text{ atm} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ L}$$

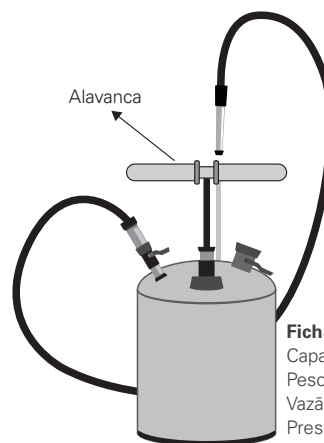
Obtendo-se o volume:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$4 \cdot V = 10,08 \cdot 300$$

$$V = 6 \text{ L}$$

3. UFSC – Na figura a seguir, temos um pulverizador de compressão em inox e sua ficha técnica. Esse equipamento é utilizado em residências para pulverizar os jardins com veneno, a fim de eliminar insetos.

**Ficha Técnica**

Capacidade útil: 5 litros

Peso vazio: 4,6 kg

Vazão da ponta leque: 757 ml/min

Pressão máxima: 414 kPa

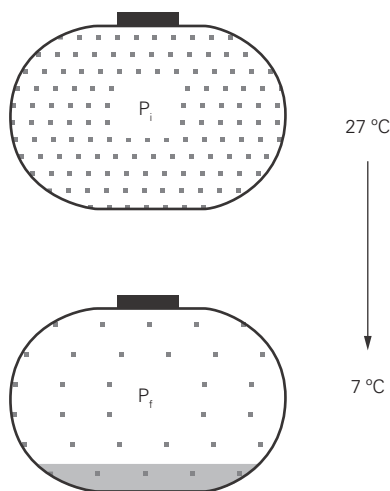
Em uma aula de Física, o professor utilizou o equipamento para contextualizar o tema gases ideais, desprezando qualquer alteração na temperatura e no volume do tanque, e fez algumas previsões para seus alunos a respeito do ar contido no interior do pulverizador vazio.

Quanto às previsões que podem ser feitas pelo professor, é correto afirmar que:

- I. quando acionamos algumas vezes a alavanca, a energia interna do ar contido no tanque aumenta.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. **Esc. Naval** – Analise a figura a seguir.



Após uma lavagem, certa quantidade de vapor d'água, na temperatura inicial de 27 °C, permaneceu confinada no interior de um tanque metálico. A redução da temperatura para 7,0 °C causou condensação e uma consequente redução de 50% no número de moléculas de vapor. Suponha que o vapor d'água se comporte como um gás ideal, ocupando um volume constante. Se a pressão inicial for $3,0 \cdot 10^3$ Pa, a pressão final, em quilopascal, será

- a) 1,4
b) 1,5
c) 2,0
d) 2,8
e) 2,9
8. **Uece** – Em um gás ideal, a pressão, o volume e a temperatura são relacionados pela equação $p \cdot V = n \cdot R \cdot T$. Para esse gás, a razão entre a pressão e a temperatura é:
- a) inversamente proporcional à densidade do gás.
b) não depende da densidade do gás.
c) diretamente proporcional ao quadrado da densidade do gás.
d) diretamente proporcional à densidade do gás.
9. **UFPR** – Um recipiente esférico possui um volume interno igual a 8 L. Suponha que se queira encher esse recipiente com gás nitrogênio, de modo que a pressão interna seja igual a 2,0 atm a uma temperatura de 27 °C. Considerando a massa molecular do nitrogênio igual a 28 g/mol, a constante universal dos gases como 8,0 J/(K·mol) e $1 \text{ atm} = 1 \cdot 10^5$, calcule a massa desse gás que caberia no recipiente sob as condições citadas.
10. **Uece** – Considere um gás ideal em um recipiente mantido a temperatura constante e com paredes móveis, de modo que se possa controlar seu volume. Nesse recipiente há um vazamento muito pequeno, mas o volume é controlado lentamente, de modo que a razão entre o número de mols de gás e seu volume se mantém constante. Pode-se afirmar corretamente que a pressão desse gás

- a) é crescente.
b) é decrescente.
c) varia proporcionalmente ao volume.
d) é constante.

11. **UEM** – Um cilindro A contém oxigênio puro e um cilindro B contém uma mistura de oxigênio e vapor d'água (oxigênio úmido). A pressão P , a temperatura T e o volume V dos gases nos dois cilindros são iguais. A razão entre o número de moléculas de vapor d'água e o número de moléculas de oxigênio no cilindro B é igual a r . Em relação ao conteúdo dos cilindros, considerando-os gases ideais, assinale o que for correto.

Dados: O_2 (massa molar: 32 g), H_2O (massa molar: 18 g), $R = 0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$, $1 \text{ mol} = 6 \cdot 10^{23}$ moléculas e $0 \text{ K} = -273 \text{ °C}$.

- I. A massa total de gás no cilindro A é maior que a massa total de gás no cilindro B.
II. O número de moléculas de gás no cilindro B é maior que o número de moléculas de gás no cilindro A.
III. Se $P = 3 \text{ atm}$, $T = 27 \text{ °C}$, $V = 41 \text{ L}$ e $r = 0,1$, então o cilindro B contém mais de 0,4 mol de vapor d'água.
IV. Se o cilindro B contém 2 mols de oxigênio úmido, $r = 0,1$, $T = -73 \text{ °C}$ e $V = 41 \text{ L}$, então $P = 1 \text{ atm}$.
V. A razão entre o número de moléculas de água e o número de moléculas de oxigênio passaria a ser $\frac{r}{2}$ se juntássemos os gases dos cilindros A e B em um único cilindro.

12. **UEPG** – Sobre os gases ideais, pode-se afirmar que:

- I. Obedecem à lei geral dos gases, ou seja,
$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

II. Dentre suas características temos que as colisões entre as partículas que os constituem são consideradas perfeitamente elásticas.
III. Para uma transformação isotérmica desses gases, as grandezas pressão e volume tornam-se inversamente proporcionais.
IV. Para uma transformação isobárica, o volume e a temperatura são inversamente proporcionais, portanto, quando a temperatura aumentar, seu volume também aumentará. Logo, se o volume passar de V para $V + 4$, sua temperatura passará de T para $T + 4$.

13. **UFRGS** – Considere as afirmações a seguir, sobre gases ideais.

- I. A constante R presente na equação de estado dos gases $p \cdot V = n \cdot R \cdot T$ tem o mesmo valor para todos os gases ideais.
II. Volumes iguais de gases ideais diferentes, às mesmas temperatura e pressão, contêm o mesmo número de moléculas.
III. A energia cinética média das moléculas de um gás ideal é diretamente proporcional à temperatura absoluta dele.

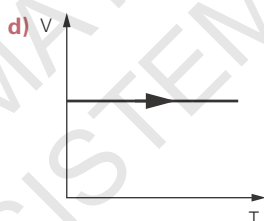
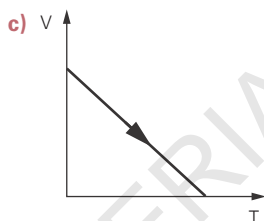
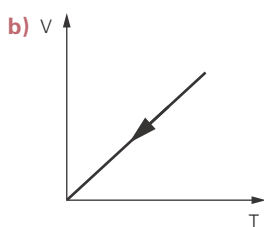
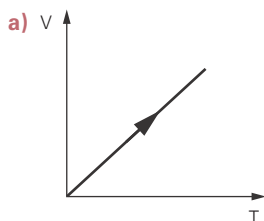
Quais estão corretas?

- a) Apenas I.
- b) Apenas II.
- c) Apenas III.
- d) Apenas I e II.
- e) I, II e III.

14. Eear – O gráfico que melhor representa a expansão de uma amostra de gás ideal a pressão constante é:

Considere:

1. A temperatura (T) dada em Kelvin (K) e
2. V = volume.

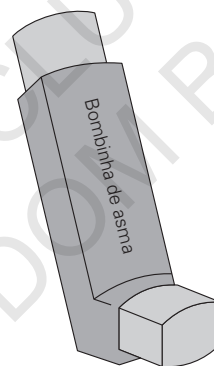


15. UFJF-PISM (adaptado) – Em 1662, o inglês Robert Boyle mostrou que, mantendo-se a temperatura constante, o volume de uma quantidade de gás diminui com o aumento da pressão. Esse efeito é observado por mergulhadores rotineiramente, uma vez que bolhas de ar expelidas quando eles se encontram submersos

mudam de tamanho à medida que sobem para a superfície. Um mergulhador notou que certas bolhas com volume de 4 cm^3 estavam sendo despreendidas do fundo de um lago com 5 metros de profundidade. As bolhas eram originadas por gases liberados pela matéria orgânica em decomposição. Suponha que o gás na bolha possa ser considerado como um gás ideal e ignore a tensão superficial da água sobre a bolha. **Dado:** na resolução, use quando necessário: $1 \text{ atm} = 10^5 \text{ Pa}$, $R = 8,3 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$, $\rho_{\text{água}} = 1000 \text{ kg/m}^3$, $g = 10 \text{ m/s}^2$.

- a) Faça a conversão do volume inicial da bolha de cm^3 para m^3 .
- b) Sabendo que havia $2,4 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$ de ar na bolha, determine a temperatura do lago em graus Celsius.

16. Acafe – Considere o caso a seguir e responda: Qual é a transformação sofrida pelo gás ao sair do spray?



As pessoas com asma, geralmente, utilizam broncodilatadores em forma de spray, mais conhecidos como bombinhas de asma. Esses, por sua vez, precisam ser agitados antes da inalação para que a medicação seja diluída nos gases do aerossol, garantindo homogeneidade e uniformidade na hora da aplicação.

Podemos considerar o gás que sai do aerossol como sendo um gás ideal, logo, sofre certa transformação em sua saída.

- a) O gás sofre uma compressão adiabática.
- b) O gás sofre uma expansão adiabática.
- c) O gás sofre uma expansão isotérmica.
- d) O gás sofre uma compressão isotérmica.

17. UEM – Sobre a lei do gás ideal, assinale o que for **correto**.

- I. Em um recipiente de volume constante, a pressão de um gás deve ser diretamente proporcional à sua temperatura em Kelvin.
- II. Em um recipiente mantido a uma temperatura constante, a pressão de um gás deve se comportar, em função do volume, como uma função quadrática.
- III. Para um conjunto de amostras de um mesmo gás, todas com a mesma pressão e temperatura, a razão entre as massas coincide com a razão entre os volumes.
- IV. Dobrando-se o volume e diminuindo-se pela metade a pressão de uma amostra gasosa, a temperatura final dessa amostra deve ser igual à inicial.
- V. É possível alterar a pressão de uma amostra gasosa sem modificar sua temperatura, seu volume e sua massa.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

18. Uece

C6-H21

Um gás que possa ter sua temperatura, seu volume e sua pressão relacionados por $p \cdot V = n \cdot R \cdot T$ apresenta as seguintes características:

- a) distância média entre as moléculas muito grande, de modo a desprezar as interações intermoleculares, exceto ao colidirem; moléculas sofrem colisões elásticas.
- b) distância média entre as moléculas muito pequena; moléculas sofrem colisões inelásticas.
- c) distância média entre as moléculas muito grande, de modo a desprezar as interações intermoleculares, exceto ao colidirem; moléculas sofrem colisões inelásticas.
- d) distância média entre as moléculas muito grande e com fortes interações intermoleculares; moléculas sofrem colisões elásticas.

19. G1-Ifsul

C6-H21

No estudo da termodinâmica dos gases perfeitos, o comportamento do gás é analisado através de suas propriedades macroscópicas, levando em conta as grandezas físicas a ele associadas. Essas grandezas, denominadas variáveis de estado, são: temperatura, volume e pressão. Em geral, quando determinada massa de gás perfeito sofre uma transformação, pelo menos duas dessas grandezas sofrem variações.

Analise as seguintes afirmativas referentes às transformações termodinâmicas em um gás perfeito:

- I. Quando determinada massa de gás perfeito sofre uma transformação isotérmica, sua pressão é inversamente proporcional ao volume por ele ocupado.
- II. Quando determinada massa de gás perfeito sofre uma transformação isobárica, seu volume é diretamente proporcional à sua temperatura absoluta.
- III. Quando determinada massa de gás perfeito sofre uma transformação isométrica, sua pressão é inversamente proporcional à sua temperatura absoluta.

Está(ão) correta(s) apenas a(s) afirmativa(s)

- a) I.
- b) III.
- c) I e II.
- d) II e III.

20. UEPG

C6-H21

Um gás ideal é mantido sob volume constante. Se a temperatura e a pressão do gás aumentam, assinale o que for correto.

- I. A razão entre a temperatura e a pressão deve aumentar.
- II. A energia cinética média das moléculas deve aumentar.
- III. A distância entre as moléculas do gás deve aumentar.
- IV. O número de colisões, por unidade de área, entre as moléculas do gás e a parede do recipiente deve aumentar.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO SISTEMA DE ENSINO

TRANSFORMAÇÃO ISOBÁRICA



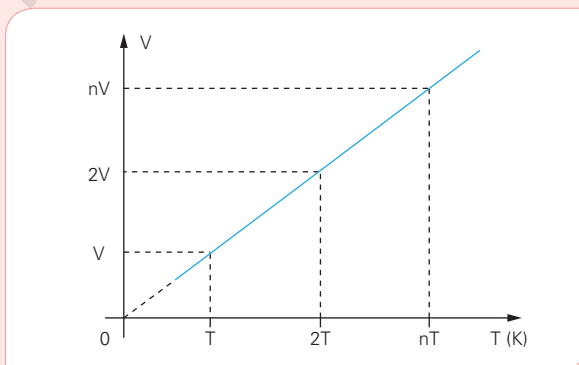
Exemplo de transformação isobárica.

Um exemplo cotidiano de transformação isobárica se revela quando uma panela com água é levada ao fogo. Quando a água ferve, seu volume é alterado, pois parte dela evapora com o aumento da temperatura, porém a pressão continua a mesma, uma vez que se trata de um recipiente aberto – a pressão é ambiente antes e após a panela ir ao fogo.

Na transformação isobárica, não há variação da pressão, ou seja, ela é constante. Por outro lado, a temperatura e o volume são alterados; nesse sentido, a lei de Charles e Gay-Lussac diz: “Num sistema com pressão constante, o volume de determinada massa fixa de um gás é diretamente proporcional à temperatura”. Disso, obtém-se a seguinte equação:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

O diagrama que melhor representa o que acontece durante uma transformação isobárica pode ser visto a seguir.



- Transformação isobárica
- Lei de Charles e Gay-Lussac

HABILIDADES

- Caracterizar uma transformação isobárica e reconhecer situações em que ela ocorre no cotidiano.
- Aplicar a lei de Charles e Gay-Lussac.

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1. Sistema Dom Bosco – Em uma transformação isobárica, a energia interna do gás variou em 1 500 J. Para uma pressão de 75 N/m² e 2 000 J de calor recebido nessa transformação, qual o valor da variação de volume que o gás sofreu?

Resolução

Calculando-se ΔV :

$$\Delta U = Q - T = 1500 = 2000 - \mathcal{C}$$

$$\mathcal{C} = 500 \text{ J}$$

$$\mathcal{C} = p \cdot \Delta V = 500 = 75 \cdot \Delta V$$

$$\Delta V \cong 6,7 \text{ m}^3$$

2. Sistema Dom Bosco – Suponha um gás contido no cilindro de uma seringa. Se esse gás sofre uma transformação isobárica, seu volume varia de $5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ e sua energia interna varia de 0,5 kJ. Sendo assim, qual o valor da pressão nesse sistema?

Resolução

Para um gás ideal e monoatômico, a relação entre a energia interna, a pressão e o volume é dada por:

$$\Delta U = \frac{3}{2} \cdot p \cdot \Delta V = 0,5 = \frac{3}{2} p \cdot 5 \cdot 10^{-3}$$

$$p = \frac{2 \cdot 0,5}{3 \cdot 5 \cdot 10^{-3}} \cong 67 \text{ kPa}$$

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

**TRANSFORMAÇÃO
ISOBÁRICA**

Pressão constante

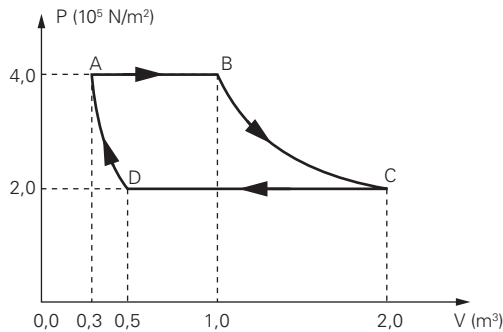
Lei de Charles e Gay-Lussac

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. **Unesp (adaptado)** – Determinada massa de gás monoatômico ideal sofre a transformação cíclica ABCDA mostrada no gráfico. As transformações AB e CD são isobáricas, BC é isotérmica e DA é adiabática.



Calcule o trabalho realizado pelas forças de pressão do gás na expansão AB.

$$T = P \cdot \Delta V$$

$$T = 4(0,5 - 0,3)$$

$$T = 0,8 \text{ J}$$

2. **Uern (adaptado)** – A variação da energia interna de um gás perfeito em uma transformação isobárica foi igual a 1200 J. Se o gás ficou submetido a uma pressão de 50 N/m² e a quantidade de energia que recebeu do ambiente foi igual a 2000 J, então qual foi a variação de volume sofrida pelo gás durante o processo?

Usando a 1ª lei da termodinâmica:

$$\Delta U = Q - T$$

$$1200 = 2000 - T$$

$$T = 800 \text{ J}$$

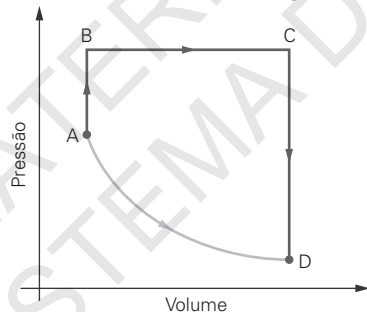
$$T = P \cdot \Delta V$$

$$P \cdot \Delta V = 800$$

$$50 \cdot \Delta V = 800$$

$$\Delta V = 16 \text{ m}^3$$

3. **Uefs** – Determinada massa de gás ideal pode ser levada de um estado inicial A para um estado final D por dois caminhos: a transformação isotérmica AD ou a transformação ABCD, composta de duas transformações isovolumétricas (AB e CD) e de uma transformação isobárica (BC), conforme mostra o gráfico.



Sendo τ o trabalho realizado pelas forças de pressão exercidas pelo gás nessas transformações, é correto afirmar que:

a) $\tau_{AD} = \tau_{ABCD}$

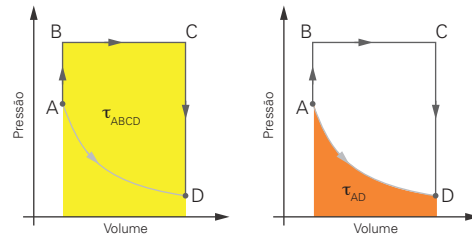
b) $\tau_{ABCD} > \tau_{AD}$

c) $\tau_{AB} > 0$ e $\tau_{CD} < 0$

d) $\tau_{AD} = 0$

e) $\tau_{BC} < 0$

O trabalho de cada caminho é representado pela área sob a curva dada, como mostram as figuras a seguir.



4. **Efomm** – Um gás ideal sofre uma expansão isotérmica, seguida de uma compressão adiabática. A variação total da energia interna do gás poderia ser nula se, dentre as opções a seguir, a transformação seguinte fosse uma

a) compressão isocórica

b) expansão isocórica

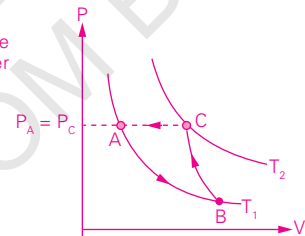
c) expansão isobárica

d) compressão isobárica

e) compressão isotérmica

Para $\Delta U = 0 \rightarrow \Delta T = 0$.

Observando o gráfico, para que isso ocorra, o gás deve sofrer uma compressão isobárica.



Texto para a próxima questão:

Nas questões com respostas numéricas, considere a temperatura de fusão do chumbo como $T_{FC} = 327 \text{ }^\circ\text{C}$, o calor específico do chumbo como $C_c = 0,03 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$, o calor latente de fusão do chumbo como $L_{FC} = 6,0 \text{ cal/g}$, o coeficiente de expansão térmica do latão igual a $20 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $1 \text{ cal} = 4,2 \text{ J}$ e utilize $(3)^{1/2} = 1,7$.

5. **PUC-RJ** – Um gás ideal sofre uma compressão isobárica tal que seu volume se reduz a 2/3 do inicial. Se a temperatura inicial do gás era de 150 °C, a temperatura final, em °C, é:

a) 225

c) 100

e) 392

b) 50,0

d) 9,00

Para um processo isobárico:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{V_1}{(150+273)} = \frac{2 \cdot \frac{V_1}{3}}{T_2}$$

6. **EsPCEX-Aman (adaptado)**

C6-H21

Em um laboratório, um estudante realiza alguns experimentos com um gás perfeito. Inicialmente, o gás está a uma temperatura de 27 °C; em seguida, ele sofre uma expansão isobárica que torna seu volume cinco vezes maior. Qual o valor da temperatura final após essa transformação?

1ª transformação gasosa: isobárica (pressão constante), indo do estado "i" para o estado "f".

$$p_i = p_f$$

$$T_i = 27 \text{ }^\circ\text{C} = 300 \text{ K}$$

$$\frac{p_i \cdot V_i}{T_i} = \frac{p_f \cdot V_f}{T_f}$$

$$\frac{V_i}{T_i} = \frac{V_f}{T_f}$$

$$\frac{V_i}{300} = 5 \cdot \frac{V_i}{T_f}$$

$$T_f = 1500 \text{ K}$$

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. Esc. Naval (adaptado) – Considere um gás monoatômico ideal no interior de um cilindro dotado de um êmbolo, de massa desprezível, que pode deslizar livremente. Quando submetido a certa expansão isobárica, o volume do gás aumenta de $2,00 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ para $8,00 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$. Sabendo-se que, durante o processo de expansão, a energia interna do gás sofre uma variação de 0,360 kJ, pode-se afirmar que o valor da pressão, em kPa, é de qual valor?

Texto para a próxima questão:

Adote os seguintes valores, quando necessário:

Módulo da aceleração da gravidade

$$(g) = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

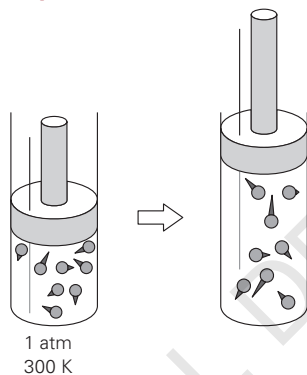
$$1 \text{ quilograma-força (kgf)} = 10 \text{ N}$$

$$1 \text{ cal} = 4 \text{ J}$$

$$1 \text{ cv} = 740 \text{ W}$$

$$1 \text{ tonelada} = 10^3 \text{ kg}$$

$$1 \text{ atm} = 1 \cdot 10^5 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$$

8. PUC-SP (adaptado)

Um gás monoatômico submetido a uma pressão de 1 atm possui volume de 1 000 cm^3 quando sua temperatura é de 300 K. Após sofrer uma expansão isobárica, seu volume é aumentado para 300% do valor inicial.

Determine a variação da energia interna do gás e o trabalho mecânico, em joules, realizado pelo gás durante essa transformação.

9. Esc. Naval (adaptado) – Considere que 0,40 grama de água vaporiza isobaricamente à pressão atmosférica. Sabendo que, nesse processo, o volume ocupado pela água varia de 1,0 litro, pode-se afirmar que a variação da energia interna do sistema, em kJ, tem qual valor?

Dados:

Calor latente de vaporização da água = $2,3 \cdot 10^6 \text{ J/kg}$;
conversão: 1 atm = $1,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$.

- a) -1,0 d) 0,92
b) -0,92 e) 1,0
c) 0,82

10. UFPR (adaptado) – Considere que, em um recipiente cilíndrico com êmbolo móvel, existem 2 mols de moléculas de um gás A à temperatura inicial de 200 K. Esse

gás é aquecido até a temperatura de 400 K em uma transformação isobárica. Durante esse aquecimento, ocorre uma reação química e cada molécula do gás A se transforma em duas moléculas de um gás B.

Com base nesses dados e nos conceitos de termodinâmica, é correto afirmar que o volume final do recipiente na temperatura de 400 K é quantas vezes maior que o volume inicial?

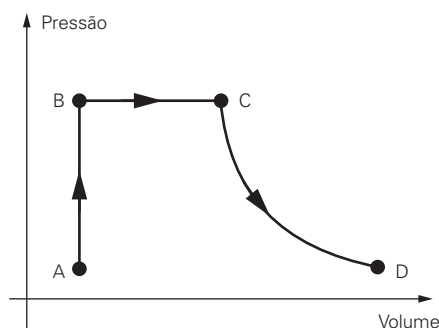
- a) 3 vezes menor que o valor do volume inicial.
b) de valor igual ao volume inicial.
c) 2 vezes maior que o valor do volume inicial.
d) 3 vezes maior que o valor do volume inicial.
e) 4 vezes maior que o valor do volume inicial.

11. Udesc – Um gás ideal monoatômico, com n mols e inicialmente na temperatura absoluta T , sofre uma expansão adiabática até que sua temperatura fica um terço de sua temperatura inicial.

Logo, o gás:

- a) absorveu uma quantidade de calor igual a $n \cdot R \cdot T$.
b) se expandiu isobaricamente.
c) realizou trabalho liberando uma quantidade de calor igual a $n \cdot R \cdot T$.
d) se expandiu aumentando sua energia interna de $n \cdot R \cdot T$.
e) realizou trabalho e sua energia interna diminuiu de $n \cdot R \cdot T$.

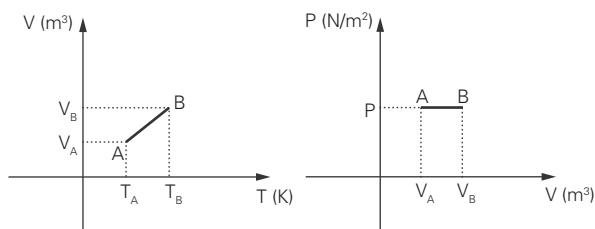
12. PUC-RS – Analise a figura, que representa transformações termodinâmicas às quais um gás ideal está submetido, e complete as lacunas do texto que segue.



De acordo com o gráfico, a temperatura do gás no estado A é _____ que a do gás no estado B. A transformação BC é _____, e o trabalho envolvido na transformação CD é _____ do que zero.

- a) maior – isobárica – maior
b) menor – isométrica – maior
c) menor – isobárica – menor
d) maior – isométrica – menor
e) menor – isobárica – maior

13. G1-Ifsul – Uma amostra de gás ideal sofre uma transformação termodinâmica entre dois estados, A e B. As características dessa transformação estão indicadas nos gráficos do volume (V) em função da temperatura absoluta (T) e da pressão (P) em função do volume (V), representados a seguir.



Analise as seguintes afirmativas referentes à transformação termodinâmica entre os estados A e B:

- I. A transformação é isobárica.
- II. O volume (V) e a temperatura absoluta (T) são diretamente proporcionais.
- III. O trabalho total realizado pelo sistema é nulo.
- IV. A energia interna da amostra permanece constante.

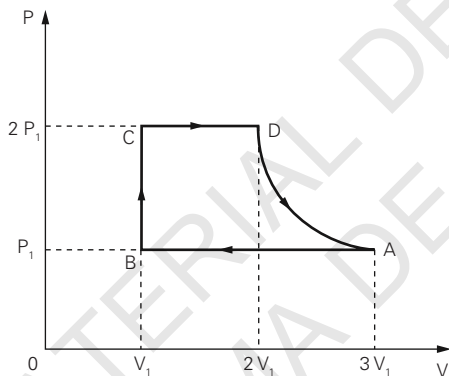
Está(ão) correta(s) apenas a(s) afirmativa(s)

- a) I. c) II e IV.
 b) I e II. d) III e IV.

14. **UPF** – Um gás ideal inicialmente à temperatura de 27 °C e volume de 0,02 m³ é submetido a uma transformação isobárica, elevando seu volume para 0,06 m³. Nessas condições, é possível afirmar que sua temperatura final é, em °C, de:

- a) 627 d) 1 173
 b) 81 e) 300
 c) 900

15. **FGV** – O gráfico da pressão (P) em função do volume (V) de um gás perfeito representa um ciclo de transformações a que o gás foi submetido.



A respeito dessas transformações, é correto afirmar que a transformação

- a) AB é isobárica e que a relação T_A/T_B entre as temperaturas absolutas nos respectivos estados A e B vale 3.
- b) BC é isotérmica e que a relação T_B/T_C entre as temperaturas absolutas nos respectivos estados B e C vale 1/2.
- c) CD é isobárica e que a relação T_C/T_D entre as temperaturas absolutas nos respectivos estados C e D vale 2/3.
- d) AD é isotérmica e que o calor trocado com o meio ambiente nessa transformação é nulo.
- e) AD é adiabática e que o calor trocado com o meio ambiente nessa transformação é igual ao trabalho realizado pelo gás no ciclo.

16. **UPF** – Dois mols de um gás ideal, inicialmente sob pressão de $1,01 \cdot 10^5$ Pa, temperatura de -10 °C e volume de 4 m³, são submetidos a uma transformação isobárica, elevando seu volume até 8 m³.

Nessas condições, é possível afirmar que a temperatura final do gás, em graus Celsius, é de:

- a) 526
 b) 131,5
 c) 20
 d) 10
 e) 253

17. **UEPG** – Sobre os gases ideais, pode-se afirmar que:

- Obedecem à lei geral dos gases, ou seja,

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$
- Dentre suas características temos que as colisões entre as partículas que os constituem são consideradas perfeitamente elásticas.
- Para uma transformação isotérmica desses gases, as grandezas pressão e volume tornam-se inversamente proporcionais.
- Para uma transformação isobárica, o volume e a temperatura são inversamente proporcionais, portanto, quando a temperatura aumentar, seu volume também aumentará. Logo, se o volume passar de V para V + 4, sua temperatura passará de T para T + 4.

ESTUDO PARA O ENEM

18. UFSC

C6-H21

Calibrar os pneus de um carro consiste em colocar ou retirar ar atmosférico do pneu, e é uma prática que todos os motoristas devem fazer pelo menos a cada 15 dias, para garantir a segurança do veículo e de seus integrantes, assim como para aumentar a vida útil do pneu. Em média, o pneu de um carro de passeio é calibrado com uma pressão que pode variar entre 28 e 30 psi (libras por polegada quadrada). Em situações de grande carga no veículo e viagens longas, orienta-se que se calibrem os pneus com duas libras a mais de pressão. (Não vamos considerar os pneus que são calibrados com nitrogênio.)



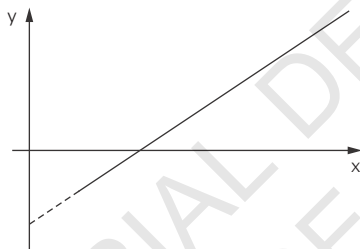
Considerando o ar atmosférico como um gás ideal e com base no que foi exposto, assinale a(s) proposição(ões) **CORRETA(S)**.

- I. Quando o carro está em movimento, os pneus aquecem; sendo assim, podemos considerar que o ar atmosférico dentro dos pneus sofre uma transformação isobárica.
- II. Para uma correta calibragem da pressão, é necessário que ela seja feita com os pneus frios, pois a alta temperatura indicaria uma pressão maior.
- III. Independentemente das medidas de um pneu, se o calibrarmos com 30,0 psi, o número de mols de ar é o mesmo.
- IV. A pressão de um gás confinado em um recipiente depende de alguns fatores: quantidade de gás, temperatura do gás e volume do recipiente. Esses fatores influenciam diretamente o número de colisões e a intensidade dessas colisões com as paredes do recipiente.
- V. Um pneu com as seguintes medidas: raio interno 14,0 cm, raio externo 19,0 cm e largura 18,0 cm, calibrado com 30,0 psi a 25 °C, possui um volume de ar atmosférico de 45 L.
- VI. A dilatação do pneu quando aquecido pode ser desprezada se comparada com a expansão que o gás pode sofrer quando é submetido à mesma variação de temperatura.

19. UPE-SSA

C6-H21

Um computador monitora um experimento de expansão isobárica de 25 g de um gás ideal. Seu software, não configurado corretamente, reproduz, na tela do computador, o gráfico a seguir.



Utilizando conhecimentos básicos acerca do comportamento de gases ideais, é **CORRETO** afirmar que

- a) o eixo x representa a temperatura em Fahrenheit, e o eixo y, o volume.
- b) o eixo y representa a temperatura em Kelvin, e o eixo x, o volume.
- c) o eixo x representa a pressão em Pascal, e o eixo y, o volume.
- d) o eixo y representa a pressão, e o eixo x, a temperatura em Kelvin.
- e) o eixo y representa a temperatura em Fahrenheit, e o eixo x, o volume.

20. UFPR

C6-H21

O estudo da calorimetria e das leis da termodinâmica nos dá explicações para vários fenômenos encontrados na natureza. Considere o seguinte texto que apresenta a explicação, do ponto de vista dessas áreas da Física, para a formação das nuvens:

Quando uma porção de ar aquecido sobe, contendo água que acabou de _____ da superfície, passa a estar submetida a uma pressão cada vez _____. A rápida variação na pressão provoca uma rápida expansão do ar com uma redução de seu/ sua _____. Essa rápida expansão é considerada _____, isto é, sem troca de calor com sua vizinhança, porque ocorre muito rapidamente. O gás em expansão _____ energia interna ao se expandir, e isso acarreta seu resfriamento até atingir uma temperatura na qual a quantidade de vapor d'água é suficiente para saturar o ar naquele ponto e assim formar as nuvens.

Assinale a alternativa que preenche as lacunas corretamente.

- a) evaporar, menor, temperatura, adiabática, perde.
- b) condensar, menor, volume, adiabática, ganha.
- c) evaporar, maior, temperatura, isotérmica, ganha.
- d) condensar, maior, volume, isobárica, perde.
- e) sublimar, menor, temperatura, isotérmica, ganha.

48

TRANSFORMAÇÃO ISOTÉRMICA

- Transformação isotérmica

HABILIDADES

- Caracterizar uma transformação isotérmica e reconhecer situações em que ela ocorre no cotidiano.
- Reconhecer e aplicar a equação que representa esse tipo de transformação.



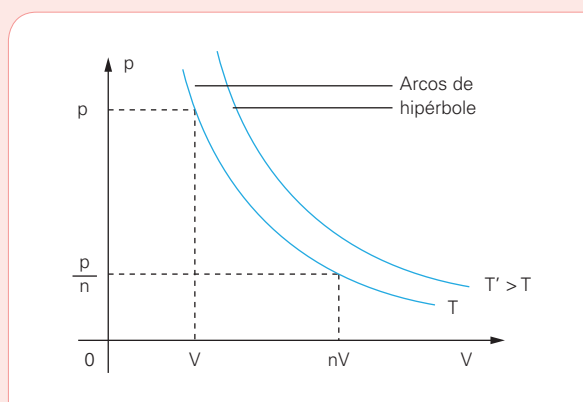
Balões cheios e murchos.

Um exemplo cotidiano de transformação isotérmica são balões de aniversários. Em um dado dia, eles apresentam um tamanho e uma pressão e, algum tempo depois, podem murchar. Ou seja, considerando que a temperatura foi a mesma no decorrer do dia, houve variação do volume e da pressão do gás dentro do balão.

A transformação isotérmica ocorre quando se têm dois estados, um inicial e um final, e a pressão e o volume foram alterados, com a temperatura se mantendo constante. Com isso, pode-se estabelecer que a relação entre pressão e volume é inversamente proporcional, como é demonstrado nesta equação:

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

O diagrama que representa o que ocorre em uma transformação isotérmica pode ser analisado a seguir.



EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1. Sistema Dom Bosco – Considere um pistão com 100 ml de um gás à pressão de 1 atm. Se houver uma diminuição no volume ocupado para 25 ml, qual o valor da pressão aplicada, considerando uma transformação isotérmica?

Resolução

Aplicando-se a equação para transformações isotérmicas, tem-se:

$$\frac{p_i \cdot V_i}{T_i} = \frac{p_f \cdot V_f}{T_f}$$

$$\frac{1 \cdot 100}{T} = \frac{p_f \cdot 25}{T}$$

$$p_f = \frac{100}{25} = 4 \text{ atm}$$

2. Sistema Dom Bosco – Suponha uma certa massa de gás contida em um pistão com volume de 500 ml a 2,0 atm. Se o pistão for acionado indicando uma transformação isotérmica, e o gás tiver sua pressão reduzida a 0,5 atm, qual o novo valor de volume ocupado por esse gás?

Resolução

$$\frac{p_i \cdot V_i}{T_i} = \frac{p_f \cdot V_f}{T_f}$$

$$\frac{2 \cdot 500}{T} = \frac{0,5 \cdot V_f}{T}$$

$$V_f = \frac{1\,000}{0,5} = 2\,000 \text{ ml}$$

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

ROTEIRO DE AULA

TRANSFORMAÇÃO ISOTÉRMICA

Temperatura constante

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. Sistema Dom Bosco – Explique, de acordo com a lei de Boyle, o que acontece se, em uma transformação à temperatura constante, há aumento na pressão interna a um gás confinado.

Nesse caso, o volume diminui, justificando o aumento da pressão interna do gás que, com a mesma temperatura, mantém o nível de agitação de suas moléculas. Contudo, ele possui espaço reduzido para se movimentar, aumentando seu choque com as paredes do recipiente.

- 2. Mackenzie** – Um gás perfeito, que tem um volume de 12,0 l, encontra-se no interior de um frasco sob pressão de 3,00 atm e com temperatura de 200 K. Inicialmente, o gás sofre uma transformação isotérmica, de tal forma que sua pressão passa a ser de 9,00 atm. A seguir, o gás sofre uma transformação segundo a lei de Gay-Lussac, atingindo uma temperatura de 500 K. Os volumes, após as duas transformações, respectivamente, são iguais a
- a) 10,0 l e 4,00 l. d) 2,00 l e 4,00 l.
 b) 4,00 l e 2,00 l. e) 4,00 l e 10,0 l.
 c) 10,0 l e 2,00 l.

Usando a equação geral dos gases para um processo isotérmico, temos:

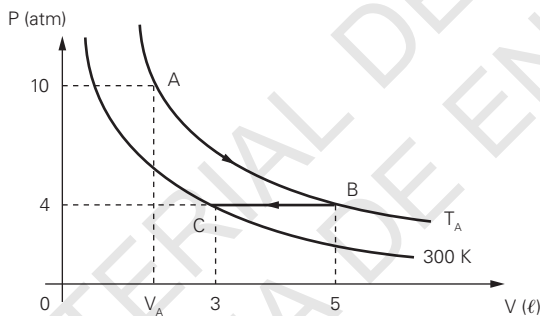
$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

$$V_2 = \frac{p_1 \cdot V_1}{p_2} = \frac{3 \cdot 12}{9} = 4 \text{ L}$$

Para um processo isobárico:

$$\frac{V_3}{T_3} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$V_3 = \frac{V_2 \cdot T_3}{T_2} = \frac{4 \cdot 500}{200} = 10 \text{ L}$$

3. Mackenzie

A figura representa duas isotérmicas em que certa massa gasosa, inicialmente no estado A, sofre uma transformação atingindo o estado B, que por sua vez sofre outra transformação, atingindo o estado C. A temperatura T_A e o volume V_A são iguais a

- a) 200 K e 5 l. d) 500 K e 2 l.
 b) 300 K e 2 l. e) 500 K e 4 l.
 c) 400 K e 4 l.

No processo isobárico, representado de B para C, temos:

$$\frac{V_B}{T_B} = \frac{V_C}{T_C}$$

Como $T_A = T_B$:

$$\frac{V_B}{T_A} = \frac{V_C}{T_C}$$

$$T_A = \frac{V_B \cdot T_C}{V_C} = 500 \text{ K}$$

$$T_A = 500 \text{ K}$$

Usando a lei de Boyle, para a transformação isotérmica de A para B, temos:

$$p_A \cdot V_A = p_B \cdot V_B$$

$$10 \text{ atm} \cdot V_A = 4 \text{ atm} \cdot 5 \text{ L}$$

$$V_A = 2 \text{ L}$$

4. Unisc – Uma bolha de ar, com volume de 1,5 cm³, forma-se no fundo de um lago, a 20 m de profundidade, e sobe até atingir a superfície. A pressão atmosférica no local tem valor de 1,0 atm e a temperatura do lago é a mesma em qualquer profundidade. Defina a transformação sofrida pela bolha de ar ao se deslocar do fundo até a superfície, o valor da pressão, em atmosferas, sobre a bolha no fundo do lago e qual o volume da bolha ao atingir a superfície.

(Lembre-se de que uma coluna de água de 10 m de altura exerce uma pressão de, aproximadamente, 1,0 atm.)

- a) Isotérmica, 3,0 atm e 4,5 cm³
 b) Isotérmica, 4,5 atm e 3,0 cm³
 c) Isotérmica, 2,0 atm e 3,0 cm³
 d) Isométrica, 3,0 atm e 4,5 cm³
 e) Isobárica, 4,5 atm e 3,0 cm³

A transformação ocorrida é isotérmica.

$$p_{\text{total}} = p_{\text{atm}} + p_{\text{hidrostática}}$$

$$p_{\text{total}} = 1,0 + 2,0$$

$$p_{\text{total}} = 3,0 \text{ atm}$$

Como $p \cdot V$ é constante:

$$p_0 \cdot V_0 = p \cdot V$$

$$V = \frac{p_0 \cdot V_0}{p}$$

$$V = \frac{3,0 \cdot 1,5}{1,0}$$

$$V_A = 4,5 \text{ cm}^3$$

5. G1-Ifsul – No estudo da termodinâmica dos gases perfeitos, são parâmetros básicos as grandezas físicas quantidade de calor (Q), trabalho \mathcal{E} (W) e energia interna (U), associadas às transformações que um gás perfeito pode sofrer.

Analise as seguintes afirmativas referentes às transformações termodinâmicas em um gás perfeito:

- I. Quando determinada massa de gás perfeito sofre uma transformação adiabática, o trabalho \mathcal{E} (W) que o sistema troca com o meio externo é nulo.
- II. Quando determinada massa de gás perfeito sofre uma transformação isotérmica, a variação da energia interna é nula ($\Delta U = 0$).
- III. Quando determinada massa de gás perfeito sofre uma transformação isométrica, a variação da energia interna (ΔU) sofrida pelo sistema é igual à quantidade de calor (Q) trocado com o meio externo.

Está(ão) correta(s) apenas a(s) afirmativa(s)

- a) I. c) I e II.
 b) III. d) II e III.

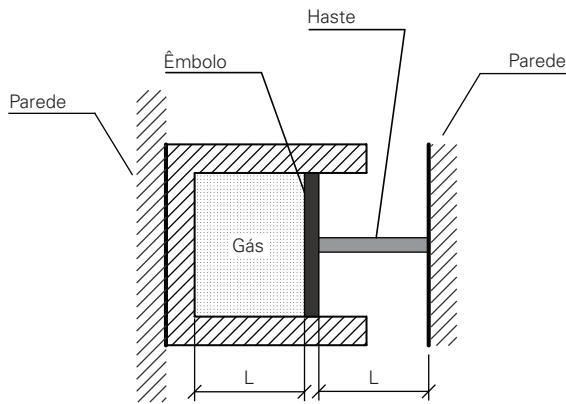
[I] Está incorreta, pois em uma transformação adiabática o calor trocado é nulo.

[II] Está correta, pois a variação da energia interna é diretamente proporcional à variação da temperatura absoluta.

[III] Está correta, pois, em uma transformação isotérmica, o trabalho realizado é nulo.

6. IME

C5-H17



Um êmbolo está conectado a uma haste, a qual está fixada a uma parede. A haste é aquecida, recebendo uma energia de 400 J. A haste se dilata, movimentando o êmbolo que comprime um gás ideal, confinado no reservatório, representado na figura. O gás é comprimido isotermicamente.

Diante do exposto, o valor da expressão: $\frac{p_f - p_i}{p_i}$ é

Dados:

- pressão final do gás: p_f ;
- pressão inicial do gás: p_i ;
- capacidade térmica da haste: 4 J/K;
- coeficiente de dilatação térmica linear da haste: $0,000001 \text{ K}^{-1}$.

- a) 0,01 e) 0,000001
b) 0,001 d) 0,00001 c) 0,0001

Varição da temperatura da barra:

$$Q = C \cdot \Delta T$$

$$400 = 4 \cdot \Delta T$$

$$\Delta T = 100 \text{ K}$$

Varição no comprimento da barra por conta da dilatação:

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

$$\Delta l = L \cdot 10^{-6} \cdot 100$$

$$\Delta l = L \cdot 10^{-4}$$

Como o gás é comprimido por uma transformação isotérmica:

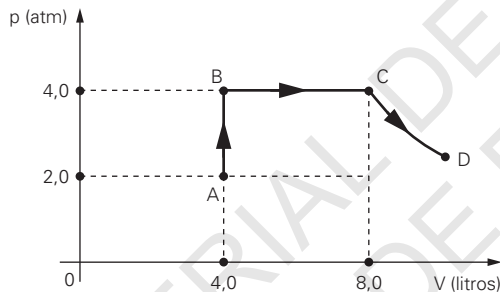
$$p_i \cdot V_i = p_f \cdot V_f$$

$$\frac{p_i}{p_f} = \frac{V_f}{V_i}$$

$$\frac{p_f - p_i}{p_i} = 1 - \frac{p_i}{p_f} = 1 - \frac{V_i}{V_f} = 1 - \frac{A \cdot L - A \cdot L \cdot 10^{-4}}{A \cdot L} = 1 - (1 - 10^{-4}) = 0,0001$$

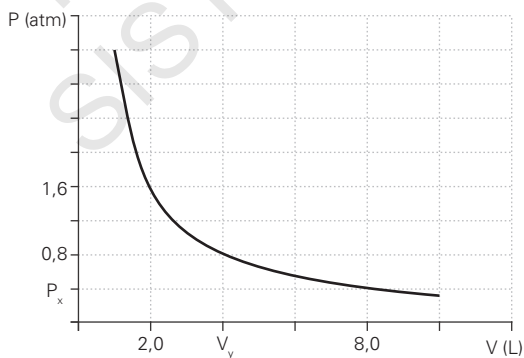
EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. Epcar/AFA (adaptado) – Uma amostra de n mols de gás ideal sofre as transformações AB (isovolumétrica), BC (isobárica) e CD (isotérmica), conforme representação no diagrama pressão (p) \times volume (V), mostrado a seguir.



Sabendo-se que a temperatura do gás no estado A é 27°C , pode-se afirmar que a temperatura dele, em $^\circ\text{C}$, no estado D é de qual valor?

8. Udesc (adaptado) – Um gás ideal é submetido a uma transformação isotérmica, conforme descrito no diagrama da figura.



Os valores da pressão p_x e do volume V_y indicados no diagrama são, respectivamente, iguais a quais valores?

- a) 4,0 atm e 6,0 L
b) 0,4 atm e 4,0 L
c) 0,6 atm e 3,0 L
d) 2,0 atm e 6,0 L
e) 0,2 atm e 4,0 L

9. UEL – Sejam A, B e C estados termodinâmicos. Dois mols de um gás ideal, inicialmente em A, sofrem uma compressão isotérmica até B e vão para um estado final C através de um processo termodinâmico a volume constante.

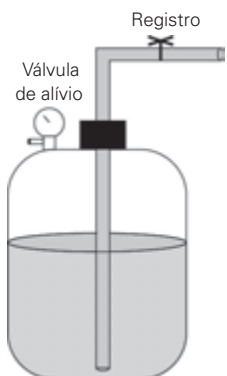
Dados: $T_A = 30^\circ\text{C}$; $p_A = 1 \text{ atm}$; $p_B = 3 \text{ atm}$; $p_C = 5 \text{ atm}$;

$$R = 8,31 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

a) Faça o diagrama $p \times V$ para o processo termodinâmico de A até C e determine a razão de compressão, $\frac{V_A}{V_B}$, que o gás sofreu.

b) Determine a temperatura do gás no estado termodinâmico C.

10. UFG – O nitrogênio líquido é frequentemente utilizado em sistemas criogênicos, para trabalhar a baixas temperaturas. A figura a seguir ilustra um reservatório de 100 litros, com paredes adiabáticas, contendo 60 litros da substância em sua fase líquida a uma temperatura de 77 K. O restante do volume é ocupado por nitrogênio gasoso que se encontra em equilíbrio térmico com o líquido. Na parte superior do reservatório existe uma válvula de alívio para manter a pressão manométrica do gás em 1,4 atm.

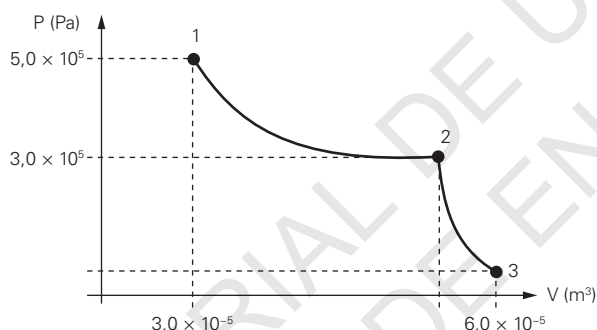


Quando o registro do tubo central é aberto, o gás sofre uma lenta expansão isotérmica, empurrando o líquido. Considerando-se que foram retirados 10% do volume do líquido durante esse processo e que o gás não escapa para o ambiente, calcule:

Dados: $R = 8,4 \text{ J/K} \cdot \text{mol}$; $1 \text{ atm} = 10^5 \text{ Pa}$.

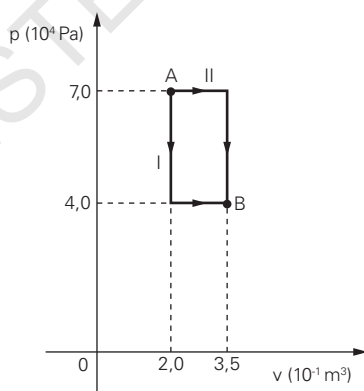
- O número de mols do gás evaporado durante o processo.
- O trabalho realizado pelo gás sobre o líquido.

11. PUC-RJ – Um sistema termodinâmico recebe certa quantidade de calor de uma fonte quente e sofre uma expansão isotérmica, indo do estado 1 ao estado 2, indicados na figura. Imediatamente após a expansão inicial, o sistema sofre uma segunda expansão térmica, adiabática, indo do estado 2 para o estado 3, com coeficiente de Poisson $\gamma = 1,5$.



- Determine o volume ocupado pelo gás após a primeira expansão, indo do estado 1 ao estado 2.
- Determine a pressão no gás quando o estado 3 é atingido.

12. EBMSP



A figura representa uma transformação termodinâmica da mudança do estado inicial A para o estado final B de uma massa de gás ideal, e ela pode ser feita pelo "caminho" I ou pelo "caminho" II.

Uma análise do gráfico, associada aos conhecimentos de termodinâmica, permite concluir:

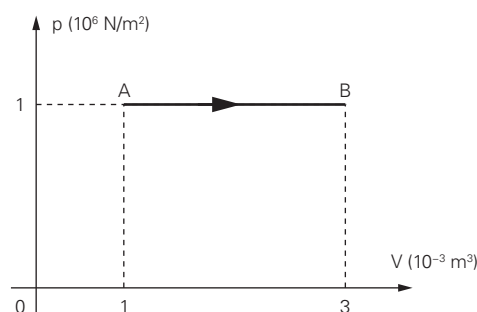
- A temperatura da massa de gás no estado A é maior do que a no estado B.
- A variação da energia interna do gás no "caminho" I é maior do que a no "caminho" II.
- A quantidade de calor trocada pela massa de gás no "caminho" I é igual a $4,15 \cdot 10^4 \text{ J}$.
- O trabalho realizado pela massa de gás no "caminho" II tem módulo igual a $6,0 \cdot 10^3 \text{ J}$.
- A quantidade de calor trocada pela massa de gás no "caminho" II é da ordem de 10^4 J .

13. UEM-PAS – Um gás diatômico ideal está inicialmente a uma temperatura T e um volume V . O gás é submetido a três processos reversíveis no seguinte ciclo: (I) expansão isotérmica para o volume $2V$; (II) diminuição da pressão em uma transformação isovolumétrica; (III) compressão adiabática para o volume original V .

Assinale o que for **correto** sobre o exposto.

- Em cada um dos processos descritos, energia térmica é transferida para o meio externo.
- A entropia total do gás e a do meio externo permanecem constantes durante cada um dos três processos.
- Para um ciclo completo, a energia interna do gás aumenta.
- No processo III, o trabalho realizado pelo gás é positivo.
- No processo I, o gás deve liberar uma quantidade de calor maior que o trabalho realizado sobre ele.

14. Unisinos – Um gás ideal sofre a transformação do estado A para o estado B, conforme representado no gráfico pressão (p) versus volume (V):



Nesta transformação, a temperatura _____, e o trabalho realizado pelo gás, em J (joules), é de _____.

As lacunas são corretamente preenchidas, respectivamente, por

- triplica; 2000
- duplica; 3000
- triplica; 3000
- duplica; 2000
- não varia; 2000

É necessária uma pressão de 1,2 atm para que o obturador da válvula seja aberto, permitindo a entrada de ar em seu interior. De quantos centímetros deve ser deslocado o pistão para que isso seja possível, sabendo que, ao longo desse deslocamento, a temperatura do sistema não se altera?

- a) 7,5
- b) 9,0
- c) 15,0
- d) 37,5

20. PUC-RJ**C6-H21**

Um pequeno balão esférico flexível, que pode aumentar ou diminuir de tamanho, contém 1,0 litro de ar e está, inicialmente, submerso no oceano a uma profundidade de 10,0 m. Ele é lentamente levado para a superfície, a temperatura constante. O volume do balão (em litros), quando ele atinge a superfície, é

Dados: $p_{\text{atm}} = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$; $p_{\text{água}} = 1,0 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$;
 $g = 10 \text{ m/s}^2$.

- a) 0,25
- b) 0,50
- c) 1,0
- d) 2,0
- e) 4,0

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

49

TRANSFORMAÇÃO ISOVOLUMÉTRICA

- Transformação isovolumétrica

HABILIDADES

- Caracterizar uma transformação isovolumétrica e reconhecer situações em que ela ocorre no cotidiano.
- Aplicar a relação de Charles que representa esse tipo de transformação.



Calibração de pneu.

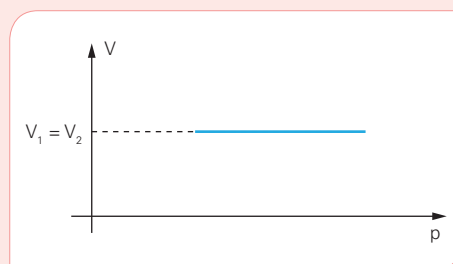
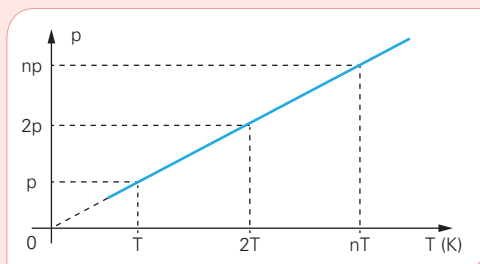
No nosso cotidiano, é possível observar a transformação isovolumétrica em pneus. Isso se deve basicamente pela variação da temperatura e da pressão, o que nos leva a calibrar os pneus com frequência, com o intuito de regular os níveis de pressão dos gases utilizados para seu enchimento.

Na transformação isovolumétrica, ocorre a variação da temperatura e da pressão, enquanto o volume permanece constante. Sendo assim, utilizando a relação de Charles, estabelece-se que a pressão e a temperatura são diretamente proporcionais, como mostra a equação a seguir.

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

Essa relação nos indica que, com o aumento da temperatura no interior de um recipiente (volume constante), conseqüentemente, haverá um aumento da pressão. Esse fenômeno é em decorrência do aumento das colisões das moléculas que há no gás.

Os diagramas que melhor representam a transformação isovolumétrica podem ser visualizados a seguir.



EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1. UEM – Um determinado gás (considerado ideal) é submetido a um processo de mudança de temperatura. Esse processo consiste em armazenar o gás em um recipiente e colocá-lo em uma câmara com temperatura constante igual a T_c . Durante todo o processo, o gás permanece dentro do recipiente com volume constante, e sua temperatura, t segundos após o início do processo, é dada pela função $T(t) = T_c + K \cdot 10^{-t}$, onde k é uma constante que depende das condições iniciais do processo. Sobre esse procedimento, assinale o que for correto.

- I. Se $k > 0$, então o processo é de resfriamento do gás.
- II. Se $k > 0$, então a pressão do gás durante o processo aumenta.
- III. Se $k < 0$, então o processo é isobárico.
- IV. A constante k é a diferença entre a temperatura inicial do gás e a temperatura da câmara.
- V. A pressão do gás, t segundos após o início do processo, é representada por uma função da forma $p(t) = A + B \cdot 10^{-t}$, onde A e B são constantes.

Resolução

I. Correta. O volume não pode variar. Sendo assim, trata-se de uma transformação isovolumétrica, e a constante k é a diferença entre a temperatura inicial do gás e a temperatura da câmara. Para k maior que zero, a temperatura irá diminuir, levando a um resfriamento do gás.

II. Incorreta. A pressão durante o processo não aumenta.

III. Incorreta. Como o volume é constante, logo, é uma transformação isocórica.

IV. Correta.

V. Correta.

2. PUC-RJ – Um gás ideal, inicialmente a 300 K e a 1 atm, é aquecido a pressão constante até que seu volume seja o triplo do original. O gás é, então, comprimido de volta a seu volume inicial, e sua pressão final é de 2 atm.

Qual é a temperatura final do gás, em K?

- a) 600
- b) 300
- c) 900
- d) 100
- e) 450

Resolução

Primeiro, é realizado um aquecimento isobárico. Considerando o gás ideal, podemos utilizar a equação geral:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \rightarrow \frac{1 \cdot V}{300} = \frac{1 \cdot 3 \cdot V}{T_2}$$

$$T_2 = 900 \text{ K}$$

Após o equilíbrio alcançado, é realizada uma compressão no gás:

$$\frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} = \frac{p_3 \cdot V_3}{T_3} \rightarrow \frac{1 \cdot 3 \cdot V}{900} = \frac{2 \cdot V}{T_3}$$

$$T_3 = 600 \text{ K}$$

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

ROTEIRO DE AULA

TRANSFORMAÇÃO ISOVOLUMÉTRICA

Volume constante

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

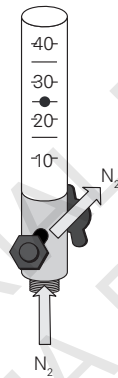
MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. Unicamp – Os reguladores de pressão são acessórios de segurança fundamentais para reduzir a pressão de gases no interior dos cilindros até que se atinja sua pressão de utilização. Cada tipo de gás possui um regulador específico.

a) Tipicamente, gases podem ser armazenados em cilindros a uma pressão interna de $P_0 = 2 \cdot 10^7$ Pa e ser utilizados com uma pressão de saída do regulador de $P_1 = 1,6 \cdot 10^7$ Pa. Considere um gás ideal mantido em recipiente fechado a uma temperatura inicial de $T_0 = 300$ K. Calcule a temperatura final T_1 do gás, se ele for submetido isovolumetricamente à variação de pressão dada.

b) Quando os gases saem dos reguladores para o circuito de utilização, é comum que o fluxo do gás (definido como o volume do gás que atravessa a tubulação por unidade de tempo) seja monitorado através de um instrumento denominado fluxômetro. Considere um tanque cilíndrico com área da base igual a $A = 2,0$ m² que se encontra inicialmente vazio e que será preenchido com gás nitrogênio. Durante o preenchimento, o fluxo de gás que entra no tanque é medido pela posição da esfera sólida preta do fluxômetro, como ilustra a figura a seguir. A escala do fluxômetro é dada em **litros/minuto**. A medida do fluxo de nitrogênio e sua densidade $d = 1,0$ kg/m³ permaneceram constantes durante todo o processo de preenchimento, que durou um intervalo de tempo $\Delta t = 12$ h. Após esse intervalo de tempo, a válvula do tanque é fechada com certa quantidade de gás nitrogênio em repouso em seu interior. Calcule a pressão exercida pelo gás na base do tanque. Caso necessário, use $g = 10$ m/s².



a) Aplicando a lei geral dos gases, temos:

$$\frac{P_0}{T_0} = \frac{P_1}{T_1} \rightarrow T_1 = \frac{1,6 \cdot 10^7 \cdot 300}{2 \cdot 10^7}$$

$$T_1 = 240 \text{ K}$$

b) Considerando os dados apresentados no enunciado:

$$z = \frac{V}{\Delta t} \rightarrow V = 25 \cdot 720$$

$$V = 18 \text{ m}^3$$

Então,

$$V = A \cdot h \rightarrow h = 9 \text{ m}$$

Finalmente, aplicando o teorema de Stevin, temos:

$$p = d \cdot g \cdot h \rightarrow p = 1 \cdot 10 \cdot 9$$

$$p = 90 \text{ Pa}$$

2. Fuvest – Um recipiente hermeticamente fechado e termicamente isolado, com volume de 750 L, contém ar inicialmente à pressão atmosférica de 1 atm e à

temperatura de 27 °C. No interior do recipiente, foi colocada uma pequena vela acesa, de 2,5 g. Sabendo-se que a massa da vela é consumida a uma taxa de 0,1 g/min e que a queima dela produz energia à razão de $3,6 \cdot 10^4$ J/g, determine:

a) A potência W da vela acesa.

b) A quantidade de energia E produzida pela queima completa da vela.

c) O aumento ΔT da temperatura do ar no interior do recipiente durante a queima da vela.

d) A pressão P do ar no interior do recipiente, logo após a queima da vela.

Observações:

- O ar deve ser tratado como gás ideal.
- O volume de 1 mol de gás ideal à pressão atmosférica de 1 atm e à temperatura de 27 °C é 25 L.
- Calor molar do ar a volume constante: $C_v = 30$ J/(mol · K).
- A constante universal dos gases: $R = 0,08$ (atm · L)/(mol · K).
- 0 °C = 273 K

A capacidade térmica do recipiente e a variação da massa de gás em seu interior pela queima da vela devem ser desconsideradas.

a) Utilizando a análise dimensional:

$$W = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{\Delta E}{m} \cdot \frac{m}{\Delta t} = 3,6 \cdot 10^4 \cdot 0,1$$

$$W = 60 \text{ W}$$

b) Sabe-se que a massa é de 2,5 g. Usando os dados e resultados do item anterior e a análise dimensional, vem:

$$E = 3600 \cdot \frac{2,5}{0,1}$$

$$E = 9 \cdot 10^4 \text{ J}$$

c) Utilizando os dados fornecidos, podemos resolver de duas maneiras o cálculo do número de mols:

– Pela equação de Clapeyron:

$$p_0 \cdot V = n \cdot R \cdot T_0 = \frac{1 \cdot 750}{0,08 \cdot 300}$$

$$n = 31,25 \text{ mol}$$

– Por regra de três:

$$25 \text{ L} \rightarrow 1 \text{ mol}$$

$$750 \text{ L} \rightarrow n$$

$$n = 30 \text{ mol}$$

Observação: para facilitar os cálculos, será utilizado $n = 30$ mol.

– A energia liberada pela queima da vela é absorvida pelo ar na forma de calor, aquecendo o ar do recipiente.

$$Q = n \cdot C_v \cdot \Delta T \rightarrow \Delta T = \frac{9 \cdot 10^4}{30 \cdot 30}$$

$$\Delta T = 100 \text{ K} = 100 \text{ °C}$$

– A queima da vela ocorre a volume constante, portanto, toda a energia liberada é usada para aumentar a energia interna do gás. Como o ar deve ser tratado como gás perfeito, usando a expressão da variação da energia interna para um gás diatômico, vem:

$$E = \Delta U = \frac{5}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T \rightarrow \Delta T = \frac{9 \cdot 10^4}{5 \cdot 30 \cdot 8}$$

$$\Delta T = 75 \text{ K} = 75 \text{ °C}$$

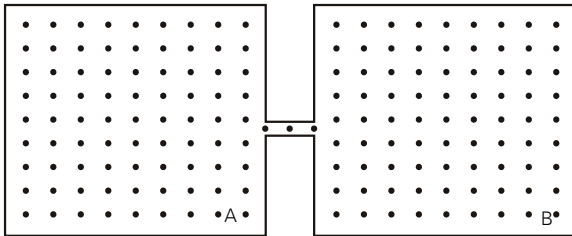
Nota: por comodidade, será usado nos cálculos a seguir o primeiro resultado: $\Delta T = 100 \text{ K}$.

d) Aplicando a equação dos gases ideais:

$$\frac{p_0 \cdot V}{T_0} = \frac{p \cdot V}{T_0 + \Delta T}$$

$$p \sim 1,33 \text{ atm}$$

3. Esc. Naval – Conforme mostra a figura a seguir, dois recipientes, **A** e **B**, termicamente isolados, de volumes iguais, estão ligados por um tubo delgado que pode conduzir gases, mas não transfere calor. Inicialmente, os recipientes são ocupados por uma amostra de certo gás ideal na temperatura T_0 e na pressão p_0 . Considere que a temperatura no recipiente **A** é triplicada, enquanto a do recipiente **B** se mantém constante. A razão entre a pressão final nos dois recipientes e a pressão inicial, p/p_0 , é:



- a) 3/2 c) 1 e) 1/3
b) 2/3 d) 1/2

Utilizando a equação de Clapeyron para a situação inicial em A:

Para cada recipiente, ficamos com uma expressão diferente, tendo em vista que, ao aumentar a temperatura de A, aumentamos sua pressão, e parte do gás se desloca de A para B.

$$(I) \quad p \cdot \frac{V_0}{2} = (n-x) \cdot R \cdot 3 \cdot T_0$$

$$(II) \quad p \cdot \frac{V_0}{2} = (n+x) \cdot R \cdot T_0$$

Dividindo a equação (I) pela equação (II):

$$\frac{(n-x) \cdot R \cdot 3 \cdot T_0}{(n+x) \cdot R \cdot T_0} \rightarrow n+x = 3 \cdot n - 3 \cdot x$$

$$(III) \quad x = \frac{n}{2}$$

Substituindo (III) em (I) e dividindo pela equação de Clapeyron, finalmente:

$$p \cdot \frac{V_0}{2} = \frac{n}{2} \cdot R \cdot 3 \cdot T_0$$

$$p_0 \cdot \frac{V_0}{2} = n \cdot R \cdot T_0$$

$$\frac{p}{p_0} = \frac{3}{2}$$

4. Udesc – Certa quantidade de gás ideal está nos estados iniciais de pressão, volume e temperatura dados, respectivamente, por p_0 , V_0 e T_0 . Esse gás é comprimido isobaricamente até que seu volume se reduza à metade. A seguir, a pressão é aumentada isocoricamente até o dobro de sua pressão inicial.

Considerando a informação, ao final do processo, o gás:

- a) volta a seu estado inicial.
b) apresenta o dobro da temperatura inicial.
c) apresenta o mesmo volume inicial.
d) apresenta a mesma pressão inicial.
e) apresenta a mesma temperatura inicial.

Utilizando a equação geral dos gases e realizando as transformações descritas, temos:

$$\frac{p_0 \cdot V_0}{T_0} = \frac{p_0 \cdot V_0}{T_1} = \frac{2 \cdot p_0 \cdot V_0}{T_2}$$

$$T_0 = T_2$$

Portanto, podemos concluir que a temperatura final é igual à inicial.

5. PUC-SP – Determinada massa de gás perfeito está contida em um recipiente com capacidade de 10 litros, sob pressão de 3,5 atm e temperatura inicial de 25 °C. Após sofrer uma transformação isocórica, sua pressão aumenta para 7 atm.

Determine a variação de temperatura da massa de gás, nas escalas Celsius e Fahrenheit, respectivamente, por essa transformação.

- a) 298 e 536,4. c) 323 e 581,4.
b) 298 e 568,4. d) 323 e 613,4.

Aplicando a equação geral dos gases, temos:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \rightarrow \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

$$T_2 = 596 \text{ K}$$

A variação de temperaturas entre as escalas Celsius e Kelvin são equivalentes porque ambas são centígradas, assim:

$$\Delta T (\text{°C}) = 596 - 298 = 298 \text{ °C}$$

Agora, a escala Fahrenheit é 80% maior que as escalas Celsius e Kelvin; então, utilizando o fator multiplicador equivalente ao acréscimo em porcentagem indicada, temos:

$$\Delta T (\text{°F}) = 1,8 \cdot \Delta T (\text{K}) = 1,8 \cdot 298 = 536,4 \text{ °F}$$

6. Enem

C6-H21

Uma pessoa abre sua geladeira, verifica o que há dentro dela e depois fecha a porta. Em seguida, ela tenta abrir a geladeira novamente, mas só consegue fazer isso depois de exercer uma força mais intensa do que a habitual.

A dificuldade extra para reabrir a geladeira ocorre porque o(a)

- a) volume de ar dentro da geladeira diminuiu.
b) motor da geladeira está funcionando com potência máxima.
c) força exercida pelo ímã fixado na porta da geladeira aumenta.
d) pressão no interior da geladeira está abaixo da pressão externa.
e) temperatura no interior da geladeira é inferior ao valor existente antes de ela ser aberta.

Quando a geladeira é aberta, ocorre entrada de ar quente e saída de ar frio. Após fechar a porta, esse ar quente, inicialmente à temperatura T_0 e à pressão atmosférica p_0 , é resfriado a volume constante, à temperatura T .

Pela equação geral dos gases, temos:

$$\frac{p \cdot V}{T} = \frac{p_0 \cdot V_0}{T_0} \rightarrow \frac{p}{T} = \frac{p_0}{T_0}$$

Se $T < T_0$, então $p < p_0$. A pressão do ar no interior da geladeira é menor que a pressão externa, dificultando a abertura da porta.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. PUC-RJ – Seja um gás diatômico (ar – de calor específico molar a volume constante $C_v = 5/2 R$, inicialmente à pressão atmosférica e a 27°C . Esse gás encontra-se contido dentro de um calorímetro de volume $24,7$ litros e é, então, aquecido, a volume constante, até aumentar sua temperatura em 150°C .

Dados: $p_{\text{atm}} = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Pa}$; $R = 8,31 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$.

- Calcule a pressão do gás ao fim do processo.
- Calcule a quantidade de calor absorvida pelo gás.

8. Unicamp – Existem inúmeros tipos de extintores de incêndio que devem ser utilizados de acordo com a classe do fogo a se extinguir. No caso de incêndio envolvendo líquidos inflamáveis, classe B, os extintores à base de pó químico ou de dióxido de carbono (CO_2) são recomendados, enquanto extintores de água devem ser evitados, pois podem espalhar o fogo.

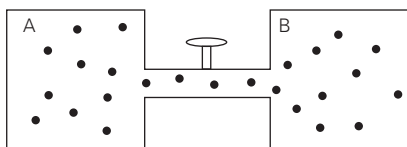
- Considere um extintor de CO_2 cilíndrico de volume interno $V = 1800 \text{ cm}^3$ que contém uma massa de CO_2 $m = 6 \text{ kg}$. Tratando o CO_2 como um gás ideal, calcule a pressão no interior do extintor para uma temperatura $T = 300 \text{ K}$.
- Dados:** $R = 8,3 \text{ J/mol K}$, e a massa molar do CO_2 é $M = 44 \text{ g/mol}$.
- Suponha que um extintor de CO_2 (similar ao do item a), completamente carregado, isolado e a princípio em repouso, lance um jato de CO_2 de massa $m = 50 \text{ g}$ com velocidade $v = 20 \text{ m/s}$. Estime a **massa total** do extintor m_{ext} e calcule sua velocidade de recuo provocada pelo lançamento do gás.
- Despreze a variação da massa total do cilindro decorrente do lançamento do jato.

9. UFG – Os gases comprimidos de uso hospitalar e industrial são comumente armazenados em cilindros de volume igual a 42 L . A massa desses cilindros vazios é de 45 kg . Considere um cilindro preenchido com hélio à temperatura de 27°C e à pressão de 200 atm e responda ao que se pede.

- Se o cilindro for colocado em cima de uma balança, determine o valor da massa medido pelo instrumento.
- No caso em que a válvula do cilindro não vede perfeitamente, ou seja, que haja pequenas perdas de gás, calcule o valor da massa de hélio no cilindro quando o gás parar de vazar, na hipótese de que o sistema se encontre ao nível do mar à temperatura de 27°C .

Dados: $R = 0,08 \text{ (L} \cdot \text{atm)/(K} \cdot \text{mol)}$, e o peso atômico do hélio é $4 \cdot u \cdot a$.

10. ITA – Dois recipientes, A e B, de respectivos volumes V_A e $V_B = \beta \cdot V_A$ constantes, contêm um gás ideal e são conectados por um tubo fino com válvula que regula a passagem do gás, conforme a figura. Inicialmente, o gás em A está na temperatura T_A sob pressão p_A e em B, na temperatura T_B sob pressão p_B . A válvula é então aberta até que as pressões finais p_{Af} e p_{Bf} alcancem a proporção $P_{Af}/P_{Bf} = \alpha$, mantendo as temperaturas em seus valores iniciais. Assinale a opção com a expressão de p_{Af} .



- $\left[\left(\frac{p_B}{p_A} \cdot \frac{T_A}{T_B} + \beta \right) / \left(\beta + \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{T_A}{T_B} \right) \right] \cdot p_A$
- $\left[\left(1 + \beta \cdot \frac{p_B}{p_A} \cdot \frac{T_A}{T_B} \right) / \left(1 - \frac{\beta}{\alpha} \cdot \frac{T_A}{T_B} \right) \right] \cdot p_A$
- $\left[\left(1 + \beta \cdot \frac{p_B}{p_A} \cdot \frac{T_A}{T_B} \right) / \left(1 + \frac{\beta}{\alpha} \cdot \frac{T_A}{T_B} \right) \right] \cdot p_A$
- $\left[\left(1 + \beta \cdot \frac{p_B}{p_A} \cdot \frac{T_A}{T_B} \right) / \left(\alpha + \beta \cdot \frac{T_A}{T_B} \right) \right] \cdot p_A$
- $\left[\left(\beta \cdot \frac{p_B}{p_A} \cdot \frac{T_A}{T_B} - 1 \right) / \left(\alpha + \beta \cdot \frac{T_A}{T_B} \right) \right] \cdot p_A$

11. UFPR – Segundo o documento atual da Fifa *Regras do Jogo*, no qual estão estabelecidos os parâmetros oficiais aos quais devem atender o campo, os equipamentos e os acessórios para a prática do futebol, a bola oficial deve ter pressão entre $0,6$ e $1,1 \text{ atm}$ ao nível do mar, peso entre 410 e 450 g e circunferência entre 68 e 70 cm . Um dia antes de uma partida oficial de futebol, quando a temperatura era de 32°C , cinco bolas, identificadas pelas letras A, B, C, D e E, de mesma marca e novas, foram calibradas conforme mostrado na tabela a seguir:

Bola	Pressão (atm)
A	0,60
B	0,70
C	0,80
D	0,90
E	1,00

No dia seguinte e na hora do jogo, as cinco bolas foram levadas para o campo. Considerando que a temperatura ambiente na hora do jogo era de 13°C e supondo que o volume e a circunferência das bolas tenham se mantido constantes, assinale a alternativa que apresenta corretamente as bolas que atendem ao documento da Fifa para a realização do jogo.

- A e E, apenas.
- B e D, apenas.
- A, D e E, apenas.
- B, C, D e E, apenas.
- A, B, C, D e E.

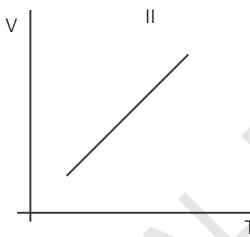
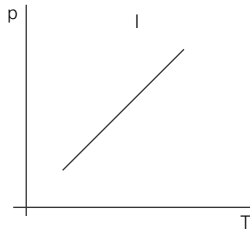
12. Uece – Seja um recipiente metálico fechado e com ar comprimido em seu interior. Considere desprezíveis as deformações no recipiente durante o experimento descrito a seguir: a temperatura do ar comprimido é aumentada de 24°C para 40°C . Sobre esse gás, é correto afirmar-se que

- sua pressão permanece constante, pois já se trata de ar comprimido.
- sua pressão aumenta.
- sua energia interna diminui, conforme prevê a lei dos gases ideais.
- sua energia interna permanece constante, pois o recipiente não muda de volume e não há trabalho realizado pelo sistema.

13. Uece – Considere uma garrafa de refrigerante posta verticalmente sobre uma mesa horizontal. Com a garrafa ainda fechada, sua parte superior, entre a superfície do líquido e a tampa, é preenchida por um gás pressurizado. Considere que o refrigerante está inicialmente a $10\text{ }^\circ\text{C}$, e passados 10 minutos esteja a $21\text{ }^\circ\text{C}$. Sobre o gás entre a superfície do líquido e a tampa, é correto afirmar que, ao final dos 10 minutos,

- tem sua energia térmica aumentada e sua pressão reduzida.
- tem sua energia térmica e pressão aumentadas.
- tem sua energia térmica e sua pressão reduzidas.
- tem sua energia térmica reduzida e sua pressão aumentada.

14. UFRGS – Nos gráficos I e II abaixo, p representa a pressão a que certa massa de gás ideal está sujeita, T é sua temperatura e V , o volume por ela ocupado.



Escolha a alternativa que identifica de maneira correta as transformações sofridas por esse gás, representadas, respectivamente, em I e II.

- Isobárica e isocórica.
- Isotérmica e isocórica.
- Isotérmica e isobárica.
- Isocórica e isobárica.
- Isocórica e isotérmica.

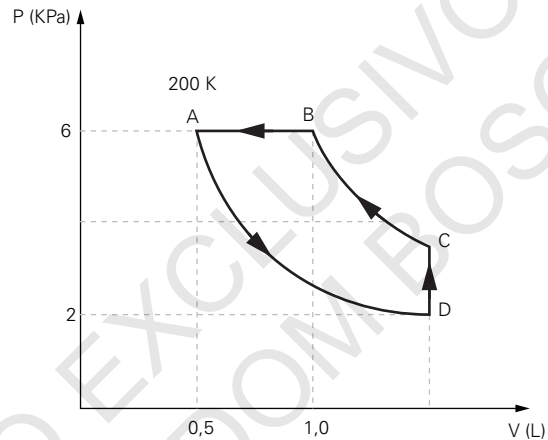
15. PUC-RS – Para responder à questão, considere as afirmativas sobre as transformações gasosas a que uma amostra de massa constante de um gás ideal pode ser submetida.

- Em uma transformação isotérmica, não ocorre troca de calor entre o gás e o meio externo.
- Em uma transformação isobárica, o volume e a temperatura absoluta do gás são diretamente proporcionais.
- Em uma transformação isométrica, o calor trocado com o gás é integralmente utilizado para variar sua energia interna.

Está(ão) correta(s) a(s) afirmativa(s)

- I, apenas.
- II, apenas.
- I e III, apenas.
- II e III, apenas.
- I, II e III.

16. FMJ – Um gás ideal, contido em um recipiente dotado de êmbolo móvel, descreve um ciclo térmico ADCBA, como mostra o gráfico.



O processo entre A e D e entre C e B são isotérmicos. Com base no gráfico e sabendo que a temperatura em A é 200 K , determine:

- os trechos do ciclo ADCBA em que o processo é isocórico e em que é isobárico.
- o volume do gás ideal no ponto D e a temperatura da isoterma que liga os pontos B e C, em Kelvin.

17. UEPG-PR – Um recipiente fechado de volume V contém certa massa gasosa à temperatura de $27\text{ }^\circ\text{C}$, exercendo uma pressão de 760 mmHg . Após aquecimento, verificou-se que o novo valor da pressão era de 2 atm . Supondo desprezível a variação de volume, a nova temperatura, em $^\circ\text{C}$, do sistema será:

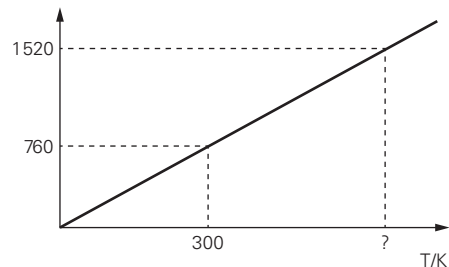


Gráfico de transformação isocórica ou isovolumétrica

- $600\text{ }^\circ\text{C}$.
- $540\text{ }^\circ\text{C}$.
- $327\text{ }^\circ\text{C}$.
- $273\text{ }^\circ\text{C}$.
- $160\text{ }^\circ\text{C}$.

ESTUDO PARA O ENEM

18. UFJF-Pism

C6-H21

Em um dia quente de verão, estava fazendo $27\text{ }^\circ\text{C}$ e Pedro ficou muito irritado com a porta da geladeira. Ele abriu a geladeira uma primeira vez para pegar sorvete de creme. Imediatamente após fechar a geladeira, lembrou-se de que sua irmã, Ana, havia pedido o sorvete de morango. Abriu a geladeira novamente e teve que fazer uma força muito maior que a força feita da primeira vez. Isso ocorre porque o ar quente, que entra na geladeira quando esta é aberta, sofre um resfriamento a volume constante. Se esperarmos um pouco, há troca de ar entre o ambiente exterior e a geladeira, fazendo que as pressões interna e externa se igualem, tornando fácil abrir a geladeira novamente.

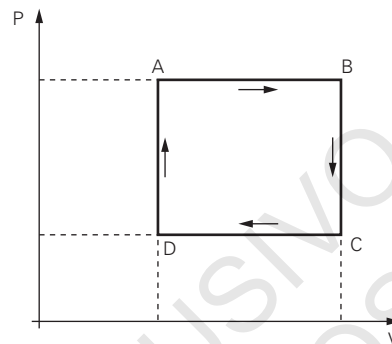
- Considere que o ar é um gás ideal, e que, imediatamente antes de Pedro fechar a porta, todo o ar no interior da geladeira está a pressão e temperatura ambientes. Considere ainda que, após fechar a porta, todo o ar no interior da geladeira atinge rapidamente uma temperatura de $7,0\text{ }^\circ\text{C}$ e que não há troca de ar entre a geladeira e o meio externo.
- Calcule a pressão no interior da geladeira após o resfriamento.
- Considerando que o volume de ar interno da geladeira é $0,6\text{ m}^3$, calcule a energia retirada do ar no processo de resfriamento.

19. PUC-RJ

C6-H21

Um ciclo termodinâmico, para um mol de um gás monoatômico, consiste em 4 processos: AB (isobárico), BC (isocórico), CD (isobárico) e DA (isocórico), representados no diagrama PV da figura.

Sabe-se que $p_A = 3,0 \cdot 10^5\text{ Pa}$, $p_C = 1,0 \cdot 10^5\text{ Pa}$, $V_D = 8,3 \cdot 10^{-3}\text{ m}^3$, $V_B = 2,0 \cdot V_A$. Considere a constante universal dos gases $R = 8,3\text{ J}/(\text{K} \cdot \text{mol})$.



- Calcule as temperaturas máxima e mínima em que opera o ciclo.
- Calcule o trabalho realizado pelo gás em um ciclo.

20. Uerj

C6-H21

Um motorista estaciona seu carro completamente fechado sob o sol. Nesse instante, a temperatura no interior do carro é igual a $25\text{ }^\circ\text{C}$. Ao retornar, algum tempo depois, ele verifica que essa temperatura interna é igual a $35\text{ }^\circ\text{C}$.

Considerando o ar como um gás perfeito, calcule a variação percentual da pressão, $\Delta p/p$, entre os dois momentos, no interior do carro.

MATERIAL DE ENSINO
SISTEMA DE ENSINO

50

PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA

- Primeira lei da termodinâmica

HABILIDADES

- Conceituar a primeira lei da termodinâmica.
- Relacionar as proposições possíveis através da equação que relaciona energia interna, calor e trabalho.
- Conhecer o comportamento das transformações termodinâmicas dentro da primeira lei da termodinâmica.



Motor com explosões.

A combustão do etanol no interior de um motor gera a expansão dos gases (trabalho) nos cilindros, que é responsável pelo movimento do automóvel. Simultaneamente há aumento na temperatura do motor (variação da energia interna), que será absorvido pela água de arrefecimento. Essa água será, por sua vez, resfriada pelo ar que passa através do radiador do automóvel. Ou seja, a parcela da energia da combustão do etanol que aumentou a temperatura do motor foi desperdiçada. Só a parte que gerou trabalho foi útil, geralmente apenas 22% nos motores de automóveis a etanol ou gasolina. Sim, mais de 3/4 da energia do combustível são “desperdiçados”.

Fonte: <<https://vicentemana.com/2016/07/12/a-primeira-lei-da-termodinamica-e-o-comportamento-humano/>>

Para sermos capazes de compreender a primeira lei da termodinâmica, temos que começar pelo ponto de partida, conhecido como lei zero. Ela estabelece que, quando dois corpos que apresentem temperaturas diferentes entrarem em contato, aquele com maior temperatura cede parte dela para o de menor até o momento em que ambos encontrem o equilíbrio térmico.

A primeira lei da termodinâmica diz respeito à conservação da energia em um sistema termodinâmico. Sendo assim, quando um sistema recebe uma quantidade de calor, ela pode ser armazenada, aumentando, assim, a energia interna, ou ela pode ser utilizada pelo sistema para realizar trabalho.

Como dito anteriormente, a termodinâmica estabelece a relação entre calor e trabalho. Com isso, precisamos relacionar essas duas grandezas também com a energia interna:

$$\Delta U = Q - \tau$$

onde ΔU é a variação da energia interna, Q é a quantidade de calor e τ é o trabalho. Portanto, temos as seguintes proposições:

- Quando a variação da energia interna for maior que zero ($\Delta U > 0$), o gás terá sua temperatura aumentada.

- Quando a variação da energia interna for menor que zero ($\Delta U < 0$), o gás terá sua temperatura reduzida.
- Quando a quantidade de calor for maior que zero ($Q > 0$), o gás irá ceder energia ao meio externo como calor.
- Quando a quantidade de calor for menor que zero ($Q < 0$), o gás irá ceder energia ao meio externo como trabalho.
- Quando o trabalho for maior que zero ($\tau > 0$), o gás irá ceder energia ao meio externo como trabalho, sofrendo expansão.
- Quando o trabalho for menor que zero ($\tau < 0$), o gás irá ceder energia ao meio externo como trabalho, sofrendo compressão.

Com a primeira lei da termodinâmica, também é possível relacionar as seguintes transformações isobáricas, isométricas, isotérmicas e adiabáticas.

- Nas transformações isobáricas, a pressão é constante e a temperatura e o volume são diretamente proporcionais, permitindo que ocorra trabalho e troca de calor com o meio externo, podendo haver uma energia interna maior e menor que zero.

- Nas transformações isométricas, sabe-se que, como o volume é constante, a pressão e a temperatura apresentam uma relação diretamente proporcional. No entanto, não ocorre troca de calor na forma de trabalho, então, todo o calor que é recebido pelo gás é transformado em energia interna.
- Nas transformações isotérmicas, a temperatura é constante, enquanto o volume e a pressão têm uma relação inversamente proporcional, ou seja, não ocorre a variação da energia interna do sistema. Portanto, todo o calor que é recebido pelo gás é transferido para o meio externo na forma de trabalho.
- Nas transformações adiabáticas, não há troca de calor entre o meio externo e o gás, então é necessário que o gás seja isolado e que sua transformação se realize rapidamente. Ocorrem dois processos: um no qual o trabalho é maior que zero e o gás é expandido, diminuindo sua energia interna e havendo seu resfriamento; e outro no qual o trabalho é menor que zero, acarretando um aumento da energia interna e um aquecimento do gás.

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1. Sistema Dom Bosco – Para um gás monoatômico, dentro de um cilindro com um êmbolo móvel, a uma pressão de $2,0 \cdot 10^5$ Pa e com variação de volume ao ser aquecido de $6,0 \cdot 10^{-3}$ m³, calcule a quantidade de calor recebida por ele.

Resolução

$$Q = \Delta U + \tau$$

Sabendo que:

$$\tau = p \cdot \Delta V \quad \text{e} \quad \Delta U = \frac{3}{2} \cdot p \cdot \Delta V$$

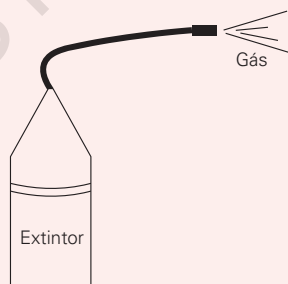
Temos que:

$$Q = \Delta U + \tau = \frac{3}{2} \cdot p \cdot \Delta V + p \cdot \Delta V$$

$$Q = \frac{5}{2} \cdot p \cdot \Delta V = \frac{5}{2} \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 6 \cdot 10^{-3}$$

$$Q = 1000 \text{ J}$$

2. Cefet-MG – Um extintor de incêndio de CO₂ é acionado e o gás é liberado para o ambiente.



Analise as asserções que se seguem:

A figura ilustra uma expansão volumétrica muito rápida, característica de uma transformação adiabática porque, I. em uma transformação desse tipo, a transmissão de calor entre o gás e a vizinhança é muito grande, e II. o trabalho realizado pelo gás é igual à variação de sua energia interna.

É correto afirmar que

- a) as duas asserções são proposições verdadeiras, e a segunda é uma justificativa correta da primeira.
- b) as duas asserções são proposições verdadeiras, mas a segunda não é justificativa correta da primeira.
- c) a primeira asserção é uma proposição verdadeira, e a segunda, uma proposição falsa.**
- d) a primeira asserção é uma proposição falsa, e a segunda, uma proposição verdadeira.
- e) a primeira e a segunda asserções são proposições falsas.

Resolução

A primeira asserção é verdadeira, pois, em uma expansão muito rápida, praticamente não há tempo para troca de calor entre o meio e o gás.

A segunda asserção é duplamente falsa, pois, na transformação adiabática, não há troca de calor entre o gás e a vizinhança, e o trabalho realizado pelo gás é igual, em módulo, à variação da energia interna.

ROTEIRO DE AULA

PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA

$$\Delta U = Q - \mathcal{E}$$

Transformações termodinâmicas

Transformação isobárica

Transformação isotérmica

Transformação isovolumétrica

Transformação adiabática

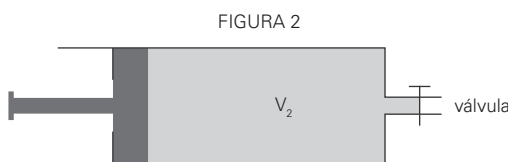
MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. Unesp – A figura 1 mostra um cilindro reto de base circular provido de um pistão, que desliza sem atrito. O cilindro contém um gás ideal à temperatura de 300 K, que inicialmente ocupa um volume de $6,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ e está a uma pressão de $2,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$.



O gás é aquecido, expandindo-se isobaricamente, e o êmbolo desloca-se 10 cm até atingir a posição de máximo volume, quando é travado, conforme indica a figura 2.



Considerando a área interna da base do cilindro igual a $2,0 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$, determine a temperatura do gás, em kelvin, na situação da figura 2. Supondo que nesse processo a energia interna do gás aumentou de 600 J, calcule a quantidade de calor, em joules, recebida pelo gás. Apresente os cálculos.

$$\Delta V = \text{Área} \cdot \text{Comprimento} = 2 \cdot 10^{-2} \cdot 0,1 \rightarrow \Delta V = 2 \cdot 10^{-3}$$

$$V_2 = V_1 + \Delta V = 6 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 10^{-3} \rightarrow V_2 = 8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

Aplicando a equação geral dos gases para uma transformação isobárica:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \rightarrow \frac{6 \cdot 10^{-3}}{300} = \frac{8 \cdot 10^{-3}}{T_2}$$

$$T_2 = 400 \text{ K}$$

Cálculo do trabalho (τ) realizado pela força de pressão do gás na expansão:

$$\tau = p \cdot \Delta V = p \cdot \text{área} \cdot \text{comprimento} = 2 \cdot 10^5 \cdot 2 \cdot 10^{-2} \cdot 0,1$$

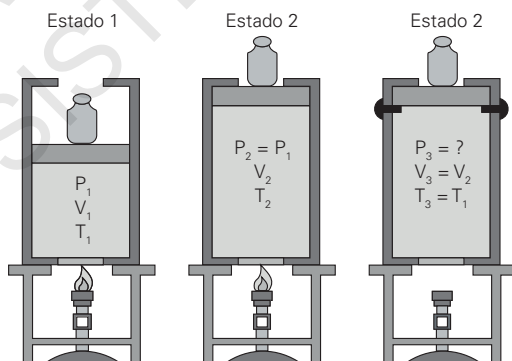
$$\tau = 400 \text{ J}$$

Aplicando a primeira lei da termodinâmica:

$$Q = \Delta U + \tau$$

$$Q = 600 + 400 = 1000 \text{ J}$$

2. Unesp – A figura representa um cilindro contendo um gás ideal em três estados, 1, 2 e 3, respectivamente.



No estado 1, o gás está submetido à pressão $p_1 = 1,2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ e ocupa um volume $V_1 = 0,008 \text{ m}^3$ à temperatura T_1 . Acende-se uma chama de potência constante sob o cilindro, de maneira que, ao receber 500 J de calor, o gás sofre uma expansão lenta e isobárica até o estado 2, quando o êmbolo atinge o topo do cilindro e é impedido de continuar a se mover. Nesse estado, o gás passa a ocupar um volume $V_2 = 0,012 \text{ m}^3$ à temperatura T_2 .

Nesse momento, o êmbolo é travado, de maneira que não possa mais descer, e a chama é apagada. O gás é, então, resfriado até o estado 3, quando a temperatura volta ao valor inicial T_1 e o gás fica submetido a uma nova pressão p_3 .

Considerando que o cilindro tenha capacidade térmica desprezível, calcule a variação de energia interna sofrida pelo gás quando ele é levado do estado 1 ao estado 2 e o valor da pressão final p_3 .

Como a transformação é isobárica, o trabalho realizado na transformação 1 \rightarrow 2 é:

$$\tau_{1,2} = p_1 \cdot \Delta V_{1,2} = 1,2 \cdot 10^5 (12 - 8) \cdot 10^{-3}$$

$$\tau_{1,2} = 480 \text{ J}$$

Aplicando a primeira lei da termodinâmica:

$$\Delta U_{1,2} = Q_{1,2} - \tau_{1,2}$$

$$\Delta U_{1,2} = 500 - 480 = 20 \text{ J}$$

Observação: a banca examinadora cometeu um deslize ao arbitrar em 500 J a quantidade de calor absorvida pelo gás na transformação isobárica 1 \rightarrow 2.

Calculamos o valor correto, supondo gás monoatômico.

$$Q_{1,2} = \Delta U_{1,2} + \tau_{1,2} = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T_{1,2}$$

$$Q_{1,2} = \frac{5}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T_{1,2} \rightarrow Q_{1,2} = 1200 \text{ J}$$

Para determinar o valor da pressão final, aplicamos a equação geral dos gases:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_3 \cdot V_3}{T_3}$$

$$p_3 = \frac{p_1 \cdot V_1}{V_3}$$

$$p_3 = 8 \cdot 10^4 \text{ Pa}$$

3. UFRGS – Considere um processo adiabático no qual

o volume ocupado por um gás ideal é reduzido a $\frac{1}{5}$ do volume inicial.

É correto afirmar que, nesse processo,

- a) a energia interna do gás diminui.
- b) a razão $\frac{T}{p}$ (T = temperatura, p = pressão) torna-se 5 vezes o valor inicial.
- c) a pressão e a temperatura do gás aumentam.
- d) o trabalho realizado sobre o gás é igual ao calor trocado com o meio externo.
- e) a densidade do gás permanece constante.

Se o processo é adiabático, então a quantidade de calor trocada é nula. Como se trata de uma compressão, o trabalho realizado pela força de pressão do gás é negativo. De acordo com a primeira lei da termodinâmica, temos:

$$\Delta U = Q - \tau$$

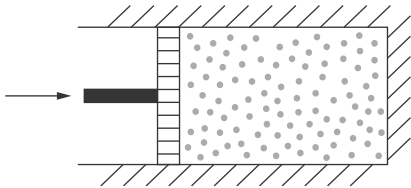
$$\Delta U = 0 - \tau$$

$$\Delta U > 0 \text{ (aquecimento)}$$

A pressão é diretamente proporcional à temperatura e inversamente proporcional ao volume. Se a temperatura aumenta e o volume diminui, a pressão aumenta.

4. EsPCEX/Aman – Durante um experimento, um gás perfeito é comprimido, adiabaticamente, sendo realizado sobre ele um trabalho de 800 J. Em relação ao gás, ao final do processo, podemos afirmar que:

- a) o volume aumentou, a temperatura aumentou e a pressão aumentou.
- b) o volume diminuiu, a temperatura diminuiu e a pressão aumentou.
- c) o volume diminuiu, a temperatura aumentou e a pressão diminuiu.
- d) o volume diminuiu, a temperatura aumentou e a pressão aumentou.**
- e) o volume aumentou, a temperatura aumentou e a pressão diminuiu.



Segundo a primeira lei da termodinâmica:

$$\Delta U = Q - \tau$$

Em processo adiabático $\rightarrow Q = 0$.

Como o trabalho foi realizado sobre o gás, então $\tau < 0$, ou seja, $\tau = 800 \text{ J}$

Desse modo:

$$\Delta U = 0 - (-800) = 800 \text{ J}$$

$$\text{Para gases perfeitos} \rightarrow \Delta U = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot T.$$

Como $\Delta U = 800 \text{ J} > 0$, então $\Delta T > 0$.

Como o trabalho está sendo realizado sobre o gás, ou seja, ele está sendo comprimido, então $\Delta V < 0$, o que quer dizer que o gás reduz de volume.

Da equação de Clapeyron para gases perfeitos:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \Rightarrow p = \frac{n \cdot R \cdot T}{V} \quad (3)$$

E considerado que T aumentou e V diminuiu, conclui-se que p aumentou.

5. IFSC – Termologia é o ramo da Física que estuda os fenômenos que envolvem trocas de calor, suas causas e suas consequências. Nesse ramo da Física analisa-se termometria, dilatação térmica, calorimetria, estudo dos gases, termodinâmica, entre outras. Com base em seus conhecimentos a respeito da termologia, assinale a soma da(s) proposição(ões) CORRETA(S).

- 01)** A dilatação térmica é consequência do aumento do número de partículas que compõem a substância quando aquecida.
- 02)** A máquina de Carnot é uma máquina térmica ideal cujo ciclo é composto por duas isotérmicas e duas adiabáticas. O rendimento dessa máquina é o máximo que uma máquina térmica pode ter trabalhando entre duas temperaturas, a da fonte quente e a da fonte fria.
- 04)** A pressão de um gás é consequência do número de colisões e da velocidade com que suas partículas colidem com as paredes do recipiente que o contém.
- 08)** Calor é a energia em trânsito que um corpo pode armazenar e ceder a outro corpo que está a uma temperatura menor.
- 16)** Temperatura é uma grandeza associada ao grau de agitação das partículas que compõem uma substância.

32) Um gás ideal é aquele que permanece no estado gasoso, independentemente da pressão e da temperatura às quais está submetido. Um gás real pode se comportar como um gás ideal quando está submetido a altas temperaturas e pressões.

22 (02 + 04 + 16)

[01] Falsa. A dilatação térmica é causada pelo aumento da agitação das partículas que compõem o corpo aquecido.

[02] Verdadeira.

[04] Verdadeira.

[08] Falsa. Calor está associado à energia térmica em trânsito de um corpo com maior temperatura para outro com temperatura menor.

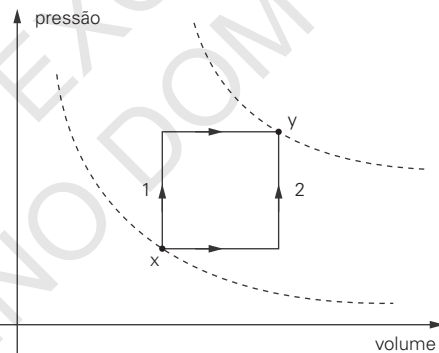
[16] Verdadeira.

[32] Falsa. O comportamento de gás ideal pode ser atribuído a gases reais quando a temperatura for alta e as pressões forem baixas. Sendo assim, teremos maior agitação das partículas e menor interação entre as moléculas que compõem a mistura de gases.

6. Epcar/AFA

C5-H17

Um sistema gasoso constituído por n mols de um gás perfeito passa do estado x para o estado y por meio dos processos distintos 1 e 2 mostrados no esquema a seguir.



Se no processo 2 o sistema realiza um trabalho de 200 J e absorve uma quantidade de calor de 500 J, é correto afirmar que

- a) quando o sistema for trazido de volta ao estado inicial x , sua energia interna irá diminuir de 700 J.
- b) a variação da energia interna será a mesma tanto no processo 1 quanto no 2.**
- c) o trabalho realizado no processo 1 será igual ao trabalho realizado no processo 2.
- d) se no processo 1 o trabalho realizado for de 400 J, o calor recebido será de 1000 J.

[A] $\Delta U = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T$. Se o sistema voltar ao estado inicial:

$$\Delta T = 0 \Rightarrow \Delta U = 0 \text{ J.}$$

[B] Como ΔT é o mesmo para ambos os processos, pela equação do item anterior, ΔU também será.

[C] Para os segmentos verticais, $\tau = 0 \text{ J}$. Para os segmentos horizontais, $\tau = P \cdot \Delta V \Rightarrow \tau_1 \neq \tau_2$.

[D] Pela primeira lei da termodinâmica: $Q = T + \Delta U \rightarrow 500 = 200 + \Delta U \rightarrow \Delta U = 300 \text{ J}$.

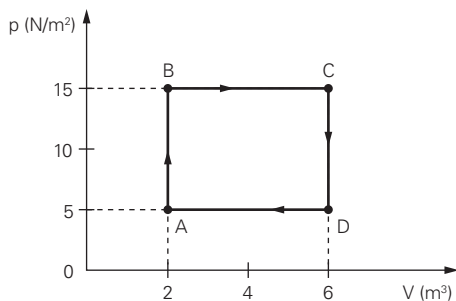
Pelos dados da alternativa: $Q = 400 + 300 = 700 \text{ J}$.

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

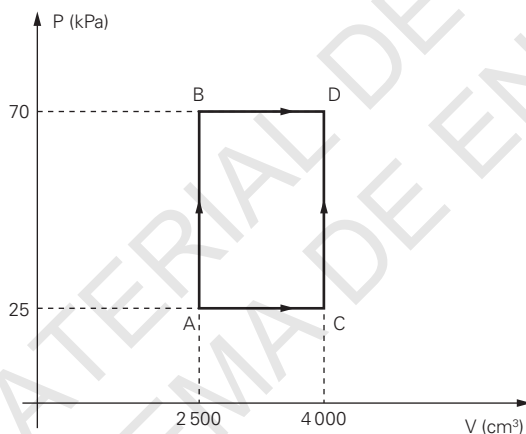
7. UEL – Analise o gráfico a seguir, que representa uma transformação cíclica ABCDA de 1 mol de gás ideal.



- a) Calcule o trabalho realizado pelo gás durante o ciclo ABCDA.
- b) Calcule o maior e o menor valores da temperatura absoluta do gás no ciclo (considere $R = 8 \frac{\text{J}}{\text{K mol}}$).

Justifique sua resposta apresentando todos os cálculos realizados.

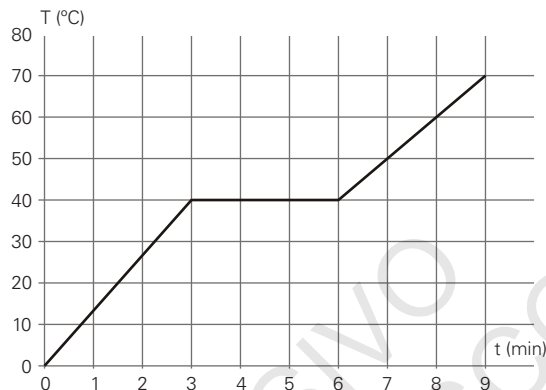
8. Efomm (adaptado) – O diagrama PV da figura mostra, para determinado gás ideal, alguns dos processos termodinâmicos possíveis. Sabendo-se que nos processos AB e BD são fornecidos ao gás 120 e 500 joules de calor, respectivamente, a variação da energia interna do gás, em joules, no processo ACD será igual a que valor?



9. Cefet-MG (adaptado) – O trabalho realizado em um ciclo térmico fechado é igual a 100 J, e o calor envolvido nas trocas térmicas é igual a 1000 J e 900 J, respectivamente, com fontes quente e fria.

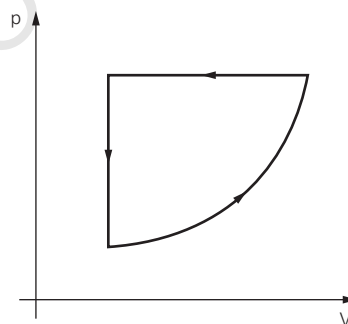
A partir da primeira lei da termodinâmica, a variação da energia interna nesse ciclo térmico, em joules, é de qual valor?

10. UFRGS (adaptado) – O gráfico representa, em um processo isobárico, a variação em função do tempo da temperatura de uma amostra de um elemento puro cuja massa é de 1,0 kg, observada durante 9 minutos.



A amostra está no estado sólido a 0 °C no instante $t = 0$ e é aquecida por uma fonte de calor que lhe transmite energia a uma taxa de $2,0 \cdot 10^3 \text{ J/min}$, supondo que não haja perda de calor. O processo que ocorre na fase sólida envolve um trabalho total de 0,1 kJ. Nessa fase, a variação da energia interna da amostra é de qual valor?

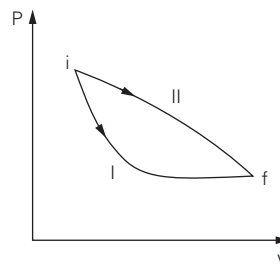
11. UPE-SSA – Um estudo do ciclo termodinâmico sobre um gás que está sendo testado para uso em um motor a combustão no espaço é mostrado no diagrama a seguir.



Se ΔE_{int} representa a variação de energia interna do gás, e Q é o calor associado ao ciclo, analise as alternativas e assinale a CORRETA.

- a) $\Delta E_{\text{int}} = 0$, $Q > 0$
- b) $\Delta E_{\text{int}} = 0$, $Q < 0$
- c) $\Delta E_{\text{int}} > 0$, $Q < 0$
- d) $\Delta E_{\text{int}} < 0$, $Q > 0$
- e) $\Delta E_{\text{int}} = 0$, $Q = 0$

12. UFRGS – Observe a figura a seguir.



A figura mostra dois processos, I e II, em um diagrama pressão (p) \times volume (V), ao longo dos quais um gás ideal pode ser levado do estado inicial i para o estado final f .

Assinale a alternativa que preenche corretamente as lacunas do enunciado a seguir, na ordem em que aparecem.

De acordo com a primeira lei da termodinâmica, a variação da energia interna é _____ nos dois processos. O trabalho W_I , realizado no processo I, é _____ que o trabalho W_{II} , realizado no processo II.

- a) igual – maior
- b) igual – menor
- c) igual – igual
- d) diferente – maior
- e) diferente – menor

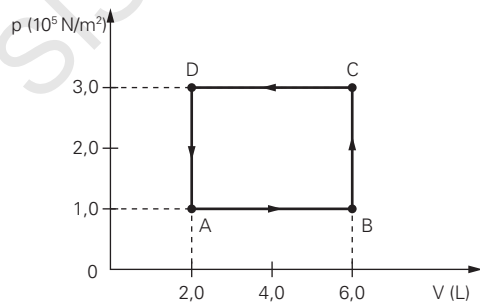
13. Udesc – Considere as afirmações com relação à termodinâmica.

- I. A energia interna de uma dada quantidade de gás ideal depende apenas da temperatura.
- II. Quando um sistema pode ir do estado (1) para o estado (2) por vários processos diferentes, a quantidade de calor absorvida pelo sistema será a mesma para todos os processos.
- III. Quando um sistema pode ir do estado (1) para o estado (2) por vários processos diferentes, a variação da entropia do sistema será a mesma para todos os processos.
- IV. Quando um sistema pode ir do estado (1) para o estado (2) por vários processos diferentes, a variação da energia interna do sistema será a mesma para todos os processos.
- V. Quando um sistema pode ir do estado (1) para o estado (2) por vários processos diferentes, a quantidade de trabalho realizado sobre o sistema será a mesma para todos os processos.

Assinale a alternativa correta.

- a) Somente as afirmativas I, II e IV são verdadeiras.
- b) Somente as afirmativas III e V são verdadeiras.
- c) Somente as afirmativas II e V são verdadeiras.
- d) Somente as afirmativas I, III e V são verdadeiras.
- e) Somente as afirmativas I, III e IV são verdadeiras.

14. Epcar/AFA – Um sistema termodinâmico constituído de n mols de um gás perfeito monoatômico desenvolve uma transformação cíclica ABCDA, representada no diagrama a seguir.



De acordo com o apresentado, pode-se afirmar que

- a) o trabalho em cada ciclo é de 800 J e é realizado pelo sistema.
- b) o sistema termodinâmico não pode representar o ciclo de uma máquina frigorífica, uma vez que ele está orientado no sentido anti-horário.
- c) a energia interna do sistema é máxima no ponto D e mínima no ponto B.
- d) em cada ciclo o sistema libera 800 J de calor para o meio ambiente.

15. Uefs – A primeira lei da termodinâmica para sistemas fechados foi originalmente comprovada pela observação empírica; no entanto, é hoje considerada como a definição de calor através da lei da conservação da energia e da definição de trabalho em termos de mudanças nos parâmetros externos de um sistema.

Com base nos conhecimentos sobre a termodinâmica, é correto afirmar:

- a) A energia interna de uma amostra de um gás ideal é função da pressão e da temperatura absoluta.
- b) Ao receber uma quantidade de calor Q igual a 48,0 J, um gás realiza um trabalho igual a 16,0 J, tendo uma variação da energia interna do sistema igual 64,0 J.
- c) Quando se fornece a um sistema certa quantidade de energia Q , essa energia pode ser usada apenas para o sistema realizar trabalho.
- d) Nos processos cíclicos, a energia interna não varia, pois volume, pressão e temperatura são iguais nos estados inicial e final.
- e) A energia interna, o trabalho realizado e a quantidade de calor recebida ou cedida independem do processo que leva o sistema do estado inicial A até um estado final B.

16. PUC-RS – Ondas sonoras se propagam longitudinalmente no interior dos gases a partir de sucessivas e rápidas compressões e expansões do fluido. No ar, esses processos podem ser considerados como transformações adiabáticas, principalmente pela rapidez com que ocorrem e também pela baixa condutividade térmica desse meio. Por aproximação, considerando-se que o ar se comporte como um gás ideal, a energia interna de uma determinada massa de ar sofrendo compressão adiabática _____; portanto, o _____ trocado com as vizinhanças da massa de ar seria responsável pela transferência de energia.

- a) diminuiria – calor
- b) diminuiria – trabalho
- c) não variaria – trabalho
- d) aumentaria – calor
- e) aumentaria – trabalho

17. Uern – Em um sistema termodinâmico, um gás ideal, ao receber 300 J do meio externo, realiza um trabalho de 200 J. É correto afirmar que

- a) a transformação é adiabática.
- b) a temperatura do sistema aumentou.
- c) o volume do gás permanece constante.
- d) a variação de energia interna é negativa.

ESTUDO PARA O ENEM

18. Uece

C6-H21

Do ponto de vista da primeira lei da termodinâmica, o balanço de energia de certo sistema é dado em termos de três grandezas:

- trabalho, calor e densidade.
- trabalho, calor e energia interna.
- calor, energia interna e volume.
- pressão, volume e temperatura.

19. Udesc

C6-H21

Analise as proposições com relação às leis da termodinâmica.

- A variação da energia interna de um sistema termodinâmico é igual à soma da energia na forma de calor fornecida ao sistema e do trabalho realizado sobre o sistema.
- Um sistema termodinâmico isolado e fechado aumenta continuamente sua energia interna.
- É impossível realizar um processo termodinâmico cujo único efeito seja a transferência de energia térmica de um sistema de menor temperatura para um sistema de maior temperatura.

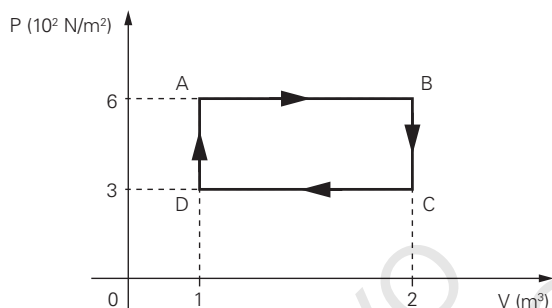
Assinale a alternativa **correta**.

- Somente as afirmativas I e II são verdadeiras.
- Somente as afirmativas II e III são verdadeiras.
- Somente as afirmativas I e III são verdadeiras.
- Somente a afirmativa II é verdadeira.
- Todas as afirmativas são verdadeiras.

20. UFJF-Pism

C6-H21

Em um experimento controlado em laboratório, certa quantidade de gás ideal realizou o ciclo ABCDA, representado na figura a seguir.



Nessas condições, analise as afirmativas, a seguir, como **verdadeiras (V)** ou **falsas (F)**.

- No percurso AB, o trabalho realizado pelo gás é igual a $6 \cdot 10^2$ J.
- No percurso BC, o trabalho realizado é nulo.
- No percurso CD, ocorre diminuição da energia interna.
- Ao completar cada ciclo, o trabalho líquido é nulo.
- Utilizando-se esse ciclo em uma máquina, de modo que o gás realize quatro ciclos por segundo, a potência dessa máquina será igual a $12 \cdot 10^2$ W.

Dê como resposta a soma dos números que precedem as afirmativas verdadeiras.

- 08
- 09
- 11
- 23
- 24

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO SISTEMA DE ENSINO DE ENEM

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

SHUTTERSTOCK / ABC7



FÍSICA 2B

CIÊNCIAS DA NATUREZA E SUAS TECNOLOGIAS

51

SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA

- Máquinas térmicas
- Rendimento de máquinas térmicas
- Ciclo de Carnot

HABILIDADES

- Diferenciar a primeira e a segunda leis da termodinâmica.
- Conhecer o funcionamento de máquinas térmicas e ser capaz de calcular seu trabalho.
- Conseguir apontar exemplos de máquinas térmicas e calcular seu rendimento.
- Reconhecer as transformações que ocorrem no ciclo de Carnot e calcular o rendimento máximo de uma máquina térmica.



Xícara de café.

Um exemplo prático da aplicação da segunda lei da termodinâmica é quando uma xícara de café quente entra em contato com a temperatura ambiente. Nessa situação, ela tende a esfriar, com sua temperatura igualando-se à externa; e o contrário não acontece, ou seja, o café não tende a esquentar mais. Com isso, conseguimos demonstrar com mais facilidade como a segunda lei da termodinâmica, de fato, apresenta um sentido de ação.

A segunda lei da termodinâmica se diferencia da primeira no sentido de que ela impõe que são necessárias certas condições para que algumas transformações possam ocorrer. De maneira mais clara: se considerarmos dois recipientes que contenham dois gases com temperaturas diferentes, quando eles entrarem em contato, só é possível que o de maior temperatura ceda calor para o de menor temperatura. O processo contrário só seria possível caso o de menor temperatura recebesse o auxílio de um agente externo.

Com isso, podemos concluir que a segunda lei da termodinâmica estabelece um sentido para que as transformações ocorram e que, em consequência, o calor não flui de modo espontâneo da substância de menor temperatura para a de maior temperatura.

Outras opções que podem servir para expressar a segunda lei da termodinâmica são:

- A entropia de um sistema termodinâmico fechado nunca é reduzida.
- No caso das máquinas térmicas que funcionam em ciclo, elas sempre transformam integralmente o calor em trabalho.

Máquinas térmicas

As máquinas térmicas operam em ciclos realizando a transformação de calor (energia térmica) em trabalho mecânico. Portanto, é necessário que elas apresentem duas fontes com diferentes temperaturas. Uma fonte de calor leva o sistema de um estado de baixa temperatura para um de maior temperatura. Basicamente, uma substância (gás ou vapor) transfere energia através de sua expansão dentro das máquinas térmicas, e assim aciona um sistema mecânico (pistão, motor), realizando trabalho. Nesse processo, há perda de calor para o meio.

As máquinas térmicas encontradas em nossa vida cotidiana são: locomotiva a vapor, hidrelétricas, geladeiras, usinas nucleares, entre outras.

SUBBOTINA/123RF



Usina nuclear de Angra dos Reis.

A equação que representa a conservação da energia de máquinas térmicas é dada por:

$$\tau = Q_q - Q_f$$

onde o trabalho é a diferença entre a energia recebida pela fonte quente (Q_q) e a energia que é transferida pela fonte fria (Q_f).

Rendimento da máquina térmica

O rendimento de uma máquina térmica é dado pela relação entre a energia útil (aproveitada) e a energia total (recebida), portanto, segue a seguinte expressão:

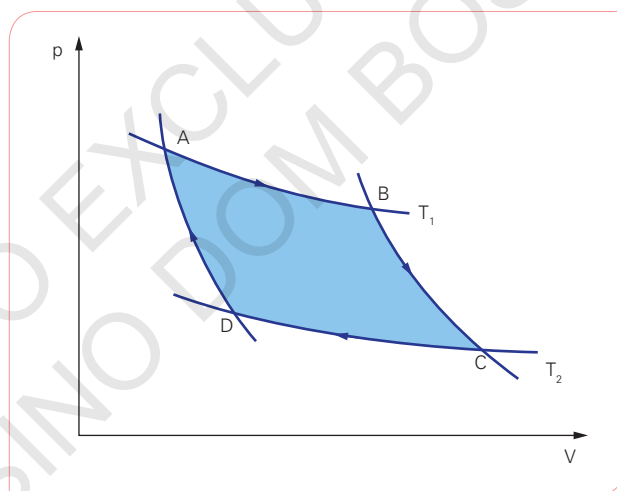
$$\eta = \frac{\tau}{Q_q} = \frac{Q_q - Q_f}{Q_q} = 1 - \frac{Q_f}{Q_q}$$

Sabendo-se que a fonte fria é menor que a fonte quente, os valores possíveis para o rendimento estarão dentro do intervalo de zero a um. Porém, para que o rendimento desse ciclo fosse de 100%, a razão entre as temperaturas $\frac{T_f}{T_q}$ das fontes fria e quente deveria

ser zero, algo fisicamente impossível. Assim, T_{fria} teria que valer 0 K, ou $T_{fria} \ll T_{quente}$.

Ciclo de Carnot

O ciclo de Carnot surgiu graças ao engenheiro francês Nicolas Léonard Sadi Carnot. Ele visava a um ciclo termodinâmico que tivesse máxima eficiência a partir de processos reversíveis. Isso está relacionado com a entropia de um sistema fechado, no qual, de acordo com a segunda lei da termodinâmica, ela nunca pode diminuir. Assim, ele propõe um ciclo formado por processos reversíveis, garantindo que a variação de entropia do sistema seja zero. Nesse ciclo, ocorrem dois tipos de transformação, sendo elas: isotérmicas e adiabáticas de modo alternado.



O diagrama indicado do ciclo de Carnot mostra que, nos intervalos AB (expansão isotérmica) e CD (compressão térmica), há transformações isotérmicas, enquanto, em BC (expansão adiabática) e DA (compressão adiabática), as transformações são adiabáticas. T_f é a temperatura da fonte fria e T_q , da fonte quente. Portanto, ele estabeleceu a seguinte expressão:

$$\frac{Q_f}{Q_q} = \frac{T_f}{T_q}$$

Temos que a quantidade de calor é diretamente proporcional à temperatura. Com isso, foi possível se estabelecer o rendimento máximo de uma máquina térmica.

$$\eta_{\text{máx}} = 1 - \frac{T_f}{T_q}$$

Como dito anteriormente, o rendimento nunca será de 100%, pois a temperatura da fonte fria nunca será zero. Pode-se concluir, então, que, no ciclo de Carnot, o rendimento só depende das temperaturas, e não da substância, e o trabalho é dado pela área compreendida entre as curvas.

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1. UFC-CE – A eficiência de uma máquina de Carnot que opera entre a fonte de temperatura alta (T_1) e a fonte de temperatura baixa (T_2) é dada pela expressão $\eta = 1 - (T_2/T_1)$, em que T_1 e T_2 são medidas na escala absoluta ou em kelvin. Suponha que você dispõe de uma máquina dessas com uma eficiência $\eta = 30\%$. Se você dobrar o valor da temperatura da fonte quente, a eficiência da máquina passará a ser igual a:

- a) 40%
- b) 45%
- c) 50%
- d) 60%
- e) 65%

Resolução

$$\eta = \frac{30}{100} = 0,3 = 1 - \frac{T_{\text{FONTE FRIA}}}{T_{\text{FONTE QUENTE}}}$$

$$\frac{T_{\text{FONTE FRIA}}}{T_{\text{FONTE QUENTE}}} = 0,7$$

$$T' = 2 \cdot T_{\text{FONTE FRIA}} = \frac{2 \cdot T_{\text{FONTE QUENTE}}}{0,7} = \frac{T_{\text{FONTE QUENTE}}}{0,35}$$

$$\eta' = 1 - \frac{T_{\text{FONTE FRIA}}}{T_{\text{FONTE QUENTE}}} = 1 - \frac{T_{\text{FONTE FRIA}}}{\frac{T_{\text{FONTE FRIA}}}{0,35}} = 1 - 0,35 = 0,65 = 65\%$$

2. UFV-MG – De acordo com a segunda lei da termodinâmica, a entropia do Universo:

- a) não pode ser criada nem destruída.
- b) acabará transformada em energia.
- c) tende a aumentar com o tempo.
- d) tende a diminuir com o tempo.
- e) permanece sempre constante.

Resolução

Pela conceituação da segunda lei da termodinâmica, indica-se que a entropia do Universo tende a aumentar com o tempo, descartando-se as demais alternativas, que contrariam essa lei em sua essência.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO
SISTEMA DE ENSINO DOMINOSCO

ROTEIRO DE AULA

SEGUNDA LEI DA
TERMODINÂMICA

Máquinas térmicas

$$\tau = Q_q - Q_f$$

Rendimento

$$\eta = 1 - \frac{Q_f}{Q_q}$$

Ciclo de Carnot

Transformação adiabática

Transformação isotérmica

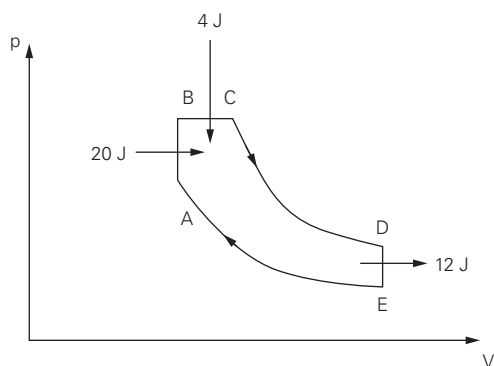
Rendimento

$$\eta_{\text{máx}} = 1 - \frac{T_f}{T_q}$$

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOMBOSCO

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. UPE-SSA (adaptado)



A figura ilustra os diversos processos termodinâmicos a que um gás é submetido em uma máquina térmica. Os processos AB e DE são isocóricos, EA e CD são adiabáticos, e o processo BC é isobárico. Sabendo que a substância de trabalho dessa máquina é um gás ideal, determine sua eficiência.

Pela primeira lei da termodinâmica, e considerando que o ciclo é fechado e, portanto, a variação de energia interna é zero, temos:

$$\mathcal{E} + \Delta U = Q$$

$$\mathcal{E} = Q$$

Assim, a diferença entre as energias fornecidas nas fontes quente e fria será o trabalho aproveitado:

$$20 + 4 - 12 = 12 \text{ J}$$

e

$$\eta = \frac{12}{20+4} = 0,5$$

$$\eta = 50\%$$

2. IME – Considere as afirmações a seguir, relativas a uma máquina térmica que executa um ciclo termodinâmico durante o qual há realização de trabalho.

I. Se as temperaturas das fontes forem 27°C e 427°C , a máquina térmica poderá apresentar um rendimento de 40%.

II. Se o rendimento da máquina for 40% do rendimento ideal para temperaturas das fontes iguais a 27°C e 327°C , e se o calor rejeitado pela máquina for 0,8 kJ, o trabalho realizado será 1,8 kJ.

III. Se a temperatura de uma das fontes for 727°C e se a razão entre o calor rejeitado pela máquina e o calor recebido for 0,4, a outra fonte apresentará uma temperatura de -23°C , no caso de o rendimento da máquina ser 80% do rendimento ideal.

Está(ão) correta(s) a(s) seguinte(s) afirmação(ões):

- apenas.
- I e II, apenas.
- II e III, apenas.
- I e III, apenas.**
- III, apenas.

[I] Correta.

$$\eta_{\text{máx}} = 1 - \frac{27+273}{427+273} \cong 57\%$$

Sendo 57% o rendimento esperado para um ciclo de Carnot, referente ao máximo rendimento correspondente a essa máquina térmica, ela poderá apresentar um rendimento real de 40%.

[III] Incorreta.

$$\eta_{\text{máx}} = 1 - \frac{27+273}{327+273} \cong 50\%$$

$$\eta = 1 - \frac{Q_F}{Q_Q} \Rightarrow 0,4 \cdot 0,5 = 1 - \frac{0,8}{Q_Q} \Rightarrow Q_Q = 1 \text{ kJ}$$

$$\mathcal{E} = Q_Q - Q_F = 1 - 0,8$$

$$\mathcal{E} = 0,2 \text{ kJ}$$

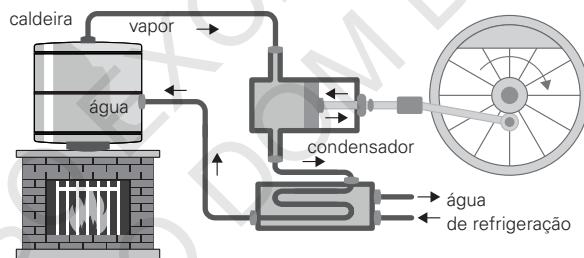
[III] Correta.

$$\eta = 0,8 \cdot \eta_{\text{máx}}$$

$$1 - \frac{Q_F}{Q_Q} = 0,8 \cdot \left(1 - \frac{T_F}{T_Q}\right)$$

$$1 - 0,4 = 0,8 \cdot \left(1 - \frac{T_F}{727+273}\right) \Rightarrow T_F = 250 \text{ K} = -23^\circ\text{C}$$

3. Unesp – A figura mostra uma máquina térmica em que a caldeira funciona como a fonte quente e o condensador, como a fonte fria.



a) Considerando que, a cada minuto, a caldeira fornece, por meio do vapor, uma quantidade de calor igual a $1,6 \cdot 10^9 \text{ J}$ e que o condensador recebe uma quantidade de calor igual a $1,2 \cdot 10^9 \text{ J}$, calcule o rendimento dessa máquina térmica.

b) Considerando que $6,0 \cdot 10^3 \text{ kg}$ de água de refrigeração fluem pelo condensador a cada minuto, que essa água sai do condensador com temperatura 20°C acima da temperatura de entrada e que o calor específico da água é igual a $4,0 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$, calcule a razão entre a quantidade de calor retirada pela água de refrigeração e a quantidade de calor recebida pelo condensador.

a) Calculando-se o rendimento:

$$\eta = \frac{Q_Q - Q_F}{Q_Q} = \frac{1,6 \cdot 10^9 - 1,2 \cdot 10^9}{1,6 \cdot 10^9} = 0,25 = 25\%$$

b)

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta = 6 \cdot 10^3 \cdot 4 \cdot 10^3 \cdot 20 = 4,8 \cdot 10^8 \text{ J}$$

Assim:

$$\frac{Q}{Q_F} = \frac{4,8 \cdot 10^8}{1,2 \cdot 10^9} = 0,4$$

4. UEPG – Uma máquina térmica ideal opera de acordo com o ciclo de Carnot, realizando um ciclo a cada 2 segundos, e possui uma eficiência de 20%. Ela recebe 1000 cal de uma fonte de calor a uma temperatura de 127°C , realiza trabalho e rejeita calor para uma fonte fria. Em relação ao enunciado, assinale o que for correto.

01) A eficiência da máquina térmica operando no ciclo de Carnot é inversamente proporcional à diferença de temperatura entre as fontes quente e fria.

- 02) A quantidade de calor rejeitada para a fonte fria é 800 cal.
- 04) A potência da máquina térmica é 400 W.
- 08) O trabalho realizado pela máquina térmica a cada ciclo é 400 J.
- 16) A temperatura da fonte fria é 47 °C.

22 (02 + 04 + 16)

[1] Incorreta.

$$\eta = 1 - \frac{T_{\text{fria}}}{T_{\text{quente}}}$$

[2] Correta.

$$\eta = 1 - \frac{Q_{\text{fria}}}{Q_{\text{quente}}} \Rightarrow 0,2 = 1 - \frac{Q_{\text{fria}}}{1000} \Rightarrow \frac{Q_{\text{fria}}}{1000} = 0,8 \therefore Q_{\text{fria}} = 800 \text{ cal}$$

[4] Correta.

$$\eta = \frac{\tau}{Q_o} = 0,2 \cdot \frac{\tau}{1000 \cdot 4} = 800 \text{ J}$$

Calculando-se a potência:

$$P = \frac{\tau}{\Delta t} = 400 \text{ W}$$

[8] Incorreta.

$$\mathcal{E} = 800 \text{ J}$$

[16] Correta.

$$\eta = 1 - \frac{T_{\text{fria}}}{T_{\text{quente}}} \Rightarrow 0,2 = 1 - \frac{T_{\text{fria}}}{127 + 273} \Rightarrow \frac{T_{\text{fria}}}{400} = 0,8 \therefore T_{\text{fria}} = 320 \text{ K} = 47 \text{ °C}$$

5. UEM-PAS – Sobre os conceitos físico-químicos aplicados aos princípios da termodinâmica, assinale o que for correto.

- 01) Admitindo-se que o Universo seja um sistema isolado, sua entropia sempre diminui.
- 02) De acordo com a 2ª lei da termodinâmica, as máquinas térmicas que operam segundo o ciclo de Carnot são máquinas que atingem um rendimento de 100% na conversão de trabalho em calor.
- 04) Um chuveiro elétrico é considerado uma máquina térmica, pois converte trabalho em calor.
- 08) Reações exotérmicas como as combustões podem ser utilizadas para pôr em funcionamento uma máquina térmica até que um dos reagentes (combustível ou oxigênio) se esgote.
- 16) Todos os tipos de combustão liberam a mesma quantidade de energia, ou seja, possuem a mesma entalpia de combustão, e esse fato se explica pela lei de Hess.

8 (08)

[1] Incorreta. A entropia aumenta, pois as transformações que ocorrem no Universo são, em sua maioria, irreversíveis.

[2] Incorreta. Segundo essa lei, as máquinas que operam de acordo com o ciclo de Carnot atingem rendimento equivalente ao máximo, mas na natureza nenhum rendimento máximo atinge, em sua totalidade, 100%.

[4] Incorreta. O chuveiro converte energia elétrica em calor, e não trabalho mecânico em calor.

[8] Correta. As reações exotérmicas podem ser, sim, geradoras de calor para o funcionamento de uma máquina térmica.

[16] Incorreta. As substâncias que participam das combustões possuem diferentes poderes caloríficos.

6. UEM-PAS

C6-H21

Em um ciclo de 5 segundos, o vapor fornece 8 000 kcal ao cilindro de uma máquina a vapor. Nessa máquina, o que é rejeitado para a atmosfera no mesmo tempo corresponde a 6 000 kcal.

Considerando 1 cal = 4 J, assinale o que for **correto**.

- 01) A razão entre a quantidade de calor fornecida pela fonte quente e a quantidade de calor rejeitada para a fonte fria é 4.
- 02) O trabalho útil (por ciclo) dessa máquina é 2 000 kJ.
- 04) A potência dessa máquina é 1 600 kW.
- 08) O rendimento dessa máquina é de 20%.
- 16) Se essa máquina realiza o ciclo de Carnot, então a razão entre a quantidade de calor fornecida pela fonte quente e rejeitada para a fonte fria é igual à razão entre as temperaturas absolutas da fonte quente e da fonte fria, respectivamente.

20 (04 + 16)

[1] Incorreta.

$$\frac{Q_o}{Q_f} = \frac{8\,000}{6\,000} = \frac{4}{3}$$

[2] Incorreta.

$$\mathcal{E} = Q_o - Q_f = 2\,000 \text{ K cal} = 8\,000 \text{ kJ}$$

[4] Correta.

$$P = \frac{8\,000}{5} = 1\,600 \text{ kW}$$

[8] Incorreta.

$$\eta = \frac{2\,000}{8\,000} = 0,25 = 25\%$$

[16] Correta.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

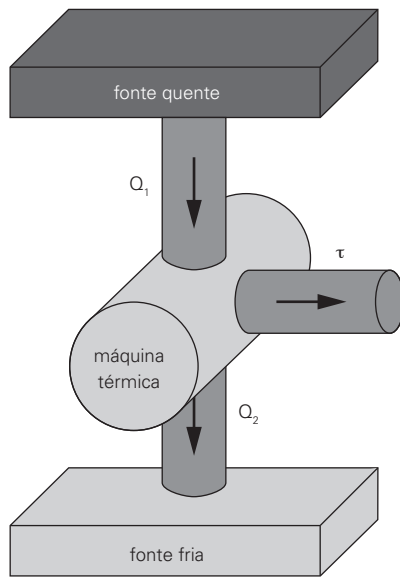
EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. UEMG (adaptado) – Uma máquina térmica que opera segundo o ciclo de Carnot executa 10 ciclos por segundo. Sabe-se que, em cada ciclo, ela retira 800 J da fonte quente e cede 400 J para a fonte fria. Se a temperatura da fonte fria é igual a 27 °C o rendimento dessa máquina e a temperatura da fonte quente valem, respectivamente, quanto?

8. UEPG (adaptado) – Uma máquina térmica funciona segundo o ciclo de Carnot. Em cada ciclo, ela realiza certa quantidade de trabalho útil. A máquina possui um

rendimento de 25% e são retirados, por ciclo, 4 000 J de calor da fonte quente, que está a uma temperatura de 227 °C. Calcule a temperatura da fonte fria.

9. Famerp – A figura representa o diagrama de fluxo de energia de uma máquina térmica que, trabalhando em ciclos, retira calor Q_1 de uma fonte quente. Parte dessa quantidade de calor é transformada em trabalho mecânico (τ) e a outra parte, Q_2 , transfere-se para uma fonte fria. A cada ciclo da máquina, Q_1 e Q_2 , são iguais, em módulo, respectivamente, a $4 \cdot 10^3$ J e $2,8 \cdot 10^3$ J.



Sabendo que essa máquina executa 3000 ciclos por minuto, calcule:

- o rendimento dessa máquina.
- a potência, em watts, com que essa máquina opera.

10. PUC-RS (adaptado) – Em uma máquina térmica ideal que opere em ciclos, todos os processos termodinâmicos, além de reversíveis, não apresentariam dissipação de energia causada por possíveis efeitos dos atritos internos nos mecanismos ou turbulências no fluido operador da máquina. O ciclo de Carnot é um bom exemplo de processo termodinâmico idealizado, que apresentaria a maior eficiência possível na transformação de calor em trabalho útil.

Para essa situação, faça uma análise e complemente a afirmativa a seguir, preenchendo suas lacunas de modo correto:

A eficiência para uma máquina de Carnot operando entre as temperaturas absolutas de 300 K e 900 K seria de aproximadamente _____, e a entropia do sistema ficaria _____ durante o processo.

- 11. Udesc** – Uma máquina a vapor foi projetada para operar entre duas fontes térmicas, a fonte quente e a fonte fria, e para trabalhar segundo o ciclo de Carnot. Sabe-se que a temperatura da fonte quente é de 127 °C e que a máquina retira, a cada ciclo, 600 J dessa fonte, alcançando um rendimento máximo igual a 0,25. O trabalho realizado pela máquina, por ciclo, e a temperatura da fonte fria são, respectivamente:
- 240 J e 95 °C
 - 150 J e 27 °C
 - 15 J e 95 °C
 - 90 J e 27 °C
 - 24 J e 0 °C

12. Imed – Uma máquina térmica ideal opera em um ciclo termodinâmico diferente do ciclo de Carnot. Se essa máquina térmica operar entre as temperaturas de 27 °C e 477 °C, fornecendo trabalho através do calor gerado na fonte quente, sua eficiência será:

- Menor do que se a máquina operasse com base no ciclo de Carnot.
- De 60%.
- A porcentagem do calor que chega à fonte fria.
- De 60%.
- A razão entre os calores das fontes fria e quente.

13. UEM – Considerando os princípios da termodinâmica e os conceitos de máquinas térmicas, assinale a(s) alternativa(s) **correta(s)**.

- Uma pessoa coloca um pêndulo para oscilar e não mais toca nele. Com o passar do tempo, a altura máxima do pêndulo vai diminuindo. Consequentemente, a energia interna do sistema aumenta, pois o pêndulo absorve a energia cinética perdida.
- Dois corpos possuem temperaturas diferentes. Se colocarmos esses dois corpos em contato, normalmente, de forma espontânea, a energia térmica do mais quente passará ao mais frio até que ocorra o equilíbrio térmico. Porém, existem situações em que o único efeito é o trânsito espontâneo da energia térmica de um corpo mais frio para outro mais quente.
- No Brasil, a maioria dos carros, movidos a álcool ou a gasolina, utilizam motores de combustão interna de quatro tempos, de acordo com o ciclo de Otto. Nesse tipo de sistema, a energia é fornecida na forma de calor por meio da queima do combustível.
- Uma geladeira recebe trabalho (por meio da energia elétrica proveniente da rede elétrica) e usa de modo a retirar energia sob a forma de calor de seu interior, transferindo-a por condução para o exterior.
- O ciclo de Carnot consiste em duas transformações adiabáticas e duas transformações isotérmicas, irreversíveis. Uma máquina térmica construída utilizando esse ciclo apresenta um menor rendimento quando comparada com uma que trabalha utilizando o ciclo de Otto.

14. UFSM (adaptado) – Uma das maneiras de se obter sal de cozinha é sua extração a partir de sítios subterrâneos. Para a realização de muitas das tarefas de mineração, são utilizadas máquinas térmicas, que podem funcionar, por exemplo, como motores para locomotivas, bombas de água e ar e refrigeradores. A respeito das propriedades termodinâmicas das máquinas térmicas, qual das alternativas é **INCORRETA**?

- O rendimento de uma máquina térmica funcionando como motor será máximo quando a maior parte da energia retirada da fonte quente for rejeitada, transferindo-se para a fonte fria.
- Uma máquina térmica funcionando como refrigerador transfere energia de uma fonte fria para uma fonte quente mediante realização de trabalho.
- Máquinas térmicas necessitam de duas fontes térmicas com temperaturas diferentes para operar.
- Dentre as consequências da segunda lei da termodinâmica, está a impossibilidade de se construir uma máquina térmica com rendimento de 100%.
- Todas as etapas de uma máquina térmica operando no ciclo de Carnot são reversíveis.

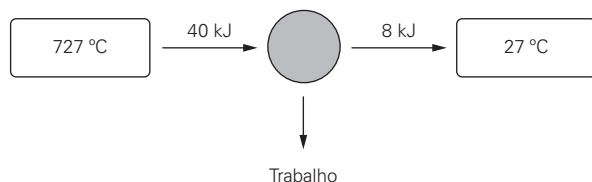
15. UPE-SSA 2

As máquinas térmicas são capazes de converter calor em trabalho. Elas funcionam em ciclos e utilizam duas fontes de temperaturas diferentes: uma quente, de onde recebe

calor, e uma fria, para onde o calor rejeitado é direcionado. A respeito das máquinas térmicas, é importante saber que elas não transformam todo o calor em trabalho, ou seja, o rendimento de uma máquina térmica é sempre inferior a 100 %.

Disponível em: <<http://www.infoescola.com/fisica/maquina-termica/>>. Acesso em: 15 jul. 2016. (Adaptado)

Um esquema de máquina térmica eficiente é mostrado na figura a seguir:



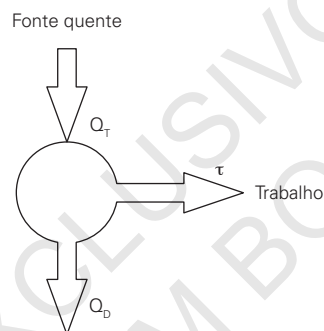
No que diz respeito à máquina representada, assinale a alternativa CORRETA.

- Ela é ideal.
- Pode funcionar como esquematizada, uma vez que não viola as leis da termodinâmica.
- Só pode funcionar entre essas temperaturas se o calor rejeitado for igual a 12 kJ.
- Trabalha abaixo da eficiência de Carnot.
- Não pode funcionar da forma esquematizada.

16. PUC-SP – Um motor de potência 2,5 cv absorve 925 cal/s de uma fonte térmica quente, cuja temperatura é de 927 °C. Sendo a temperatura da fonte fria de 80,6 °F determine a razão entre o rendimento de um motor de Carnot que operasse entre essas mesmas fontes térmicas e o rendimento do referido motor.

- 0,75
- 1,00
- 1,50
- 2,00

17. PUCCamp – A utilização das máquinas térmicas em larga escala, mesmo com seu baixo rendimento, contribuiu decisivamente para a Primeira Revolução Industrial. Simplificadamente, uma máquina térmica é um dispositivo que retira calor de uma fonte quente, utiliza parte desse calor para realizar trabalho e direciona o calor restante para uma fonte fria.



Suponha que uma máquina térmica de rendimento 8,0 % envie uma quantidade de calor igual a $4,6 \cdot 10^6$ J para a fonte fria em certo intervalo de tempo. O trabalho realizado por essa máquina nesse intervalo de tempo é

- $4,0 \cdot 10^3$ J
- $4,0 \cdot 10^5$ J
- $3,7 \cdot 10^5$ J
- $1,2 \cdot 10^5$ J
- $3,7 \cdot 10^7$ J

ESTUDO PARA O ENEM

18. Fepar

C6-H21

A grande novidade do mercado de carros compactos é o uso de motor de 3 cilindros.

Desde o primeiro motor a gasolina fabricado em 1885 por Gottlieb Daimler, engenheiros do mundo inteiro vêm buscando alternativas para melhorar sua eficiência, ou seja, torná-lo mais econômico, mais potente, com maior torque e menos poluente.

“Os atuais motores de três cilindros, como o usado no Up, lançado pela Volkswagen, são mais uma etapa deste infundável processo em busca da ‘eficiência energética.’”

Fatores que tornam o motor de 3 cilindros mais econômico:

- Em média, 20% da potência gerada por um motor é utilizada para vencer os atritos. De cara, o motor com um cilindro a menos já economiza 15% dessa conta, ou seja, permite aproveitar mais a potência para movimentar o carro propriamente.
- O tamanho do bloco do motor diminui com um cilindro a menos. Dependendo do modelo, pode chegar a 30 kg a menos de massa total.
- Com um cilindro a menos, tem-se menor geração de calor, o que implica menos energia dissipada.

Com base no texto e em conceitos de termodinâmica, julgue as afirmativas que se seguem.

- A redução de energia dissipada no motor de 3 cilindros aumenta a eficiência dele, mas não altera o trabalho realizado na transformação de energia térmica em mecânica, em razão da baixa potência desses motores.
- A redução de massa, pela existência de um cilindro a menos, implica um trabalho mecânico menor para se atingir uma mesma velocidade de um carro com 4 cilindros e massa maior.
- Um motor de 4 cilindros com potência superior e rendimento inferior ao de 3 cilindros realiza menos trabalho com a mesma quantidade de combustível, porém mais rapidamente.
- Para que um motor de 3 cilindros consiga converter calor em trabalho, deve operar em ciclos entre fontes à mesma temperatura.
- Os avanços obtidos na fabricação dos motores de 3 cilindros comprovam a possibilidade de construir uma máquina de moto-perpétuo, desde que as novas tecnologias reduzam as perdas, igualando a entropia a zero.

19. UFPR

C6-H21

Uma máquina térmica teórica ideal teve um dimensionamento tal que, a cada ciclo, ela realizaria trabalho de 50 cal e cederia 150 cal para a fonte fria. A temperatura prevista para a fonte quente seria de 127 °C. Determine:

- a) O rendimento dessa máquina térmica.
- b) A temperatura prevista para a fonte fria, em graus Celsius.

20. Esc. Naval

C6-H21

Uma máquina de Carnot tem rendimento médio diurno $\eta_0 = 0,6$. No período noturno, as fontes quente e fria

têm suas temperaturas reduzidas para a metade e para 3/4 da temperatura média diurna, respectivamente.

Se o rendimento noturno é η_1 , qual a variação percentual,

$\frac{\eta_1 - \eta_0}{\eta_0} \cdot 100\%$, do rendimento dessa máquina

de Carnot?

- a) - 16,7%
- b) - 25,0%
- c) - 33,3%
- d) - 41,7%
- e) - 50,0%

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

TERCEIRA LEI DA TERMODINÂMICA

52

- Terceira lei da termodinâmica
- Entropia

HABILIDADES

- Compreender a terceira lei da termodinâmica.
- Conceituar entropia e saber como calculá-la.



PIXTAVAN/ISTOCK

Cristal se despedaçando e aumentando a entropia do sistema.

A terceira lei raramente é aplicável ao nosso dia a dia e governa a dinâmica dos objetos nas temperaturas mais baixas conhecidas. Ela define o que é chamado de “cristal perfeito”, cujos átomos estão presos a suas posições. O cristal perfeito, portanto, não possui absolutamente nenhuma entropia, que só é alcançável na temperatura absoluta.

A terceira lei da termodinâmica foi estabelecida por Walther Nernst e está relacionada à entropia e à temperatura de um sistema. Ela foi idealizada para que a entropia seja um valor mínimo, ou até mesmo zero.

Quando a temperatura de um sistema se aproxima do zero absoluto, todos seus processos físicos internos são zerados. Desse modo, sua entropia irá atingir o valor zero, ou mínimo possível, e será constante, ou seja, a entropia na temperatura zero absoluto será uma constante bem definida.

Entropia

A entropia é a grandeza termodinâmica responsável por mensurar o grau em que o estado de um sistema pode ser irreversível, sendo também associada a uma desordem do sistema termodinâmico.

Assim, a entropia mede a desordem das partículas presentes em um sistema físico e é representada por S . Está intimamente ligada à quantidade de calor (Q) e à temperatura (T) do sistema por:

$$\Delta S = \frac{Q}{T}$$

Com isso, temos as seguintes proposições:

- A entropia aumenta com o aumento da quantidade de calor ($Q > 0$), ou seja, quando o sistema recebe calor.
- A entropia diminui com a diminuição da quantidade de calor ($Q < 0$), ou seja, quando o sistema cede calor.
- Quando não ocorre troca de calor, a entropia do sistema é constante.

EXERCÍCIO RESOLVIDO

Esc. Naval – As turbinas a vapor da propulsão nuclear de um submarino possuem um rendimento de 15% e são capazes de produzir uma potência mecânica constante de 40 MW nos eixos rotativos. Se essa potência é entregue em 3 minutos, observa-se que a variação de entropia do sistema vapor-turbinas é $(1/12)$ GJ/K. A temperatura, em °C, do vapor superaquecido produzido pelo reator nuclear vale, aproximadamente

- a) 327
- b) 303**
- c) 247
- d) 207
- e) 177

Resolução

Calculando a potência total:

$$P_U = 15\% \cdot P_T \rightarrow P_T = \frac{40 \cdot 10^6}{15 \cdot 10^{-2}}$$

$$P_T = \frac{0,8}{3} \text{ GW}$$

A quantidade de calor gerada no processo é:

$$Q = P_T \cdot \Delta T = 48 \text{ GJ}$$

Aplicando a definição de entropia:

$$\Delta S = \frac{Q}{T} \rightarrow T = \frac{48}{\frac{1}{12}} = 303 \text{ °C}$$

**TERCEIRA LEI DA
TERMODINÂMICA**

Entropia

$$\Delta S = \frac{Q}{T}$$

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. UEL – Uma gota de álcool de 10 g, à temperatura de 70 °C, cai em um reservatório com 1 000 litros de água a 33 °C.

Dados: Calor específico da água: 1,0 cal/g°C.

Calor específico do álcool: 0,6 cal/g°C.

Massa específica da água: 1 000 kg/m³.

a) Calcule a quantidade de calor transferida para a água.

b) Calcule a variação de entropia do reservatório de água. Sabendo que $\Delta S \geq 0$, o que se pode concluir da entropia da gota de álcool?

Apresente os cálculos.

Nota: é muito estranho 1 gota ter massa de 10 gramas. Não se pretende discutir, aqui, o conceito de gota, mas, para a água, se aceita como padrão 20 gotas terem massa de 1 grama.

a) Como a massa de água é muito maior que a massa de álcool, a temperatura de equilíbrio é 33 °C. Então, a quantidade de calor perdida pela gota é:

$$Q_{\text{água}} + Q_{\text{gota}} = 0 \rightarrow Q_{\text{água}} = -Q_{\text{gota}} = -m_{\text{gota}} \cdot c_{\text{álcool}} \cdot \Delta\theta_{\text{gota}}$$

$$Q_{\text{água}} = -10 \cdot 0,6 \cdot (33 - 70) = 222 \text{ cal}$$

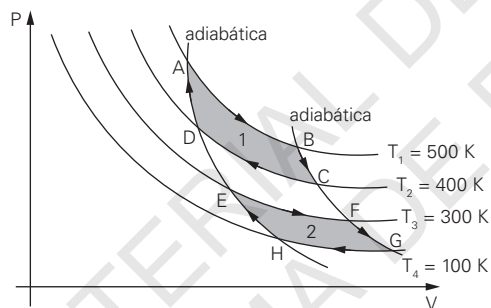
b) Como a transformação é irreversível, a variação da entropia do sistema é positiva, $\Delta S > 0$:

$$\Delta S_{\text{água}} + \Delta S_{\text{álcool}} > 0 \rightarrow \Delta S_{\text{álcool}} > -\frac{Q}{T_{\text{água}}}$$

$$\Delta S_{\text{álcool}} > -0,725$$

Isso significa que o álcool, como microsistema, pode ter uma variação de entropia negativa. Isso indicaria que suas moléculas tenderiam a ficar mais organizadas em suas configurações.

2. Epcar-AFA – Considere um gás ideal que pode ser submetido a duas transformações cíclicas reversíveis e não simultâneas, 1 e 2, como mostrado no diagrama PV a seguir.



Na transformação 1, o gás recebe uma quantidade de calor Q_1 para a fonte fria à temperatura T_2 . Já na transformação 2, as quantidades de calor recebida, Q'_1 , e cedida, Q'_2 , são trocadas respectivamente com duas fontes nas temperaturas T_3 e T_4 .

Nessas condições, é correto afirmar que

a) a variação da entropia nas transformações BC, DA, FG e HE é não nula.

b) nas transformações AB e EF, a variação da entropia é negativa, enquanto, nas transformações CD e GH, é positiva.

c) na transformação 1, a variação da entropia é não nula e $Q_1 = \frac{5}{4} \cdot Q_2$.

d) na transformação 2, a variação da entropia é nula e $Q'_1 = 3 \cdot Q'_2$.

a) Está incorreta, pois a variação da entropia nas transformações BC, DA, FG e HE é nula por serem adiabáticas.

b) Está incorreta, pelo fato de as transformações AB e EF receberem calor da fonte quente. Já em relação às transformações CD e GH, temos a situação inversa, havendo rejeito de calor.

c) Está incorreta, pois, no ciclo, a variação da entropia é nula.

d) Está correta, pois, no ciclo, a variação da entropia é nula e a relação entre as temperaturas das fontes quente e fria e seus calores no ciclo de Carnot é dada por:

$$\frac{Q'_1}{Q'_2} = \frac{T_3}{T_4} \rightarrow Q'_1 = 3 \cdot Q'_2$$

3. Esc. Naval – Analise as afirmativas a seguir referentes à entropia.

I. Em um dia úmido, o vapor d'água se condensa sobre uma superfície fria. Na condensação, a entropia da água diminui.

II. Em um processo adiabático reversível, a entropia do sistema se mantém constante.

III. A entropia de um sistema nunca pode diminuir.

IV. A entropia do Universo nunca pode diminuir.

Assinale a opção que contém apenas afirmativas corretas.

a) I e II

b) II e III

c) III e IV

d) I, II e III

e) I, II e IV

I) Correta. Se um sistema perde energia, como no caso da condensação, passamos de um sistema gasoso para um líquido, ou seja, de um sistema mais energético para um menos energético. Essa mudança de fase deixa o sistema mais organizado e, portanto, a variação de entropia é negativa.

II) Correta. Em um processo adiabático, não há trocas de calor, e com isso sua variação de entropia é nula.

III) Incorreta. A entropia de um sistema pode diminuir, bastando partir de um sistema mais desorganizado para um mais organizado (ex.: congelamento de água). A entropia do Universo (sistema mais ambiente externo) é que não pode diminuir nunca. Nesse caso, a entropia sempre aumenta.

IV) Correta. A entropia do Universo sempre aumenta, sendo a tendência natural de tudo ocorrer passando de um sistema organizado para o mais desorganizado.

4. UFSC – As máquinas a vapor foram um dos motores da Revolução Industrial, que se iniciou na Inglaterra no século XVIII e que produziu impactos profundos, em nível mundial, nos meios produtivos, na economia e no modo de vida da sociedade. O estudo dessas máquinas, em particular de seu rendimento, deu sustentação à formulação da segunda lei da termodinâmica, enunciada por diversos cientistas, de formas praticamente equivalentes, no século XIX.

Com base na segunda lei da termodinâmica, assinale a(s) proposição(ões) CORRETA(S).

01) A maioria dos processos naturais é reversível.

02) A energia tende a se transformar em formas menos úteis para gerar trabalho.

04) As máquinas térmicas que operam no ciclo de Carnot podem obter rendimento de 100%.

08) A expressão "morte do calor do Universo" refere-se a um suposto estado em que as reservas de carvão, de gás e de petróleo teriam se esgotado.

- 16) O calor não transita naturalmente dos corpos com temperatura menor para os corpos com temperatura maior.
- 32) O princípio de funcionamento de uma geladeira viola a segunda lei da termodinâmica.
- 64) A entropia de um sistema isolado tende sempre a aumentar.

82 (02 + 16 + 64)

Justificando as incorretas:

1. As transformações reversíveis são transformações ideais e, portanto, raras; elas devem ocorrer em um sistema em equilíbrio termodinâmico, o que compreende:

- equilíbrio mecânico: as forças devem estar equilibradas, tanto as interiores como as trocadas com o meio;

- equilíbrio térmico: todas as partes do sistema devem estar à mesma temperatura, igual à temperatura do meio;

- equilíbrio químico: não há modificação espontânea em sua estrutura interna.

4. Isso violaria a segunda lei da termodinâmica, que afirma ser impossível uma máquina térmica operando em ciclos transformar integralmente calor em trabalho.

8. A morte térmica, ou morte do calor do Universo, é um possível estado final do Universo, no qual ele "cairia" em um estado de nenhuma energia livre para sustentar movimento ou vida.

32. Caso ela fosse violada, deixaria de ser uma lei.

5. **UPF** – São várias as reportagens veiculadas na mídia que mostram pessoas tentando construir um motor que não necessita de fornecimento contínuo de energia externa para funcionar, o que se denomina de "moto-perpétuo". Essas máquinas têm como objetivo gerar energia para manter seu próprio movimento, bastando dar um impulso inicial, e o movimento se dará de forma perpétua.

Se essa máquina funcionasse, necessariamente se estaria violando a

- a) Lei da conservação de energia.
b) Primeira lei de Newton.

- c) Lei da conservação de quantidade de movimento.
d) Lei da gravitação universal.
e) Equação geral dos gases.

Os chamados moto-contínuos ou moto-perpétuos são mecanismos ou máquinas hipotéticas que são impossíveis de serem construídas, pois violam as leis da termodinâmica e a lei da conservação de energia. Tais mecanismos fictícios prometem gerar mais energia do que gastam ou, ainda, ter um rendimento de 100% por eliminar o atrito. Sabe-se que é impossível eliminar por completo a energia dissipada pelo atrito, assim, fisicamente é impossível existir tal equipamento.

6. Enem

C5-H17

Até 1824, acreditava-se que as máquinas térmicas, cujos exemplos são as máquinas a vapor e os atuais motores a combustão, poderiam ter um funcionamento ideal. Sadi Carnot demonstrou a impossibilidade de uma máquina térmica, funcionando em ciclos entre duas fontes térmicas (uma quente e outra fria), obter 100% de rendimento.

Tal limitação ocorre porque essas máquinas

- a) realizam trabalho mecânico.
b) produzem aumento da entropia.
c) utilizam transformações adiabáticas.
d) contrariam a lei da conservação de energia.
e) funcionam com temperatura igual à da fonte quente.

Como se sabe, as transformações ocorridas nas máquinas térmicas a vapor são irreversíveis, produzindo aumento da entropia.

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. **UEMG** – Ao conceber um ser cujas faculdades são tão aguçadas que ele consegue acompanhar cada molécula em seu curso, esse ser, cujos atributos são ainda essencialmente tão finitos quanto os nossos, seria capaz de fazer o que atualmente nos é impossível fazer. Consideramos que as moléculas em um recipiente cheio de ar, a uma temperatura uniforme, movem-se com velocidades que não são de modo algum uniformes. Suponhamos agora que tal recipiente é separado em duas porções, A e B, por meio de uma divisória na qual há um pequeno orifício, e que um ser, que pode ver as moléculas individuais, abre e fecha esse orifício, de forma a permitir que somente as moléculas mais rápidas passem de A para B e somente as mais lentas passem de B para A. Ele irá, portanto, sem nenhum trabalho, elevar a temperatura de B e baixar a de A contradizendo a 2ª lei da termodinâmica.

Fonte: <<https://www.scienciaplena.org.br/sp/article/download/635/296>>. Acesso em: mar. 2019. (Adaptado)

O enunciado refere-se ao experimento mental intitulado

- a) Gato de Schrödinger.
b) Matéria e energia escuras.
c) Demônio de Maxwell.
d) Paradoxo de Olbers.

8. **Uece** – Considere duas garrafas idênticas, uma contendo 1 kg de leite e outra contendo 1 kg de água,

ambas inicialmente a 15 °C e expostas à temperatura ambiente de 21 °C. A capacidade térmica do leite integral é, aproximadamente, 3,93 kJ/(K · kg) e a da água é 4,19 kJ/(K · kg). Considere que a condutividade e a emissividade térmica sejam as mesmas para os dois líquidos. Com base nessas informações, é correto afirmar que, ao atingir o equilíbrio térmico com o ambiente,

- a) o leite tem calor específico superior ao da água.
b) o leite atinge a temperatura ambiente antes da água.
c) a água passa por uma transição de fase antes de atingir a temperatura ambiente.
d) o leite tem mais energia térmica armazenada que a água.

9. **PUC-RS** – Leia o texto e as afirmativas que seguem.

As principais partes de um refrigerador doméstico são o congelador, o condensador e o compressor, e essas duas últimas peças estão localizadas na parte externa do aparelho. O funcionamento do refrigerador depende da circulação de um fluido refrigerante impulsionado pelo compressor. Durante o ciclo termodinâmico, o fluido sofre transformações nas variáveis estado, pressão e temperatura, o que determina o resfriamento no interior do aparelho, levando para fora a energia oriunda dos alimentos refrigerados.

Em relação a essas transformações, considere as seguintes afirmativas:

- I. No congelador, a pressão do gás diminui, e sua temperatura se eleva com a absorção de energia.
- II. No congelador, a pressão do gás aumenta, e sua temperatura diminui com a liberação de energia.
- III. No condensador, a pressão do gás é maior do que no congelador, e sua temperatura diminui com a liberação de energia.
- IV. No condensador, a pressão do gás diminui, e sua temperatura aumenta.

Estão corretas apenas as afirmativas

- a) I e III.
- b) I e IV.
- c) II e III.
- d) II e IV.
- e) II, III e IV.

- 10. UFSC** – Recentemente, a revista *Popular Mechanics* e o canal History elaboraram uma lista com “101 invenções que mudaram o mundo”. Grandes invenções modificam o comportamento da sociedade, introduzindo praticidade e conforto, mas também novos problemas. Muitas delas envolvem fenômenos e princípios físicos que explicam seu funcionamento. Na tabela a seguir, são apresentadas as invenções eleitas como as vinte mais importantes.

01. <i>Smartphone</i>	11. Pilha
02. Rádio	12. Bicicleta
03. Televisão	13. Palito de fósforo
04. Seringa hipodérmica	14. Máquina de escrever
05. Computador pessoal	15. Modem
06. Aparelho de ar-condicionado	16. Rádio transistor
07. Telefone	17. GPS
08. Fonógrafo	18. Aspirador de pó
09. Despertador	19. Câmera fotográfica compacta
10. Lâmpada	20. Controle remoto

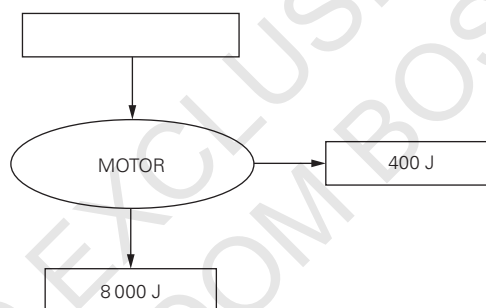
Sobre o assunto tratado, é CORRETO afirmar que:

- 01) nas lâmpadas incandescentes ocorre o efeito Joule, que provoca o aquecimento do filamento de tungstênio (resistor).
- 02) o controle remoto opera com a emissão de ondas mecânicas transversais.
- 04) como transfere calor de uma fonte fria para uma fonte quente, o aparelho de ar-condicionado viola a segunda lei da termodinâmica.
- 08) a velocidade de translação de uma bicicleta pode ser alterada pela modificação da razão entre o raio

da coroa e raio da catraca, que estão ligadas aos pedais e à roda.

- 16) parte do funcionamento das televisões analógicas antigas é por uma deflexão (desvio) de um feixe de elétrons por um campo eletromagnético.
- 32) quando você fala com alguém ao telefone, as ondas eletromagnéticas de sua voz se propagam através da rede telefônica.
- 64) dentro de um aspirador de pó, a pressão do ar é menor do que na parte externa, fazendo que as partículas de sujeira sejam sugadas para seu interior.

- 11. Cefet-MG** – Um motor de avião com funcionamento a querosene apresenta o seguinte diagrama por ciclo.



A energia, que faz a máquina funcionar, provém da queima do combustível e possui um valor igual a $6,0 \cdot 10^4$ J/kg. A quantidade de querosene consumida em cada ciclo, em kg, é

- a) 0,070.
- b) 0,20.
- c) 5,0.
- d) 7,5.
- e) 15.

- 12. UFSC** – A temperatura do corpo humano considerada ideal varia entre 36°C e $36,7^\circ\text{C}$. Em um sistema físico mais simples, como um gás ideal em equilíbrio, a temperatura está associada

- a) à energia média por partícula.
- b) à quantidade de calor interno.
- c) ao grau de oscilação das partículas.
- d) à energia absorvida ou perdida.
- e) ao calor específico.

- 13. UFSC** – A Petrobras é uma empresa que nasceu 100% nacional, em 1953, como resultado da campanha popular que começou em 1946 com o histórico slogan “O petróleo é nosso”. Ao longo desses sessenta anos, a Petrobras superou vários desafios e desenvolveu novas tecnologias relacionadas à extração de petróleo, assim como produtos de altíssima qualidade, desde óleos lubrificantes até gasolina para a Fórmula 1. Em 1973, a crise do petróleo obrigou a Petrobras a tomar algumas medidas econômicas, entre elas investir em um álcool carburante como combustível automotivo, o etanol, através do programa Pró-Álcool. Sendo assim, além do diesel, da gasolina comum, da gasolina aditivada e da gasolina de alta octanagem, a Petrobras oferece o etanol como combustível automotivo.

Os automóveis atuais no Brasil são praticamente todos "flex", ou seja, funcionam tanto com gasolina quanto com etanol. Claro que o desempenho do automóvel muda, dependendo do combustível utilizado. A tabela a seguir apresenta as principais propriedades da gasolina e do etanol e explica em parte a diferença de desempenho entre os combustíveis.

	GASOLINA	ETANOL
Poder calorífico (MJ/L)	35,0	24,0
Calor latente de vaporização (kJ/kg)	376 ~ 502	903
Temperatura de ignição (°C)	220	420
Razão estequiométrica ar/combustível	14,5	9

Fonte: Goldemberg & Macedo. (Adaptado)

Independentemente do projeto do motor de 4 tempos, alguns parâmetros são iguais. Por exemplo, a temperatura média da câmara de combustão é de 280 °C (fonte quente) e a temperatura média do sistema de arrefecimento é de 80 °C (fonte fria).

- Apresente de maneira esquemática o fluxo de energia (calor) de um motor de 4 tempos, que é considerado uma máquina térmica quente.
- Considere o motor de 4 tempos como ideal. Com base nos dados do enunciado, determine qual seria seu rendimento, apresentando todos os cálculos.
- Com base no rendimento de 20% de um motor de 4 tempos, determine a quantidade de etanol necessária para obter a mesma quantidade de energia útil que cada litro de gasolina disponibiliza.

14. UFRGS – Um projeto propõe a construção de três máquinas térmicas, M_1 , M_2 e M_3 , que devem operar entre as temperaturas de 250 K e 500 K, ou seja, que tenham rendimento ideal igual a 50%. Em cada ciclo de funcionamento, o calor absorvido por todas é o mesmo: $Q = 20$ kJ, mas espera-se que cada uma delas realize o trabalho W mostrado na tabela a seguir.

Máquina	W
M_1	20 kJ
M_2	12 kJ
M_3	8 kJ

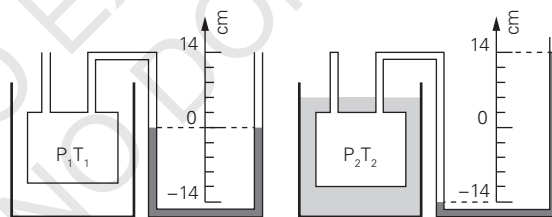
De acordo com a segunda lei da termodinâmica, verifica-se que somente é possível a construção da(s) máquina(s)

- M_1 .
- M_2 .
- M_3 .
- M_1 e M_2 .
- M_2 e M_3 .

15. Esc. Naval – Uma máquina térmica, funcionando entre as temperaturas de 300 K e 600 K, fornece uma potência útil, P_u , a partir de uma potência recebida, P_r . O rendimento dessa máquina corresponde a $4/5$ do rendimento máximo previsto pela máquina de Carnot. Sabendo que a potência recebida é de 1200 W, a potência útil, em watt, é

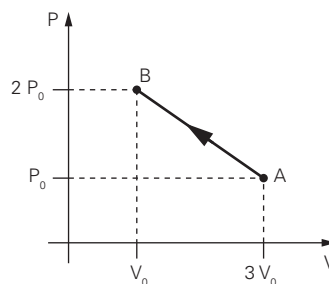
- 300
- 480
- 500
- 600
- 960

16. ITA – Um recipiente é inicialmente aberto para a atmosfera à temperatura de 0 °C. A seguir, o recipiente é fechado e imerso em um banho térmico com água em ebulição. Ao atingir o novo equilíbrio, observa-se o desnível do mercúrio indicado na escala das colunas do manômetro. Construa um gráfico $P \cdot T$ para os dois estados do ar no interior do recipiente e o extrapole para encontrar a temperatura T_0 quando a pressão $P = 0$, interpretando fisicamente esse novo estado à luz da teoria cinética dos gases.



17. UFRGS – Uma amostra de gás ideal evolui de um estado A para um estado B, através de um processo em que a pressão P e o volume V variam conforme o gráfico a seguir.

Considere as seguintes afirmações sobre esse processo.



- A temperatura do gás diminuiu.
- O gás realizou trabalho positivo.
- Esse processo é adiabático.

Quais estão corretas?

- Apenas I.
- Apenas II.
- Apenas III.
- Apenas I e III.
- I, II e III.

ESTUDO PARA O ENEM

18. ITA

C5-H17

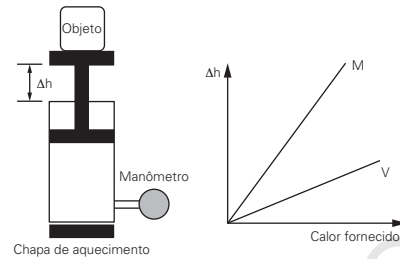
Diferentemente da dinâmica newtoniana, que não distingue passado e futuro, a direção temporal tem papel marcante no nosso dia. Assim, por exemplo, ao aquecer uma parte de um corpo macroscópico e o isolar termicamente, a temperatura deste se torna gradualmente uniforme, jamais se observando o contrário, o que indica a direcionalidade do tempo. Diz-se então que os processos macroscópicos são irreversíveis, evoluem do passado para o futuro e exibem o que o famoso cosmólogo Sir Arthur Eddington denominou de seta do tempo. A lei física que melhor traduz o tema do texto é

- a) a segunda lei de Newton.
- b) a lei de conservação da energia.
- c) a segunda lei da termodinâmica.
- d) a lei zero da termodinâmica.
- e) a lei de conservação da quantidade de movimento.

19. Enem

C5-H17

Um sistema de pistão contendo um gás é mostrado na figura. Sobre a extremidade superior do êmbolo, que pode movimentar-se livremente sem atrito, encontra-se um objeto. Através de uma chapa de aquecimento é possível fornecer calor ao gás e, com o auxílio de um manômetro, medir sua pressão. A partir de diferentes valores de calor fornecido, considerando o sistema como hermético, o objeto elevou-se em valores Δh como mostrado no gráfico. Foram estudadas, separadamente, quantidades equimolares de dois diferentes gases, denominados M e V.



A diferença no comportamento dos gases no experimento decorre do fato de o gás M, em relação ao V, apresentar

- a) maior pressão de vapor.
- b) menor massa molecular.
- c) maior compressibilidade.
- d) menor energia de ativação.
- e) menor capacidade calorífica.

20. Fuvest

C5-H17

O desenvolvimento de teorias científicas, geralmente, tem forte relação com contextos políticos, econômicos, sociais e culturais mais amplos. A evolução dos conceitos básicos da termodinâmica ocorre, principalmente, no contexto

- a) da Idade Média.
- b) das grandes navegações.
- c) da Revolução Industrial.
- d) do período entre as duas grandes guerras mundiais.
- e) da Segunda Guerra Mundial.

INTRODUÇÃO À FÍSICA MODERNA



DMITRY KALINOVSKY/SHUTTERSTOCK

Tomografia computadorizada.

A emissão de raios x, empregados em tomografias computadorizadas, por exemplo, é um fenômeno relacionado à física moderna. Ele só foi viabilizado a partir dos conhecimentos adquiridos sobre a radiação de ondas na matéria.

Vem apresentando e representando as mudanças que vêm acontecendo ao longo dos anos na vida humana. Novas teorias da física foram estabelecidas para melhorar e ampliar a representação de dados empíricos que são extraídos de sistemas biológicos, o que levou a um progresso científico.

A física moderna trata de uma concepção nova do comportamento da matéria, surgida no começo do século XX. Representa um conhecimento importante para o ser humano, uma vez que ela preconiza toda nossa capacidade tecnológica vigente.

Apesar de ser baseada em conhecimentos prévios de física clássica, como mecânica newtoniana e eletromagnetismo, a física moderna apresenta novos paradigmas do comportamento da matéria, o que, de fato, representou uma ruptura no cenário científico da época.

Átomo de Bohr

O átomo de Bohr recebeu esse nome graças a Niels Bohr, que fez um estudo da quantização da energia para explicar a estabilidade do átomo de hidrogênio (apresenta um elétron e um próton). Com isso, foi estabelecido que os elétrons encontram-se em órbitas e que essas são vinculadas ao estado estacionário. Nessas órbitas estacionárias, o momento angular do elétron está, por sua vez, ligado a um valor fundamental. Os elétrons podem mudar de órbita, passando de uma com maior para uma com menor energia. Ao realizar esse processo, o elétron emite um fóton

com frequência dada por $\Delta f = \frac{E_{\text{inicial}} - E_{\text{final}}}{h}$ onde h é a constante de Planck e E são as

energias iniciais e finais. Nesse modelo, é permitido relacionar a energia (E_n) com o nível energético (número quântico principal – n) através da seguinte expressão:

$$E_n = -\frac{13,6}{n^2}$$

03

- Átomo de Bohr
- Princípio da incerteza
- Física das partículas
- Radiação do corpo negro
- Lei de Wien

HABILIDADES

- Conhecer o que é o átomo de Bohr e como obter sua energia.
- Reconhecer a presença de imprecisões e saber como minimizá-las e calculá-las.
- Saber diferenciar os três tipos de partículas básicas e indicar quais são elas.
- Reconhecer um corpo negro e como obter sua potência de emissão.
- Deduzir a lei de Wien e determinar o comprimento de onda máximo correspondente à emissão máxima.

PRINCÍPIO DA INCERTEZA

De acordo com o antigo modelo atômico proposto por Bohr, seria possível saber a posição exata de um elétron. Em 1927, o físico teórico Werner Heisenberg formulou o chamado princípio da incerteza. Esse termo é utilizado para designar o estado de um elétron. De acordo com ele, não é possível determinar com precisão, e simultaneamente, a posição e o momento de uma partícula. A razão dessa incerteza não é um problema do aparato empregado nas medidas das grandezas físicas, mas sim a própria natureza da matéria e da luz.

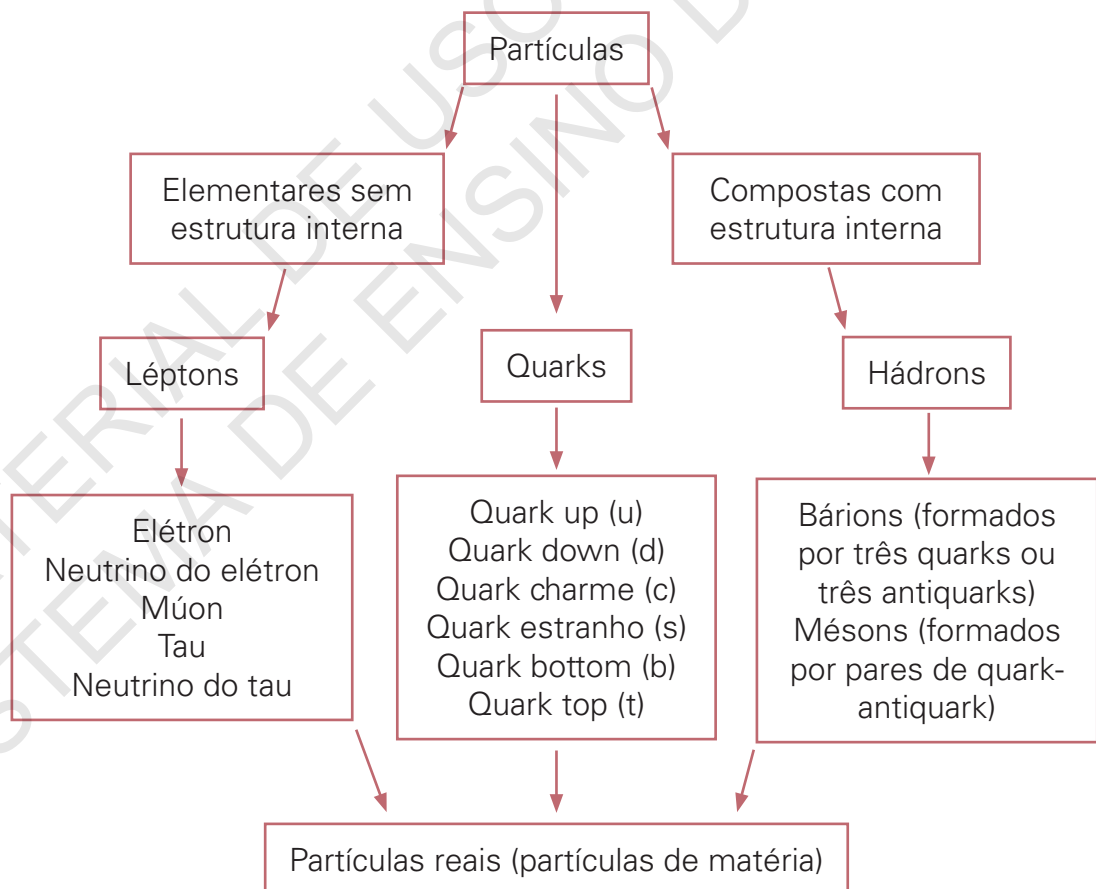
Como o princípio da incerteza é pertencente ao mundo quântico, não se deve considerar elétrons como "bolinhas"; eles devem ser tratados em estatística, com a associação de sua densidade de probabilidade.

A incerteza da quantidade de movimento multiplicada pela incerteza da posição é dada por: $\Delta Q \cdot \Delta x \geq \frac{h}{4 \cdot \pi} = \frac{h}{2}$ onde h é a constante de Planck e vale $6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$.

FÍSICA DAS PARTÍCULAS

A física das partículas é responsável por estudar as partículas básicas da matéria e esclarecer seu modo de interação. Os léptons e quarks são considerados partículas elementares, que compõem sistemas mais complexos, por exemplo, os hádrons, que apresentam uma estrutura interna de quarks. Os hádrons podem ser formados de duas maneiras: constituídos de três quarks ou antiquarks, os chamados bárions; ou constituídos de um quark e um antiquark, os chamados mésons.

A seguir, será apresentado um diagrama de blocos que mostra quais são as partículas básicas e como elas se dividem (com e sem estrutura interna).



Tratando mais especificamente dos quarks, eles apresentam carga elétrica fracionária, mas, como estão sempre ligados a prótons ou nêutrons, sua carga total segue o princípio da quantização da carga elétrica, e ela é dada por:

$$Q = n \cdot e$$

RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO

Para definirmos corpo negro, inicialmente é necessário comentar uma característica de corpos. Os corpos apresentam uma temperatura maior que o zero absoluto, ou seja, maior que 0 K. Portanto, eles emitem radiação provocada pelo movimento das cargas elétricas. Então, temos que a radiação emitida por agitação térmica recebe o nome de radiação térmica.

Quando se considera um corpo em equilíbrio térmico, a quantidade de energia emitida e absorvida é a mesma. Isso implica que o corpo é um bom emissor e também um bom absorvedor. Sendo assim, o corpo que se encontra em equilíbrio térmico com o ambiente é chamado de corpo negro.

Um corpo negro ideal apresenta as seguintes características:

- Como ele é um bom absorvedor, absorve toda a energia incidente, independentemente da direção e do comprimento da onda de incidência.
- Por ser isotrópico, ele emite radiação igual em todas as direções, porém não tem controle sobre sua temperatura e seu comprimento de onda.
- Como ele é um bom emissor, emite em todos os comprimentos de onda, e, a partir de suas intensidades, pode-se determinar sua temperatura.

Como o corpo negro não reflete a radiação, sua potência de emissão é dada pela seguinte expressão:

$$P_{ot} = \sigma \cdot T^4$$

onde P_{ot} é a potência da radiação emitida, A é a área do corpo, T é a temperatura em Kelvin e, finalmente, δ é a constante de Stefan-Boltzmann e vale $5,67 \cdot 10^{-8}$ (W/m² · K⁴).

Alguns exemplos práticos do uso da radiação do corpo negro podem ser vistos em astronomia, na medicina, para diagnóstico de tumores malignos, e em tomografias computadorizadas.

LEI DE WIEN

Wilhelm Wien ganhou o Prêmio Nobel de Física em 1911 por seu estudo que diz que a emissão de radiação solar máxima se encontra na faixa do visível, enquanto a energia da maior quantidade de radiação emitida pela Terra e sua atmosfera está somente no espectro infravermelho. Para os corpos negros, a emissão se dá por uma distribuição espectral contínua, que depende somente da temperatura do corpo.

Para determinar o comprimento de onda ($\lambda_{máx}$) que corresponde à emissão máxima, utiliza-se a seguinte equação: $\lambda_{máx} \cdot T = B$ onde T é a temperatura absoluta em Kelvin e B é uma constante cujo valor é $2,9 \cdot 10^{-3}$ m · K. Através dessa equação, temos que a temperatura de um corpo é inversamente proporcional ao comprimento de onda.

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1. UFSC

IMAGINEGOLF/ISTOCK



A tecnologia utilizada no sistema WEEDit para pulverização localizada é bastante inteligente. O sistema de sensores realiza a leitura da área, emitindo uma luz vermelha de alta intensidade para detectar plantas vivas indesejadas, conforme imagem acima. Um conjunto de sensores realiza leituras com uma frequência de 40 mil vezes por segundo. A clorofila das plantas responde à luz vermelha emitida pelo sensor absorvendo-a e emitindo luz NIR (infravermelho próximo) através da fluorescência, emissão que é detectada pelos sensores. Os sensores WEEDit identificam mesmo as menores emissões da clorofila e reagem acionando o conjunto de bicos referente à planta identificada, aplicando apenas o necessário, de acordo com o tamanho da planta.

Disponível em: <<http://smartsensingbrasil.com.br/index.html>>.

Acesso em: 25 out. 2017. (Adaptado)

O modelo atômico de Bohr pode ser utilizado para explicar a absorção da luz vermelha pela clorofila e a emissão da luz NIR, considerando a luz como fóton, conforme a figura A.

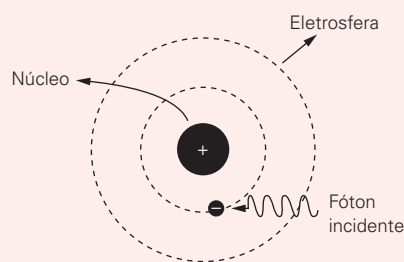


Figura A

- a) Reproduza a figura B e desenhe a posição do elétron depois que o fóton incidiu sobre o átomo (figura A). Explique o que ocorreu.

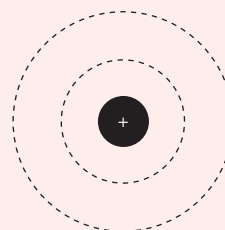


Figura B

- b) Reproduza a figura C e desenhe a energia absorvida do fóton incidente sendo liberada e a posição do elétron após essa liberação. Explique o que ocorreu.

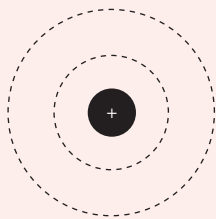


Figura C

- c) A energia dos fótons de luz vermelha está associada com qual grandeza física?

Resolução

a) O fóton absorvido pelo elétron fornece energia, ocorrendo uma transição para níveis de energia mais altos; logo, o elétron gira mais distante do núcleo. Esse fenômeno é chamado de salto quântico.

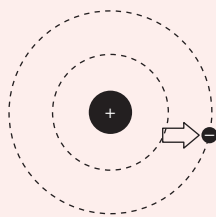


Figura B

b) Para retornar a níveis mais internos, o elétron emite fóton com a mesma energia referente a sua transição entre o nível mais externo e o nível mais interno. Esse fóton é captado pelo sensor da máquina.

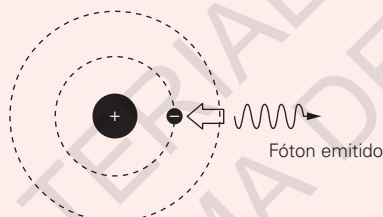


Figura C

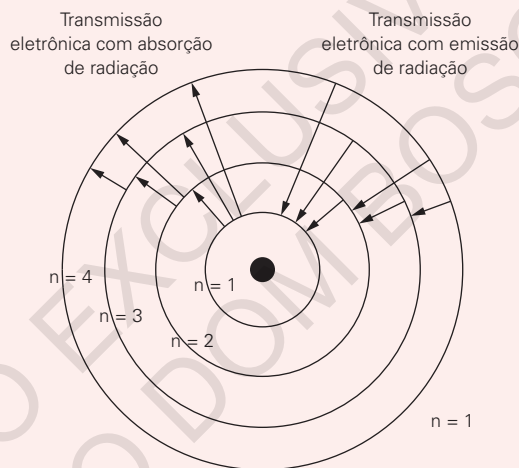
c) A energia do fóton está relacionada com a grandeza frequência ($f = 4 \cdot 10^4$ Hz) e com a constante de

Planck ($h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ J·s), determinada pela relação de Planck-Einstein: $E = h \cdot f$.

Assim, a energia da luz vermelha de alta intensidade é:

$$E = h \cdot f \Rightarrow E = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot 4 \cdot 10^4 \text{ Hz} \therefore E = 2,648 \cdot 10^{-29} \text{ J}$$

2. PUC-SP – Um átomo de hidrogênio gasoso, em seu estado fundamental, tem energia de $-13,6$ eV. Determine a energia necessária, em eV (elétron-volt), a ser absorvida para que ele sofra uma transição para o próximo estado de excitação permitido pelo modelo atômico de Bohr.



- a) $-3,4$
 b) $-17,0$
 c) $17,0$
 d) $10,2$

Resolução

Dado: $E_1 = -13,6$ e V.

De acordo com o enunciado, o elétron deve passar do nível fundamental ($n = 1$) para o nível 2 ($n = 2$).

A energia absorvida pelo elétron para passar do nível fundamental (E_1) para um nível n é dada pela expressão:

$$\begin{aligned} E_{ab} &= E_n - E_1 = \left(\frac{E_1}{n^2} - E_1 \right) \Rightarrow E_{ab} = E_1 \cdot \left(\frac{1}{n^2} - 1 \right) = \\ &= -13,6 \cdot \left(\frac{1}{2^2} - 1 \right) = -13,6 \cdot \left(-\frac{3}{4} \right) \Rightarrow \\ &\Rightarrow E_{ab} = 10,2 \text{ eV.} \end{aligned}$$

ROTEIRO DE AULA

INTRODUÇÃO À
FÍSICA MODERNA

Átomo de Bohr

$$E_n = -\frac{13,6}{n^2}$$

Princípio da incerteza

$$\Delta Q \cdot \Delta x \geq \frac{h}{4 \cdot \pi} = \frac{h}{2}$$

Física das partículas

$$Q = n \cdot e$$

Radiação de corpo negro

$$P_{\text{ot}} = \sigma \cdot A \cdot T^4$$

Lei de Wien

$$\lambda_{\text{máx}} \cdot T = B$$

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

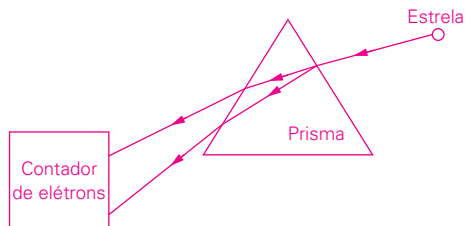
EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. **ITA** – Contando com um prisma e um contador de número de fótons por segundo, deseja-se medir a temperatura de uma estrela com base em seu espectro eletromagnético obtido por meio de um telescópio.

a) Projete esquematicamente esse experimento representando o prisma como um triângulo e o contador de fótons por segundo como um quadrado.

b) Explique os conceitos usados em (a) para obter a temperatura da estrela.

a) Montagem experimental:



b) O prisma provoca a dispersão da luz proveniente da estrela, decompondo-a em várias frequências. O contador identifica a posição de frequência máxima (frequência de pico), sendo determinado, então, seu comprimento de onda, λ_{pico} .

E assim, pela lei de Wien, pode-se estabelecer sua temperatura T:

$$T = \frac{2,897 \cdot 10^{-3}}{\lambda_{\text{pico}}} \text{ K}$$

2. **UPE-SSA (adaptado)** – Um corpo negro tem um pico de emissão em uma temperatura cujo comprimento de onda de sua radiação vale 9000 \AA . Nessa temperatura, a radiação que emerge desse corpo não produz efeito fotoelétrico em uma placa metálica. Aumentando a temperatura do corpo negro, sua radiação emitida aumenta 81 vezes, causando efeito fotoelétrico na placa para o comprimento de onda de pico dessa nova temperatura. A energia necessária para frear esses fotoelétrons emitidos é equivalente à diferença de energia dos níveis $n = 2$ e $n = 3$ do átomo de hidrogênio de Bohr. Sabendo-se que a lei de Wien relaciona o comprimento de onda de pico de emissão com a temperatura do corpo negro na forma $\lambda \cdot T = \text{constante}$, é CORRETO afirmar que a função trabalho do metal vale, aproximadamente, quantos eV?

Dados: energia do átomo de hidrogênio de Bohr no estado fundamental = $-13,6 \text{ eV}$, constante de Planck = $4,14 \cdot 10^{-15} \text{ eV}$, $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

Para iniciar o efeito fotoelétrico, foi necessário triplicar a temperatura. Então, usando a lei de Wien, podemos determinar o comprimento de onda em relação à primeira radiação.

$$\lambda \cdot T = \text{constante} \Rightarrow \frac{\lambda}{3} \cdot (3 \cdot T) = \text{constante} \therefore \lambda' = \frac{\lambda}{3}$$

Isto é, ao triplicar a temperatura, devemos dividir por três o comprimento de onda original, pois essas variáveis são inversamente proporcionais.

$$\lambda' = \frac{\lambda}{3} = \frac{9000 \text{ \AA}}{3} \therefore \lambda' = 3000 \text{ \AA} = 3 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

Esse novo comprimento de onda nos fornece a frequência dessa onda, de acordo com:

$$v = \lambda \cdot f \Rightarrow f = \frac{v}{\lambda} \Rightarrow f = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{3 \cdot 10^{-7} \text{ m}} \therefore f = 1 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$$

Finalmente, para a energia cinética máxima dos elétrons ejetados da superfície do metal, igualamos seu valor à diferença de energia entre os níveis 2 e 3 do átomo de hidrogênio, de acordo com a teoria de Bohr: $E_{c(\text{máx})} = \Delta E_{\text{Bohr}}$.

Sendo:

$$E_{c(\text{máx})} = h \cdot f - \phi$$

$$\Delta E_{\text{Bohr}} = E_0 \cdot \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

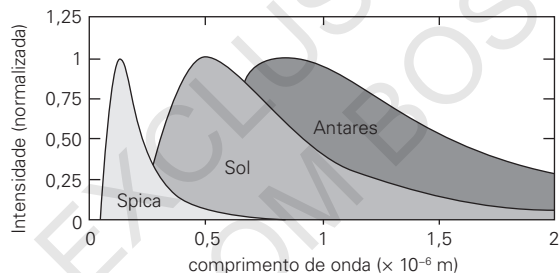
Igualando:

$$h \cdot f - \phi = E_0 \cdot \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \Rightarrow \phi = h \cdot f - E_0 \cdot \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

Substituindo:

$$\phi = 4,14 \cdot 10^{-15} \text{ eVs} \cdot 1 \cdot 10^{15} \text{ Hz} - 13,6 \text{ eV} \cdot \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right) \therefore \phi = 2,25 \text{ eV}$$

3. **UFRGS** – Objetos a diferentes temperaturas emitem espectros de radiação eletromagnética que possuem picos em diferentes comprimentos de onda. A figura a seguir apresenta as curvas de intensidade de emissão por comprimento de onda (normalizadas com o intuito de ficarem na mesma escala) para três estrelas conhecidas: Spica, da constelação de Virgem; nosso Sol; e Antares, da constelação de Escorpião.



Tendo em vista que a constante da lei dos deslocamentos de Wien é aproximadamente $2,90 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$, e levando em conta a lei de Stefan-Boltzmann, que relaciona a intensidade total da emissão com a temperatura, considere as seguintes afirmações sobre as estrelas mencionadas.

- I. Spica é a mais brilhante das três.
- II. A temperatura do Sol é de aproximadamente 5800 K.
- III. Antares é a mais fria das três.

Quais estão corretas?

- a) Apenas I. d) Apenas II e III.
 b) Apenas II. e) I, II e III.
 c) Apenas I e III.

[I] Verdadeira. A lei dos deslocamentos de Wien relaciona o comprimento de onda máximo emitido por um corpo em função de sua temperatura absoluta. Sua expressão é dada por: $\lambda_{\text{máx}} = \frac{b}{T}$, sendo "b" a constante

de Wien, cujo valor aproximado é de $2,90 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$.

Assim, quanto menor o comprimento de onda máximo, maior é a temperatura da estrela e maior é sua frequência. Portanto, Spica é a mais quente e Antares é a mais fria das três.

De acordo com a lei de Stefan-Boltzmann, a intensidade da radiação é diretamente proporcional à temperatura absoluta elevada ao expoente quatro.

$I = \sigma \cdot T^4$, sendo $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$ a sua constante.

Portanto, Spica é a mais quente e sua intensidade de emissão é maior que a das outras estrelas, tornando-a a mais brilhante. Cuidado com o gráfico, pois as intensidades foram normalizadas para ser representadas na mesma escala, não correspondendo às intensidades reais.

[II] Verdadeira. A temperatura do Sol pode ser calculada por meio da lei de Wien, retirando do gráfico o comprimento de onda máximo e usando sua expressão:

$$\lambda_{\text{máx}} = \frac{b}{T} \Rightarrow 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ m} = \frac{2,90 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}}{T} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T = \frac{2,90 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}}{0,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}} \therefore T = 58000 \text{ K}$$

[III] Verdadeira. Como Antares tem o maior comprimento de onda máximo entre as três estrelas, ela também é a mais fria delas, pois, quanto maior λ , menor sua temperatura.

4. Unioeste – Em relação aos conteúdos de Física Moderna, assinale a alternativa INCORRETA entre as afirmações a seguir.

- a) O modelo atômico de Bohr ficou historicamente conhecido como modelo do “pudim de passas”.
- b) O decaimento beta é o processo pelo qual um núcleo instável emite uma partícula beta, que pode ser um elétron ou um pósitron.
- c) Quando um elétron de um átomo de hidrogênio passa do primeiro estado estacionário excitado ($n = 2$) para o estado fundamental ($n = 1$), ele emite um fóton.
- d) Partículas atômicas como elétrons, prótons e nêutrons possuem propriedades ondulatórias, como o comprimento de onda.
- e) Bons condutores de eletricidade são materiais com grande quantidade de partículas chamadas “elétrons livres”.

[A] Incorreta. Foi o modelo atômico de Thomson que ficou conhecido como “pudim de passas”.

5. Fatec – Leia o texto.

A polonesa Maria Skodovska Curie (1867–1934) é considerada a “mãe da Física Moderna” e a “patrona da Química”. Madame Curie, como é conhecida, é famosa por sua pesquisa inovadora sobre a radioatividade e pela descoberta dos elementos polônio e rádio. Ela teve influência na trajetória de muitas outras mulheres ao redor do mundo, que enfrentavam uma época repleta de preconceitos e dificuldades profissionais.

No Brasil, na primeira metade do século XX, tivemos pelo menos três representantes de destaque na área da Física. Yolande Montoux (1910–1998), primeira mulher formada em Física pela USP no Brasil (1938), trabalhou em pesquisas sobre raios cósmicos, tornando-se uma das pioneiras na área. Logo depois, em 1942, duas outras pesquisadoras seguiram os passos dela, graduando-se, também, em Física. Uma delas, Elisa Frota-Pessoa (1921–), graduada pela UFRJ, trabalhou com Física Experimental. Dentre sua obra, destaca-se o artigo intitulado “Sobre a desintegração do méson pesado positivo”. A outra foi Sonja Ashauer (1923–1948), também graduada pela USP, e que se tornou a primeira mulher brasileira a concluir um Doutorado em Física, na Universidade de Cambridge (Inglaterra), com uma tese sobre elétrons e radiações eletromagnéticas.

Podemos afirmar que algumas áreas da Física contempladas pelos estudos citados no texto são

- a) Terminologia e radioatividade, por estudarem a temperatura dos raios cósmicos e suas radiações.

- b) Magnetismo e físico-química, por terem pesquisado partículas atômicas e novos elementos.
- c) Acústica e gases, pela descoberta do rádio e do polônio, que são gases a temperatura e pressão ambientes.
- d) Astrofísica e física de partículas, pelo estudo dos raios cósmicos, da radioatividade e de partículas subatômicas.
- e) Óptica geométrica e eletromagnetismo, pela observação astronômica realizada das radiações eletromagnéticas.

As áreas da Física citadas no texto são: astrofísica e física de partículas, pelos estudos dos raios cósmicos e sobre a desintegração do méson pesado positivo; radioatividade, pelos estudos de Marie Curie a respeito de partículas subatômicas e pelos estudos de Sonja Ashauer sobre elétrons e radiações eletromagnéticas.

6. UEM

C5-H17

Em 1905, Albert Einstein propôs mudanças no estudo do movimento relativo entre corpos. A proposta de Einstein ficou conhecida como a teoria da relatividade especial. Sobre a teoria da relatividade especial de Einstein, é correto afirmar que:

- 01) As leis da física mudam quando se muda o referencial inercial.
- 02) A velocidade da luz no vácuo tem o mesmo valor em todos os referenciais inerciais. Não depende do movimento da fonte de luz e tem igual valor em todas as direções.
- 04) A massa de um corpo é constante, independentemente da velocidade desse corpo.
- 08) A energia total E (em Joules) de um corpo de massa m (em quilogramas) é o produto de sua massa pelo quadrado da velocidade da luz no vácuo (c , em metros por segundo), ou seja, $E = m \cdot c^2$.
- 16) Na natureza não podem ocorrer interações com velocidade menor do que a velocidade da luz.

10 (02 + 08)

[01] Incorreta. As leis da física não mudam quando se muda o referencial inercial.

[02] Correta. A velocidade da luz será sempre igual; essa grande descoberta foi feita por Michelson e Morley. Ambos passaram a vida tentando provar que a teoria do éter estava certa, mas, na verdade, só conseguiram mais argumentos provando que o éter não existe.

[04] Incorreta. Lorentz provou o oposto disso.

[08] Correta.

[16] Incorreta. Na natureza ocorre o tempo todo interações com velocidades inferiores à da luz.

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. UFU (adaptado) – Em 2015, somente o setor industrial brasileiro utilizou cerca de 170 000 GWh de energia para a realização de suas atividades produtivas, via de regra, gerada por meio de usinas hidrelétricas e termoeletrônicas.

Se fosse possível converter diretamente massa em energia, conforme proposto por Albert Einstein, quantos quilogramas de matéria, aproximadamente, seriam necessários para suprir todo o setor industrial brasileiro de 2015?

Dado: $1 \text{ GWh} = 10^9 \text{ Wh}$.

8. UEL – No modelo padrão da física das partículas elementares, o próton e o nêutron são partículas compostas constituídas pelas combinações de partículas menores chamadas de quarks u (up) e d (down). Nesse modelo, o próton (p) e o nêutron (n) são compostos, cada um, de três quarks, porém com diferentes combinações, sendo representados por $p = (u, u, d)$ e $n = (u, d, d)$. Os prótons e os nêutrons comportam-se, na presença de um campo magnético, como se fossem minúsculos ímãs, cujas intensidades são denominadas de momento magnético e medidas em magnetons nucleares (m_n). Para o próton, o momento magnético é

dado por $\mu_p = \frac{4}{3} \cdot \mu_u - \frac{1}{3} \cdot \mu_d$, enquanto, para o nêutron, o momento magnético é dado por $\mu_n = \frac{4}{3} \cdot \mu_d - \frac{1}{3} \cdot \mu_u$.

O momento magnético dos quarks u e d são dados por

$$\mu_u = \frac{e_u}{M} \text{ e } \mu_d = \frac{e_d}{M} \text{ em que } e_u = \frac{+2}{3} \text{ e } e_d = \frac{-1}{3}.$$

A partir dessas informações, responda aos itens a seguir.

- a) Determine o valor da razão entre o momento magnético dos quarks u e d.
 b) Determine o valor adimensional da razão $\frac{\mu_u}{\mu_p}$.

- 9. UPE-SSA (adaptado)** – As forças gravitacionais promovem fascinantes manifestações no Universo, desde a formação estelar até o movimento mais complexo de galáxias inteiras. Ao longo de bilhões de anos, a assimetria da distribuição de massa no espaço fez tais forças transformarem nuvens de hidrogênio do início do Universo em grandes corpos estelares. Nestes, a grande força gravitacional de seus núcleos promove inúmeras colisões e reações de fusão nuclear, liberando energia. No interior do Sol, os átomos de hidrogênio estão em agitação constante, colidindo em velocidades tão elevadas que a repulsão eletrostática natural, que existe entre as cargas positivas de seus núcleos, é vencida, e a fusão nuclear pode ocorrer. A energia liberada por essas colisões no núcleo do Sol mantém o planeta Terra em condições de abrigar vida e permitir seu desenvolvimento.

Determine a potência gerada no núcleo de uma estrela semelhante ao Sol, em que quatro núcleos de hidrogênio se combinam para formar um núcleo de hélio a uma taxa de 10^{38} fusões por segundo.

Dados:

Massa do núcleo de hidrogênio = $1,6735 \cdot 10^{-27}$ kg.

Massa do núcleo de hélio = $6,6470 \cdot 10^{-27}$ kg.

- 10. ITA** – Um átomo de hidrogênio emite um fóton de energia 2,55 eV na transição entre dois estados estacionários. A razão entre as velocidades dos elétrons nesses dois estados é $\frac{1}{2}$. Determine a energia potencial do elétron no estado final desse átomo, sabendo que a energia total no estado n é $E_n = -\frac{13,6}{n^2}$ eV e o raio é $r = n^2 \cdot r_B$, em que r_B é o raio de Bohr e $n = 1, 2, 3, \dots$
- 11. PUC-RS** – Em física de partículas, uma partícula é dita elementar quando não possui estrutura interna. Por muito tempo se pensou que prótons e nêutrons eram partículas elementares, contudo, as teorias atuais consideram que essas partículas possuem estrutura interna. Pelo modelo padrão da física de partículas, prótons e nêutrons são formados, cada um, por três partículas menores denominadas quarks. Os quarks que constituem tanto os prótons quanto os nêutrons são dos tipos up e down, cada um possuindo um valor fracionário do valor da carga elétrica elementar e ($e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C).

A tabela a seguir apresenta o valor da carga elétrica desses quarks em termos da carga elétrica elementar e.

	Quark up	Quark down
Carga elétrica	$\frac{+2}{3} \cdot e$	$\frac{-1}{3} \cdot e$

Assinale a alternativa que melhor representa os quarks que constituem os prótons e os nêutrons.

	Próton	Nêutron
a)	up; up; down	up; up; up
b)	down; down; down	up; down; down
c)	up; down; down	up; up; down
d)	up; up; down	up; down; down
e)	up; down; down	down; down; down

- 12. UEM-PAS** – Um corpo tem massa de repouso 0,1 kg. Considerando que ele é acelerado até atingir a velocidade de $\frac{\sqrt{8}}{3} \cdot c$, sendo c a velocidade da luz no vácuo, assinale a(s) alternativa(s) correta(s).

- 01) A energia de repouso desse corpo é $9 \cdot 10^{15}$ J.
 02) Sua energia total é $2,7 \cdot 10^{16}$ J.
 04) A energia cinética desse corpo vale $1,8 \cdot 10^{16}$ J.
 08) A mecânica de Newton fornece para a energia cinética um valor maior que aquele obtido pela mecânica relativística.
 16) Se esse corpo emitir um fóton no sentido de seu movimento, esse fóton terá velocidade, medida por um observador em repouso, de $v = \frac{\sqrt{8}}{3} \cdot c + c$.

- 13. UEG** – Em 1900, Max Planck propôs uma explicação sobre a radiação de corpo negro. Sua equação ficou conhecida em todo o mundo porque relacionava pela primeira vez a energia emitida por um corpo negro com sua frequência de emissão em pacotes discretos, chamados de fótons. A constante de proporcionalidade ficou conhecida como constante de Planck.

A unidade de medida dessa constante é dada por

- a) $\text{kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^2$
 b) Hz
 c) J · s
 d) $\frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$
 e) J/kg

- 14. Udesc** – No contexto histórico da virada do século XIX para o século XX, Lord Kelvin proferiu uma palestra e afirmou que não havia mais muitos pontos obscuros para serem resolvidos pela Física. Destacou que existiam apenas dois problemas: o primeiro referente à não detecção do vento de éter (resultado nulo do experimento de Michelson-Morley), e o segundo relacionado à partição de energia (emissão e absorção da radiação de corpo negro).

Em relação ao avanço na construção de conhecimento em Física, decorrente dos dois problemas apontados por Lord Kelvin, assinale a alternativa correta.

- a) Os pontos obscuros apontados por Lord Kelvin não se configuram como problemas científicos e foram ignorados pela Ciência.
- b) Os problemas sinalizados por Lord Kelvin foram solucionados pela mecânica newtoniana, sendo necessário apenas um refinamento experimental.
- c) A Ciência, em particular a Física, não avançou mediante a resolução de problemas e aos pontos obscuros apontados por Lord Kelvin, que retratavam apenas dúvidas pessoais dele próprio.
- d) Max Planck foi o único a solucionar os dois problemas apontados por Lord Kelvin, e, por isso, é considerado por muitos o "pai da mecânica quântica".
- e) Os pontos obscuros destacados por Lord Kelvin foram determinantes na condução de mudanças radicais na Física, culminando na construção das teorias quânticas e relativísticas.

15. UEG – Recentemente, os noticiários divulgaram a descoberta de ondas gravitacionais, previstas teoricamente por Albert Einstein. Essa descoberta reforça a teoria

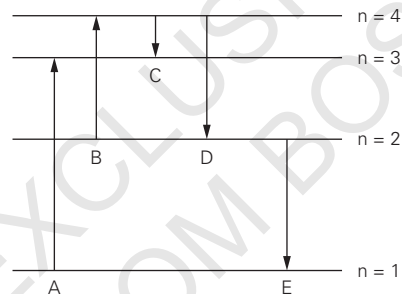
- a) da radiação de corpo negro.
- b) do efeito fotoelétrico.
- c) do efeito Compton.
- d) da relatividade.
- e) das cordas.

16. UPE – O princípio da incerteza de Heisenberg trata da

- a) incerteza do conhecimento da Física de que tudo é sempre relativo e nunca definitivo.

- b) imprecisão de definir as coordenadas de posição e o momento linear de uma partícula quântica simultaneamente, ao longo de uma direção.
- c) dificuldade de encontrar um elétron nas camadas de valência do átomo.
- d) dilatação do tempo e da contração dos objetos ao atingirem velocidade próxima à da luz.
- e) variação de entropia e do sentido da seta do tempo.

17. UPE-SSA – O diagrama a seguir ilustra as transições que são possíveis de ocorrer entre alguns níveis de energia, de acordo com o modelo de Bohr, de um átomo hidrogenoide da atmosfera de Plutão. Qual transição representa a emissão de um fóton com a maior energia?



- a) A
- b) B
- c) C
- d) D
- e) E

ESTUDO PARA O ENEM

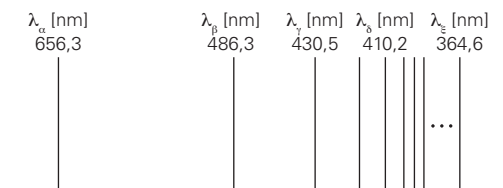
18. UFRGS

C5-H17

Uma moda atual entre as crianças é colecionar figurinhas que brilham no escuro. Essas figuras apresentam em sua constituição a substância sulfeto de zinco. O fenômeno ocorre porque alguns elétrons que compõem os átomos dessa substância absorvem energia luminosa e saltam para níveis de energia mais externos. No escuro, esses elétrons retornam a seus níveis originais, liberando energia luminosa e fazendo a figurinha brilhar. Essa característica pode ser explicada considerando-se o modelo atômico proposto por:

- a) Dalton.
- b) Thomson.
- c) Lavoisier.
- d) Rutherford.
- e) Bohr.

19. ITA – Em um experimento que mede o espectro de emissão do átomo de hidrogênio, a radiação eletromagnética emitida pelo gás hidrogênio é colimada por uma fenda, passando a seguir por uma rede de difração. O espectro obtido é registrado em chapa fotográfica, cuja parte visível é mostrada na figura.



Pode-se afirmar que

- a) O modelo de Bohr explica satisfatoriamente as linhas do espectro visível do átomo de hidrogênio.
- b) Da esquerda para a direita as linhas correspondem a comprimentos de onda do violeta ao vermelho.
- c) O espaçamento entre as linhas adjacentes decresce para um limite próximo ao infravermelho.
- d) As linhas do espectro encontrado são explicadas pelo modelo de Rutherford.
- e) Balmer obteve em 1885 a fórmula empírica para o comprimento de onda:

$$\lambda = R \cdot \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \text{ em que } n = 3, 4 \dots \text{ e } R \text{ é a}$$

constante de Rydberg.

20. UFSC

C5-H17

As radiações características emitidas pelos átomos dos elementos ao serem aquecidos em uma chama ou submetidos a descargas elétricas foram investigadas exaustivamente no final do século XIX. Quando observada através de um espectroscópio, essa radiação forma um conjunto de linhas de várias cores ou comprimentos de onda, e as posições e as intensidades dessas linhas são características de cada elemento. O estudo dessas linhas é importante, ainda hoje, em campos como a astrofísica e foi fundamental para a compreensão da estrutura da matéria no início do século XX.

Sobre espectros atômicos, é correto afirmar que:

- 01)** espectros de emissão discretos são obtidos de luz proveniente de corpos densos e quentes (sólidos, líquidos e gases altamente comprimidos).
- 02)** espectros de absorção apresentam linhas escuras que representam os comprimentos de onda de gases relativamente frios e rarefeitos que se interpõem entre a luz proveniente de uma fonte que emite um espectro contínuo e um espectroscópio.
- 04)** espectros de emissão contínuos são obtidos por intermédio de aquecimento ou descargas elétricas em matéria pouco densa, como gases rarefeitos.
- 08)** o modelo atômico de Rutherford não explicava os espectros de emissão discretos.
- 16)** o modelo atômico de Bohr teve sucesso em explicar o espectro de emissão do hidrogênio ao propor que: os átomos emitem radiação quando um elétron sofre transição de uma órbita para outra e a frequência da radiação emitida está relacionada às energias das órbitas através da equação $hf = E_c - U_o$.
- 32)** as regularidades nos espectros foram a princípio interpretadas por fórmulas obtidas empiricamente, como a série de Balmer, a de Paschen e a de Lyman.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA



MAXX-STUDIO/SHUTTERSTOCK

Máquina fotográfica digital funciona graças ao fenômeno do efeito fotoelétrico.

A radiação eletromagnética é associada a uma onda que se propaga no vácuo ou em meios materiais. Entretanto, a luz se tornou intrigante, pois em alguns momentos ela se apresentava como corpúsculo e em outros, como onda. Seu caráter ondulatório foi demonstrado por Thomas Young, quando ele realizou experimentos de interferência e difração. E, como será explicado mais detalhadamente a seguir, o efeito fotoelétrico é baseado no fato de a luz ser corpuscular (comportar-se como partícula).

Sendo assim, tem-se que a luz se comporta de duas maneiras: como onda e como partícula. Por isso, recebeu o nome de dualidade onda-partícula. Esse fenômeno mudou o ponto de vista da física e permitiu novas explicações de como é a constituição da matéria que compõe os objetos e seres.

O fenômeno da dualidade da luz proporcionou o entendimento de que alguns efeitos ocorrem como onda (reflexão, refração, difração, polarização e interferência) e outros, com partículas corpusculares (emissão, absorção, efeito fotoelétrico e efeito Compton), possíveis para as mesmas entidades quânticas.

TEORIA QUÂNTICA

A teoria quântica se diferencia da clássica a partir do momento em que ela apresenta uma visão de mundo granular no qual nem todos os valores de energia são possíveis. No início do século XX, o físico Max Planck estabeleceu o conceito de quantização da energia, segundo o qual só existiria uma quantidade de energia múltipla de um valor fundamental. Então, a energia só poderia ser absorvida e emitida

- Teoria quântica
- Efeito fotoelétrico
- Teoria de Broglie

HABILIDADES

- Conceituar a dualidade onda-partícula.
- Determinar a energia cinética de cada fóton.
- Saber o que é efeito fotoelétrico e suas propriedades, além de onde se manifestam no cotidiano.
- Compreender a teoria de Broglie e determinar o comprimento de onda de uma partícula.

em pequenas porções de energia, que ficaram conhecidas como quanta.

A energia de cada fóton (E) é dada pela frequência do fóton (f) vezes a constante de Planck ($h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$).

$$E = h \cdot f$$

Como dito anteriormente, a quantidade de energia se dá em múltiplos inteiros (n) da constante de Planck. Portanto, a equação pode ser reescrita como:

$$E = n \cdot h \cdot f$$

EFEITO FOTOELÉTRICO

O efeito fotoelétrico foi proposto por Albert Einstein quando ele utilizou o conceito da quantização da energia. Esse efeito se dá pela emissão de elétrons de um material (normalmente metálico) exposto a radiação eletromagnética de frequência suficientemente alta.

Um exemplo desse efeito é quando a luz incide em uma placa metálica e arranca elétrons dela. Os que são ejetados recebem o nome de fotoelétrons. Para que um elétron seja arrancado de um átomo, a luz precisa ter uma energia mínima, denominada função trabalho (W). Através dela, podemos obter a energia cinética (E_c) do fotoelétron, considerando a energia do fóton (E), dada por:

$$E_c = E - W$$

Fazendo a substituição da energia do fóton pela equação apresentada na teoria quântica, temos:

$$E_c = h \cdot f - W$$

A seguir, serão indicadas algumas propriedades importantes para que ocorra o efeito fotoelétrico:

- É preciso uma frequência mínima (f_0), senão o efeito não ocorrerá. Caso não haja a frequência mínima, nenhuma intensidade de luz fará o efeito ocorrer.

- A quantidade de elétrons arrancados é diretamente proporcional à intensidade da luz incidente.
- Cada fóton é responsável por ceder toda sua energia a um único elétron.
- O aumento da frequência da radiação incidente na placa que já apresentar efeito fotoelétrico leva à ejeção de elétrons com energia cinética superior.

Alguns exemplos, entre tantos outros, de ocorrência do efeito fotoelétrico são: cronometragem, controle de portas automáticas (ex.: elevadores), dispositivos de segurança e máquinas fotográficas digitais.

TEORIA DE BROGLIE

Como visto, a dualidade onda-partícula permite que a luz se comporte como onda e como partícula, e isso constitui uma propriedade básica da mecânica quântica. O que define o comportamento da entidade é a medição: enquanto ela não é observada, mantém-se a propriedade de onda; e, ao ser medida, se comporta como partícula.

No caso de ondas, temos que a energia é distribuída continuamente e que é quantizada quando ocorre a interação da radiação com a matéria; já quanto às partículas, não ocorre a distribuição da energia, ou seja, ela se concentra nos quanta.

Esse fenômeno levou Louis de Broglie a pensar que, se o fenômeno de dualidade onda-partícula ocorre com a luz, ela pode ocorrer com a matéria. Então, ele fez a dedução do comprimento de onda associado a uma partícula, dada por

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v}$$

onde h é a constante de Planck, m é a massa e v é a velocidade da luz no vácuo.

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1. UEM – Sobre os modelos atômicos e a quantização da energia, é **correto** afirmar:

- 01)** Segundo os resultados dos experimentos de Ernest Rutherford, um átomo é formado por um núcleo (que é muito pequeno quando comparado com o próprio átomo) com carga elétrica positiva, no qual se concentra praticamente toda a massa do átomo. Ao redor do núcleo localizam-se os elétrons, que neutralizam a carga positiva.
- 02)** A teoria quântica ganhou notoriedade em torno do ano 1900 com o trabalho de Max Planck. De acordo com os estudos de Planck, um corpo, ao passar de um estado de menor energia para outro de maior energia, absorve uma quantidade discreta de energia chamada quantum de energia.
- 04)** O modelo atômico proposto por Niels Bohr indica que os elétrons em um átomo podem ocupar somente algumas energias discretas e que esses elétrons percorrem órbitas circulares com um determinado raio fixo.
- 08)** Considerando o modelo atômico de Bohr, quanto maior for a energia de um elétron no átomo, maior será o raio de sua órbita.

16) Segundo o modelo atômico de Thomson, os elétrons giram em torno de um núcleo em órbitas circulares e elípticas.

Resolução

15 (01 + 02 + 04 + 08)

01) Correta. Para Ernest Rutherford, o átomo seria composto por duas regiões, tendo um pequeno núcleo no qual se concentra toda a carga positiva e praticamente toda a massa do átomo; e uma região extranuclear (todo o resto), conhecida como eletrosfera, na qual se encontram os elétrons.

02) Correta. Max Planck e Albert Einstein afirmaram que cada fóton tem uma quantidade de energia que é proporcional à frequência da luz: $E_{\text{fóton}} = h \cdot f$, onde h é a constante de Planck e f é a frequência da luz.

04) Correta. A partir de suas descobertas científicas, Niels Bohr propôs cinco postulados:

– Um átomo é formado por um núcleo e por elétrons extranucleares, cujas interações elétricas seguem a lei de Coulomb.

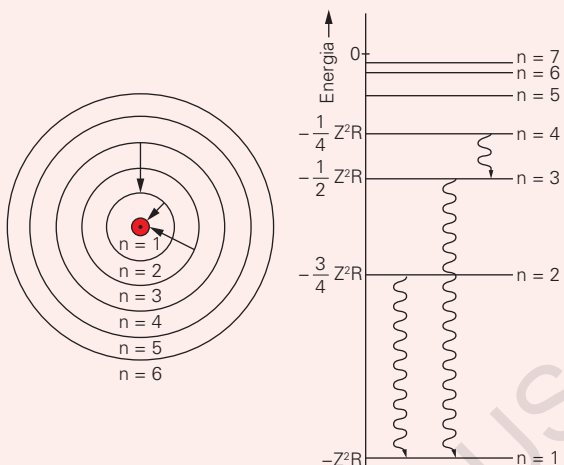
– Os elétrons se movem ao redor do núcleo em órbitas circulares.

– Quando um elétron está em uma órbita, ele não ganha nem perde energia; dizemos que ele está em uma órbita discreta, ou estacionária, ou em um estado estacionário.

– Os elétrons só podem apresentar variações de energia quando saltam de uma órbita para outra.

– Um átomo só pode ganhar ou perder energia em quantidades equivalentes a um múltiplo inteiro (quanta).

08) Correta. Segundo ele, $z =$ número atômico, $R =$ constante.



16) Incorreta. Para Thomson, cada átomo seria formado por uma grande região positiva, que concentraria a massa do átomo, e por elétrons, que neutralizariam a carga positiva. Ou seja, teríamos uma esfera de carga elétrica positiva dentro da qual estariam dispersos os elétrons. Thomson também afirmou que os elétrons estariam dispostos em anéis e se movimentariam em órbitas circulares dentro da esfera positiva, mas não em volta de um núcleo.

2. UPF – Analise as afirmações sobre tópicos de física moderna.

- I. A física moderna é a física desenvolvida até o século XIX.
- II. A mecânica quântica, a teoria da relatividade e a mecânica newtoniana formam parte do conjunto de teorias da física moderna.
- III. A física moderna destaca que, em algumas situações, a luz se comporta como onda, e, em outras situações, como partícula.

IV. O efeito fotoelétrico é um dos fenômenos explicados pela física moderna.

Está **correto** apenas o que se afirma em:

- a) II e III.
- b) II.
- c) III e IV.
- d) II e IV.
- e) I, II e IV.

Resolução

I) Incorreta. A física moderna reflete as descobertas científicas que ampliaram os horizontes da física no século XX.

II) Incorreta. A mecânica newtoniana não faz parte da física moderna.

III) Correta. O experimento de duas fendas e o efeito fotoelétrico evidenciaram o comportamento dual partícula-onda da luz.

IV) Correta. O estudo do efeito fotoelétrico evidenciou que a luz se comporta também como partícula ao transferir momento linear para elétrons de uma chapa metálica, causando a ejeção dessas partículas do metal.

3. FGV – Próximo ao final do século XIX, alguns cientistas (Hertz, Maxwell, Thomson, Lenard) se envolveram na pesquisa de certo fenômeno que ficou conhecido como efeito fotoelétrico. O efeito fotoelétrico consiste na emissão de

- a) partículas α de um corpo atingido por radiação eletromagnética.
- b) raios γ de uma superfície líquida atingida por ondas sonoras.
- c) elétrons de uma massa gasosa sobre a qual incidem ondas mecânicas.
- d) elétrons de uma superfície metálica atingida por radiação eletromagnética.
- e) pósitrons de uma superfície metálica atingida por radiação eletromagnética.

Resolução

O efeito fotoelétrico consiste na emissão de elétrons de determinada superfície metálica quando ela é atingida por ondas eletromagnéticas, cuja frequência deve ser superior a certo valor definido como função trabalho do material metálico – ou seja, é uma característica de cada tipo de metal. Os elétrons que são emitidos apresentam uma maior energia cinética quanto maior for a diferença entre a energia emitida pela onda eletromagnética incidente e a energia mínima para o efeito fotoelétrico aparecer.

ROTEIRO DE AULA

DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA

Teoria quântica

$$E = n \cdot h \cdot f$$

Efeito fotoelétrico

$$E_c = h \cdot f - W$$

Teoria de Broglie

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v}$$

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. UFRGS (adaptado) – O físico francês Louis de Broglie (1892-1987), em analogia ao comportamento dual onda-partícula da luz, atribuiu propriedades ondulatórias à matéria.

Sendo a constante de Planck $6,6 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$, o comprimento de onda de Broglie para um elétron (massa = $9,0 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$) com velocidade de módulo $v = 2,2 \cdot 10^6 \text{ m/s}$ é, aproximadamente, quantos metros?

O comprimento de onda de Louis de Broglie é dado pela expressão:

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v} = 3,3 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$

2. Epcar (adaptado) – A tecnologia dominante nos controles remotos de televisores (TV) é a infravermelha (IV). A premissa básica do funcionamento de um controle remoto (IV) é o uso da “luz” para levar sinais entre um controle remoto e o aparelho que ele controla. Assim, o controle da TV é apenas um gerador de IV, tendo cada botão uma frequência diferente. Então, de acordo com a frequência recebida pela TV, ela a interpreta como sendo um comando (exemplo: trocar de canal).

Considerando que o comprimento de onda do IV utilizado nos controles remotos de TV varia de 750 nm a 1 000 μm , a energia carregada por um fóton na informação enviada à TV estará no intervalo, em eV, de qual valor?

$$E = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

$$E_{\text{min}} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{1000 \cdot 10^{-6}} = 1,20 \cdot 10^{-3} \text{ eV}$$

$$E_{\text{max}} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{750 \cdot 10^{-9}} = 1,65 \text{ eV}$$

$$E_{\text{max}} - E_{\text{min}} = 1,65 \text{ eV}$$

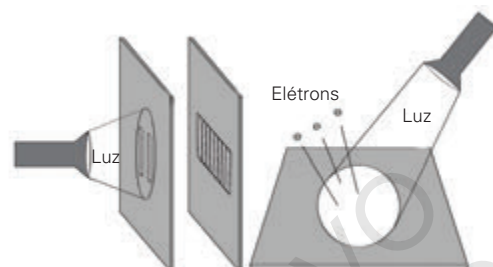
3. Sistema Dom Bosco – Sobre os conceitos referentes à estrutura atômica, assinale as alternativas corretas:

- A massa de um elétron não pode ser medida.
- A teoria aceita atualmente pela comunidade científica é a de que a radiação eletromagnética se configura como uma onda.
- A massa dos nêutrons é 20 000 vezes maior que a massa dos prótons.
- Para Planck, os átomos absorvem ou emitem uma quantidade definida de energia, que pode ser ilustrada como pacote de energia.

- Correta.
- Incorreta. A comunidade científica trata da teoria da dualidade onda-partícula.
- Incorreta. Sabe-se que as massas dos prótons e dos nêutrons são semelhantes.
- Correta.

4. UFSC – A natureza da luz é um tema que ocupa os estudiosos desde a Antiguidade. As teorias corpuscular e ondulatória buscam a preferência de cientistas famosos para explicar fenômenos importantes da ciência. No entanto, após o experimento da fenda dupla de Thomas Young, em 1802, e da explicação do efeito fotoelétrico realizada por Albert Einstein, em 1905, a ideia da dualidade onda/partícula da luz foi aceita pela comunidade científica. A experiência da fenda dupla consiste em fazer a luz passar por duas fendas em uma placa e observar o padrão de franjas (listras) claras e franjas (listras)

escuras. Já o efeito fotoelétrico consiste em incidir luz sobre uma placa metálica para arrancar elétrons.



Experiência da fenda dupla

Efeito fotoelétrico

Considerando o que foi exposto, é correto afirmar que:

- no experimento de Young, a obtenção do padrão de franjas claras e franjas escuras ocorre por meio do fenômeno de interferência construtiva e interferência destrutiva das ondas; logo, a explicação do fenômeno é ondulatória.
- a formação do padrão de franjas claras e franjas escuras no experimento da fenda dupla de Young foi explicada pela teoria corpuscular da luz, em que as partículas da luz (fótons) sofrem o fenômeno de interferência.
- no efeito fotoelétrico, para arrancar os elétrons da placa, a luz deve ser formada por partículas (fótons) com uma energia mínima proporcional à frequência da luz.
- tanto a teoria corpuscular quanto a teoria ondulatória da luz explicam o padrão de franjas claras e franjas escuras no experimento da fenda dupla.
- o efeito fotoelétrico foi explicado por Einstein pela teoria ondulatória da luz.
- os fenômenos de interferência e difração são mais bem representados pela teoria ondulatória da luz, enquanto o fenômeno do efeito fotoelétrico é mais bem representado pela teoria corpuscular da luz.

37 (01 + 04 + 32)

01) Correta.

02) Incorreta. A formação de franjas claras e escuras no experimento da fenda dupla pela interferência somente pode ser explicado assumindo-se a teoria ondulatória para a luz.

04) Correta.

08) Incorreta. O experimento da fenda dupla é baseado na teoria ondulatória.

16) Incorreta. O efeito fotoelétrico é explicado pela teoria corpuscular da luz.

32) Correta.

5. UFSC (adaptado) – As ondas eletromagnéticas, como a luz e as ondas de rádio, têm um “sério problema de identidade”. Em algumas situações, apresentam-se como onda, em outras, apresentam-se como partícula, como no efeito fotoelétrico, em que são chamadas de fótons. Isso é o que chamamos de dualidade onda-partícula, uma das peculiaridades que encontramos no universo da Física e que nos leva à seguinte pergunta: “Finalmente, a luz é onda ou partícula?”. O mesmo acontece com um feixe de elétrons, que pode se comportar ora como onda, ora como partícula.

Com base no que foi exposto, assinale a(s) proposição(ões) **CORRETA(S)**.

- O fenômeno da difração só fica evidente quando o comprimento de onda é da ordem de grandeza da abertura da fenda.

- 04) O físico francês Louis de Broglie apresentou uma teoria ousada, baseada na seguinte hipótese: "Se fótons apresentam características de onda e partícula [...], se elétrons são partículas, mas também apresentam características ondulatórias, talvez todas as formas de matéria tenham características duais de onda e partícula".
- 08) Admitindo que a massa do elétron seja $9,1 \cdot 10^{-31}$ kg e que ele viaje com uma velocidade de $3 \cdot 10^6$ m/s, o comprimento de onda de De Broglie para o elétron em questão é $2,4 \cdot 10^{-12}$ m.
- 16) Após a onda passar pela fenda dupla, as frentes de ondas geradas em cada fenda sofrem o fenômeno de interferência, que pode ser construtiva ou destrutiva. Dessa forma, fica evidente o princípio de dependência de propagação de uma onda.
- 32) Christian Huygens, físico holandês, foi o primeiro a discutir o caráter dualístico da luz e, para tanto, propôs o experimento de fenda dupla.

06 (02 + 04)

02) Correta.

04) Correta.

08) Incorreta. O comprimento de onda de De Broglie é:

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v} = 2,4 \cdot 10^{-10} \text{ m.}$$

16) Incorreta. A interferência ocorre apenas no ponto de superposição. Após a superposição, cada onda segue, independentemente, sua trajetória.

32) Incorreta. Huygens não discutiu esse caráter dualístico, e a experiência de fenda dupla foi proposta e realizada por Thomas Young.

6. UEM

C5-H17

Em relação a fenômenos envolvendo ondas eletromagnéticas e, portanto, eletromagnetismo em geral, assinale o que for **correto**.

- 01) A variação temporal de um campo magnético em determinada região do espaço induz um campo elétrico nessa mesma região.
- 02) A variação temporal de um campo elétrico em determinada região do espaço induz um campo magnético nessa mesma região.
- 04) Campos elétricos e campos magnéticos, propagando-se pelo espaço por induções recíprocas e incessantes, estão presentes em uma onda eletromagnética.
- 08) A velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas depende de onde ela se propaga.
- 16) Ao incidir sobre uma placa metálica condutora, uma onda eletromagnética pode transferir energia, mas não pode transferir quantidade de movimento.

15 (01 + 02 + 04 + 08)

01) Correta. Em um campo magnético, a variação temporal induz um campo elétrico.

02) Correta. Em um campo elétrico, a variação temporal induz um campo magnético.

04) Correta. Ondas eletromagnéticas são compostas por campos elétricos e magnéticos variáveis.

08) Correta. A velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas depende do meio no qual elas se propagam, sendo máxima no vácuo.

16) Incorreta. A onda eletromagnética pode transferir energia ao incidir sobre a placa metálica, causando emissão de elétrons e, conseqüentemente, transferindo quantidade de movimento.

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. **UFJF-Pism** – O efeito fotoelétrico foi descoberto por Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894) nos anos de 1886 e 1887. Hertz percebeu que uma descarga elétrica entre dois eletrodos, dentro de uma ampola de vidro, era facilitada pela incidência de radiação luminosa no eletrodo negativo, provocando a emissão de elétrons de sua superfície. A explicação satisfatória para esse efeito foi dada em 1905, por Albert Einstein, e em 1921 deu ao cientista alemão o prêmio Nobel de Física. Analisando o efeito fotoelétrico, quantitativamente, Einstein propôs que a energia do fóton incidente é igual à energia necessária para remover um elétron, mais a energia cinética do elétron emitido.

Com base nessas informações, calcule os itens a seguir.

- a) Considerando que a energia de um fóton incidente é definida por $E = h \cdot f$, onde $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$ J · s é a constante de Planck, e que o comprimento de onda de um fóton é dado por $\lambda = 396$ nm, obtenha a energia do fóton.
- b) Sabendo que a massa de um elétron é de aproximadamente $9,1 \cdot 10^{-31}$ kg e que a velocidade dos elétrons emitidos de uma placa metálica incidente por uma radiação com $\lambda = 396$ nm é de 900,00 km/s, calcule o valor da energia necessária para remover o elétron da placa.

8. **FGV (adaptado)** – A função trabalho de certo metal é $9,94 \cdot 10^{-19}$ J. Considere a constante de Planck com o valor de $6,63 \cdot 10^{-34}$ J · s. A frequência mínima a partir

da qual haverá efeito fotoelétrico sobre esse metal é, em 10^{15} Hz, de qual valor?

9. **Ufes-ES** – O comprimento de onda do fóton com energia de 6 600 eV é de:

- a) $4,80 \cdot 10^{-48}$ m
 b) $3,00 \cdot 10^{-32}$ m
 c) $3,00 \cdot 10^{-29}$ m
 d) $1,87 \cdot 10^{-13}$ m
 e) $1,87 \cdot 10^{-10}$ m

10. **UFPE-PE** – O céσιο metálico tem uma função trabalho (potencial de superfície) de 1,8 eV. Qual a energia cinética máxima dos elétrons, em eV, que escapam da superfície do metal quando ele é iluminado com luz ultravioleta de comprimento de onda igual a 327 nm? Considere: $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19}$; $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ J · s; e $c = 3,0 \cdot 10^9$ m/s

11. **UFJF-Pism** – Joyce trabalha com espectroscopia de fotoelétrons, que é uma técnica de caracterização de materiais que consiste em bombardear um material com raios X de determinada energia e medir a energia cinética dos elétrons arrancados da superfície do material. Com isso, é possível saber a composição química e o tipo de ligação entre os átomos da amostra estudada. Joyce quer estudar uma folha de grafeno, que é um material composto somente de átomos de carbono. Para

isso, ela usa duas fontes de raios X, A e B, que possuem frequências de f_A e f_B , respectivamente, com $f_A > f_B$.

Sobre esse experimento, são formuladas três hipóteses:

- I. Se usarmos a fonte A, os elétrons extraídos da folha de grafeno chegam ao detector com uma energia cinética maior do que a que seria medida se usássemos a fonte B.
- II. Os elétrons extraídos do nível S, que é o nível eletrônico mais interno dos átomos, chegarão ao detector com energia maior do que os elétrons da camada P, pois aqueles estão mais fracamente ligados ao núcleo, demandando menos energia para arrancá-los.
- III. A energia de ligação dos elétrons nos átomos de carbono é quantizada.

Assinale a afirmativa CORRETA a respeito das hipóteses formuladas:

- a) Somente I e II estão corretas.
- b) Somente I e III estão corretas.
- c) Somente I está correta.
- d) I, II e III estão corretas.
- e) Somente II está correta.

- 12. UFU** – A natureza da luz é um assunto que tem estado presente nas discussões de cientistas e filósofos há séculos, principalmente a partir da possibilidade de aplicação de fenômenos luminosos por comportamentos tanto ondulatórios quanto corpusculares. Segundo o princípio da complementaridade, proposto por Niels Bohr em 1928, a descrição ondulatória da luz é complementar à descrição corpuscular, mas não se usam as duas descrições simultaneamente para descrever determinado fenômeno luminoso. Desse modo, fenômenos luminosos envolvendo a propagação, a emissão e a absorção da luz são explicados ora considerando a natureza ondulatória, ora considerando a natureza corpuscular.

Assinale a alternativa que apresenta um fenômeno luminoso mais bem explicado, considerando-se a natureza corpuscular da luz.

- a) Espalhamento da luz ao atravessar uma fenda estreita.
- b) Interferência luminosa quando feixes luminosos de fontes diferentes se encontram.
- c) Mudança de direção de propagação da luz ao passar de um meio transparente para outro.
- d) Absorção de luz com emissão de elétrons por uma placa metálica.

- 13. UPF** – Denomina-se de efeito fotoelétrico o fenômeno que consiste na liberação de elétrons pela superfície de um material quando esse é exposto a uma radiação eletromagnética como a luz. O fenômeno foi explicado por Einstein em 1905, quando ele admitiu que a luz é constituída por quanta, cuja energia é dada por $E = h \cdot f$, sendo h a constante de Planck e f a frequência da luz. Das seguintes afirmativas, assinale a **correta**.

- a) O efeito fotoelétrico acontece independentemente da frequência da luz incidente na superfície metálica.
- b) A teoria do efeito fotoelétrico afirma que, aumentando a frequência da luz incidente na superfície metálica, é possível arrancar prótons da superfície do metal.
- c) Considerando que, no vácuo, o comprimento de onda da luz vermelha é maior do que o comprimento de onda da luz azul, a energia dos quanta de luz vermelha é maior do que a energia dos quanta da luz azul.

d) Quando uma luz monocromática incide sobre uma superfície metálica e não arranca elétrons dela, basta aumentar sua intensidade para que o efeito fotoelétrico ocorra.

e) O efeito fotoelétrico fornece evidências das naturezas ondulatória e corpuscular da luz.

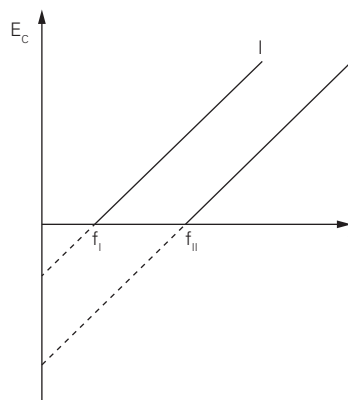
- 14. UEM-PAS** – Quando luz incide sobre a superfície de um metal, elétrons podem ser extraídos dessa superfície. Esse fenômeno é denominado efeito fotoelétrico. Assinale o que for correto sobre o efeito fotoelétrico e sobre as propriedades da luz.

- 01) O efeito fotoelétrico é uma evidência do comportamento corpuscular da luz.
- 02) Elétrons são liberados da superfície do metal se a energia dos fótons incidentes for maior que a energia que prende os elétrons à superfície do metal (função trabalho).
- 04) Quanto maior o comprimento de onda da luz incidente, maior será a energia transferida dos fótons para os elétrons.
- 08) Independentemente da frequência da luz incidente, elétrons podem ser liberados da superfície do metal, aumentando-se a intensidade do feixe de luz.
- 16) A função trabalho do metal depende exclusivamente do comprimento de onda da luz incidente.

- 15. ITA** – Uma placa é feita de um metal cuja função trabalho W é menor que $h \cdot v$, sendo v uma frequência no intervalo do espectro eletromagnético visível e h a constante de Planck. Deixada exposta, a placa interage com a radiação eletromagnética proveniente do Sol, absorvendo uma potência P . Sobre a ejeção de elétrons da placa metálica nessa situação, é correto afirmar que os elétrons

- a) não são ejetados instantaneamente, já que precisam de um tempo mínimo para acúmulo de energia.
- b) podem ser ejetados instantaneamente com uma mesma energia cinética para qualquer elétron.
- c) não podem ser ejetados, pois a placa metálica apenas reflete toda a radiação.
- d) podem ser ejetados instantaneamente, com energia que depende da frequência da radiação absorvida e da energia do elétron no metal.
- e) não podem ser ejetados instantaneamente, e a energia cinética após a ejeção depende da frequência da radiação absorvida e da energia do elétron no metal.

- 16. UFRGS** – O gráfico a seguir mostra a energia cinética E_c de elétrons emitidos por duas placas metálicas, I e II, em função da frequência f da radiação eletromagnética incidente.



Sobre essa situação, são feitas três afirmações.

- Para $f > f_{il}$, a E_c dos elétrons emitidos pelo material II é maior do que a dos elétrons emitidos pelo material I.
- O trabalho realizado para liberar elétrons da placa II é maior do que o realizado na placa I.
- A inclinação de cada reta é igual ao valor da constante universal de Planck, h .

Quais estão corretas?

- a) Apenas I. c) Apenas III. e) I, II e III.
b) Apenas II. d) Apenas II e III.

17. UFPR – Entre os vários trabalhos científicos desenvolvidos por Albert Einstein, destaca-se o do efeito fotoelétrico, que lhe rendeu o Prêmio Nobel de Física de 1921. Sobre esse efeito, amplamente utilizado em nossos dias, é correto afirmar:

- Trata-se da possibilidade de a luz incidir em um material e torná-lo condutor, desde que a intensidade da energia da radiação luminosa seja superior a um valor limite.
- É o princípio de funcionamento das lâmpadas incandescentes, nas quais, por ação da corrente elétrica que percorre seu filamento, é produzida luz.
- Ocorre quando a luz atinge um metal e a carga elétrica do fóton é absorvida por esse metal, produzindo corrente elétrica.
- É o efeito que explica o fenômeno da fiação observada quando existe uma diferença de potencial elétrico suficientemente grande entre dois fios metálicos próximos.
- Corresponde à ocorrência da emissão de elétrons quando a frequência da radiação luminosa incidente no metal for maior que determinado valor, o qual depende do tipo de metal em que a luz incidiu.

ESTUDO PARA O ENEM

18. Unisc

C5-H17

A radiação eletromagnética tem uma natureza bastante complexa. Em fenômenos de interferência, por exemplo, ela apresenta um comportamento _____. Já em processo de emissão e de absorção ela pode apresentar um comportamento _____. Pode também ser descrita por “pacotes de energia” (fótons) que se movem no vácuo com velocidade de aproximadamente 300 000 km/s e têm massa _____.

Assinale a alternativa que preenche corretamente as lacunas.

- ondulatório – ondulatório – nula.
- ondulatório – corpuscular – nula.
- ondulatório – corpuscular – diferente de zero.
- corpuscular – ondulatório – diferente de zero.
- ondulatório – ondulatório – diferente de zero.

TEXTO PARA A PRÓXIMA QUESTÃO:

Leia a charge a seguir e responda à(s) questão(ões).



Disponível em: <<http://tirinhasdefisica.blogspot.com.br/>>. Acesso em: 27 abr. 2016.

19. UEL

C6-H20

Considere que as lâmpadas descritas na charge emitem luz amarela que incide na superfície de uma placa metálica colocada próxima a elas.

Com base nos conhecimentos sobre o efeito fotoelétrico, assinale a alternativa correta.

- a) A quantidade de energia absorvida por um elétron que escapa da superfície metálica é denominada fótons e tem o mesmo valor para qualquer metal.
- b) Se a intensidade luminosa for alta e a frequência da luz incidente for menor que a frequência-limite, ou de corte, o efeito fotoelétrico deve ocorrer na placa metálica.
- c) Se a frequência da luz incidente for menor do que a frequência-limite, ou de corte, nenhum elétron da superfície metálica será emitido.
- d) Quando a luz incide sobre a superfície metálica, os núcleos atômicos próximos da superfície absorvem energia suficiente e escapam para o espaço.
- e) Quanto maior for a função trabalho da superfície metálica, menor deverá ser a frequência-limite, ou de corte, necessária para a emissão de elétrons.

20. Feevale**C6-H22**

O efeito fotoelétrico foi descoberto por Hertz no final do século XIX, e a explicação do fenômeno foi dada por Einstein no começo do século XX. Com base nessa explicação, são feitas três afirmações.

- I. A energia contida no fóton depende da frequência da radiação incidente.
- II. A radiação, ao incidir sobre uma superfície, pode arrancar elétrons dela.
- III. A energia cinética do elétron arrancado de uma superfície depende da intensidade da radiação incidente.

Marque a alternativa correta.

- a) Apenas a afirmação I está correta.
- b) Apenas a afirmação II está correta.
- c) Apenas a afirmação III está correta.
- d) Apenas as afirmações I e II estão corretas.
- e) Apenas as afirmações I e III estão corretas.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

55

RELATIVIDADE

- Teoria da relatividade especial ou restrita
- Dilatação do tempo
- Contração da distância
- Massa relativística
- Energia relativística

HABILIDADES

- Definir o conceito de relatividade e relacionar com o uso no cotidiano.
- Compreender os dois postulados da teoria da relatividade.
- Compreender e calcular a dilatação do tempo e a contração do espaço.
- Calcular a massa e a energia relativística.



GPS.

A relatividade está presente em vários ambientes, de escalas diferentes, como no movimento de partículas subatômicas. Mesmo no nosso ambiente cotidiano, é necessário utilizar os conhecimentos em relatividade para a utilização dos GPS, garantindo que a determinação das posições na Terra seja feita com alta precisão.

A relatividade estuda o deslocamento de corpos que apresentem velocidade próxima, ou até igual, à da luz no vácuo. Ela surgiu no século XX graças ao físico Albert Einstein. Esse estudo se baseia em fenômenos que ocorrem em referenciais relativos e permitiu o conhecimento quanto aos movimentos, de modo a se dizer que eles não são absolutos, e sim relativos (depende do referencial de quem os observa).

Teoria da relatividade especial ou restrita

A teoria da relatividade especial ou restrita foi imposta por Albert Einstein e fez que houvesse mudanças sobre como pensar em tempo e espaço. Com isso, foram adotados dois postulados, sendo eles:

- Para sistemas de referências inerciais os observadores obedecem às mesmas leis da física.
- A velocidade da luz no vácuo sempre terá o mesmo valor, independentemente da direção, e também é indiferente à velocidade da fonte.

Esses postulados levaram a duas características, sendo elas a contração do espaço e a dilatação do tempo.

Dilatação do tempo

A dilatação do tempo trata de ele ser relativo para diferentes referenciais. Por exemplo, imagine dois observadores, estando um deles na Terra e o outro em uma nave espacial. O tempo de viagem da nave é medido por ambos, porém, para o indivíduo que ficou na Terra, esse tempo é maior do que para aquele que ficou na nave. Ele irá passar mais devagar naquele relógio que está em movimento do que naquele que está em repouso. Com essa proposição, temos:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

onde Δt é o intervalo de tempo medido pelo observador na Terra, Δt_0 é o intervalo de tempo do observador na nave espacial, v é a velocidade da nave e c é a velocidade da luz no vácuo.

Como a velocidade da nave é menor que a velocidade da luz, tem-se que o intervalo de tempo para o observador na Terra é maior do que para o observador da nave. Quando a velocidade da nave for muito menor que a da luz, os intervalos de tempo tendem a ser iguais para ambos os observadores. A velocidade da nave deve ser sempre menor que a da luz, e, quanto maior for a velocidade da nave, mais perceptível será a dilatação do tempo.

Observação: os efeitos da dilatação do tempo não costumam ser observados pelo fato de as velocidades que estão presentes em nosso cotidiano serem muito menores que a velocidade da luz.

Contração da distância

Assim como o tempo, a distância entre dois observadores também é afetada pela velocidade relativa entre eles. Por exemplo, imagine que uma pista de ciclismo é medida por duas pessoas; uma delas está andando de bicicleta a uma velocidade muitíssimo rápida, e a outra está em repouso. A medida obtida pelo ciclista será menor que a do observador em repouso, e, outra vez, isso vai na contramão do senso comum. Com essa proposição temos:

$$L = L_0 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}$$

onde L é o valor obtido pelo ciclista, L_0 é o valor obtido pelo observador em repouso, c é a velocidade da luz no vácuo e v é a velocidade do ciclista.

Considerando a velocidade do ciclista menor que a da luz no vácuo, a distância medida pelo ciclista é menor que a medida pelo observador em repouso. A velocidade do ciclista é sempre menor que a velocidade da luz, e, para os casos realistas, em que a velocidade do ciclista for muito menor que a da luz, a distância do ciclista e a do observador em repouso

serão praticamente iguais. Obviamente, uma vez que as velocidades presentes no cotidiano são desprezíveis se comparadas à velocidade da luz, não é possível perceber a contração da distância. Para o caso do aumento da velocidade do ciclista, é possível observar que a dilatação do tempo é mais acentuada e a distância medida pelo ciclista fica cada vez menor em relação à distância medida pelo observador em repouso.

Massa relativística

A teoria da relatividade de Einstein também aborda a grandeza massa (m), e ela varia em função da velocidade. É dada por:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

onde m_0 é a massa em repouso, c é a velocidade da luz e v é a velocidade da partícula em movimento. Para a massa relativística, são consideradas as mesmas observações da contração no espaço e da dilatação do tempo.

Analisando a expressão dada para a massa, podemos tirar as seguintes conclusões:

- Quando a velocidade da partícula for menor que a velocidade da luz ($v < c$), a massa será maior que a massa de repouso ($m > m_0$), ou aproximadamente igual à massa de repouso ($m \sim m_0$).
- Quanto maior a velocidade (v), maior será a massa (m).
- A velocidade da partícula não pode ser igual ou maior que a velocidade da luz.

Energia relativística

Sabe-se que a energia cinética de uma partícula é dada por:

$$E_c = \frac{m \cdot v^2}{2},$$

e, quando a velocidade da partícula é da ordem da velocidade da luz, esta deve passar por uma correção. Então, Einstein determinou que as energias para uma partícula de massa m_0 , em repouso, e de massa m , em movimento, são dadas por:

$$E_0 = m_0 \cdot c^2$$

$$E = m \cdot c^2$$

Como a massa m da partícula em movimento é menor que sua massa de repouso, a energia em movimento também é menor. A diferença dessas energias é atribuída à energia cinética relativística:

$$E_c = (m - m_0) \cdot c^2$$

Através dessa equação, podemos obter a energia de ligação das partículas que formam um núcleo atômico ($\Delta E = \Delta m \cdot c^2$). Isso é possível porque a massa total de um núcleo é menor que a massa de todas as partículas que o constituem, e essa diferença é atribuída à energia cinética que as mantém ligadas. A expressão

geral para um núcleo com vários corpos (prótons e nêutrons) é dada por:

$$|\Delta E_{\text{ligação}}| = \sum m \cdot c^2 - M_{\text{total do núcleo}} \cdot c^2,$$

em que a somatória é sobre as massas de todas as partículas que compõem o núcleo.

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1. UPF – Em relação à teoria da relatividade restrita, formulada por Einstein, é correto afirmar:

- a) Estuda os fenômenos relativos a referenciais inerciais.
- b) As leis da física são diferentes quando mudamos de um referencial inercial para outro.
- c) Em um sistema de referência inercial, a velocidade da luz, medida no vácuo, depende da velocidade com a qual se move o observador.
- d) O tempo é uma grandeza absoluta.
- e) Os referenciais inerciais são referenciais que se movem, uns em relação aos outros, com velocidade variável.

Resolução

O termo teoria da relatividade restrita significa que a teoria se aplica apenas a referenciais inerciais, que são aqueles para os quais a primeira lei de Newton (princípio da inércia) é válida.

2. UEL

TEXTO PARA A PRÓXIMA QUESTÃO:

Leia o texto a seguir e responda à(s) questão(ões).

O tempo nada mais é que a forma da nossa intuição interna. Se a condição particular da nossa sensibilidade lhe for suprimida, desaparece também o conceito de tempo, que não adere aos próprios objetos, mas apenas ao sujeito que os intui.

KANT, I. *Crítica da razão pura*. Trad. Valério Rohden e Udo Baldur Moosburger. São Paulo: Abril Cultural, 1980. p. 47. (Coleção Os Pensadores.)

A questão do tempo sempre foi abordada por filósofos, como Kant. Na física, os resultados obtidos por Einstein sobre a ideia da “dilatação do tempo” explicam situações cotidianas como o uso de GPS.

Com base nos conhecimentos sobre a teoria da relatividade de Einstein, assinale a alternativa correta.

- a) O intervalo de tempo medido em um referencial em que se empregam dois cronômetros e dois observadores é menor do que o intervalo de tempo próprio no referencial em que a medida é feita por um único observador com um único cronômetro.
- b) Considerando uma nave que se movimenta próximo à velocidade da luz, o tripulante verifica que, chegando ao seu destino, o seu relógio está adiantado em relação ao relógio da estação espacial da qual ele partiu.
- c) As leis da física são diferentes para dois observadores posicionados em sistemas de referência inerciais, que se deslocam com velocidade média constante.
- d) A dilatação do tempo é uma consequência direta do princípio da constância da velocidade da luz e da cinemática elementar.
- e) A velocidade da luz no vácuo tem valores diferentes para observadores em referenciais privilegiados.

Resolução

Análise das alternativas:

[A] Incorreta. Na relatividade de Einstein, o intervalo de tempo medido em um móvel que se move a grandes velocidades é menor em relação a um observador em um referencial inercial. Logo, é necessário ter movimento relativo entre os dois observadores para haver diferenças significativas nos cronômetros.

[B] Incorreta. Neste caso, o relógio do tripulante estaria atrasado em relação ao relógio da estação espacial.

[C] Incorreta. As leis da Física são imutáveis para dois observadores localizados em referenciais inerciais que se movem com velocidades médias constantes.

[D] Correta.

[E] Incorreta. A velocidade da luz é constante no vácuo e independe dos referenciais pelos quais é observada.

ROTEIRO DE AULA

RELATIVIDADE

Massa relativística

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

Teoria da relatividade especial e restrita

Dilatação do tempo

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

Contração da distância

$$L = L_0 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}$$

Energia cinética relativística

$$E_c = (m - m_0) \cdot c^2$$

Energia do núcleo

$$|\Delta E_{\text{ligação}}| = \sum m \cdot c^2 - M_{\text{total do núcleo}} \cdot c^2$$

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. Unicamp – O prêmio Nobel de Física de 2011 foi concedido a três astrônomos que verificaram a expansão acelerada do Universo a partir da observação de supernovas distantes. A velocidade da luz é $c = 3 \cdot 10^8$ m/s.

a) Observações anteriores sobre a expansão do universo mostraram uma relação direta entre a velocidade v de afastamento de uma galáxia e a distância r em que ela se encontra da Terra, dada por $v = H \cdot r$, em que $H = 2,3 \cdot 10^{-18} \text{ s}^{-1}$ é a constante de Hubble. Em muitos casos, a velocidade v da galáxia pode ser obtida pela expressão $v = \frac{c \cdot \Delta\lambda}{\lambda_0}$, em que λ_0 é o comprimento de

onda da luz emitida e $\Delta\lambda$ é o deslocamento Doppler da luz. Considerando ambas as expressões, calcule a que distância da Terra se encontra uma galáxia, se $\Delta\lambda = 0092 \lambda_0$.

b) Uma supernova, ao explodir, libera para o espaço massa em forma de energia, de acordo com a expressão $E = mc^2$. Em uma explosão de supernova foram liberados $3,24 \cdot 10^{48}$ J, de modo que sua massa foi reduzida para $m_{\text{final}} = 4,0 \cdot 10^{30}$ kg. Qual era a massa da estrela antes da explosão?

$$a) \left. \begin{array}{l} v = H \cdot r \\ v = \frac{c \cdot \Delta\lambda}{\lambda_0} \end{array} \right\} \Rightarrow H \cdot r = \frac{c \cdot \Delta\lambda}{\lambda_0} \Rightarrow r = \frac{c \cdot \Delta\lambda}{H \cdot \lambda_0} = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot 0,092 \cdot \lambda_0}{2,3 \cdot 10^{-18} \cdot \lambda_0} \Rightarrow$$

$$r = 1,2 \cdot 10^{25} \text{ m.}$$

$$b) E = m \cdot c^2 \Rightarrow m = \frac{E}{c^2} = \frac{3,24 \cdot 10^{48}}{(3 \cdot 10^8)^2} = \frac{3,24 \cdot 10^{48}}{9 \cdot 10^{16}} \Rightarrow m = 3,6 \cdot 10^{31} \text{ kg.}$$

$$m_{\text{inicial}} = m_{\text{final}} + m \Rightarrow m_{\text{inicial}} = 4 \cdot 10^{30} + 3,6 \cdot 10^{31} = 4 \cdot 10^{30} + 36 \cdot 10^{30} \Rightarrow \\ \Rightarrow m_{\text{inicial}} = 4 \cdot 10^{31} \text{ kg.}$$

2. ITA – Considere as seguintes relações fundamentais da dinâmica relativística de uma partícula: a massa relativística $m = m_0 \cdot \gamma$, o momentum relativístico $p = m_0 \cdot \gamma \cdot v$ e a energia relativística $E = m_0 \cdot \gamma \cdot c^2$ em que m_0 é a massa de repouso da partícula e $\gamma = 1/\sqrt{1-v^2/c^2}$ é o fator de Lorentz. Demonstre que $E^2 - p^2 \cdot c^2 = (m_0 \cdot c^2)^2$ e, com base nessa relação, discuta a afirmação: "Toda partícula com massa de repouso nula viaja com a velocidade da luz c ".

Analisando o fator de Lorentz:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \rightarrow \gamma^2 = \frac{1}{1-\frac{v^2}{c^2}} \rightarrow \gamma^2 = \frac{c^2}{c^2 - v^2}$$

Da energia relativística:

$$E = m_0 \cdot \gamma \cdot c^2 \rightarrow E^2 = m_0^2 \cdot \gamma^2 \cdot c^4 \rightarrow E^2 = m_0^2 \cdot \frac{c^2}{c^2 - v^2} \cdot c^4 \rightarrow E^2 = \frac{m_0^2 \cdot c^6}{c^2 - v^2}$$

Do momentum relativístico:

$$p = m_0 \cdot \gamma \cdot v \rightarrow p^2 = m_0^2 \cdot \gamma^2 \cdot v^2 \rightarrow p^2 = m_0^2 \cdot \frac{c^2}{c^2 - v^2} \cdot v^2 \rightarrow$$

$$\rightarrow p^2 \cdot c^2 = \frac{m_0^2 \cdot c^4 \cdot v^2}{c^2 - v^2}$$

Subtraindo a equação obtida para a energia relativística da equação obtida para o momentum relativístico, temos:

$$E^2 - p^2 \cdot c^2 = \frac{m_0^2 \cdot c^6}{c^2 - v^2} - \frac{m_0^2 \cdot c^4 \cdot v^2}{c^2 - v^2} \rightarrow E^2 - p^2 \cdot c^2 = \frac{m_0^2 \cdot c^4}{c^2 - v^2} \cdot (c^2 - v^2) \rightarrow$$

$$\rightarrow E^2 - p^2 \cdot c^2 = m_0^2 \cdot c^4$$

$$E^2 - p^2 \cdot c^2 = (m_0 \cdot c^2)^2$$

Prova: "Toda partícula com massa de repouso nula viaja com a velocidade da luz c ".

$$E^2 - p^2 \cdot c^2 = (m_0 \cdot c^2)^2$$

$$m_0 = 0 \rightarrow E^2 - p^2 \cdot c^2 = 0 \rightarrow E^2 = p^2 \cdot c^2 \rightarrow E = p \cdot c$$

$$E = m_0 \cdot \gamma \cdot c^2$$

$$p = m_0 \cdot \gamma \cdot v$$

$$E = p \cdot c \rightarrow m_0 \cdot \gamma \cdot c^2 = m_0 \cdot \gamma \cdot v \cdot c$$

$$v = c$$

3. FGV – Os avanços tecnológicos que a ciência experimentou nos últimos tempos nos permitem pensar que, dentro em breve, seres humanos viajarão pelo espaço sideral a velocidades significativas, se comparadas com a velocidade da luz no vácuo.

Imagine um astronauta terráqueo que, do interior de uma nave que se desloca a uma velocidade igual a 60% da velocidade da luz, avista um planeta. Ao passar pelo planeta, ele consegue medir seu diâmetro, encontrando o valor $4,8 \cdot 10^6$ m. Se a nave parasse naquelas proximidades e o diâmetro do planeta fosse medido novamente, o valor encontrado, em 10^6 m, seria de

- a) 2,7. c) 6,0. e) 11,0.
b) 3,6. d) 7,5.

$$d = d_0 \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}$$

$$4,8 \cdot 10^6 = d_0 \sqrt{1 - (0,6)^2}$$

$$4,8 \cdot 10^6 = d_0 \cdot 0,8$$

$$\therefore d_0 = 6 \cdot 10^6 \text{ m}$$

4. UFRGS – Dilatação temporal e contração espacial são conceitos que decorrem da

- a) Teoria especial da relatividade.
b) Termodinâmica.
c) Mecânica newtoniana.
d) Teoria atômica de Bohr.
e) Mecânica quântica.

A dilatação do tempo e a contração do espaço são conceitos decorrentes da relatividade.

5. G1-Col. Naval – Com relação aos conceitos da física, assinale a opção correta.

- a) Em qualquer meio transparente, a propagação da luz ocorre sempre em linha reta.
b) A patinação sobre o gelo acontece porque o aumento da pressão, exercida pelos patins, altera a temperatura de fusão do gelo.
c) As garrafas e outros objetos jogados no mar chegam até as praias transportados pelas ondas.
d) No processo de eletrização por contato, o corpo que recebe elétrons fica negativo e o que perde elétrons fica positivo.
e) As bússolas magnéticas são muito importantes na navegação porque apontam precisamente para o norte geográfico.

[A] Incorreta. A relatividade de Einstein provou que a luz pode se curvar ao passar próxima de um corpo celestrial muito massivo como o Sol.

[B] Correta. Os patins possuem uma área de contato com o solo muito pequena. Isso resulta em aumento de pressão no local do contato, derretendo o gelo e o solidificando em seguida por conta de a temperatura do gelo estar abaixo do ponto de congelamento para o local.

[C] Incorreta. As ondas não transportam matéria, e sim energia.

[D] Incorreta. Na eletrização por contato, dois corpos ficam com o mesmo sinal de carga, podendo ficar negativos e ceder elétrons ou, ainda, ficar positivos e receber elétrons, para os casos de corpo negativo com neutro e corpo positivo com neutro, respectivamente.

[E] Incorreta. As bússolas não apontam com precisão para o norte geográfico, e sim aproximadamente.

6. ITA

C5-H17

Um múon de meia-vida de $1,5 \mu\text{s}$ é criado a uma altura de 1 km da superfície da Terra pela colisão de um raio cósmico com um núcleo e se desloca diretamente para o chão. Qual deve ser a magnitude mínima da velocidade do múon para que ele tenha 50% de probabilidade de chegar ao chão?

- a) $6,7 \cdot 10^7 \text{ m/s}$
b) $1,2 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

- c) $1,8 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
d) $2,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
e) $2,7 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

No tempo de sua meia-vida, o múon deve percorrer a distância relativística L. Desse modo:

$$\left\{ \begin{array}{l} L = v \cdot t \\ L = L_0 \sqrt{\frac{c^2 - v^2}{c^2}} \end{array} \right\} \Rightarrow L_0 \sqrt{\frac{c^2 - v^2}{c^2}} = v \cdot t \Rightarrow \frac{L_0^2}{c^2} (c^2 - v^2) = v^2 \cdot t^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow c^2 = v^2 = v^2 \left(1 + t^2 \cdot \frac{c^2}{L_0^2} \right) \Rightarrow 9 \cdot 10^{16} = v^2 \left(1 + 2,25 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{9 \cdot 10^{16}}{10^6} \right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v^2 = \frac{9 \cdot 10^{16}}{1,2025} \Rightarrow v = 2,7 \cdot 10^8 \text{ m/s.}$$

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. FGV (adaptado) – A nave New Horizons, cuja foto é apresentada a seguir, partiu do Cabo Canaveral em janeiro de 2006 e chegou bem perto de Plutão em julho de 2015. Foram mais de 9 anos no espaço, voando a 21 km/s. É uma velocidade muito alta para nossos padrões aqui na Terra, mas muito baixa se comparada aos 300 000 km/s da velocidade da luz no vácuo.



Considere uma nave que possa voar a uma velocidade igual a 80% da velocidade da luz e cuja viagem dure 9 anos para nós, observadores localizados na Terra.

Para um astronauta no interior dessa nave, tal viagem duraria cerca de quantos anos?

8. UPE-SSA (adaptado)

A sonda caçadora de exoplanetas Kepler encontrou aquele que talvez seja o corpo celeste mais parecido com a Terra. A Nasa anunciou, nesta quinta-feira (23), a descoberta de Kepler-452b, um exoplaneta encontrado dentro de uma zona habitável de seu sistema solar, ou seja, uma região onde é possível que exista água no estado líquido. A semelhança com nosso planeta é tão grande que os pesquisadores chamaram o Kepler-452b de Terra 2.0. O Kepler-452b é cerca de 60% maior que a Terra e precisa

de 385 dias para completar uma órbita ao redor de sua estrela, a Kepler 452. E essa estrela hospedeira é muito parecida com nosso Sol: tem quase o mesmo tamanho, temperatura e emite apenas 20% mais luz. Localizado na constelação Cygnus, o sistema solar da Terra 2.0 está 1 400 anos-luz distante do nosso.

Fonte: <<http://exame.abril.com.br/tecnologia/noticias/terra-2-0-nasa-anuncia-descoberta-historica-de-planeta-quase-identico-ao-nosso>>. Acesso em: 14 jul. 2016.

Supondo-se que, a fim de investigar mais de perto o Kepler-452b, uma sonda tenha sido enviada da Terra por uma equipe da Nasa, com uma velocidade igual a $(3)^{1/2} c/2$. Quando o relógio instalado na sonda marcar 28 anos de viagem, quanto tempo terá se passado para a equipe na Terra?

9. Fuvest (adaptado) – O elétron e sua antipartícula, o pósitron, possuem massas iguais e cargas opostas. Em uma reação em que o elétron e o pósitron, em repouso, se aniquilam, dois fótons de mesma energia são emitidos em sentidos opostos.

A energia de cada fóton produzido é, em MeV, aproximadamente, de qual valor?

Note e adote:

Relação de Einstein entre energia (E) e massa (m): $E = m \cdot c^2$

Massa do elétron = $9 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$

Velocidade da luz $c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

$1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}$

No processo de aniquilação, toda a massa das partículas é transformada em energia dos fótons.

10. ITA (adaptado) – Enquanto em repouso relativo a uma estrela, um astronauta vê a luz dela como predominantemente vermelha, de comprimento de onda próximo a 600 nm. Acelerando sua nave na direção da estrela, a luz será vista como predominantemente violeta, de comprimento de onda próximo a 400 nm. Nessa ocasião, a razão da velocidade da nave em relação à da luz será de que valor?

11. FGV – Não está longe a época em que aviões poderão voar a velocidades da ordem de grandeza da velocidade da luz (c) no vácuo. Se um desses aviões, voando a uma velocidade de $0,6 \cdot c$, passar rente à pista de um aeroporto de 2,5 km, percorrendo-a em sua extensão, para o piloto desse avião a pista terá uma extensão, em km, de

- a) 1,6. c) 2,3. e) 3,2.
b) 2,0. d) 2,8.

12. UFJF-Pism – Em um reator nuclear, átomos radioativos são quebrados pelo processo de fissão nuclear, liberando energia e átomos de menor massa atômica. Essa energia é convertida em energia elétrica com um aproveitamento de aproximadamente 30%. A teoria da relatividade de Einstein torna possível calcular a quantidade de energia liberada no processo de fissão nuclear. Nessa teoria, a energia de uma partícula é calculada pela expressão $E = m \cdot c^2$, onde $m = m_0 / \sqrt{1 + (v/c)^2}$. Em uma residência comum, se consome, em média, 200 kWatt-hora por mês. Nesse caso, **CALCULE** qual deveria ser a massa, em quilogramas, necessária para se manter essa residência por um ano, considerando que a transformação de massa em energia ocorra no repouso.

Dado: $c = 3 \cdot 10^8$ m/s.

- a) $3,6 \cdot 10^{-8}$ kg d) $9,6 \cdot 10^{-8}$ kg
b) $6,3 \cdot 10^{-5}$ kg e) $5,3 \cdot 10^{-5}$ kg
c) $3,2 \cdot 10^{-7}$ kg

13. UFJF-Pism – Na teoria da relatividade de Einstein, a energia de uma partícula é calculada pela expressão $E = m \cdot c^2$, onde $m = m_0 / \sqrt{1 - (v/c)^2}$. Em um microscópio eletrônico de varredura, elétrons são emitidos com energia de $8,0 \cdot 10^5$ eV para colidir com uma amostra de carbono que se encontra parada. Calcule o valor da velocidade dos elétrons emitidos.

- a) $2,31 \cdot 10^8$ m/s d) $2,31 \cdot 10^4$ m/s
b) $4,73 \cdot 10^8$ m/s e) $1,11 \cdot 10^4$ m/s
c) $1,11 \cdot 10^6$ m/s

14. Udesc – De acordo com o paradoxo dos gêmeos, talvez o mais famoso paradoxo da relatividade restrita, pode-se supor a seguinte situação: um amigo de sua

idade viaja a uma velocidade de $0,999 c$ para um planeta de uma estrela situada a 20 anos-luz de distância. Ele passa 5 anos nesse planeta e retorna para casa a $0,999 c$. Considerando que $\gamma = 22,4$, assinale a alternativa que representa **corretamente** quanto tempo seu amigo passou fora de casa de seu ponto de vista e do ponto de vista dele, respectivamente.

- a) 20,00 anos e 1,12 anos
b) 45,04 anos e 1,79 anos
c) 25,00 anos e 5,00 anos
d) 45,04 anos e 6,79 anos
e) 40,04 anos e 5,00 anos

15. Unisc – Em uma explosão de uma mina de carvão foram utilizadas 1 000 toneladas de explosivo trinitrotolueno (TNT), o que equivale a $1,0 \cdot 10^{12}$ calorías. Qual foi, aproximadamente, a quantidade de massa convertida em energia equivalente a essa explosão? (1 caloría = $4,18$ J e $c = 3,0 \cdot 10^8$ m/s)

- a) $4,6 \cdot 10^{-5}$ kg c) $1,1 \cdot 10^{-5}$ kg e) $1,1 \cdot 10^{-13}$ kg
b) $4,6 \cdot 10^{-8}$ kg d) $1,1 \cdot 10^{-8}$ kg

16. Cefet-MG – Um observador A está em uma espaçonave que passa perto da Terra, afastando-se dela com uma velocidade relativa de $0,995 c$. A espaçonave segue viagem até que o observador A constata que ela já dura 2,50 anos. Nesse instante, a espaçonave inverte o sentido de sua trajetória e inicia o retorno à Terra, que dura igualmente 2,50 anos, de acordo com o relógio de bordo. Um observador B, na superfície da Terra, envelhece, aproximadamente, entre a partida e o retorno da espaçonave,

- a) 50 anos. c) 5,0 anos. e) 0,50 ano.
b) 25 anos. d) 2,5 anos.

17. UFG – A teoria da relatividade elaborada por Albert Einstein (1879-1950), no início do século XX, abalou profundamente os alicerces da física clássica, que já estava bem estabelecida e testada. Por questionar os conceitos canônicos da ciência e do senso comum até então, ela tornou-se uma das teorias científicas mais populares de todos os tempos.

Que situação física, prevista pela relatividade restrita de Einstein, também está em conformidade com a física clássica?

- a) A invariância do tempo em referenciais inerciais.
b) A contração do espaço.
c) A invariância da velocidade da luz.
d) A diferença entre massa inercial e gravitacional.
e) A conservação da quantidade de movimento.

ESTUDO PARA O ENEM

18. UFRGS

C5-H17

Os múons cósmicos são partículas de altas energias, criadas na alta atmosfera terrestre. A velocidade de alguns desses múons (v) é próxima da velocidade da luz (c), tal que $v^2 = 0,998c^2$, e seu tempo de vida em um referencial em repouso é aproximadamente $t_0 = 2 \cdot 10^{-6}$ s. Pelas leis da mecânica clássica, com esse tempo de vida tão curto, nenhum múon poderia chegar ao solo, no entanto, eles são detectados na Terra. Pelos

postulados da relatividade restrita, o tempo de vida do múon em um referencial terrestre (t) e o tempo t_0 são relacionados pelo fator relativístico

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

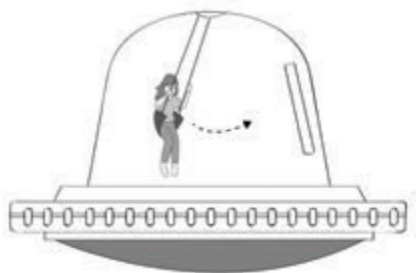
Para um observador terrestre, a distância que o múon pode percorrer antes de se desintegrar é, aproximadamente,

- a) $6,0 \cdot 10^2$ m d) $17,5 \cdot 10^3$ m
 b) $6,0 \cdot 10^3$ m e) $27,0 \cdot 10^3$ m
 c) $13,5 \cdot 10^3$ m

19. Epcar-AFA

C5-H17

Uma garota de nome Julieta se encontra em uma nave espacial brincando em um balanço que oscila com período constante igual a T_0 , medido no interior da nave, como mostra a figura.



A nave de Julieta passa paralelamente com velocidade $0,5c$, em que c é a velocidade da luz, por uma plataforma espacial, em relação à qual o astronauta Romeu se encontra parado. Durante essa passagem,

Romeu mede o período de oscilação do balanço como sendo T e o comprimento da nave, na direção do movimento, como sendo L .

Nessas condições, o período T , medido por Romeu, e o comprimento da nave, medido por Julieta, são respectivamente

- a) $\frac{2}{3}T_0\sqrt{3}$ e $\frac{2}{3}L\sqrt{3}$ c) $\frac{T_0\sqrt{3}}{2}$ e $\frac{2}{3}L\sqrt{3}$
 b) $\frac{2}{3}T_0\sqrt{3}$ e $\frac{L\sqrt{3}}{2}$ d) $\frac{T_0\sqrt{3}}{2}$ e $\frac{L\sqrt{3}}{2}$

20. UPE

C5-H17

Uma régua cujo comprimento é de 50 cm está se movendo paralelamente à sua maior dimensão com velocidade $0,6c$ em relação a certo observador. Sobre isso, é CORRETO afirmar que o comprimento da régua, em centímetros, para esse observador vale

- a) 35
 b) 40
 c) 62,5
 d) 50
 e) 100

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO
 SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

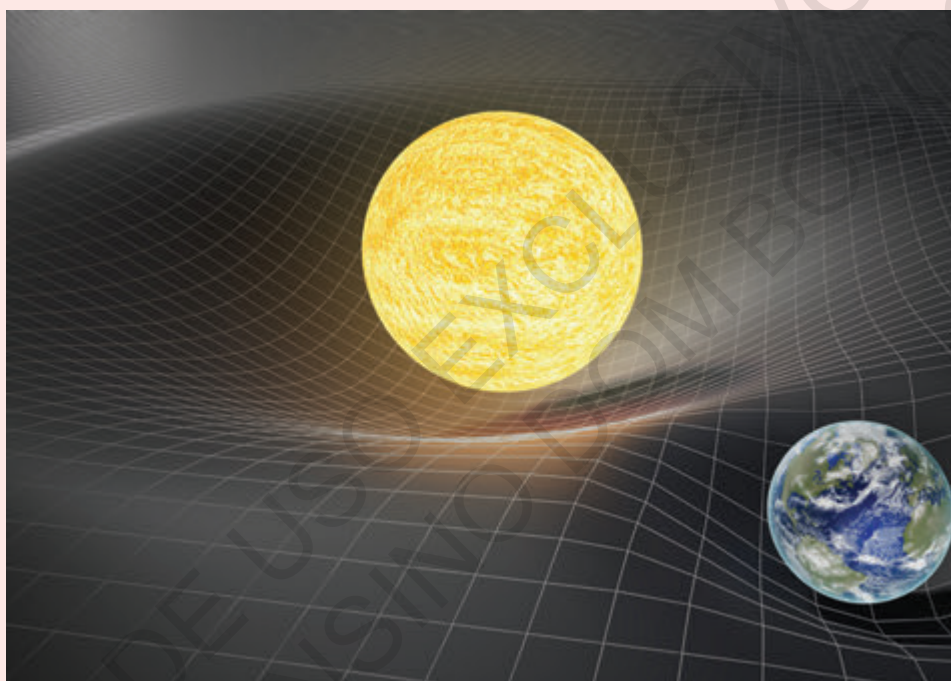
56

RELATIVIDADE GERAL

- A órbita do planeta Mercúrio
- O desvio dos raios de luz por um campo gravitacional
- Ondas gravitacionais

HABILIDADES

- Definir o conceito de relatividade geral.
- Compreender as contribuições da relatividade geral.



Terra e Sol no espaço tempo distorcido.

Em 1915, após dez anos de tentativas e fracassos, Albert Einstein concluiu a teoria da relatividade geral. Num desses momentos raros de visão quase profética, mostrou que a atração atribuída à gravidade pode ser imitada por um movimento acelerado. Experimentamos isso no elevador: quando sobe rápido, temos a sensação de que nosso peso aumenta. Como ele vem da gravidade terrestre, vemos que a aceleração do elevador pode mudá-lo. Um astronauta num foguete acelerando pode simular a mesma sensação de peso que na Terra. E aqui vem a grande sacada de Einstein. Quando atiramos uma bola, vemos que ela descreve uma trajetória curva, parabólica. Isso é consequência da gravidade terrestre. Mas, se a aceleração imita a gravidade, uma bola atirada num foguete acelerado também descreve uma parábola. Einstein extrapolou isso tudo para a luz. Sabemos que a luz pega sempre o caminho mais curto entre dois pontos. Sob a ação da gravidade, a luz se comporta feito uma bola e descreve uma curva. Não vemos isso aqui na Terra porque a gravidade é fraca; mas, perto de uma estrela, como o Sol, o efeito é bem maior. Einstein, então, teve outra ideia genial: e se não fosse a luz que descrevesse uma curva, mas a própria geometria do espaço que fosse encurvada pela gravidade? E como provar uma ideia tão louca? Usando o Sol. Como o Sol tem muita massa, o espaço à sua volta deve ser encurvado. Quando a luz de uma estrela distante passa perto, sua trajetória deve ser desviada. Mas como olhar para o Sol e ver uma estrela? Simples: basta fazer a observação durante um eclipse total, quando a luz do Sol é bloqueada pela Lua. Assim, dá para ver a estrela e medir sua posição, comparando com sua posição quando o Sol não está no caminho. Esse é um exemplo do que a relatividade geral estuda.

Fonte: <<https://revistagalileu.globo.com/Revista/noticia/2014/12/espacos-curvos.html>>. Acesso em: mar. 2019.

A órbita do planeta Mercúrio

O astrônomo francês Urbain Le Verrier estimou o avanço do planeta Mercúrio, que se movimenta rapidamente em seu ponto mais alto em relação ao Sol (periélio) em cerca de 43' de arco por século. Mas não era possível interpretar esse resultado em meados do século XIX somente usando a teoria da mecânica celeste de Newton. Graças à teoria da relatividade geral de Einstein, o fato de Mercúrio estar muito próximo do Sol explicou esse avanço.

O desvio dos raios de luz por um campo gravitacional

Durante a observação de um eclipse solar na ilha do Príncipe, no Golfo da Guiné, na África, e na cidade

de Sobral, no Ceará, no Brasil, foi possível ver o desvio dos raios de luz por um campo gravitacional, pois a luz passou por um corpo muito massivo (estrela ou galáxia) antes de chegar à Terra. Esse fenômeno comprovou a curvatura do espaço, pois funcionou como uma lente gravitacional que criou uma posição aparente para a estrela no céu.

Ondas gravitacionais

Na imagem de abertura, temos o Sol e a Terra em um espaço curvo. Caso eles colidissem, produziriam vibrações como se fossem ondas, mas que seriam de difícil detecção, pois a força da gravidade é uma das mais fracas dentre as forças fundamentais conhecidas (elétrica, magnética, nuclear e gravitacional). É importante saber que as ondas gravitacionais não estão se propagando no espaço-tempo, e sim que a "malha" espaço-tempo oscila por conta das interações entre corpos muito massivos.

EXERCÍCIO RESOLVIDO

Udesc – Os pesquisadores do projeto LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory) anunciaram, no início deste ano, a primeira detecção das ondas gravitacionais.

Analise as proposições em relação à informação.

- I. Estas ondas se propagam com a mesma velocidade da luz.
- II. Estas ondas se propagam com velocidade superior à velocidade da luz.
- III. Estas ondas foram previstas por Albert Einstein em sua teoria da relatividade geral.
- IV. Estas ondas foram previstas por Albert Einstein em sua teoria do efeito fotoelétrico.

Assinale a alternativa correta.

- a) Somente a afirmativa III é verdadeira.
- b) Somente as afirmativas I e IV são verdadeiras.
- c) Somente as afirmativas I e III são verdadeiras.
- d) Somente a afirmativa IV é verdadeira.
- e) Somente as afirmativas II e IV são verdadeiras.

Resolução

A velocidade da luz é limite em qualquer situação, segundo a teoria da relatividade restrita, e as ondas gravitacionais foram propostas por Einstein em sua teoria da relatividade geral.

ROTEIRO DE AULA

RELATIVIDADE GERAL

Contribuições

Avanço de Mercúrio em
relação ao periélio.

Desvio dos raios de luz
por um campo gravitacional.

Ondas estacionárias.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. **UFSC** – “Eu medi os céus, agora estou medindo as sombras. A mente rumo ao céu, o corpo descansa na terra.”

Com essa inscrição, Johannes Kepler encerra sua passagem pela vida, escrevendo seu próprio epitáfio. Kepler, com outros grandes nomes, foi responsável por grandes avanços no que se refere à mecânica celeste.

No que se refere à história e à ciência por trás da mecânica celeste, assinale a(s) proposição(ões) CORRETA(S).

- 01) O astrônomo Cláudio Ptolomeu defendia o sistema geocêntrico, com a Terra no centro do sistema planetário. Já Nicolau Copérnico defendia o sistema heliocêntrico, com o Sol no centro do sistema planetário. Tycho Brahe elaborou um sistema no qual os planetas giravam em torno do Sol e o Sol girava em torno da Terra.
- 02) Galileu Galilei foi acusado de herege, processado pela Igreja Católica e julgado em um tribunal por afirmar e defender que a Terra era fixa e centralizada no sistema planetário.
- 04) Kepler resolveu o problema das órbitas dos planetas quando percebeu que elas eram elípticas, e isso só foi possível quando ele parou de confiar nas observações feitas por Tycho Brahe.
- 08) O movimento de translação de um planeta não é uniforme; ele é acelerado entre o periélio e o afélio, e retardado do afélio para o periélio.
- 16) A teoria da gravitação universal, de Newton, é válida para situações nas quais as velocidades envolvidas sejam muito grandes (próximas à velocidade da luz) e o movimento não ocorra em campos gravitacionais muito intensos.
- 32) A teoria da relatividade geral de Einstein propõe que a presença de uma massa deforma o espaço e o tempo em suas proximidades, e, quanto maior a massa e menor a distância, mais intensos são seus efeitos. Por isso a órbita de Mercúrio não pode ser explicada pela gravitação de Newton.

Soma: 33 (01 + 32)

01. Correta.

02. Falsa. Galileu Galilei afirmou que o Sol ocupava o centro do Universo, com os planetas girando a seu redor.

04. Falsa. Kepler concluiu que as órbitas eram elípticas com base nas observações e anotações de Tycho Brahe.

08. Falsa. É exatamente o contrário (veja a lei das áreas de Kepler).

16. Falsa. Para velocidades próximas às da luz, são válidas as leis de Einstein.

32. Correta.

2. **Sistema Dom Bosco** – Se o experimento de Galileu fosse feito nos dias atuais, mas, em vez de largar corpos da Torre de Piza na Terra, ele largasse os corpos de uma nave espacial, quais seriam as condições físicas necessárias para que se obtivesse os mesmos efeitos sobre os corpos largados da Torre na Terra?

A nave deveria estar longe dos efeitos do campo gravitacional da Terra e acelerada no sentido contrário ao da queda dos corpos, com aceleração igual à da gravidade.

3. **UEL-PR** – A teoria da relatividade restrita, proposta por Albert Einstein (1879–1955) em 1905, é revolucionária porque mudou as ideias sobre o espaço e o tempo, mas em perfeito acordo com os resultados experimentais. Ela é aplicada, entretanto, somente a referenciais inerciais. Em 1915, Einstein propôs a teoria geral da relatividade, válida não só para referenciais inerciais, mas também para referenciais não inerciais.

Sobre os referenciais inerciais, considere as seguintes afirmativas:

- I. São referenciais que se movem, uns em relação aos outros, com velocidade constante.
- II. São referenciais que se movem, uns em relação aos outros, com velocidade variável.
- III. Observadores em referenciais inerciais diferentes medem a mesma aceleração para o movimento de uma partícula.

Assinale a alternativa correta:

- a) Apenas a afirmativa I é verdadeira.
- b) Apenas a afirmativa II é verdadeira.
- c) As afirmativas I e II são verdadeiras.
- d) As afirmativas II e III são verdadeiras.
- e) As afirmativas I e III são verdadeiras.

I. Correta.

II. Incorreta. A velocidade é relativa, e não variável.

III. Correta.

4. **UEG-GO** – Qual das afirmações a seguir é correta para a teoria da relatividade de Einstein?

- a) No vácuo, a velocidade da luz depende do movimento da fonte de luz e tem igual valor em todas as direções.
- b) Elétrons são expulsos de uma superfície quando ocorre a incidência de uma radiação eletromagnética (luz).
- c) Em determinados fenômenos, a luz apresenta natureza de partícula e, em outros, natureza ondulatória.
- d) Na natureza, não podem ocorrer interações de velocidades superiores à velocidade da luz (c).

Um dos princípios mais importantes da teoria da relatividade é que nada é mais rápido que a luz.

5. **Unicamp**

C5-H17

O Global Positioning System (GPS) consiste em um conjunto de satélites que orbitam a Terra, cada um deles carregando a bordo um relógio atômico. A teoria da relatividade geral prevê que, por conta da gravidade, os relógios atômicos do GPS adiantam com relação a relógios similares na Terra. Enquanto na Terra transcorre o tempo de um dia ($t_{\text{Terra}} = 1,0$ dia = 86 400 s), no satélite o tempo transcorrido é $t_{\text{Satélite}} = t_{\text{Terra}} + \Delta t$, maior que um dia, e a diferença de tempo Δt tem que ser corrigida. A diferença de tempo causada pela gravidade é dada

por $\frac{\Delta t}{t_{\text{Terra}}} = \frac{\Delta U}{m \cdot c^2}$, sendo ΔU a diferença de energia po-

tencial gravitacional de uma massa m entre a altitude considerada e a superfície da Terra, e $c = 3 \cdot 10^8$ m/s, a velocidade da luz no vácuo.

a) Para o satélite podemos escrever

$$\Delta U = m \cdot g \cdot R_T \cdot \left(1 - \frac{R_T}{r}\right), \text{ sendo } r \approx 4 \cdot R \cdot T \text{ o raio da}$$

órbita, $R_T = 6,4 \cdot 10^6$ m o raio da Terra e g a aceleração da gravidade na superfície terrestre. Quanto tempo o relógio do satélite adianta em $t_{\text{Terra}} = 1,0$ dia em razão do efeito gravitacional?

b) Relógios atômicos em fase de desenvolvimento serão capazes de medir o tempo com precisão maior que uma parte em 10^{16} , ou seja, terão erro menor que

10^{-16} s a cada segundo. Qual é a altura h que produziria uma diferença de tempo $\Delta t = 10^{-16}$ s a cada $t_{\text{Terra}} = 1,0$ s? Essa altura é a menor diferença de altitude que poderia ser percebida comparando medidas de tempo desses relógios. Use, nesse caso, a energia potencial gravitacional de um corpo na vizinhança da superfície terrestre.

a) Dados:

$$R_T = 6,4 \cdot 10^6 \text{ m}; c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}; t_{\text{Terra}} = 1 \text{ dia} = 86\,400 \text{ s}$$

$$\Delta U = m \cdot g \cdot R_T \cdot \left(1 - \frac{R_T}{r}\right) = m \cdot 10 \cdot 6,4 \cdot 10^6 \cdot \left(1 - \frac{1}{4}\right) = 4,8 \cdot 10^7 \cdot m$$

$$\frac{\Delta t}{t_{\text{Terra}}} = \frac{\Delta U}{m \cdot c^2} \Rightarrow \frac{\Delta t}{86\,400} = \frac{4,8 \cdot 10^7 \cdot m}{9,0 \cdot 10^{16} \cdot m} \Rightarrow \Delta t = 4,6 \cdot 10^{-5} \text{ s}$$

b) Usamos $\Delta U = m \cdot g \cdot h$

$$\frac{\Delta t}{t_{\text{Terra}}} = \frac{m \cdot g \cdot h}{m \cdot c^2} \Rightarrow \frac{10^{-16}}{1,0} = \frac{10 \cdot h}{9,0 \cdot 10^{16}} \Rightarrow h = 0,90 \text{ m}$$

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

6. Ufop (adaptado) – Duas naves, N_1 e N_2 , viajam em sentido contrário com velocidades $12\,000$ m/s e $10\,000$ m/s, respectivamente. Medidas da velocidade da luz emitida pelo farol da nave N_2 e observadas nas naves N_1 e N_2 , respectivamente, dão como valores:

- a) $300\,022\,000$ m/s e $300\,000\,000$ m/s.
b) $300\,000\,000$ m/s e $300\,000\,000$ m/s.
 c) $300\,012\,000$ m/s e $299\,990\,000$ m/s.
 d) $300\,022\,000$ m/s e $299\,990\,000$ m/s.

A velocidade da luz é constante e igual a $c = 3 \cdot 10^8$ m/s = $300\,000\,000$ m/s, qualquer que seja o referencial adotado, estando ele em repouso ou em movimento.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. UEG-GO – Antes mesmo de ter uma ideia mais correta do que é a luz, o homem percebeu que ela era capaz de percorrer muito depressa enormes distâncias. Tão depressa que levou Aristóteles – famoso pensador grego que viveu no século IV a.C. e cujas obras influenciaram todo o mundo ocidental até a Renascença – a admitir que a velocidade da luz seria infinita.

Fonte: GUIMARÃES, L. A.; BOA, M. F. *Terminologia e óptica*. São Paulo: Harbra, 1997. p. 177.

Hoje sabe-se que a luz tem velocidade de aproximadamente $300\,000$ km/s, que é uma velocidade muito grande, porém finita. A teoria moderna que admite a velocidade da luz constante em qualquer referencial e, portanto, torna elásticas as dimensões do espaço e do tempo é:

- a) a teoria da relatividade.
 b) a teoria da dualidade onda-partícula.
 c) a teoria atômica de Bohr.
 d) o princípio de Heisenberg.
 e) a lei da entropia.

8. CFT-CE – Em 2005, Ano Mundial da Física, comemorou-se o centenário da teoria da relatividade de Albert Einstein. Entre outras consequências essa teoria poria fim à ideia do éter, meio material necessário, semelhantemente ao som, através do qual a luz se propagava. O jargão popular “tudo é relativo” certamente não se deve a ele, pois seus postulados estão fundamentados em algo absoluto: a velocidade da luz no vácuo – $300\,000$ km/s.

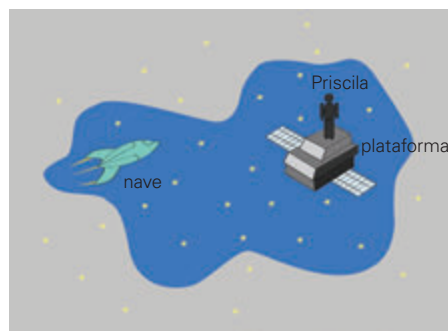
Hoje sabe-se que:

- I. O som propaga-se no vácuo.
 II. A luz propaga-se no vácuo.
 III. A velocidade da luz no vácuo é a velocidade limite do Universo.

É(são) verdadeira(s):

- a) Todas.
 b) Nenhuma.
 c) Somente II.
 d) II e III.
 e) Somente III.

9. UFGM-MG – Observe esta figura:



Paulo Sérgio, viajando em sua nave, aproxima-se de uma plataforma espacial, com velocidade de $0,7c$, em que c é a velocidade da luz.

Para se comunicar com Paulo Sérgio, Priscila, que está na plataforma, envia um pulso luminoso em direção à nave. Com base nessas informações, é correto afirmar que a velocidade do pulso medida por Paulo Sérgio é de:

- a) $0,7c$.
 b) $1,0c$.
 c) $0,3c$.
 d) $1,7c$.

10. UFGM-MG – Suponha que, no futuro, uma base avançada seja construída em Marte. Suponha, também, que uma nave espacial está viajando em direção a Terra, com velocidade constante igual à metade da velocidade da luz. Quando essa nave passa por Marte, dois sinais de rádio são emitidos em direção à Terra – um pela base e outro pela nave. Ambos são refletidos pela Terra e, posteriormente, detectados na base em Marte. Sejam t_b e t_n os intervalos de tempo total de viagem dos sinais emitidos, respectivamente, pela base e pela nave, desde a emissão até a detecção de cada um deles pela base em Marte.

Considerando-se essas informações, é CORRETO afirmar que:

a) $t_n = \frac{1}{2} \cdot t_b$

b) $t_n = \frac{2}{3}$

c) $t_n = \frac{5}{6} \cdot t_b$

d) $t_n = t_b$

11. UFPE-PE – Um astronauta é colocado a bordo de uma espaçonave e enviado para uma estação espacial a uma velocidade constante $v = 0,8c$, onde c é a velocidade da luz no vácuo. No referencial da espaçonave, o tempo transcorrido entre o lançamento e a chegada à estação espacial foi de 12 meses. Qual o tempo transcorrido no referencial da Terra, em meses?

12. UFGM – Suponha que uma nave se afasta de um planeta com velocidade $v = 0,2c$, onde $c = 3 \cdot 10^8$ m/s, é a velocidade da luz no vácuo. Em determinado momento, a nave envia um sinal de rádio para comunicar-se com o planeta. Determine a velocidade do sinal medida por um observador na nave e a medida por um observador no planeta. Explique seu raciocínio.

13. UFRGR-RS – Assinale a alternativa que preenche corretamente as lacunas do texto a seguir, na ordem em que aparecem.

De acordo com a relatividade restrita, é _____ atravessarmos o diâmetro da Via Láctea, uma distância de aproximadamente 100 anos-luz (equivalente a 1 018 m), em um intervalo de tempo bem menor que 100 anos. Isso pode ser explicado pelo fenômeno de _____ do comprimento, como visto pelo viajante, ou ainda pelo fenômeno de _____ temporal, como observado por quem está em repouso em relação à galáxia.

- a) impossível – contração – dilatação
 b) possível – dilatação – contração
 c) possível – contração – dilatação
 d) impossível – dilatação – contração
 e) impossível – contração – contração

14. Unifor-CE – Sobre a teoria da relatividade, são feitas as afirmações a seguir.

- I. Corpos em movimento sofrem contração na direção desse movimento em relação ao tamanho que possuem quando medidos em repouso.

II. Um relógio em movimento funciona mais lentamente que o relógio em repouso para um observador em repouso.

III. A velocidade de qualquer objeto em relação a qualquer referencial não pode ser maior que a velocidade da luz no vácuo.

Está correto o que se afirma em

- a) III, somente.
 b) I e II, somente.
 c) I e III, somente.
 d) II e III, somente.
 e) I, II e III.

15. Unifor-CE – Albert Einstein revolucionou o modo de pensar o espaço e o tempo ao lançar, no início do século XX, as bases da teoria da relatividade.

Analise as seguintes afirmações:

I. A mecânica clássica não impõe limite para o valor da velocidade que uma partícula pode adquirir, pois, enquanto durar a ação de uma força sobre ela, haverá aceleração e sua velocidade poderá aumentar indefinidamente.

II. Corpos em movimento, com velocidades próximas à da luz, sofrem contrações em suas três dimensões em relação às que possuem quando em repouso.

III. A velocidade de um objeto, em relação a qualquer referencial, não pode superar a velocidade da luz no vácuo.

É correto o que se afirma SOMENTE em

- a) I
 b) II
 c) III
 d) I e II
 e) I e III

16. UFSE – A teoria da relatividade de Einstein formaliza adequadamente a mecânica para os corpos que viajam a velocidades muito altas, evidenciando as limitações da mecânica newtoniana.

De acordo com essa teoria, analise as informações:

00) A velocidade limite para qualquer corpo é a velocidade da luz no vácuo, aproximadamente, $c = 3 \cdot 10^8$ m/s.

11) O tempo pode passar de maneira diferente para observadores a diferentes velocidades.

22) As dimensões de um objeto são sempre as mesmas, quer ele esteja em repouso, quer em movimento.

33) A massa de um elétron viajando à metade da velocidade da luz é maior que a do elétron em repouso.

17. Unifor-CE – Uma partícula, cuja massa de repouso é M , é acelerada a partir do repouso até atingir 60% da velocidade de propagação da luz no vácuo.

Na situação final, a massa da partícula será igual a

- a) $0,60 M$
 b) $1,0 M$
 c) $1,25 M$
 d) $1,4 M$
 e) $1,5 M$

ESTUDO PARA O ENEM

18. UFRN

C5-H17

Nos dias atuais, há um sistema de navegação de alta precisão que depende de satélites artificiais em órbita em torno da Terra. Para que não haja erros significativos nas posições fornecidas por esses satélites, é necessário corrigir relativisticamente o intervalo de tempo medido pelo relógio a bordo de cada um desses satélites. A teoria da relatividade especial prevê que, se não for feito esse tipo de correção, um relógio a bordo não marcará o mesmo intervalo de tempo que outro relógio em repouso na superfície da Terra, mesmo sabendo-se que ambos os relógios estão sempre em perfeitas condições de funcionamento e foram sincronizados antes de o satélite ser lançado.

Se não for feita a correção relativística para o tempo medido pelo relógio de bordo:

- ele se adiantará em relação ao relógio em Terra enquanto ele for acelerado em relação à Terra.
- ele ficará cada vez mais adiantado em relação ao relógio em Terra.
- ele atrasará em relação ao relógio em Terra durante metade de sua órbita e se adiantará durante a metade da outra órbita.
- ele ficará cada vez mais atrasado em relação ao relógio em Terra.

19. Unimontes-MG

C5-H17

Em 1905, Albert Einstein propôs uma teoria física do espaço e do tempo denominada teoria da relatividade especial (ou restrita), que permitiu a conciliação entre a mecânica de Newton e o eletromagnetismo de Maxwell. A teoria de Einstein apresenta conceitos de tempo e espaço muito diferente daqueles da mecânica de Newton e prevê efeitos muito interessantes, como a contração do espaço e a dilatação do tempo. Quando dois eventos (acontecimentos de curta duração) possuem as mesmas coordenadas espaciais, a distância espacial entre eles é nula e, nesse caso, o

intervalo de tempo entre eles é denominado intervalo de tempo próprio, representado por D_{to} . O intervalo de tempo, D_t , em um referencial em que os eventos ocorrem em pontos distintos, é maior que o intervalo de tempo próprio. Esse efeito é denominado dilatação do tempo. Para exemplificar, vamos considerar dois observadores, um na Terra (em repouso em relação ao solo) e outro em uma nave espacial que se move com velocidade de módulo u em relação à Terra, ambos observando uma lâmpada piscar. O observador na Terra mediria o intervalo de tempo próprio, D_{to} , entre duas piscadas, e o da nave, um intervalo Δt , em princípio, diferente.

A relação entre os dois intervalos de tempo é dada

pela expressão $\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}$, em que c é o módulo da

velocidade da luz ($c = 3 \cdot 10^8$ m/s).

Analisando a expressão que relaciona os dois intervalos, se u aumenta, aproximando-se de c , é CORRETO afirmar que

- Δt e Δt_0 se aproximam de zero.
- Δt se aproxima de Δt_0 .
- Δt fica muito pequeno em relação a Δt_0 .
- Δt aumenta em relação a Δt_0 .

20. UFBA-BA

C5-H17

A produção de energia no Sol, que possibilitou a vida na Terra, é, em grande parte, relacionada às reações nucleares que transformam quatro prótons em um núcleo de hélio, 4He^{++} . Nessas reações, uma parte da massa é transformada em energia.

Calcule, usando a equação de Einstein, a quantidade de energia liberada nessas reações, considerando a velocidade da luz $c = 3 \cdot 10^8$ m/s e as massas do próton e do núcleo de hélio iguais a $1,673 \cdot 10^{-27}$ kg e $6,645 \cdot 10^{-27}$ kg, respectivamente.

MATERIAIS DE ENSINO
SISTEMA DE ENSINO

SHUTTERSTOCK / SURANGASL



FÍSICA 3A

CIÊNCIAS DA NATUREZA E SUAS TECNOLOGIAS

23

ÍMÃS E SUAS PROPRIEDADES

- Magnetismo
- Ímãs e suas propriedades

HABILIDADES

- Identificar propriedades magnéticas, compreendendo a interação através de campos magnéticos.
- Estabelecer relações e reconhecer regularidades em fenômenos magnéticos.
- Interpretar resultados em experimentos que envolvem campo magnético.

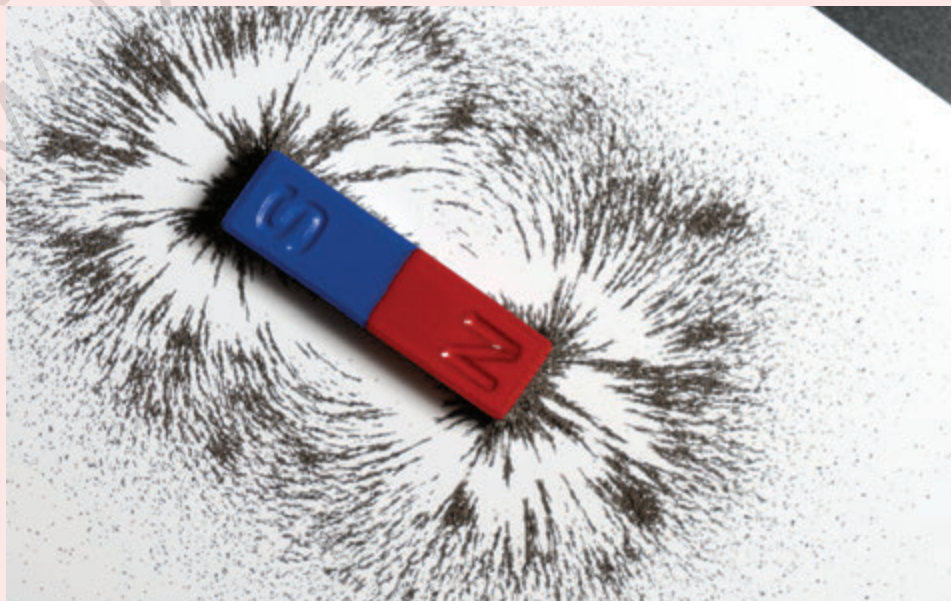


Ímã e seu campo magnético apresentado pelo pó de ferro.

Os ímãs despertam muita curiosidade em função de suas propriedades, assim como também por sua utilidade tecnológica, sendo dispositivos muito úteis em diversos equipamentos tecnológicos, a exemplo de motores elétricos, disjuntores, microfones, cartões magnéticos etc. Neste módulo, abordaremos as propriedades dos ímãs que contribuem para a construção de boa parte das tecnologias atuais.

Campos magnéticos e polos magnéticos

Para conhecermos um pouco melhor as propriedades dos ímãs, vamos considerar a seguinte situação experimental: um ímã em forma de barra colocado sobre uma mesa horizontal. Sobre esse ímã, jogamos um pouco de limalha de ferro. Veremos que a limalha ficará configurada como mostra a figura a seguir.



Ímã de barras com limalha de ferro mostrando seu campo magnético.

Esse efeito evidencia o campo magnético de um ímã. Nessa situação, é possível perceber que há polaridades diferentes em cada uma das extremidades dele, chamadas de polos magnéticos.

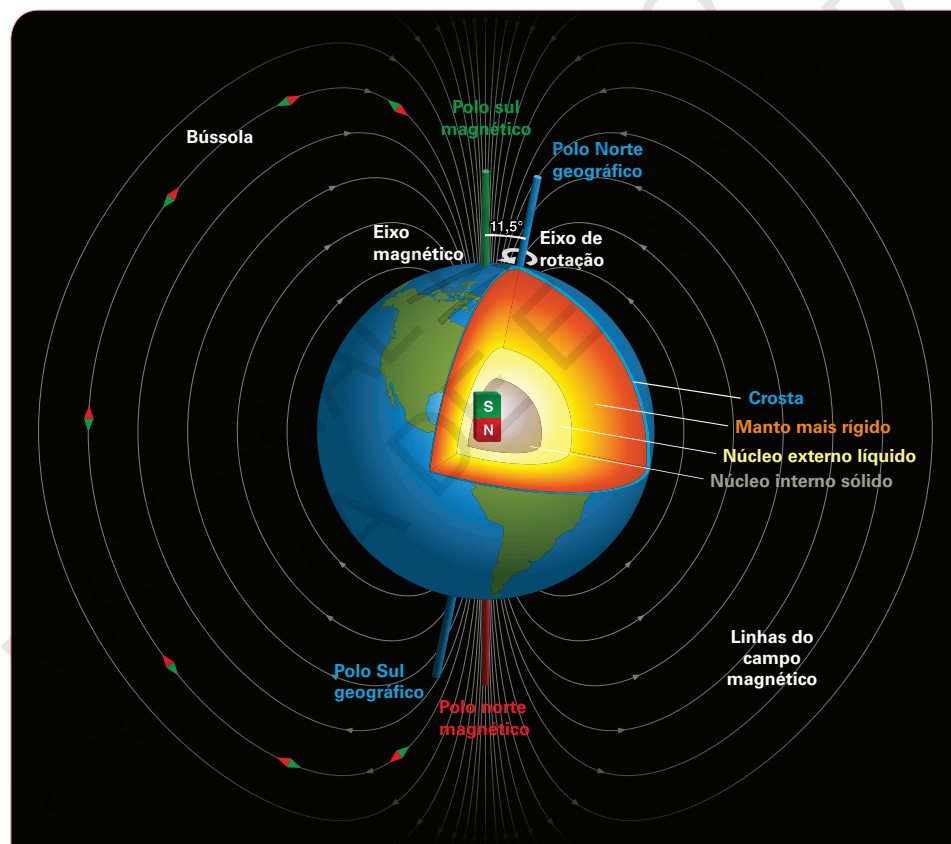
Experimentalmente, é possível verificar que os polos de um ímã tanto se atraem como se repelem. Com isso, notou-se que os polos possuem características diferentes, sendo denominados, portanto, de polo norte e polo sul do ímã.

Assim, temos que polos opostos se atraem e polos iguais se repelem.

Polos magnéticos, polos geográficos e bússolas

Quando se suspende um ímã de barras por um fio, suas extremidades ficam alinhadas sempre na mesma direção, de modo que um dos polos aponta aproximadamente para o polo Norte da Terra, e a outra extremidade aponta aproximadamente para o polo Sul de nosso planeta.

Os polos Norte e Sul geográficos são uma convenção humana e correspondem aos lugares onde o eixo de rotação da Terra corta a superfície dela. Já os polos magnéticos são os pontos do planeta em que um ímã aponta para baixo, formando um ângulo de 90 graus com o chão, consequência de um fenômeno natural. Esse efeito sugere que a Terra atua como um grande ímã atraindo ímãs. É importante lembrar que os polos opostos se atraem; desse modo, o polo norte magnético do ímã aponta para o polo sul magnético da Terra, que corresponde aproximadamente ao polo Norte geográfico. Da mesma forma, o polo sul do ímã aponta para o polo norte magnético da Terra, que corresponde aproximadamente ao polo Sul geográfico.



PETER HERMES FURIANI/DREAMSTIME.COM

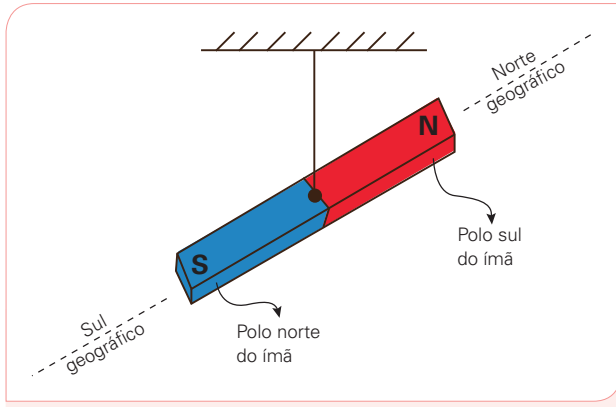
Na descrição tridimensional, o campo magnético da Terra, os polos Norte e Sul geográficos e os polos norte e sul magnéticos, a linha central magnética e de rotação e o núcleo interno.

A partir da figura anterior, podemos destacar alguns pontos importantes:

- O núcleo terrestre se apresenta como um ímã; o polo sul magnético da Terra corresponde aproximadamente ao polo Norte geográfico, e o polo norte magnético da Terra corresponde aproximadamente ao polo Sul geográfico.
- Esse comportamento da Terra cria um campo magnético ao redor do planeta.

- As bússolas se alinham com as linhas do campo magnético da Terra, com o norte magnético da bússola apontando para o sul magnético do planeta.

O experimento indicado na figura a seguir representa o funcionamento de uma bússola, ou seja, uma bússola tem um pequeno ímã – a agulha – que pode se movimentar livremente. Isso faz que o polo norte magnético da agulha aponte, aproximadamente, para o norte do planeta Terra.



Polos magnéticos e geográficos.

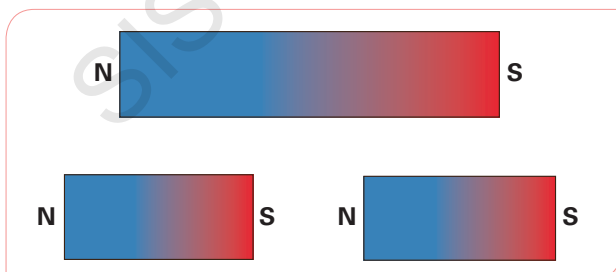


Bússola.

RAMBO182/ISTOCK

Inseparabilidade dos polos

Outra característica dos ímãs é a de não ser possível separar seus polos magnéticos. Ou seja, se tomarmos um ímã de barras como exemplo e o quebrarmos exatamente ao meio, cada nova parte terá um polo norte e um polo sul, conforme ilustrado a seguir.



Ímã de barra que, ao ser dividido ao meio, forma novos pedaços que apresentam os polos norte e sul.

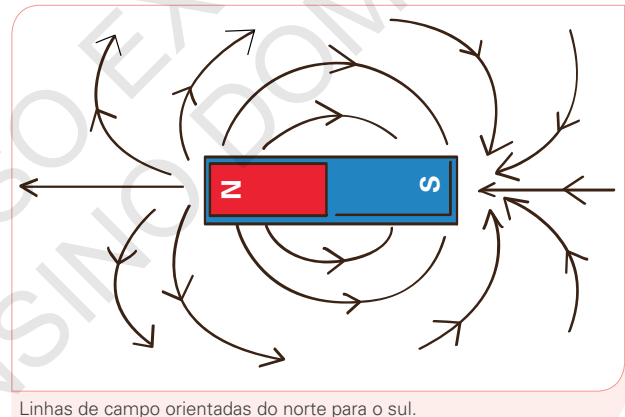
Linhas de indução do campo magnético

De maneira análoga ao campo elétrico, o magnético pode ser representado por linhas de indução do campo.

As características dessas linhas de campo magnético são:

- O vetor indução magnética possui direção tangente às linhas de indução.
- O sentido das linhas de indução é o do vetor indução. Sendo assim, ao redor de um ímã, elas são orientadas do polo norte para o polo sul dele.
- Como as linhas de indução indicam o campo magnético resultante em determinado ponto, elas nunca se cruzam.
- A densidade das linhas de indução indica, qualitativamente, a intensidade do campo magnético. Sendo assim, quanto maior a proximidade das linhas, mais intenso será o campo nessa região.

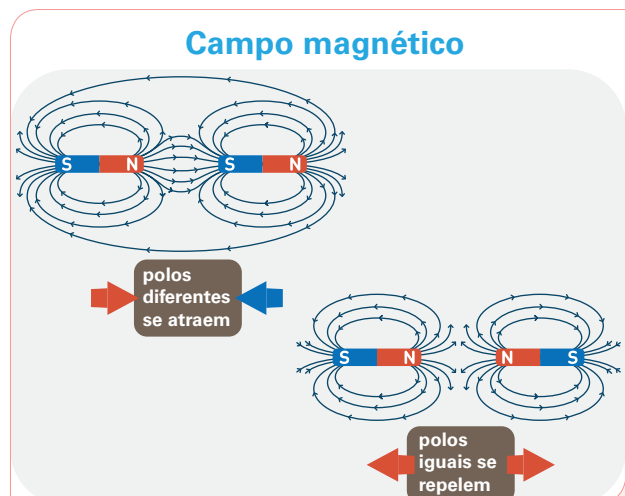
Vejam as imagens a seguir:



Linhas de campo orientadas do norte para o sul.

Nessa figura, é possível verificar o sentido do campo magnético, sendo esse do polo norte para o polo sul do ímã.

Já quando dois ímãs interagem entre si, as linhas de indução magnética apresentam as seguintes relações:



Interação das linhas de indução magnética entre ímãs.

NORMAALS/ISTOCK

Na figura, pode-se observar que, quando os polos são opostos, as linhas de indução do campo magnético do polo norte de um ímã atingem o polo sul de outro, o que gera atração entre ímãs com polos opostos. Já nos ímãs com polos iguais, as linhas de indução do campo magnético são opostas e, portanto, geram a repulsão entre eles.

LEITURA COMPLEMENTAR

Comportamento (tartarugas marinhas)

As tartarugas marinhas são solitárias e permanecem submersas durante muito tempo, o que dificulta os estudos do seu comportamento. Por isso, a maior parte do que se conhece sobre elas refere-se à desova, que acontece na praia.

Possuem visão, olfato e audição desenvolvidos, além de uma fantástica capacidade de orientação. Animais migratórios por excelência vivem dispersos na imensidão dos mares e, mesmo assim, quando atingem a maturidade sexual sabem o momento e o local de se reunir para a reprodução. Nessa época, realizam viagens transoceânicas para voltar às praias onde nasceram e desovar.

Podem migrar centenas ou milhares de quilômetros e dormir na superfície, quando estão em águas profundas, ou no fundo do mar, sob rochas, em áreas próximas à costa. Os filhotes flutuam na superfície, durante o sono ou enquanto descansam, e geralmente mantêm as nadadeiras

diantes encolhidas para trás, sobre o casco.

Em mar aberto, as tartarugas marinhas encontram fortes correntes e, mesmo assim, conseguem navegar regularmente por longas distâncias. Os mecanismos de navegação e orientação que utilizam ainda representam um grande mistério, estudado por várias gerações de pesquisadores ao redor do mundo.

Sabe-se que são capazes de detectar o ângulo e a intensidade do campo magnético terrestre. A presença de magnetita (mineral muito sensível à direção do campo magnético usado para fazer ímãs) no cérebro das tartarugas marinhas sugere uma possibilidade para compreender a capacidade de orientação em mar aberto.

Nessa longa caminhada pelos mares, podem cruzar as fronteiras de vários países – e por isso precisam ser protegidas através de acordos de cooperação internacionais, para que o esforço de conservação seja efetivo.

Fonte: <<http://www.tamar.org.br/interna.php?cod=89>>. Acesso em: mar. 2019.

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1. Sistema Dom Bosco – Por que a parte do polo norte da agulha do ímã aponta aproximadamente para o polo Norte terrestre, já que ambos são polo norte?

Resolução

Os ímãs se alinham com as linhas de indução do campo magnético da Terra, de modo que a parte norte da agulha da bússola fica sempre voltada para o sul magnético da Terra. Assim, como o Norte geográfico e o sul magnético estão do mesmo lado, dizemos que a bússola aponta para o Norte, no que diz respeito ao polo geográfico.

2. Sistema Dom Bosco – A partir das afirmativas a seguir, assinale a alternativa que apresenta as afirmações verdadeiras.

- I. As linhas de indução de campo magnético em um ímã de barra ocorrem do sul para o norte.
- II. Não existe monopolo magnético.
- III. O polo norte da agulha magnética da bússola sempre aponta para o Sul geográfico.

IV. A interação entre as linhas de indução dos campos magnéticos de diferentes ímãs pode atrair ou repelir os ímãs.

- a) I e II
- b) II e IV**
- c) III e IV
- d) I e IV
- e) I e III

Resolução

I – Falsa. As linhas de indução do campo magnético ocorrem do norte para o sul.

II – Verdadeira.

III – Falsa. O polo norte da bússola aponta para o sul magnético da Terra, não para o geográfico.

IV – Verdadeira.

ROTEIRO DE AULA

ÍMÃS E SUAS PROPRIEDADES

Campo magnético

Eles são direcionados do norte para o sul.

Se um ímã for quebrado ao meio, cada parte terá um polo norte e um polo sul.

O planeta Terra se comporta como ímã e, por isso, apresenta, além dos polos geográficos, os polos magnéticos.

A agulha da bússola é um ímã.

Quando mais de um ímã interagem entre si, se os polos forem opostos, as linhas de indução promoverão a atração dos ímãs; se os polos forem iguais, as linhas de indução promoverão a repulsão dos ímãs.

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. Sistema Dom Bosco – Sendo três barras de ímãs homogêneas, uma pessoa resolveu manuseá-las e constatou que, conforme aproximava as barras dos ímãs, elas podiam se aproximar ou se afastar. Ela resolveu fazer alguns testes e apontou, em cada extremidade das barras, um número, conforme figura a seguir.



Os testes realizados foram:

- I. Lado 2 da barra A atraiu lado 3 da barra B;
- II. Lado 2 da barra A repeliu lado 5 da barra C;
- III. Lado 4 da barra B atraiu lado 5 da barra C.

A partir dos testes feitos, o que foi possível concluir sobre as barras?

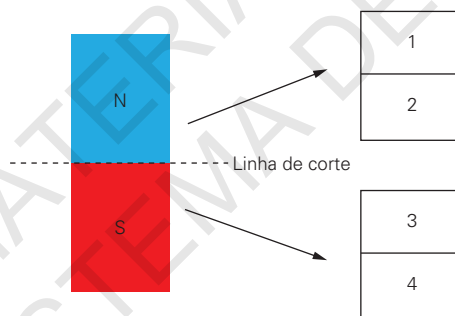
Considerando que há repulsão entre as barras A e C, concluímos que elas estão magnetizadas, assim como os lados 2 (barra A) e 5 (barra C) apresentam polos iguais. Dessa forma, o lado 3 (barra B) está oposto ao lado 2 (barra A), e o lado 4 (barra B) também está oposto ao lado 5 (barra C), o que não pode indicar um ímã, pois teríamos os mesmos polos para 3 e 4 (barra B). Logo, apenas as barras A e C são ímãs. A barra B pode ser um metal capaz de ser atraído por um ímã.

2. Unip – Marque a afirmativa correta:

- a) Todos os ímãs possuem dois polos, o polo norte e o sul. O polo sul é o positivo de um ímã, enquanto o norte é negativo.
- b) Ao quebrar um ímã, seus polos são separados, passando a existir um ímã negativo e outro positivo.
- c) Ao aproximar os polos iguais de um ímã, eles se repelem. Quando polos diferentes se aproximam, eles se atraem.
- d) Os materiais ferromagnéticos são os que não podem ser atraídos por ímãs.

Alternativa C, pois polos opostos se atraem, enquanto polos iguais se repelem.

3. Sistema Dom Bosco – Quando quebramos um ímã permanente ao meio, obtemos a imagem a seguir:

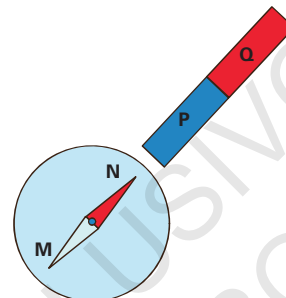


Sabendo que N e S representam, respectivamente, os polos norte e sul do ímã permanente, determine a polaridade dos pontos 1, 2, 3 e 4.

- a) 1 – sul, 2 – norte, 3 – sul e 4 – sul.
- b) 1 – norte, 2 – sul, 3 – sul e 4 – norte.
- c) 1 – norte, 2 – sul, 3 – norte e 4 – sul.
- d) 1 – sul, 2 – sul, 3 – norte e 4 – norte.
- e) 1 – norte, 2 – sul, 3 – norte e 4 – norte

Não é possível separar os polos de um ímã; por isso, sempre haverá polo norte e polo sul. Assim, 1 e 3 são polos norte, e 2 e 4 são polos sul.

4. UFB – Uma bússola tem sua agulha magnética orientada com um polo (M) indicando Roraima e o outro (N) indicando o Paraná. A seguir, coloca-se a agulha magnética dessa bússola bem perto da extremidade de um ímã cujos polos são (P) e (Q), até que o equilíbrio estável seja atingido (ver figura).



a) Quais são os polos magnéticos M e N da agulha magnética da bússola?

b) Quais são os polos P e Q do ímã?

a) A agulha magnética sempre se alinha no mesmo sentido do campo magnético. Sendo assim, se aponta para Roraima, é o polo NORTE (M) e, se aponta para o Paraná, é seu polo SUL (N).

b) Considerando que N atrai P, como N é sul, P é norte. Logo, Q é sul.

5. Sistema Dom Bosco – Pedro, depois de várias tentativas, consegue quebrar um ímã ao meio. Um colega de classe ficou intrigado ao ver que cada pedaço se tornou um ímã novo. Qual alternativa representa a melhor explicação que Pedro pode dar para seu amigo?

- a) Seus pedaços ficam desmagnetizados.
- b) Um de seus pedaços é o polo norte, e o outro, o polo sul.
- c) Cada um de seus pedaços torna-se um ímã menor.
- d) A lei de Lenz afirma que a corrente elétrica induzida em um circuito ou condutor é tal que seu campo magnético sempre favorece as variações de campos magnéticos externos.

A inseparabilidade dos campos magnéticos torna impossível separarmos os polos norte e sul de um campo magnético. Portanto, ao quebrar um ímã, cada um de seus pedaços comporta-se como um ímã menor.

6. Sistema Dom Bosco

C6-H21

A bússola foi um instrumento muito importante e utilizado em grandes navegações. Esse feito permitiu a expansão territorial de vários países com as colonizações, a exemplo do que ocorreu com o continente americano. Assim, pode-se afirmar que uma bússola auxilia uma pessoa a se orientar, pois no planeta Terra existe:

- a) um campo polar.
- b) um campo mineral denominado magnetita.
- c) um campo magnético.
- d) um campo eletromagnético.
- e) um campo elétrico.

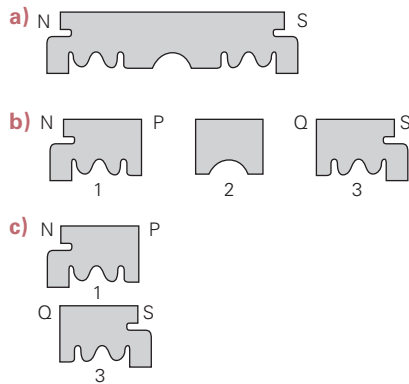
A Terra comporta-se como um ímã e, portanto, a agulha da bússola se alinha com o polo magnético do planeta. Portanto, na Terra existe um campo magnético.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e (ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e (ou) do eletromagnetismo.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

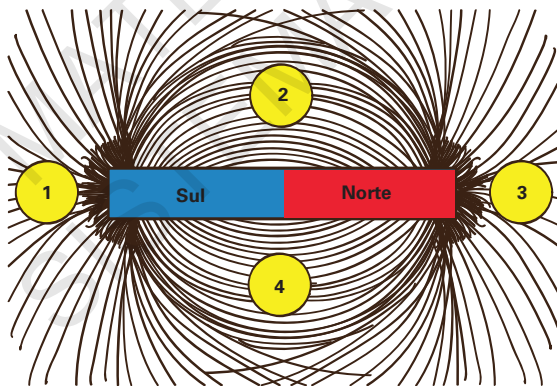
7. UFRGS-RS – A figura (a) representa uma metade magnetizada de uma lâmina de barbear, com os polos norte e sul indicados, respectivamente, pelas letras N e S. Primeiramente, essa metade de lâmina é dividida em três pedaços, como indica a figura (b). A seguir, os pedaços 1 e 3 são colocados lado a lado, como indica a figura (c).



Nessas condições, podemos afirmar que os pedaços 1 e 3 se _____, pois P assinala um polo _____ e Q, um polo _____.

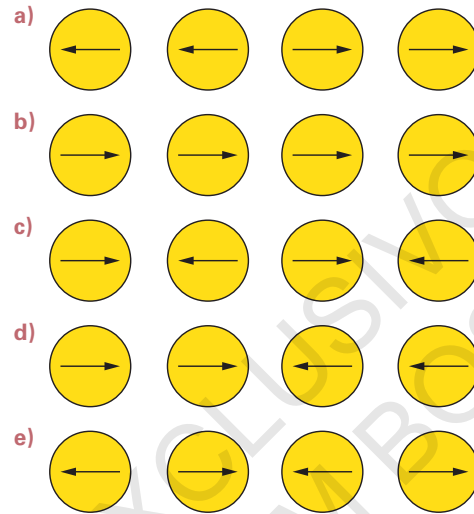
A alternativa que preenche corretamente as lacunas na afirmativa anterior é:

- a) atrairão – norte – sul
 - b) atrairão – sul – norte
 - c) repelirão – norte – sul
 - d) repelirão – sul – norte
 - e) atrairão – sul – sul
- 8. Unesp** – Um ímã em forma de barra, com seus polos norte e sul, é colocado sob uma superfície coberta com partículas de limalha de ferro, fazendo que elas se alinhem segundo seu campo magnético. Se quatro pequenas bússolas, 1, 2, 3 e 4, forem colocadas em repouso nas posições indicadas na figura, no mesmo plano que contém a limalha, suas agulhas magnéticas orientam-se segundo as linhas do campo magnético criado pelo ímã.



Desconsiderando o campo magnético terrestre e considerando que a agulha magnética de cada bússola seja representada por uma seta que se orienta na mesma direção e no mesmo sentido do vetor campo magnético associado ao ponto em que ela foi colocada, assinale

a alternativa que indica, correta e respectivamente, as configurações das agulhas das bússolas 1, 2, 3 e 4 na situação descrita.



9. Udesc (adaptado) – Analise as proposições relacionadas às linhas de campo elétrico e às de campo magnético:

- I. As linhas de força do campo elétrico se estendem apontando para fora de uma carga pontual positiva e para dentro de uma carga pontual negativa.
- II. As linhas de campo magnético não nascem nem morrem nos ímãs; apenas os atravessam, ao contrário do que ocorre com os corpos condutores eletrizados que originam os campos elétricos.
- III. A concentração das linhas de força do campo elétrico ou das linhas do campo magnético indica, qualitativamente, onde a intensidade do respectivo campo é maior.

Comente cada uma das proposições.

10. IFSP – Um professor de Física mostra a seus alunos 3 barras de metal, AB, CD e EF, que podem ou não estar magnetizadas. Com elas, faz três experiências que consistem em aproximá-las e observar o efeito de atração e/ou repulsão, registrando-o na tabela a seguir.

		Ocorre Atração
		Ocorre Atração
		Ocorre Repulsão

Após o experimento e admitindo que cada letra pode corresponder a um único polo magnético, seus alunos concluíram que:

- a) somente a barra CD é ímã.
- b) somente as barras CD e EF são ímãs.
- c) somente as barras AB e EF são ímãs.
- d) somente as barras AB e CD são ímãs.
- e) AB, CD e EF são ímãs.

11. FGV-SP – Da palavra *aimant*, que traduzida do francês significa “amante”, originou-se o nome “ímã”, por conta da capacidade que esses objetos têm de exercer atração e repulsão. Sobre essas manifestações, considere as proposições:

- I. assim como há ímãs que possuem os dois tipos de polos, sul e norte, há ímãs que possuem apenas um deles.
- II. o campo magnético terrestre diverge dos outros campos, uma vez que o polo norte magnético de uma bússola é atraído pelo polo Norte magnético do planeta.
- III. os pedaços obtidos da divisão de um ímã são também ímãs que apresentam os dois polos magnéticos, independentemente do tamanho dos pedaços.

Está correto o contido em:

- a) I, apenas.
- b) III, apenas.
- c) I e II, apenas.
- d) II e III, apenas.
- e) I, II e III.

12. UFPA – A Terra é considerada um ímã gigantesco, que tem as seguintes características:

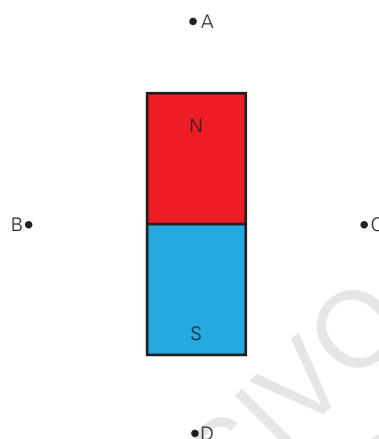
- a) O polo Norte geográfico está exatamente sobre o polo sul magnético, e o Sul geográfico está na mesma posição que o norte magnético.
- b) O polo Norte geográfico está exatamente sobre o polo norte magnético, e o Sul geográfico está na mesma posição que o sul magnético.
- c) O polo norte magnético está próximo do polo Sul geográfico, e o polo sul magnético está próximo ao polo norte geográfico.
- d) O polo norte magnético está próximo do polo Norte geográfico, e o polo sul magnético está próximo do polo Sul geográfico.
- e) O polo Norte geográfico está defasado em um ângulo de 45° do polo sul magnético, e o polo Sul geográfico está defasado em 45° do polo norte magnético.

13. Estácio (adaptado) – Considerando as propriedades dos ímãs, analise e comente cada uma das afirmativas.

- I. Quando temos dois ímãs, podemos afirmar que seus polos magnéticos de mesmo nome (norte e norte, ou sul e sul) se atraem.
- II. Os polos magnéticos norte e sul de um ímã são regiões eletricamente carregadas, apresentando alta concentração de cargas elétricas negativas e positivas, respectivamente.
- III. Quando quebramos um ímã em dois pedaços, os pedaços quebrados são também ímãs, cada um deles tendo dois polos magnéticos (norte e sul).

14. Sistema Dom Bosco – Um estudante fez a seguinte afirmação: “Um ímã, com certeza, não atrai um prego de ferro, uma panela de ferro e uma caneca de alumínio”. Comente a afirmação desse estudante indicando se está correta ou errada. Justifique sua resposta.

15. UFRS – Uma pequena bússola é colocada próxima de um ímã permanente. Em quais posições assinaladas na figura a extremidade norte da agulha apontará para o alto da página?

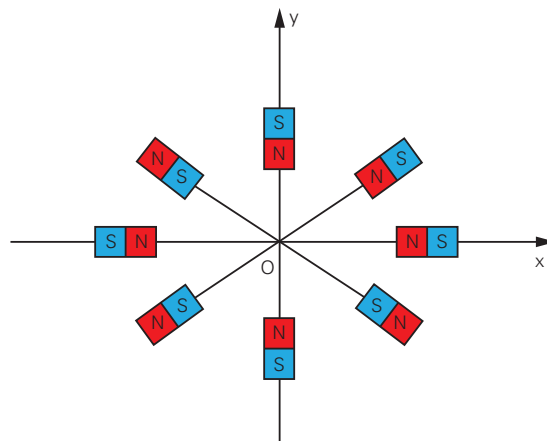


- a) Somente em A ou D.
- b) Somente em B ou C.
- c) Somente em A, B ou D.
- d) Somente em B, C ou D.
- e) Em A, B, C ou D.

16. Unesp – Com relação aos estudos sobre as propriedades do ímã, podemos dizer que o polo sul de um ímã natural:

- a) atrai o polo sul de outro ímã, desde que ele seja artificial.
- b) repele o polo norte de um ímã também natural.
- c) atrai o polo norte de todos os ímãs, sejam naturais ou artificiais.
- d) atrai o polo sul de outro ímã, sejam naturais ou artificiais.
- e) não interage com um eletroímã em nenhuma hipótese.

17. UFG-GO (adaptado) – Oito ímãs idênticos estão dispostos sobre uma mesa à mesma distância de um ponto O, tomado como origem, e orientados como mostra a figura.



Desprezando o efeito do campo magnético da Terra, o campo magnético resultante, em O, formará com o eixo x, no sentido anti-horário, qual valor de ângulo? Represente o diagrama do campo magnético resultante.

ESTUDO PARA O ENEM

18. Enem

C6-H21

A magneto-hipertermia é um procedimento terapêutico que se baseia na elevação da temperatura das células de uma região específica do corpo que estejam afetadas por um tumor. Nesse tipo de tratamento, nanopartículas magnéticas são fagocitadas pelas células tumorais, e um campo magnético alternado externo é utilizado para promover a agitação das nanopartículas e o consequente aquecimento da célula. A elevação de temperatura descrita ocorre porque

- o campo magnético gerado pela oscilação das nanopartículas é absorvido pelo tumor.
- o campo magnético alternado faz as nanopartículas girarem, transferindo calor por atrito.
- as nanopartículas interagem magneticamente com as células do corpo, transferindo calor.
- o campo magnético alternado fornece calor para as nanopartículas, que o transferem às células do corpo.
- as nanopartículas são aceleradas em um único sentido em razão da interação com o campo magnético, fazendo-as colidir com as células e transferir calor.

19. UFSM

C6-H21

Uma estudante do terceiro ano do ensino médio resolve elaborar um experimento para demonstrar a orientação das linhas de campo magnético ao redor de um fio retilíneo percorrido por uma corrente elétrica constante. Para tanto, ela prepara o seguinte aparato: um fio de cobre passa por um orifício através do tampo de uma mesa e é, então, ligado a uma bateria, de modo que uma corrente elétrica flua através desse fio no sentido para dentro do plano do tampo. Sobre esse tampo são colocadas duas bússolas, de modo que a orientação das agulhas possa indicar a orientação das linhas de campo magnético ao redor do fio.

Qual das alternativas representa corretamente a orientação da agulha de cada uma das bússolas? Considere que o símbolo \otimes representa uma corrente elétrica que flui para dentro do plano do papel e $\boxed{\text{S} \quad \text{N}}$ representa a agulha da bússola, com seus respectivos polos magnéticos.

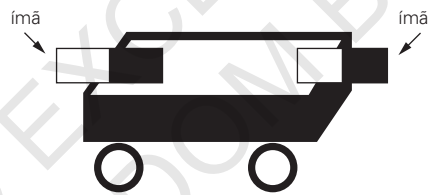
-
-
-

-
-

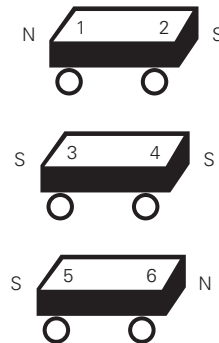
20. UFU

C6-H21

Três carrinhos idênticos são colocados em um trilho, porém, não se encostam, porque, na extremidade de cada um deles, conforme mostra o esquema, é acoplado um ímã, de tal forma que um de seus polos fica exposto para fora do carrinho (polaridade externa).



Considerando que as polaridades externas dos ímãs (N – norte e S – sul) nos carrinhos são representadas por números, conforme o esquema a seguir, assinale a alternativa que representa a ordem correta em que os carrinhos foram organizados no trilho, de tal forma que nenhum deles encoste no outro:

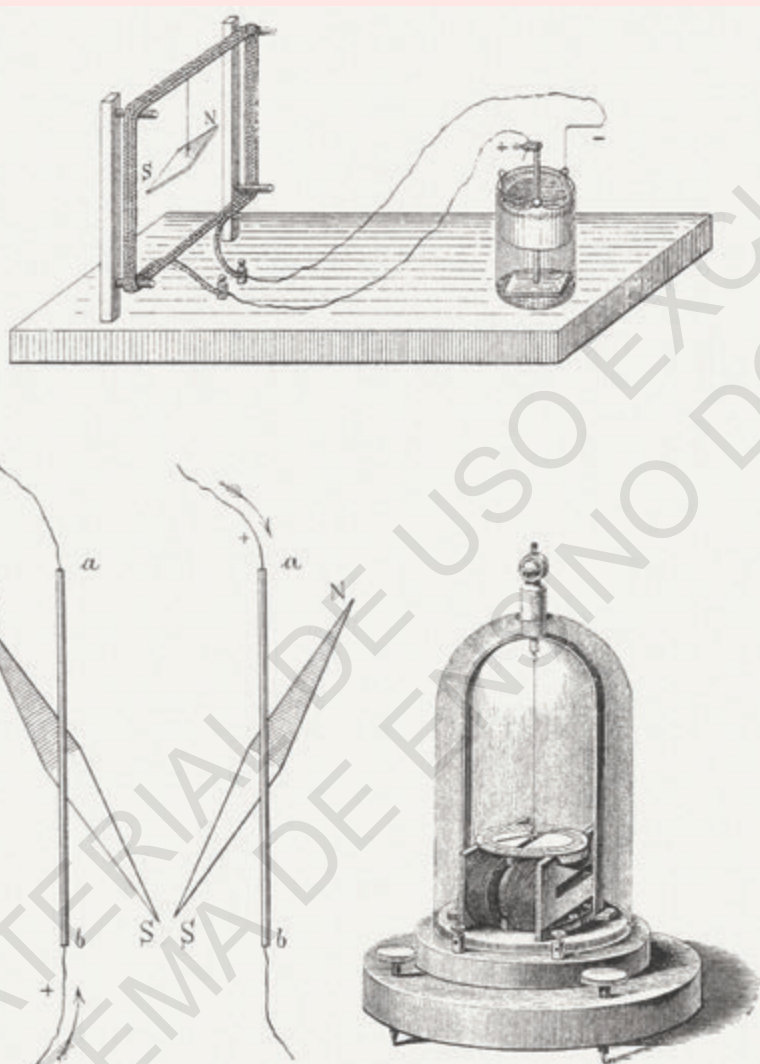


- 1 – 2 – 4 – 3 – 6 – 5.
- 6 – 5 – 4 – 3 – 1 – 2.
- 3 – 4 – 6 – 5 – 2 – 1.
- 2 – 1 – 6 – 5 – 3 – 4.

24

CAMPO MAGNÉTICO GERADO
POR CORRENTE ELÉTRICA

ZU_09/ISTOCKPHOTO



Descoberta do eletromagnetismo por Hans Christian Oersted em 1820.

Ao físico e químico Hans Christian Oersted (1777-1851) é atribuída a descoberta do eletromagnetismo. Em uma aula de Eletricidade ele aproximou, acidentalmente, uma bússola de um condutor percorrido por corrente e, com isso, notou que a agulha da bússola sofria um desvio. Isso ficou conhecido como efeito de Oersted. Embora haja relatos de que já se sabia que havia relação entre o magnetismo e a eletricidade séculos antes da descoberta de Oersted, somente a partir dele buscou-se a realização de pesquisas a fim de estabelecer uma conexão entre corrente elétrica e os fenômenos magnéticos.

- Magnetismo
- Ímãs e suas propriedades

HABILIDADES

- Determinar o campo magnético (módulo, direção e sentido) ao redor de condutores percorridos por corrente em configurações geométricas simples: fios longos e retilíneos, espiras e solenoides.
- Explicar que o enrolamento de um fio produz uma intensificação do campo magnético em sua região central.
- Explicar o princípio de funcionamento de um eletroímã.
- Reconhecer aplicações dos eletroímãs em situações do cotidiano.

Campos magnéticos gerados por corrente elétrica

SERIORION/SHUTTERSTOCK



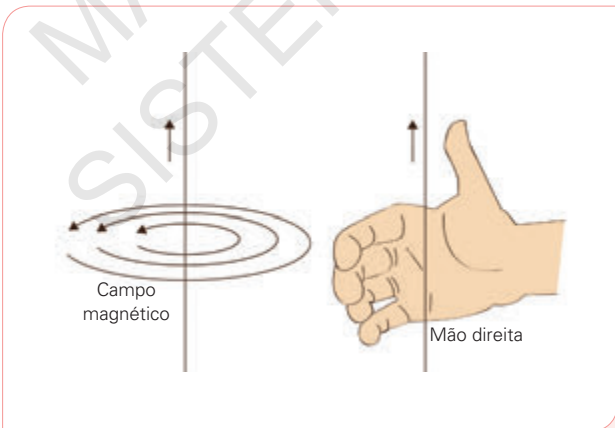
Campo magnético gerado por corrente elétrica. Na parte superior, o interruptor está aberto e, na parte inferior, o interruptor está fechado.

Na figura anterior, percebemos que, quando o interruptor está aberto, a agulha da bússola não sofre nenhum movimento, permanecendo paralela ao fio. Entretanto, quando o interruptor é fechado, passa-se a ter corrente elétrica pelo circuito, a bússola se movimenta e fica transversal ao fio. Esse efeito demonstra o campo magnético percebido pela agulha da bússola quando uma corrente elétrica passa por um fio próximo a ela.

Alguém poderia perguntar se existem dois campos magnéticos, um gerado por corrente elétrica e outro por corrente elétrica. A resposta é não. Isso porque, mesmo nos ímãs, o campo magnético é estabelecido por correntes elétricas produzidas pelos movimentos particulares que os elétrons realizam em seus átomos.

REGRA DA MÃO DIREITA

Essa regra é utilizada para mostrar o sentido do vetor indução magnética \vec{B} , em um ponto do campo gerado por uma corrente elétrica.

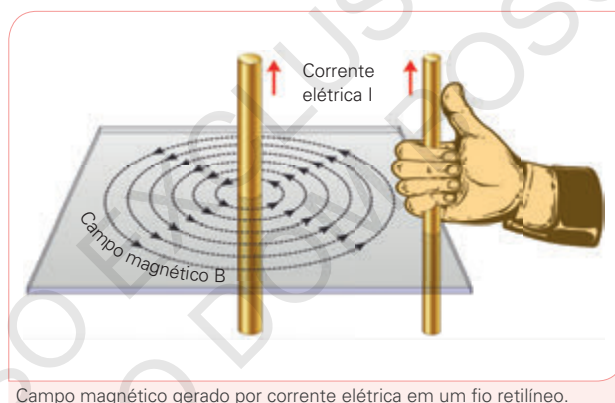


Regra da mão direita.

A regra consiste em posicionar o polegar no sentido da corrente elétrica i que atravessa o condutor. Os demais dedos ficam semidobrados envolvendo o condutor, de modo que o sentido para onde esses dedos giram é o mesmo do campo magnético. A agulha da bússola irá girar, e o polo norte dela girará no sentido do campo magnético gerado.

CAMPO MAGNÉTICO GERADO POR UMA CORRENTE ELÉTRICA EM UM FIO CONDUTOR RETILÍNEO

Quando uma corrente elétrica atravessa um fio longo, em seu entorno surge um campo magnético, como visto na figura a seguir.

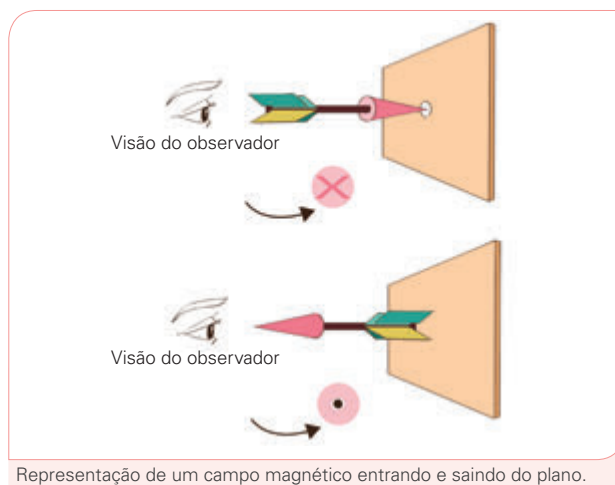


Campo magnético gerado por corrente elétrica em um fio retilíneo.

FOUJAD A. SAAD/SHUTTERSTOCK

A representação desse campo magnético no plano de uma folha revela certa dificuldade, por se tratar de uma imagem tridimensional em um plano. Por isso, faz-se necessário o uso de uma representação, no plano, indicando se o vetor campo magnético está entrando ou saindo do plano da folha.

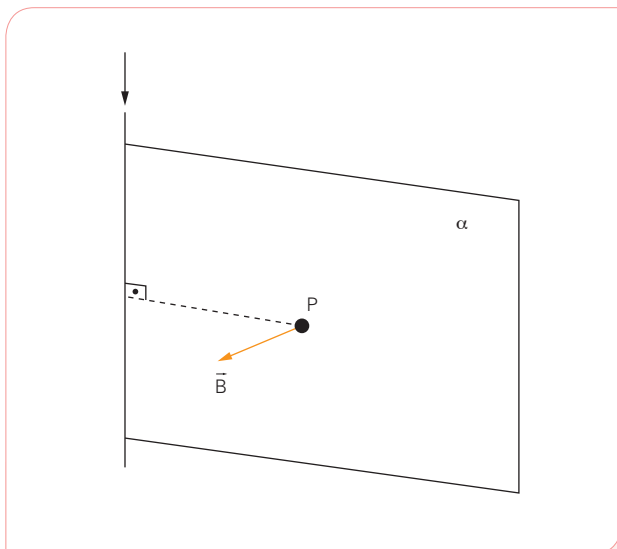
Dessa forma, podemos fazer uma analogia como a exibida na figura a seguir.



Representação de um campo magnético entrando e saindo do plano.

Representamos o campo magnético entrando no plano com o símbolo \otimes ; já o campo magnético saindo do plano é indicado com o símbolo \odot .

Na figura seguinte, vemos um ponto P em um plano α .



Campo magnético gerado por uma corrente elétrica em um fio.

Temos que o vetor indução magnética \vec{B} em P conta com as seguintes características:

- direção perpendicular ao plano α definido pelo fio e pelo ponto P;
- sentido dado pela regra da mão direita;
- intensidade de \vec{B} depende da intensidade da corrente elétrica i , da distância entre o ponto P e o fio, e do meio em que o fio se encontra. A grandeza física que representa o meio é indicada por m e chamada de permeabilidade magnética do meio.

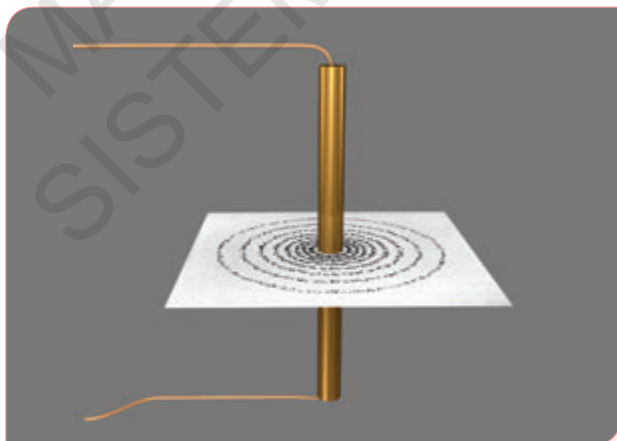
Dessa forma, a intensidade magnética \vec{B} é dada pela equação:

$$B = \frac{\mu \cdot i}{2 \cdot \pi \cdot d}$$

Quando o meio for o vácuo, a permeabilidade magnética será: $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$.

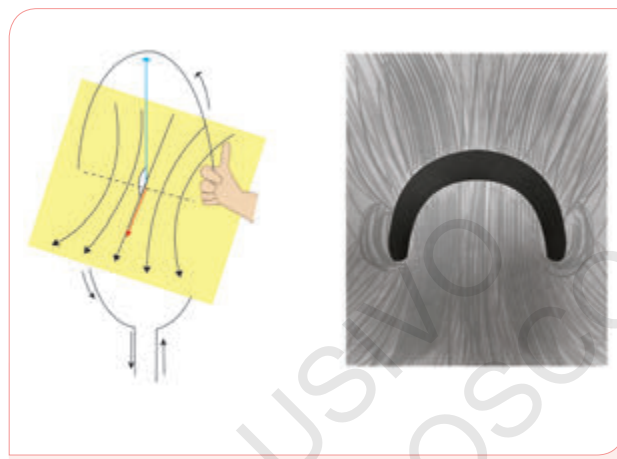
É importante ressaltar que as linhas de campo magnético geradas por uma corrente elétrica em um fio retilíneo são circunferências concêntricas ao condutor, conforme a figura a seguir.

7ACTIVE STUDIO/DREASTIME



Linhas de campo geradas por corrente elétrica.

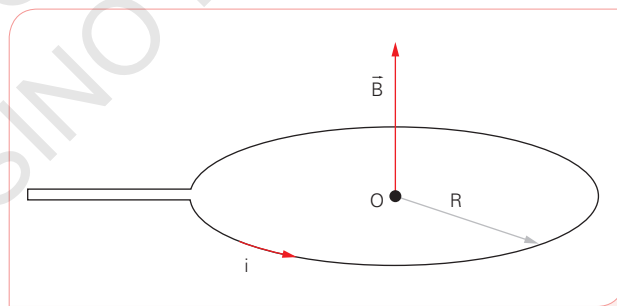
CAMPO MAGNÉTICO EM UMA ESPIRA CIRCULAR



Espira circular sendo percorrida por uma corrente elétrica e gerando um campo magnético.

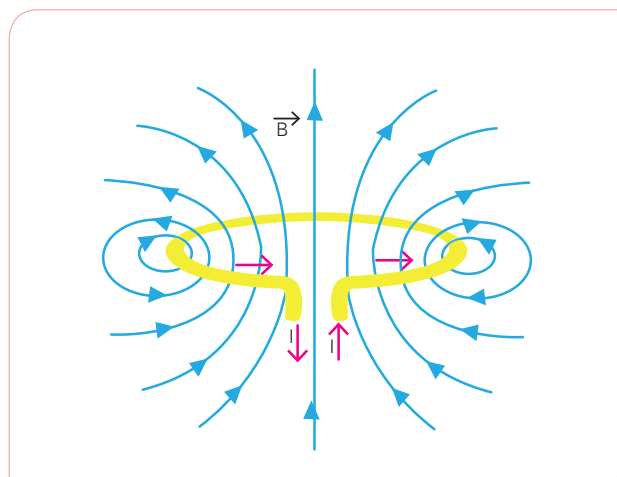
Considerando uma espira circular, ou seja, um fio condutor com a forma de uma circunferência de raio R , a corrente que percorrerá esse condutor induzirá um campo magnético \vec{B} , o qual tem as seguintes características:

- Direção perpendicular ao plano da espira.



Direção perpendicular do campo magnético ao plano da espira.

- Sentido dado pela regra da mão direita.

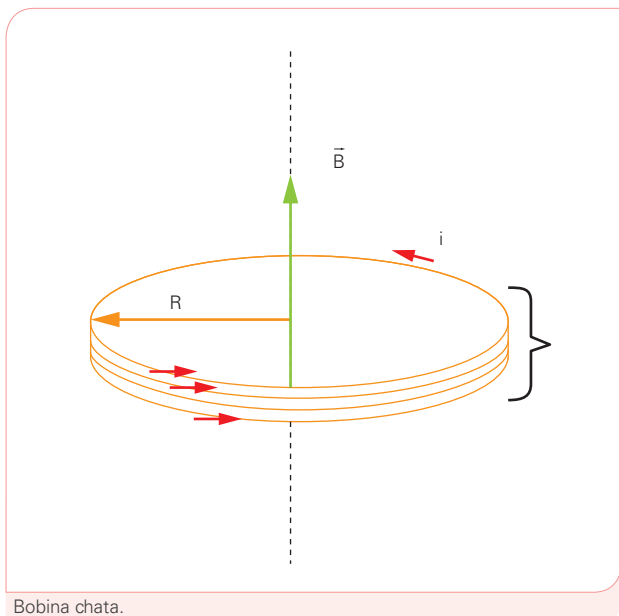


Sentido do campo magnético gerado de acordo com a regra da mão direita.

- Intensidade: $B = \frac{\mu \cdot i}{2 \cdot R}$

CAMPO MAGNÉTICO NO INTERIOR DE UMA BOBINA

Quando o raio de uma bobina for muito maior que o comprimento do fio, teremos uma **bobina chata**.



Bobina chata.

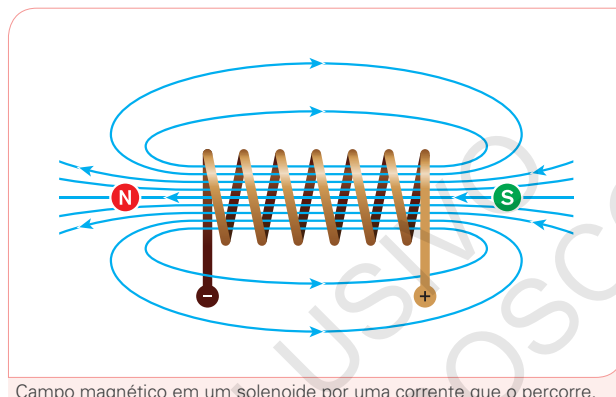
Nesse caso, há as mesmas características da indução magnética em uma espira, com a seguinte consideração na intensidade do campo magnético:

$$B = N \frac{\mu \cdot i}{2 \cdot R}, \text{ sendo } N \text{ o número de espiras}$$

Quando o comprimento do fio for muito maior do que o raio, de modo que o fio seja enrolado em espiras

iguais, uma ao lado da outra e igualmente espaçadas, teremos uma **bobina longa ou um solenoide**.

Assim, com uma corrente elétrica percorrendo os fios do solenoide, as linhas de indução do campo magnético geradas são:



Campo magnético em um solenoide por uma corrente que o percorre.

PETERHERMESFURIAN/ISTOCKPHOTO

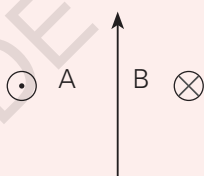
Em um solenoide, as linhas de indução são paralelas e, com isso, em todos os pontos do interior da bobina o vetor indução magnética tem a mesma direção e o mesmo sentido e, com isso, tem a mesma intensidade. Nesse caso, há um campo magnético uniforme no interior da bobina.

As características do campo magnético no interior da bobina são:

- Direção do eixo da bobina.
- Sentido dado pela regra da mão direita.
- Intensidade: $B = \mu \cdot \frac{n}{L} \cdot i$, onde n é o número de espiras existentes em determinado comprimento L de bobina.

EXERCÍCIO RESOLVIDO

Sistema Dom Bosco – A figura a seguir apresenta um fio condutor retilíneo percorrido por uma corrente i , de acordo com o indicado. Desenhe o sentido do campo magnético no ponto A e no ponto B localizados no plano da figura.



Resolução

Utilizando a regra da mão direita, o campo magnético entra no ponto B e sai no ponto A. Portanto, o campo magnético é dirigido para dentro do plano no ponto B \otimes e para fora do plano no ponto A \odot .

ROTEIRO DE AULA

CAMPO MAGNÉTICO GERADO POR CORRENTE ELÉTRICA

REGRA DA MÃO DIREITA

O polegar é alinhado no sentido da corrente, enquanto os demais dedos ficam semidobrados envolvendo o condutor, de modo que o sentido para onde esses dedos giram também gira o campo magnético.

CAMPO MAGNÉTICO EM UM FIO RETILÍNEO

- 1) Direção perpendicular ao plano α definido pelo fio e pelo ponto P.
- 2) Sentido dado pela regra da mão direita.
- 3) Equação da intensidade de B:

CAMPO MAGNÉTICO EM UMA ESPIRA CIRCULAR

- 1) Direção perpendicular ao plano da espira.
- 2) Sentido dado pela regra da mão direita.
- 3) Intensidade: $B = \frac{\mu \cdot i}{2 \cdot R}$

CAMPO MAGNÉTICO NO INTERIOR DE UMA BOBINA

BOBINA CHATA

Intensidade:

$$B = N \cdot (\mu \cdot i) / 2 \cdot R$$

SOLENOIDE

Intensidade:

$$B = \mu n / L \cdot i$$

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. Udesc – A respeito do desenvolvimento dos estudos relacionados com o magnetismo, marque V para as afirmações verdadeiras e F para as falsas.

- () Os primeiros estudos realizados na área do magnetismo foram feitos por Aristóteles no século VI a.C. O filósofo analisou a atração entre pedras de um minério denominado de magnetita.
- () A utilização da bússola provavelmente foi a primeira aplicação prática do magnetismo.
- () A relação entre magnetismo e eletricidade só foi aceita no século XX com os estudos de Michael Faraday.
- () O experimento de Oersted, realizado no século XIX, abriu caminho para os estudos relacionados ao eletromagnetismo.

- a) F, V, V, V c) V, F, V, F e) F, V, F, V
b) V, V, V, V d) F, F, F, F

Falsa. Tales de Mileto foi quem realizou os primeiros estudos.

Verdadeira.

Falsa. No século XIX, as relações entre magnetismo e eletricidade já haviam sido comprovadas por Oersted.

Verdadeira.

2. Fatec-SP – Em qualquer tempo da história da física, cientistas buscaram unificar algumas teorias e áreas de atuação. Hans Christian Oersted, físico dinamarquês, conseguiu prever a existência de ligação entre duas áreas da física, ao formular a tese de que, quando duas cargas elétricas estão em movimento, manifesta-se entre elas, além da força eletrostática, uma outra força, denominada força magnética.

Esse feito levou a física a uma nova área de conhecimento denominada:

- a) eletricidade.
- b) magnetostática.
- c) eletroeletrônica.
- d) eletromagnetismo.**
- e) indução eletromagnética.

Os dois campos da física envolvidos são: magnetismo e eletricidade. Assim, surgiu o eletromagnetismo.

3. OBF – A partir de 1820, com a descoberta realizada por Oersted, definitivamente constatou-se a ação magnética produzida pela passagem da corrente em um fio condutor sobre uma bússola colocada ao lado do fio. Seguramente, várias tentativas de interpretação conceitual do campo magnético gerado por uma corrente elétrica foram defendidas, a exemplo de Ampère, Biot-Savart, J. Henry e Faraday. Vários trabalhos experimentais e teóricos foram produzidos e publicados, objetivando explicar a unificação da eletricidade com o magnetismo.

Os físicos Biot e Savart publicaram um trabalho que explicava que, quando dois fios longos, retílineos e paralelos entre si eram percorridos por correntes elétricas, haveria uma força de interação entre eles, produzida por ação mútua dos campos magnéticos ali produzidos. Assim:

- I. Haverá uma força de atração entre os fios, quando em cada um deles circular uma corrente elétrica com mesmo sentido.
- II. Haverá uma força de repulsão entre os fios, quando em cada um deles circular uma corrente elétrica com mesmo sentido.

III. A intensidade do campo magnético resultante no ponto A, equidistante entre os fios, é igual a zero se a corrente elétrica circulante em cada condutor possui mesmo sentido e mesma intensidade.

IV. A intensidade do campo magnético resultante no ponto A, equidistante entre os fios, é diferente de zero, pois as correntes elétricas circulantes em cada condutor têm mesmo sentido.

As justificativas apresentadas nas proposições sugerem acertadamente que:

- a) Apenas I está correta.
- b) I e IV estão corretas.
- c) Todas estão corretas.
- d) Todas estão incorretas.
- e) I e III estão corretas.**

I. Correta.

II. Incorreta. Nessa interação, há uma força de atração.

III. Correta.

IV. Incorreta. Considerando um ponto A equidistante entre os fios, temos que a intensidade do campo resultante deve ser nula.

4. Sistema Dom Bosco – Trezentos mil elétrons passam por milissegundo em um condutor que se encontra no vácuo. Determine a intensidade do campo magnético gerado por esses elétrons a uma distância de 0,001 mm do condutor. (Dados: $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C; $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ Tm/A; $Q = n \cdot e$; $i = Q / \Delta t$; $B = \mu_0 \cdot i / 2 \cdot \pi \cdot r$)

$$Q = n \cdot e \Rightarrow 3 \cdot 10^5 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} = 4,8 \cdot 10^{-14} \text{ C}$$

$$i = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{4,8 \cdot 10^{-14}}{0,001} = 4,8 \cdot 10^{-11} \text{ A}$$

$$B = \frac{\mu_0 \cdot i}{2 \cdot \pi \cdot r} = \frac{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 4,8 \cdot 10^{-11}}{2 \cdot \pi \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-3}} = 9,6 \cdot 10^{-12} \text{ T}$$

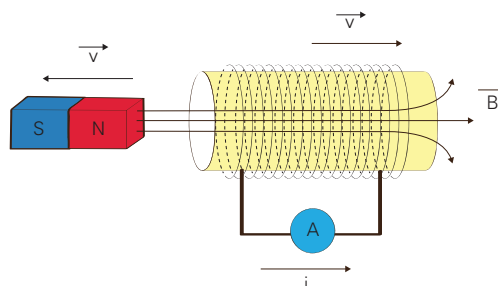
5. Sistema Dom Bosco – O campo magnético gerado no interior de uma bobina apresenta algumas características. Quais são elas?

Direção do eixo da bobina; sentido dado pela regra da mão direita; e intensidade: $B = \mu \cdot \frac{n}{L} \cdot i$.

6. Enem

C6-H21

O funcionamento dos geradores de usinas elétricas baseia-se no fenômeno da indução eletromagnética, descoberto por Michael Faraday no século XIX. Pode-se observar esse fenômeno ao se movimentar um ímã e uma espira em sentidos opostos com módulo da velocidade igual a v , induzindo uma corrente elétrica de intensidade i , como ilustrado na figura:



A fim de se obter uma corrente com o mesmo sentido da apresentada na figura, utilizando os mesmos materiais, outra possibilidade é mover a espira para a

- esquerda e o ímã para a direita com polaridade invertida.
- direita e o ímã para a esquerda com polaridade invertida.
- esquerda e o ímã para a esquerda com mesma polaridade.
- direita e manter o ímã em repouso com polaridade invertida.
- esquerda e manter o ímã em repouso com mesma polaridade.

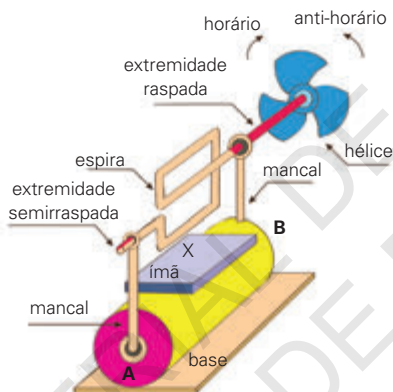
De acordo a lei de Lenz, a corrente induzida em uma espira opõe-se à variação do campo magnético que a criou. Observando a imagem e a forma como o movimento ocorre, há uma diminuição do campo magnético dentro da espira; sendo assim, a corrente é gerada para a direita, a fim de aumentar o campo nesse sentido. A única alternativa que obedece à lei de Lenz é a A, pois a corrente criada teria que ser para a direita, com o intuito de diminuir o campo magnético que estaria aumentado para o mesmo sentido.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

- 7. Vunesp** – Um motor elétrico é construído com uma espira retangular feita com um fio de cobre esmaltado semirraspado em uma extremidade e totalmente raspado na outra, apoiada em dois mancais soldados aos polos A e B de uma pilha. Presa a essa espira, uma hélice leve pode girar livremente no sentido horário ou anti-horário. Um ímã é fixo à pilha com um de seus polos magnéticos (X) voltado para cima, criando o campo magnético responsável pela força magnética que atua sobre a espira, conforme ilustrado na figura.

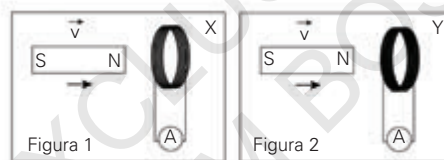


Se A for um polo ____, B um polo ____ e X um polo ____, dado um impulso inicial na espira, ela mantém-se girando no sentido ____.

Assinale a alternativa que completa, correta e respectivamente, as lacunas do texto.

- negativo – positivo – sul – horário
- negativo – positivo – norte – anti-horário
- positivo – negativo – sul – anti-horário
- positivo – negativo – norte – horário
- negativo – positivo – norte – horário

- 8. Unisinos** – Um ímã se desloca com uma velocidade v ao encontro da bobina X e, depois, com a mesma velocidade, v , ao encontro da bobina Y, conforme mostram as figuras 1 e 2, respectivamente. Os diâmetros das espiras condutoras das bobinas são iguais, mas Y tem um número de espiras maior do que X.



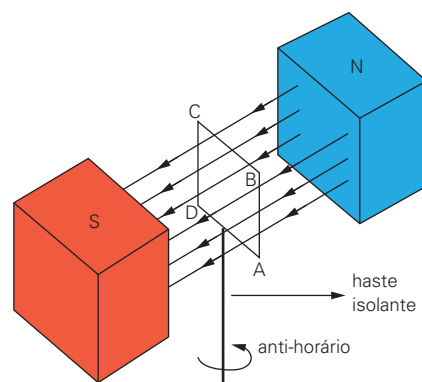
Nessas condições, a força eletromotriz induzida na bobina X é _____ força eletromotriz induzida na bobina Y, e os sentidos das correntes elétricas nos amperímetros são _____.

As lacunas são corretamente preenchidas, respectivamente, por

- igual à; contrários.
- menor do que a; contrários.
- maior do que a; iguais.
- menor do que a; iguais.
- igual à; iguais.

- 9. UNP (adaptado)** – Do que, basicamente, depende a intensidade do campo magnético produzido no interior de um solenoide muito comprido, percorrido por corrente?

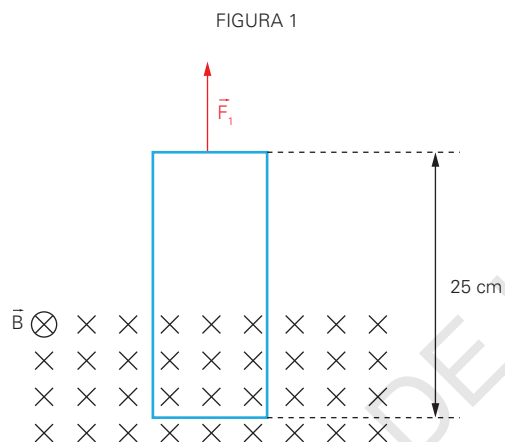
- 10. Famerp** – Uma espira metálica retangular ABCD, de área constante, está totalmente imersa em um campo magnético uniforme horizontal criado na região entre dois polos magnéticos norte e sul, como representado na figura. Inicialmente, a espira está em repouso em um plano vertical perpendicular às linhas de indução do campo magnético.



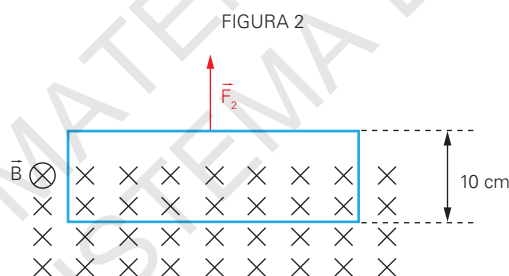
Suponha que a espira gire 90° no sentido anti-horário, em torno de um eixo vertical, nesse campo magnético. Enquanto isso acontece,

- circulará por ela uma corrente elétrica induzida sempre no sentido DCBA.
- circulará por ela uma corrente elétrica induzida, primeiro no sentido DCBA e depois no sentido ABCD.
- circulará por ela uma corrente elétrica induzida sempre no sentido ABCD.
- circulará por ela uma corrente elétrica induzida, primeiro no sentido ABCD e depois no sentido DCBA.
- não circulará por ela corrente elétrica induzida.

- 11. Famema** – Uma mesma espira retangular, de massa desprezível, foi parcialmente imersa em um mesmo campo magnético constante e uniforme $\vec{B} \rightarrow$ de duas maneiras distintas. Na primeira, a espira é mantida em equilíbrio sob ação apenas da força vertical \vec{F}_1 e da força magnética gerada pela circulação de uma corrente elétrica contínua pela espira, conforme a figura 1.



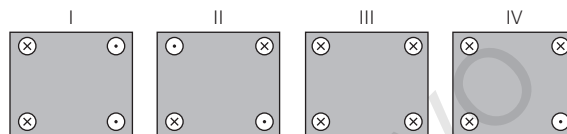
Na segunda, a espira é mantida em equilíbrio sob ação apenas da força vertical e da força magnética gerada pela circulação de uma corrente elétrica contínua pela espira, conforme a figura 2.



Sabendo que nas duas situações a intensidade da corrente elétrica que circula pela espira é a mesma, que a intensidade de \vec{F}_1 é 10 N e considerando as informações contidas nas figuras, é correto afirmar que a intensidade de \vec{F}_2 é igual a

- 50 N.
- 10 N.
- 75 N
- 20 N.
- 25 N.

- 12. Fuvest** – As figuras representam arranjos de fios longos, retilíneos, paralelos e percorridos por correntes elétricas de mesma intensidade. Os fios estão orientados perpendicularmente ao plano desta página e dispostos segundo os vértices de um quadrado. A única diferença entre os arranjos está no sentido das correntes: os fios são percorridos por correntes que entram (x) ou (•) saem do plano da página.



O campo magnético total é nulo no centro do quadrado apenas em

- I.
- II.
- I e II.
- II e III.
- III e IV.

- 13. PUC-RS (adaptado)** – Para uma espira circular condutora, percorrida por uma corrente elétrica de intensidade i , é registrado um campo magnético de intensidade B no seu centro. Alterando-se a intensidade da corrente elétrica na espira para um novo valor i_{final} , observa-se que o módulo do campo magnético, no mesmo ponto, assumirá o valor $5B$. Qual é a razão entre as intensidades das correntes elétricas final e inicial (i_{final}/i)?

- 14. Sistema Dom Bosco** – Imagine que um elétron com carga e cruze um campo magnético perpendicularmente com velocidade igual $3 \cdot 10^8$ m/s, cuja intensidade do vetor força seja de 1 N. Calcule a intensidade do campo magnético B que atua sob esse elétron.

- 15. Unit-SE** – Campos magnéticos biológicos têm origem em correntes elétricas que percorrem algumas células (como no sistema nervoso e no coração) ou em materiais magnéticos acumulados em certos órgãos (como o fígado e o pulmão). Medir tais campos permite localizar com precisão a região que os produz e determinar a intensidade da corrente ou a concentração dos materiais. Os campos magnéticos produzidos pelo corpo humano e por outros seres são extremamente tênues, situando-se na faixa de nanoteslas a femtoteslas. Considerando-se um estudo em tecido hepático onde foi aplicado um campo magnético de intensidade igual a 81 nT e sendo a suscetibilidade magnética dos tecidos biológicos igual a $9,0 \cdot 10^{-6}$ Tm/A, a corrente que deveria circular em uma bobina circular de raio 20,0 μm , feita com esse material para produzir um campo nesse valor, deve ser, em μA , igual a

- 0,36
- 0,41
- 0,52
- 0,63
- 0,78

- 16. UPF** – Sabemos que existe um campo magnético nas proximidades de um ímã e também em torno de um condutor percorrido por uma corrente elétrica. O comportamento desse campo pode ser representado graficamente por meio das linhas de campo magnético ou linhas de indução. Sobre essas linhas de indução, são feitas as seguintes afirmações:

- São sempre perpendiculares ao vetor que representa o campo.
- Quando uma carga elétrica q é abandonada em movimento com uma velocidade vetorial v perto de um

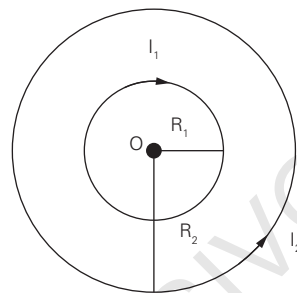
ímã, a força gerada pela interação do campo com a carga, em um determinado ponto, tem direção tangencial às linhas de indução e perpendicular à direção do vetor v .

- III. Nas regiões próximas aos polos de um ímã em forma de barra, a concentração de linhas de indução é maior que em qualquer outro ponto ao seu redor.
- IV. As linhas de indução do campo magnético gerado por uma corrente estabelecida em um fio condutor metálico, retilíneo e muito longo têm formato de circunferências concêntricas ao fio em um plano perpendicular a ele.

Está correto o que se afirma em

- a) I, II, III e IV.
 b) II e III, apenas.
 c) II e IV, apenas.
 d) III e IV, apenas.
 e) II, III e IV, apenas

17. Unimontes-MG (adaptado) – Duas espiras circulares, 1 e 2, coplanares e concêntricas, possuem raios R_1 e R_2 e são percorridas por correntes I_1 e I_2 , respectivamente (veja a figura).



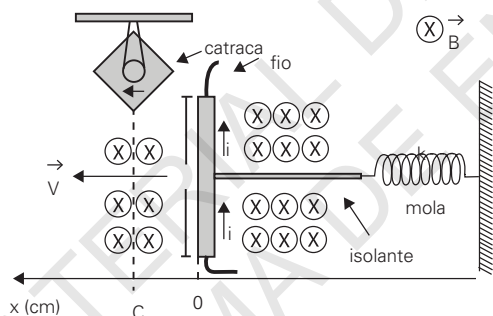
Sendo $R_2 = 2 \cdot R_1$ e $I_2 = 3 I_1$, qual a razão entre os módulos dos campos magnéticos criados pelas espiras 2 e 1 no centro O (B_2/B_1)?

ESTUDO PARA O ENEM

18. Enem

C6-H21

Desenvolve-se um dispositivo para abrir automaticamente uma porta no qual um botão, quando acionado, faz que uma corrente elétrica $i = 6 \text{ A}$ percorra uma barra condutora de comprimento $L = 5 \text{ cm}$, cujo ponto médio está preso a uma mola de constante elástica $K = 5 \cdot 10^{-2} \text{ N/cm}$. O sistema mola-condutor está imerso em um campo magnético uniforme perpendicular ao plano. Quando acionado o botão, a barra sairá da posição do equilíbrio a uma velocidade média de 5 m/s e atingirá a catraca em 6 milissegundos, abrindo a porta.



A intensidade do campo magnético, para que o dispositivo funcione corretamente, é de:

- a) $5 \cdot 10^{-1} \text{ T}$ d) $2 \cdot 10^{-2} \text{ T}$
 b) $5 \cdot 10^{-2} \text{ T}$ e) $2 \cdot 10^0 \text{ T}$
 c) $5 \cdot 10^1 \text{ T}$

19. Enem

C6-H21

Para demonstrar o processo de transformação de energia mecânica em elétrica, um estudante constrói um pequeno gerador utilizando:

– um fio de cobre de diâmetro D enrolado em N espiras circulares de área A ;

– dois ímãs que criam no espaço entre eles um campo magnético uniforme de intensidade B ; e

– um sistema de engrenagens que lhe permite girar as espiras em torno de um eixo com uma frequência f .

Ao fazer o gerador funcionar, o estudante obteve uma tensão máxima V e uma corrente de curto-circuito i .

Para dobrar o valor da tensão máxima V do gerador mantendo constante o valor da corrente de curto i , o estudante deve dobrar o(a)

- a) número de espiras.
 b) frequência de giro.
 c) intensidade do campo magnético.
 d) área das espiras.
 e) diâmetro do fio.

20. Uema

C6-H21

A Copa do Mundo de 2014, no Brasil, pôde ser vista por milhões de pessoas pelos aparelhos de televisão que transmitiram sons e imagens por meio de novas tecnologias desenvolvidas com base nos conhecimentos de ondas e de campos magnéticos.

A expressão para calcular a intensidade de campo magnético é a razão entre o(a)

- a) intensidade de corrente pelo produto da força pelo comprimento.
 b) força pelo produto da carga pela velocidade.
 c) carga pelo produto da força pela velocidade.
 d) velocidade pelo produto da força pela carga.
 e) comprimento pelo produto da força pela intensidade de corrente.

25

FORÇA MAGNÉTICA

- Força magnética

HABILIDADES

- Identificar a força magnética em diferentes contextos.
- Relacionar cargas elétricas com o campo magnético em diferentes situações.
- Utilizar a regra do tapa para resolver diferentes situações-problema.



Ventilador.

Motores são equipamentos muito presentes em nosso cotidiano. Um ventilador, por exemplo, necessita de corrente elétrica a fim de gerar campos magnéticos. Essa indução eletromagnética faz que as hélices desse ventilador se movimentem, de modo que esse movimento pode ser explicado por uma força magnética aplicada. O mesmo acontece no experimento de Oersted, em que, ao aproximar uma bússola de um fio que atravessa a corrente elétrica, a agulha dessa bússola se movimenta. Isso porque uma força magnética foi aplicada à agulha da bússola.

Dessa forma, vamos buscar entender melhor o que é a força magnética.

Força magnética

Considerando o experimento de Oersted mencionado, podemos dizer que a força magnética é verificada em função do movimento da agulha da bússola. Entretanto, também é possível criar aparatos experimentais para mostrar que corpos eletrizados também se movimentam em uma região na qual existe um campo magnético sob ação de forças magnéticas.

A partir de experimentos, é possível verificar que a força magnética que atua sob cargas em movimento depende:

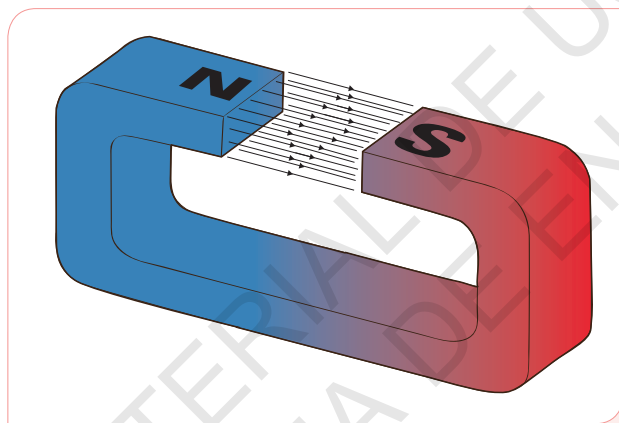
- I. da carga elétrica (q);
- II. da intensidade do vetor velocidade (v) da carga;
- III. da intensidade do campo magnético (B);
- IV. do ângulo formado entre o vetor velocidade e o campo magnético (θ).

A análise da força magnética será realizada de modo a considerar as constatações anteriores e dois casos particulares:

- 1) cargas elétricas lançadas com velocidade paralela ao campo magnético;
- 2) cargas elétricas lançadas com velocidade perpendicular ao campo magnético.

Cargas elétricas lançadas com velocidade paralela ao campo magnético

Nessa situação, é possível verificar que a carga elétrica realizará um movimento retilíneo e uniforme. Pode ser considerado um exemplo de campo magnético uniforme um ímã em forma de U, de modo que seus polos estejam um à frente do outro, conforme mostra a figura.



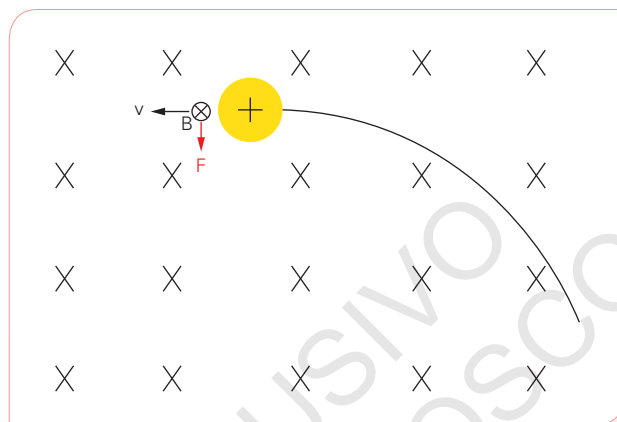
Campo magnético uniforme em um ímã em forma de U.

Nesse caso, a força magnética é considerada nula, e podemos verificar um movimento retilíneo e uniforme.

Cargas elétricas lançadas com velocidade perpendicular ao campo magnético

Tomando como exemplo o campo gerado pelo ímã da figura anterior, podemos lançar uma partícula eletrizada com carga q perpendicularmente ao campo e com velocidade v . Em âmbito experimental, é possível observar que a partícula realiza uma trajetória curvilínea.

Na figura a seguir, uma partícula elétrica, ao entrar perpendicularmente em campo magnético \vec{B} com velocidade v , apresenta trajetória curvilínea.



Força magnética gerada pelo movimento perpendicular de uma partícula em relação a um campo magnético B.

A intensidade da força magnética em uma carga lançada em um campo magnético depende da seguinte relação:

$$F_{\text{mag}} = |q| \cdot v \cdot B \cdot \sin \theta$$

Em que:

F_{mag} = força magnética

$|q|$ = módulo da carga

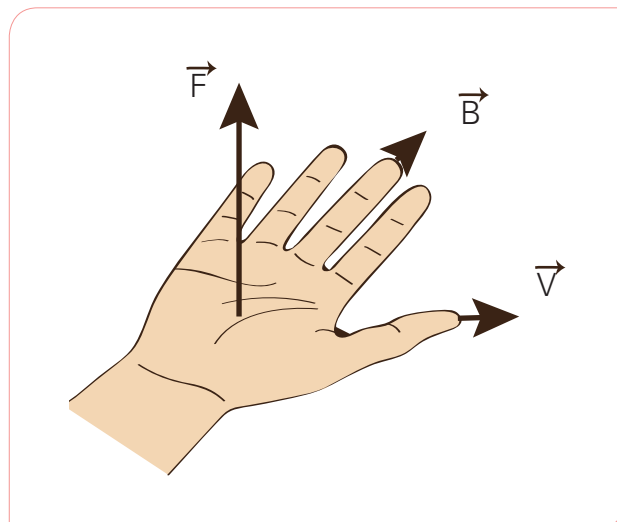
v = velocidade

B = intensidade do campo magnético

Observação: Sendo a velocidade da carga perpendicular ao campo magnético, temos $\sin 90^\circ = 1$. Logo, a expressão pode ser escrita, nessa situação, como:

$$F_{\text{mag}} = |q| \cdot v \cdot B$$

Para determinar a direção e o sentido da força magnética, pode-se utilizar um método denominado "regra da mão direita número 2" ou "regra do tapa", representada pela figura a seguir.



Regra do tapa.

Nesse método, deve-se deixar a mão direita aberta, de modo a alinhar o polegar à direção e ao sentido do vetor velocidade, e os demais dedos, à direção e ao sentido do campo magnético. Assim, é possível determinar a direção da força magnética, sendo ela perpendicular à palma da mão. O sentido da força dependerá do sinal da carga, de modo que, se a carga for positiva, o sentido será "saindo" da palma da mão; se a carga for negativa, o sentido será "entrando" na palma da mão.

Vale ressaltar que uma carga lançada de forma perpendicular ao campo magnético está sob a ação de uma força magnética que possui direção perpendicular à velocidade da carga. O movimento apresentado será circular.

A força magnética se equivalerá à força centrípeta. Podemos escrever a trajetória (r) da carga a partir da expressão:

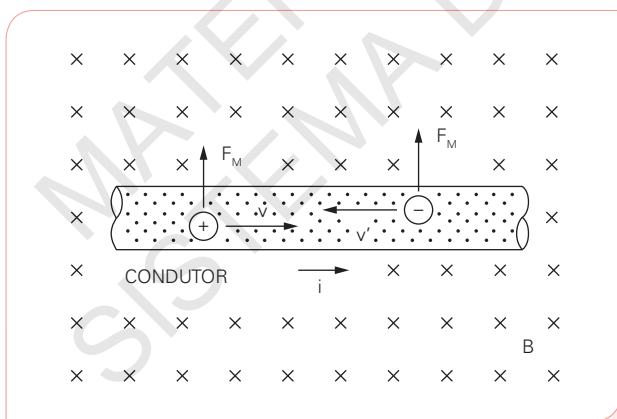
$$F_{\text{mag}} = F_{\text{cp}} \Rightarrow |q| \cdot v \cdot B = \frac{m \cdot v^2}{r} \Rightarrow r = \frac{m \cdot v}{|q| \cdot B}$$

A partir da relação anterior, pode-se encontrar o período (T) desse movimento por meio da relação:

$$r = \frac{m \cdot v}{|q| \cdot B} \Rightarrow r = \frac{m \cdot \frac{2 \cdot \pi}{T}}{|q| \cdot B} \therefore T = \frac{2 \cdot \pi \cdot m}{|q| \cdot B}$$

Força magnética em fios percorridos por uma corrente

Considerando um fio imerso em um campo magnético B e que a direção do fio é perpendicular ao campo magnético, pode-se verificar que os elétrons desse fio estarão sob a ação de forças magnéticas.



Fio imerso em um campo magnético.

Considerando um dos elétrons que se deslocam no interior desse fio, temos:

$$F_{\text{mag}} = |q| \cdot v \cdot B = i \cdot \Delta t \cdot \frac{\Delta S}{\Delta t} \cdot B = B \cdot i \cdot \Delta S$$

Tendo em mente que o elétron percorre distância ΔS , sendo ela o comprimento do fio determinado pela letra (l), temos:

$$F_{\text{mag}} = B \cdot i \cdot l$$

A partir da análise da equação, temos que:

1) A força magnética encontrada na expressão é a resultante das forças magnéticas aplicadas em cada carga.

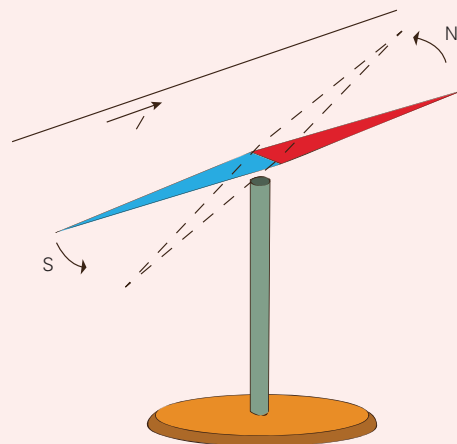
2) Como uma carga lançada com velocidade paralela ao fio terá força nula aplicada sobre ela, então, caso a direção do fio seja a mesma do campo magnético, a força magnética resultante aplicada nesse fio também será nula.

EXERCÍCIO RESOLVIDO

Sistema Dom Bosco – Em 1819 o físico dinamarquês Oersted observou que, quando a agulha de uma bússola é colocada próxima de uma corrente elétrica, essa agulha é desviada de sua posição. Ora, uma agulha magnética, suspensa pelo centro de gravidade, só entra em movimento quando está em um campo magnético. O deslocamento da agulha só se explica pela formação de um campo magnético em torno do condutor percorrido por corrente elétrica. Foi essa a primeira vez que se observou o aparecimento de um campo magnético juntamente com uma corrente elétrica.

Fonte: <http://efisica.if.usp.br/eletricidade/basico/campo_corrente/exper_oersted/>. Acesso em: nov. 2018.

A figura a seguir mostra a agulha de uma bússola se movimentando no sentido indicado pelas setas e, logo acima da agulha, um fio linear cujo sentido da corrente i também está representado. Nessa situação, explique o que ocorreria com a agulha da bússola caso o sentido da corrente se invertesse.



Resolução

Na figura, a agulha da bússola se movimentando em sentido anti-horário, pois em torno do fio é criado um campo magnético, dada a corrente elétrica dentro do fio. Caso a corrente tenha seu sentido invertido, haverá também a inversão do sentido do campo magnético e, conseqüentemente, o giro da agulha será no sentido horário.

ROTEIRO DE AULA

FORÇA MAGNÉTICA

A força magnética aplicada sobre uma carga é considerada _____ **nula** _____ quando é lançada com velocidade paralela ao campo magnético.

A força magnética aplicada sobre uma carga lançada com velocidade perpendicular ao campo magnético será dada por

$$F_{\text{mag}} = |q| \cdot v \cdot B$$

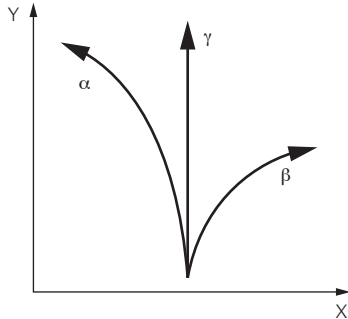
A força magnética em fios percorridos por corrente é dada por

$$F_{\text{mag}} = B \cdot i \cdot l$$

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. UFRGS-RS – Partículas α , β e γ são emitidas por uma fonte radioativa e penetram em uma região do espaço onde existe um campo magnético uniforme. As trajetórias são coplanares com o plano desta página e estão representadas na figura que segue.



Assinale a alternativa que preenche corretamente a lacuna do enunciado a seguir.

A julgar pelas trajetórias representadas na figura, o campo magnético _____ plano da figura.

- a) aponta no sentido positivo do eixo X, no
- b) aponta no sentido negativo do eixo X, no
- c) aponta no sentido positivo do eixo Y, no
- d) entra perpendicularmente no
- e) sai perpendicularmente do

Radiação alfa (α): são partículas positivas.

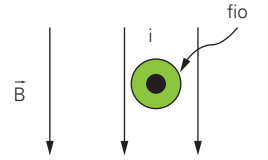
Radiação beta (β): são partículas negativas.

Radiação gama (γ): são ondas eletromagnéticas e, portanto, sem carga.

Utilizando a regra do tapa: como a velocidade é vertical para cima e a partícula positiva (α) se desvia para a esquerda, podemos afirmar que o campo magnético deve entrar perpendicularmente no plano da figura. Se tomarmos a partícula negativa (β), percebemos que ela se desvia para a direita, o que também corrobora a regra do tapa. E, por fim, como a radiação gama (γ) não tem partícula, ela atravessa o campo magnético sem sofrer nenhuma interferência.

2. PUC-RS – Resolver a questão com base nas informações a seguir.

O músculo cardíaco sofre contrações periódicas, as quais geram pequenas diferenças de potencial, ou tensões elétricas, entre determinados pontos do corpo. A medida dessas tensões fornece importantes informações sobre o funcionamento do coração. Uma forma de realizar essas medidas é através de um instrumento denominado eletrocardiógrafo de fio. Esse instrumento é constituído de um ímã que produz um campo magnético intenso por onde passa um fio delgado e flexível. Durante o exame, eletrodos são posicionados em pontos específicos do corpo e conectados ao fio. Quando o músculo cardíaco se contrai, uma tensão surge entre esses eletrodos e uma corrente elétrica percorre o fio. Utilizando um modelo simplificado, o posicionamento do fio retilíneo no campo magnético uniforme do ímã do eletrocardiógrafo pode ser representado como indica a figura a seguir, perpendicularmente ao plano da página, e com o sentido da corrente saindo do plano da página.



Com base nessas informações, pode-se dizer que, quando o músculo cardíaco se contrai, o fio sofre uma deflexão

- a) lateral e diretamente proporcional à corrente que o percorreu.
- b) lateral e inversamente proporcional à intensidade do campo magnético em que está colocado.
- c) vertical e inversamente proporcional à tensão entre os eletrodos.
- d) lateral e diretamente proporcional à resistência elétrica do fio.
- e) vertical e diretamente proporcional ao comprimento do fio.

Quando o músculo cardíaco se contrai, surge uma corrente elétrica no fio. Nesse caso, i , saindo do plano da página, e o campo magnético B é vertical e para baixo (regra do tapa). A força será horizontal para a direita. Como $F = B \cdot i \cdot l$, então temos que a força é diretamente proporcional à corrente i .

3. Sistema Dom Bosco – Considere duas partículas, sendo elas partícula A e partícula B e ambas eletrizadas. Sabendo que a partícula A tem carga elétrica positiva e a partícula B tem carga elétrica negativa, elas são lançadas em um campo magnético uniforme B , paralelamente às linhas de indução. Desprezando ações gravitacionais e ações eletrostáticas entre essas partículas, podemos afirmar que:

- a) A e B realizam movimentos retilíneos e uniformemente acelerados.
- b) A e B realizam movimentos retilíneos e uniformes.
- c) A e B realizam movimentos circulares e uniformes.
- d) As forças magnéticas que agem em A e B têm sentidos opostos.
- e) O movimento de A é acelerado e o de B, retardado.

Quando as partículas são lançadas paralelas às linhas de indução, a força magnética é considerada nula e, portanto, podemos considerar um movimento retilíneo e uniforme.

4. Sistema Dom Bosco – Considerando os televisores antigos de tubo, a tela deles recebia descarga de elétrons formando a imagem. Considere que uma pessoa aproxime desse televisor dois ímãs, de modo que o polo sul esteja posicionado apoiado na parte superior do televisor e o polo norte esteja posicionado encostado na parte inferior do televisor. Pode-se afirmar que a imagem sofrerá desvio para a direita, a esquerda, para cima, para baixo ou não sofrerá desvio? Justifique.

Utilizando a regra do tapa, temos que alinhar o polegar com a velocidade do elétron na tela (de dentro para fora) e as pontas dos dedos do polo norte para o polo sul, ou seja, de baixo para cima do televisor (sentido do campo magnético). Assim, a palma da mão indica o sentido da força magnética que atua sobre a carga. Entretanto, como trata-se de uma carga negativa, a força atua entrando na mão. Isso indica que o desvio da carga elétrica ocorrerá para a direita do televisor, o que deformará a imagem com desvio para a direita.

5. EsPCEx (adaptado) – Uma carga elétrica puntiforme, no interior de um campo magnético uniforme e constante, dependendo de suas condições cinemáticas, pode ficar sujeita à ação de uma força magnética. Qual será o valor da força magnética se essa carga estiver em repouso?

Pela expressão $F_{\text{mag}} = |q| \cdot v \cdot B$, caso a carga esteja em repouso ($v = 0$), a força magnética será nula.

6. Udesc

C6-H21

Observe o extrato a seguir do conto “Tempestade solar”, do escritor Ítalo Calvino.

O Sol está sujeito a contínuas perturbações internas de sua matéria gasosa e incandescente, que se manifestam em perturbações visíveis na superfície: protuberâncias estourando como bolhas, manchas de luminosidade atenuada, intensas cintilações das quais se erguem no espaço jatos repentinos. Quando uma nuvem de gás eletrizado emitido no espaço pelo Sol investe na Terra atravessando as faixas de Van Allen, registram-se tempestades magnéticas e auroras boreais.

CALVINO, Ítalo. *Todas as cosmocômicas*. São Paulo: Companhia das Letras, 2007. p. 318.

Este trecho relata fenômenos que afetam de modo direto o mundo atual. Diariamente uma “chuva de partículas” proveniente do Sol bombardeia o planeta Terra. Caso essas partículas chegassem à superfície terrestre, ocorreriam diversos problemas de saúde. Felizmente, o campo magnético do nosso planeta oferece uma proteção natural contra essas partículas, defletindo-as antes de chegarem à superfície. Por outro lado, quando o Sol tem picos de atividade, em períodos de aproximadamente 11 anos, esses ventos solares penetram mais na atmosfera, prejudicando seriamente os sistemas de comunicação via satélite e os sistemas de GPS. Esse fenômeno afeta em particular o Brasil, onde se encontra a Anomalia Magnética do Atlântico Sul, na qual há a redução da intensidade do campo magnético terrestre.

Analise as proposições sobre a ação do campo magnético terrestre para defletir as partículas carregadas da superfície do planeta Terra.

- I. A força magnética atua sempre perpendicularmente ao plano definido pelos vetores velocidade e campo magnético terrestre.
- II. A força magnética varia o módulo da velocidade e sua direção, desviando as partículas para os polos terrestres.
- III. No caso do Brasil, o raio da trajetória das partículas é maior que nos países que se encontram fora da Anomalia Magnética do Atlântico Sul, pois o campo magnético é menos intenso.
- IV. O raio da trajetória da partícula é diretamente proporcional ao campo magnético terrestre e inversamente proporcional à sua velocidade.

Assinale a alternativa correta.

- a) Somente as afirmativas I e II são verdadeiras.
- b) Somente as afirmativas II e III são verdadeiras.
- c) Somente as afirmativas III e IV são verdadeiras.
- d) Somente as afirmativas I e III são verdadeiras.
- e) Somente as afirmativas II e IV são verdadeiras.

I. Verdadeira.

II. Falsa. A força magnética varia a direção da velocidade partícula, mas não o seu módulo.

III. Verdadeira.

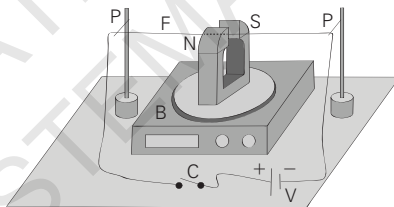
IV. Falsa. Pela equação: $r = \frac{m \cdot v}{|q| \cdot B}$, temos exatamente o contrário, ou seja, a trajetória é diretamente proporcional à velocidade da partícula e inversamente proporcional ao campo magnético terrestre.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e (ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e (ou) do eletromagnetismo.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. UFRG-RS – No esquema da figura, o fio F, horizontalmente suspenso e fixo nos pontos de suporte P, passa entre os polos de um ímã, em que o campo magnético é suposto horizontal e uniforme. O ímã, por sua vez, repousa sobre uma balança B, que registra seu peso.



Assinale a alternativa que preenche corretamente as lacunas do enunciado a seguir, na ordem em que aparecem.

Em dado instante, a chave C é fechada, e uma corrente elétrica circula pelo fio. O fio sofre uma força vertical _____, e o registro na balança _____.

- a) para baixo – não se altera.
- b) para baixo – aumenta.

- c) para baixo – diminui.
- d) para cima – aumenta.
- e) para cima – diminui.

8. Unit-SE – O campo magnético terrestre, chamado magnetosfera, protege o planeta dos raios cósmicos, que são feixes de partículas de altas energias que vêm do Sol.

Com base nos conhecimentos sobre eletromagnetismo, é correto afirmar:

- a) O campo magnético produzido por um solenoide com N espiras, percorrido por uma corrente I, é nulo para pontos no interior do solenoide.
- b) A força magnética sobre uma partícula carregada, movendo-se através de um campo magnético, modifica a direção da velocidade, mas não seu módulo.
- c) Partículas carregadas, movendo-se em uma região de campo magnético uniforme, descrevem um movimento retilíneo uniforme.
- d) Campos magnéticos podem realizar trabalho sobre partículas carregadas, alterando suas energias cinéticas.
- e) O magnetismo é caracterizado por monopólos magnéticos denominados de polo norte e polo sul.

9. Urca (adaptado) – Uma carga positiva desloca-se com velocidade constante V em uma região onde existe um campo magnético externo B . O vetor velocidade V da carga é perpendicular ao vetor campo magnético externo B . Como a força magnética deve atuar sobre a carga?


10. Uesb – A força magnética é resultante da interação entre dois corpos que apresentam propriedades magnéticas, como ímãs ou cargas elétricas em movimento. Um fio de 1,80 m de comprimento transporta uma corrente de 12,0 A e faz um ângulo de 30° com um campo magnético uniforme B igual a 1,5 T. Nessas condições, é correto afirmar que a intensidade da força magnética sobre o fio, em N, é igual a

- a) 12,9 d) 15,8
 b) 13,7 e) 16,2
 c) 14,5

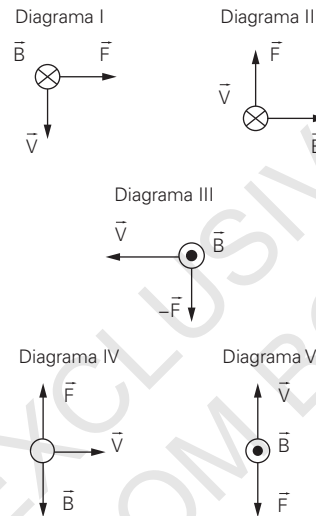
11. UFPA – Uma carga elétrica q (negativa) entra, com velocidade \vec{v} , em uma região onde existe um campo magnético \vec{B} , que está indicado com os símbolos X (que representam um vetor entrando no plano desta folha).



A alternativa que indica o vetor (direção e sentido) da força magnética \vec{F}_m , no exato instante no qual a carga entra na região do campo magnético, com o vetor velocidade na posição horizontal, conforme está indicado na figura, é:

- a) 
 b) 
 c) 
 d) 
 e) 

12. UPE – Uma partícula de carga positiva se move com velocidade de módulo v , em uma região do espaço que possui um campo magnético de módulo B . Nessa situação, uma força magnética de módulo F surge. Um conjunto de diagramas foi construído, representando todas essas grandezas vectoriais. Observe os diagramas a seguir:



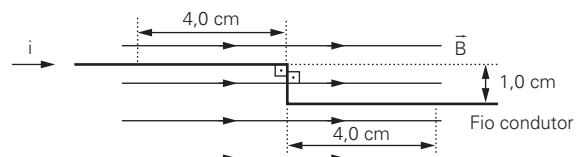
Está(ão) CORRETO(S), apenas,

- a) I.
 b) V.
 c) I e III.
 d) II e V.
 e) III e IV.

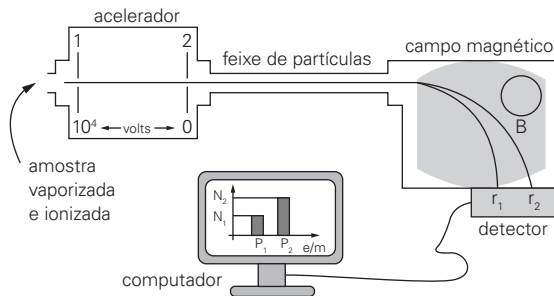
13. IF Sul (adaptado) – Elétrons, prótons e outros portadores de carga elétrica, por possuírem essa propriedade física, podem interagir com campos magnéticos, submetendo-se a uma força magnética.

Se essas partículas eletrizadas submetem-se à ação de um campo magnético estacionário, ou seja, a ação de um campo magnético em que o vetor indução magnética é, em cada ponto, invariável com o tempo, o que podemos afirmar sobre a força magnética em uma partícula em repouso imersa nesse campo?

14. Cesmac (adaptado) – A parte principal de um equipamento de ressonância magnética hospitalar é o magneto. Em dado equipamento, o magneto produz um campo magnético constante e uniforme, de módulo $B = 3,0 \text{ T}$ e direção horizontal, no espaço onde o paciente será localizado. A figura a seguir mostra uma região das linhas de campo do magneto onde passa um fio condutor fino. Sabendo que em dado instante circula pelo fio condutor uma corrente elétrica de 140 A, calcule o módulo da força magnética sobre o trecho do fio condutor de comprimento total 9 cm mostrado na figura.



15. UnB



A figura anterior ilustra o espectrômetro de massa, que permite determinar a razão carga-massa das amostras componentes do solo. As amostras são vaporizadas e inseridas na câmara de ionização, onde são bombardeadas por um feixe de elétrons com energia suficiente para arrancar um ou mais de seus elétrons, tornando-as positivas. A amostra ionizada e vaporizada é inserida em uma câmara aceleradora com potencial de aceleração igual a 10^4 V. O feixe de partículas deixa a câmara aceleradora e entra em uma região de campo magnético constante B, onde se separa em dois feixes. Em seguida, atinge o detector em duas regiões distintas, proporcionais aos raios de curvatura r_1 e r_2 , relacionados às partículas dos tipos 1 e 2, respectivamente. O sinal detectado é enviado para um computador, que mostra, em um gráfico, o número de partículas (N) em função da razão carga-massa (e/m).

Considerando essas informações e assumindo $1,6 \cdot 10^{-19}$ C como o módulo da carga do elétron, julgue a seguinte afirmação: "O trabalho realizado pela força magnética na trajetória circular das partículas é nulo".

16. Unit-AL – As propriedades magnéticas de um material são decorrentes da forma como os diversos dipolos magnéticos oriundos das correntes elétricas em suas estruturas atômicas se combinam entre si, tanto em nível interno ao próprio átomo como entre um átomo e seus demais vizinhos.

Com base nos conhecimentos sobre eletromagnetismo, analise as afirmativas e marque com V as verdadeiras e com F as falsas.

- () A força magnética, diferentemente da elétrica e da gravitacional, é uma interação estritamente de contato.
- () O campo magnético produzido por uma corrente elétrica atravessando um fio tem seu sentido determinado pelo sentido da corrente.

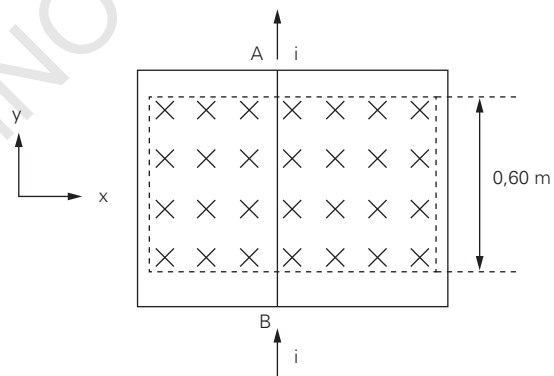
() O polo sul magnético da Terra se localiza próximo do polo Sul geográfico, enquanto o polo norte magnético está próximo ao polo Norte geográfico.

() Quando duas partículas eletricamente carregadas se encontram estáticas no referencial adotado, há, entre elas, uma interação de natureza puramente elétrica, desprezando-se a interação gravitacional.

A alternativa que contém a sequência correta, de cima para baixo, é a

- a) F – V – V – F
- b) F – F – V – V
- c) F – V – F – V
- d) V – V – F – F
- e) V – F – F – V

17. Cesmac – Na figura a seguir, um trecho AB de um condutor elétrico retilíneo está apoiado sobre uma região horizontal, na presença de um campo magnético uniforme de módulo $B = 3,0$ T, direção vertical e sentido indicado pelo símbolo X. Considere que o condutor retilíneo é percorrido por uma corrente elétrica $i = 2,0$ A, de sentido indicado na figura, formada por portadores de carga positiva. Considere também que a região fora do retângulo tracejado não possui campo magnético. Calcule o módulo da força magnética resultante sobre o condutor retilíneo e identifique em que direção e sentido o condutor se deslocaria, caso o atrito fosse desprezado.



- a) 1,8 N, direção x, sentido positivo
- b) 1,8 N, direção x, sentido negativo
- c) 1,8 N, direção y, sentido positivo
- d) 3,6 N, direção x, sentido positivo
- e) 3,6 N, direção x, sentido negativo

ESTUDO PARA O ENEM

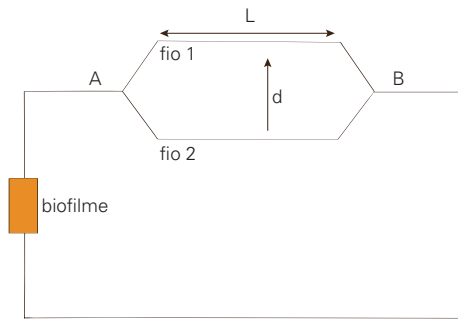
18. UFG

C6-H21

Na busca de fontes alternativas de energia, uma das opções promissoras que surgiu nos últimos anos foi o uso de certos organismos procariontes que, ao se alimentarem de matéria orgânica, geram, como resultado das quebras de ligações químicas no processo digestivo, energia elétrica. Recentemente, um grupo de pesquisadores publicou resultados de um estudo em que, ao formar uma colônia desses seres em de-

terminada superfície, constituindo o chamado biofilme, conseguiram gerar uma potência elétrica de cerca de 200 mW por m^2 de biofilme.

Considere a situação em que esse biofilme é utilizado para gerar uma tensão de 4 V entre os pontos A e B do circuito elétrico a seguir, em que os fios 1 e 2 apresentam resistências elétricas de 3Ω e 6Ω , respectivamente, e a resistência do restante do circuito é desprezível.



Os fios 1 e 2 têm comprimento $L = 9$ m, e a distância de separação entre eles é de $d = 2$ mm. De acordo com o exposto, o tipo de ligação química que é rompida e a intensidade da força magnética que o fio 1 exerce sobre o fio 2, desprezando os efeitos de comprimento finito dos fios, são, respectivamente,

Dado:

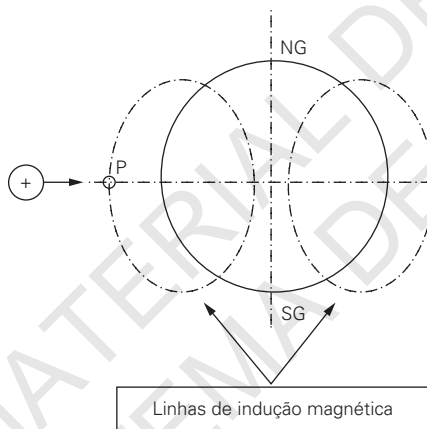
$$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$$

- a) carbono-carbono e $12 \cdot 10^{-7}$ N
- b) carbono-carbono e $4,4 \cdot 10^{-3}$ N
- c) carbono-carbono e $8 \cdot 10^{-4}$ N
- d) carbono-cobre e $12 \cdot 10^{-7}$ N
- e) carbono-cobre e $8 \cdot 10^{-4}$ N

19. UniNassau

C6-H21

Suponha que uma partícula eletrizada positivamente seja lançada no campo magnético terrestre e na mesma direção da linha do Equador terrestre, conforme sugere a figura.



Marque o item que corresponde ao sentido da força magnética que o campo magnético terrestre exercerá sobre a carga quando ela atingir o ponto P.

- a)
- b)
- c)
- d)
- e)

20. Sistema Dom Bosco

C6-H21

Aurora boreal e aurora austral

Partículas eletrizadas e altamente energizadas, provenientes do Sol, atingem a Terra. São desviadas pelo campo magnético terrestre e conduzidas para as regiões polares, onde excitam (salto quântico) e ionizam átomos de oxigênio e nitrogênio. Têm-se, assim, emissões luminosas constituindo as auroras. Os átomos de oxigênio emitem luz com frequências próximas ao azul e ao verde e os de nitrogênio, às matizes do vermelho. Esse fenômeno, quando ocorre nas proximidades da região polar norte, é chamado aurora boreal, e, nas proximidades da região polar sul, aurora austral. O nome aurora boreal deve-se a Galileu Galilei (1564-1642), em alusão a Aurora, a deusa do amanhecer, e a Bóreas, titã grego que representava os ventos do norte. O nome aurora austral foi dado pelo navegador e cartógrafo inglês James Cook (1728-1779).

Fonte: <http://osfundamentosdafisica.blogspot.com/2010/09/dica-do-blog_21.html>. Acesso em: nov. 2018.

As auroras boreal e austral ocorrem em função dos desvios de partículas carregadas do vento solar quando estas interagem com:

- a) o campo magnético terrestre.
- b) o campo elétrico terrestre.
- c) o campo gravitacional terrestre.
- d) o movimento da atmosfera terrestre.
- e) as partículas eletrizadas encontradas na atmosfera.

SHUTTERSTOCK / ABC7

FÍSICA 3B

CIÊNCIAS DA NATUREZA E SUAS TECNOLOGIAS

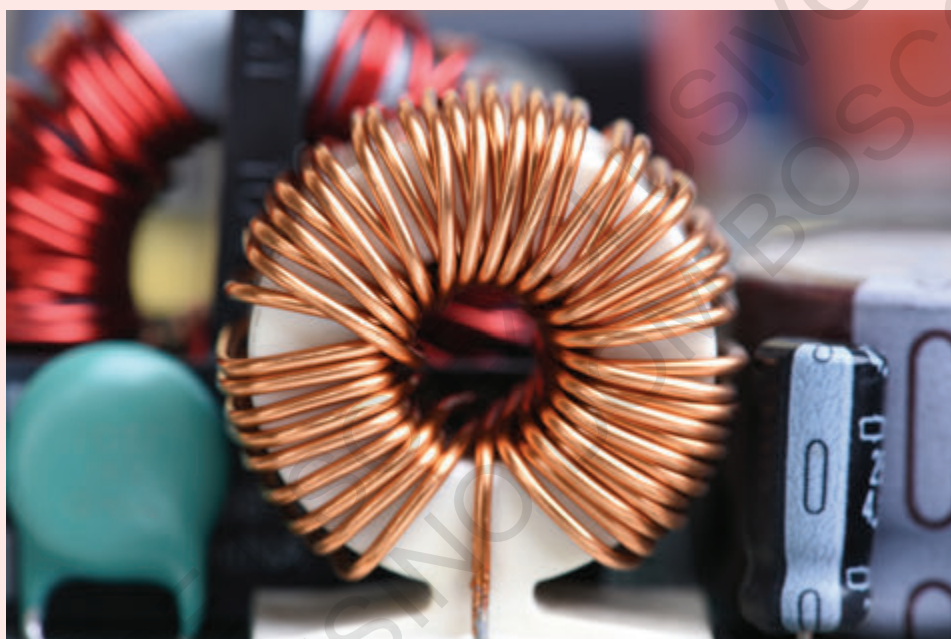
26

INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA

- Indução eletromagnética

HABILIDADES

- Caracterizar o fenômeno da indução eletromagnética.
- Explicar as leis de Faraday e Lenz.
- Explicar que condutores percorridos por corrente elétrica, quando imersos em um campo magnético, sofrem a ação de uma força.
- Explicar o funcionamento de equipamentos baseados na indução eletromagnética: geradores elétricos, motores de indução, leitura magnética, relógios de luz.



Bobina eletromagnética, indutor na placa de circuito.

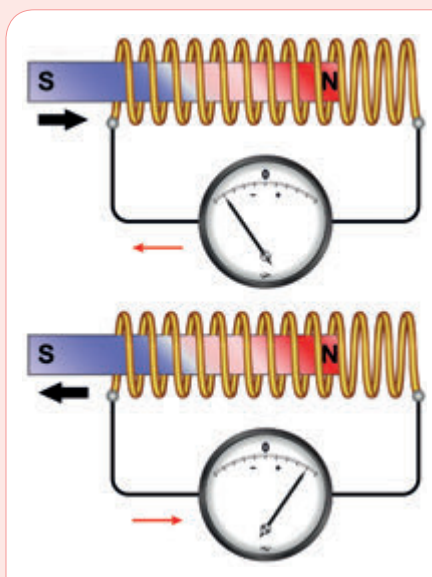
Motores elétricos, alto-falantes, turbinas de usinas elétricas, entre outros, são exemplos de aplicações de um fenômeno de grande importância para a sociedade moderna chamado de indução eletromagnética. Esses dispositivos mencionados permitem transformar energia elétrica em energia mecânica e vice-versa.

Neste módulo, abordaremos o fenômeno da indução eletromagnética.

INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA

Para compreender esse fenômeno, pode-se conectar em uma bobina um amperímetro. Como não haja nenhum gerador nesse circuito, a indicação do amperímetro será nula. Entretanto, caso um ímã se aproxime da bobina, é possível perceber uma deflexão na agulha dela, e seu movimento dependerá do sentido do movimento do ímã. Por fim, caso o ímã pare de se movimentar, o amperímetro voltará a indicar valor nulo. A figura ao lado evidencia esse fenômeno.

Ainda, a corrente elétrica que surge na bobina pelo movimento do ímã, ou seja, em função da atuação do campo magnético, é conhecida como **corrente elétrica induzida**.

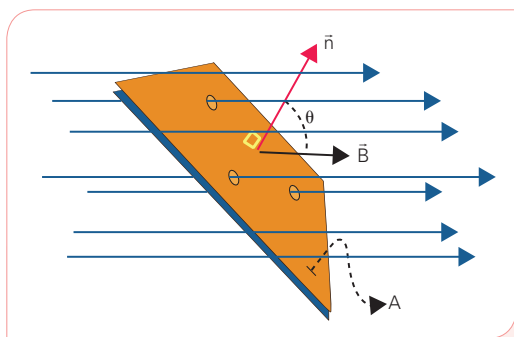


Indução eletromagnética.

FLUXO MAGNÉTICO

Para entender melhor o fenômeno da indução eletromagnética, é preciso compreender uma grandeza física chamada **fluxo magnético** (ϕ). Considerando uma superfície plana A imersa em um campo magnético B com um ângulo θ em relação à reta normal à superfície, é possível definir o fluxo magnético como:

$$\phi = B \cdot A \cdot \cos \theta$$



Fluxo magnético.

Dessa definição, pode-se fazer algumas observações:

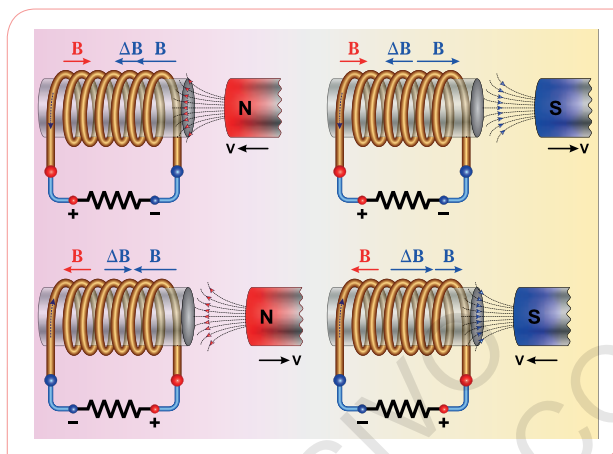
- 1) O fluxo magnético depende de três fatores:
 - i) \vec{B} : o módulo do campo magnético;
 - ii) A : a área da superfície A ;
 - iii) θ : o ângulo formado entre a reta normal da superfície do plano e o campo magnético.
- 2) Quanto ao ângulo formado entre o campo magnético e a reta normal da superfície do plano:
 - i) Se o ângulo formado for 0° : cosseno é máximo (1) e, portanto, o fluxo magnético também será máximo — $\phi = B \cdot A$.
 - ii) Se o ângulo formado for 90° : cosseno é zero e, portanto, o fluxo magnético será nulo — $\phi = 0$.
 - iii) Se o ângulo formado for 180° : cosseno é mínimo (-1) e, portanto, o fluxo magnético terá valor mínimo — $\phi = -B \cdot A$.
- 3) No SI, a unidade de medida para fluxo magnético é Wb (Weber), ou seja, $[\phi] = \text{Wb} = \text{T} \cdot \text{m}^2$.

LEI DE LENZ

A lei de Lenz permite caracterizar o sentido da corrente induzida em um fluxo magnético. Assim, temos que a corrente elétrica induzida em uma superfície fechada delimitada por um fio (espira) é criada de modo a compensar as variações do fluxo magnético que a atravessa.

Compensar essas variações de fluxo magnético significa que, quando o fluxo magnético aumenta, compensá-lo implica diminuí-lo; já quando o fluxo magnético diminui, compensá-lo implica aumentá-lo.

Dessa forma, para que esse efeito ocorra, a corrente induzida deve gerar um campo magnético induzido, de modo a aumentar ou a diminuir o campo magnético que a gerou.



Lei de Lenz.

A partir da figura, temos que:

- 1) Caso o ímã se aproxime das espiras, a intensidade do campo magnético no centro delas aumentará e, como consequência, o fluxo magnético também aumentará. Pela lei de Lenz, a corrente induzida deverá compensar esse aumento, de modo que seja criado um campo magnético induzido a compensar esse aumento de fluxo, ou seja, criando um campo induzido a reduzir o fluxo magnético. Utilizando a regra da mão direita, é possível encontrar o sentido da corrente elétrica induzida.
- 2) Caso o ímã se afaste das espiras, a intensidade do campo magnético no centro delas diminuirá e, como consequência, o fluxo magnético também diminuirá. Pela lei de Lenz, a corrente induzida deverá compensar essa diminuição de fluxo, ou seja, criando um campo induzido na mesma direção e no sentido do campo original. E, da mesma forma que na situação anterior, utilizando a regra da mão direita, é possível encontrar o sentido da corrente induzida.

LEI DE FARADAY-NEUMANN

O fenômeno da indução eletromagnética promove uma corrente elétrica induzida em um circuito fechado (espira). A corrente elétrica induzida pode ser associada a uma diferença de potencial aplicada entre dois pontos quaisquer do circuito. Essa diferença de potencial é chamada de força eletromotriz induzida (ϵ).

Dessa forma, a força eletromotriz média em uma espira é dada pela variação do fluxo magnético pelo tempo:

$$\epsilon = \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

Caso haja mais de uma espira, adicionar n vezes o número de espiras (N), ou seja:

$$\epsilon = N \cdot \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

A partir da análise da lei de Faraday-Neumann, temos:

- 1) Quanto mais rápida for a variação do fluxo magnético, maior será a força eletromotriz induzida.
- 2) A força eletromotriz induzida irá gerar uma corrente elétrica no circuito fechado. Portanto, conhecendo a resistência elétrica associada a esse circuito e a força eletromotriz induzida, é possível

determinar a corrente elétrica induzida por meio da primeira lei de Ohm.

- 3) Caso a variação do fluxo magnético ocorra em um circuito aberto, não haverá corrente elétrica induzida. Entretanto, pode-se considerar na espira uma diferença de potencial igual à força eletromotriz induzida.

EXERCÍCIO RESOLVIDO

Sistema Dom Bosco – A alternativa que melhor explica a Lei de Faraday é:

- a) A lei de Faraday, nomeada assim graças ao físico do século XIX Michael Faraday, relaciona a taxa de variação do fluxo magnético através de uma espira com a magnitude da força eletromotriz ϵ induzida nela.
- b) A lei de Faraday é uma consequência da conservação de energia aplicada à indução eletromagnética. Ela foi formulada por Heinrich Lenz em 1833.
- c) A lei de Faraday é uma lei no eletromagnetismo que descreve o vetor indução magnética B em termos de magnitude e direção de uma fonte de corrente, da distância da fonte de corrente elétrica e da permeabilidade do meio. A lei recebe esse nome em homenagem aos físicos franceses Jean-Baptiste Biot e Félix Savart.

d) A lei de Faraday é um grupo de equações que, com a lei da força de Lorentz, compõem a base do eletromagnetismo clássico no qual está embebida toda a óptica clássica. O desenvolvimento dessas equações e o entendimento do eletromagnetismo contribuíram significativamente para toda uma revolução tecnológica iniciada no final do século XIX e continuada durante as décadas seguintes. Essas equações estudadas por James Clerk Maxwell foram posteriormente comprovadas por Heinrich Rudolph Hertz.

e) A lei de Faraday foi idealizada por Tales de Mileto em cerca de 600 a.C. Portanto, vale dizer que a lei é de Tales, e não de Faraday.

Resolução

Faraday é quem relaciona a taxa de variação do magnético em uma espira com a força eletromotriz induzida nela.

MATERIAL DE USO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

ROTEIRO DE AULA

INDUÇÃO
ELETROMAGNÉTICA

Fluxo magnético:

$$\phi = B \cdot A \cdot \cos \theta$$

Lei de Lenz

A corrente elétrica induzida em uma superfície fechada delimitada por um fio (espira) é criada de modo a compensar as variações do fluxo magnético que a atravessa.

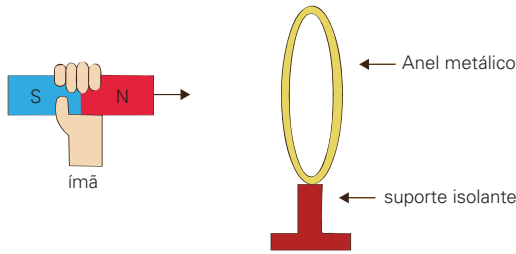
Lei de Faraday-Neumann:

$$\varepsilon = \Delta\phi/\Delta t$$

MATERIAL EM USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ERKENO DOM BOSCO

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

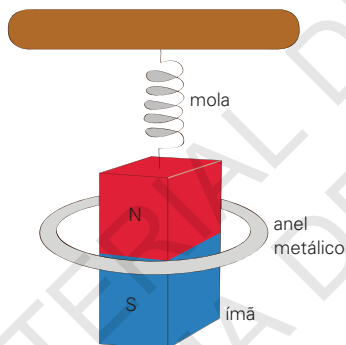
1. Fuvest – Aproxima-se um ímã de um anel metálico fixo em um suporte isolante, como mostra a figura. O movimento do ímã, em direção ao anel:



- não causa efeitos no anel.
- produz corrente alternada no anel.
- faz que o polo sul do ímã vire polo norte e vice-versa.
- produz corrente elétrica no anel, causando uma força de atração entre anel e ímã.
- produz corrente elétrica no anel, causando uma força de repulsão entre anel e ímã.

A aproximação do ímã provoca variação do fluxo magnético através do anel. De acordo com a Lei de Lenz, sempre que há variação do fluxo magnético, surge no anel uma corrente induzida. Essa corrente é em um sentido tal que produz no anel uma polaridade que tende a anular a causa que lhe deu origem – no caso, o movimento do ímã. Como está sendo aproximado o polo norte, surgirá na face do anel frontal ao ímã também um polo norte, gerando uma força de repulsão entre eles.

2. UEG-GO – A figura a seguir representa um ímã preso a uma mola que está oscilando verticalmente, passando pelo centro de um anel metálico. Com base no princípio da conservação de energia e na lei de Lenz, responda aos itens a seguir.



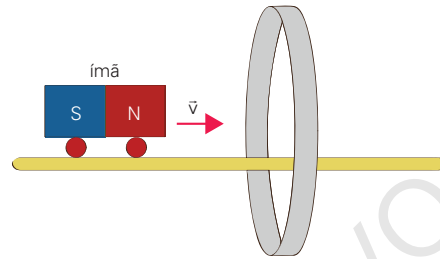
- Qual é o sentido da corrente induzida quando o ímã se aproxima (descendo) do anel? Justifique.
- O que ocorre com a amplitude de oscilação do ímã? Justifique.

a) De acordo com a lei de Lenz, quando há variação do fluxo magnético através do anel, surge nele uma corrente elétrica induzida em um sentido tal que gera um fluxo induzido que tende a anular a variação do fluxo indutor. Quando o ímã se acerca descendo, o polo sul está se aproximando do anel, portanto, aumenta o fluxo de linhas saindo dele. Para compensar esse aumento, surge nele um fluxo induzido entrando. Pela "regra da mão direita", a corrente induzida no anel tem sentido horário para um observador que o esteja olhando de cima.

b) Pelo princípio da conservação da energia, se surge energia elétrica no anel, alguma outra forma de energia deve estar sendo consumida. No caso, essa energia elétrica vem da energia cinética do ímã que está diminuindo, provocando diminuição na amplitude de oscilação do ímã.

3. Fuvest-SP – Um ímã preso a um carrinho desloca-se com velocidade constante ao longo de um trilho

horizontal. Envolvendo o trilho há uma espira metálica, como mostra a figura.



Pode-se afirmar que, na espira, a corrente elétrica:

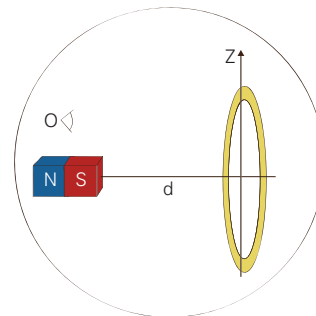
- é sempre nula;
- existe somente quando o ímã se aproxima da esfera;
- existe somente quando o ímã está dentro da espira;
- existe somente quando o ímã se afasta da espira;
- existe quando o ímã se aproxima ou se afasta da espira.

Quando há movimento de um ímã próximo a uma espira metálica, a variação do fluxo magnético produzirá na espira uma corrente. Essa variação de fluxo ocorre quando o ímã se aproxima ou se afasta da espira.

4. UFPR – Michael Faraday foi um cientista inglês que viveu no século XIX. Através de suas descobertas foram estabelecidas as bases do eletromagnetismo, relacionando fenômenos da eletricidade, eletroquímica e magnetismo. Suas invenções permitiram o desenvolvimento do gerador elétrico, e foi graças a seus esforços que a eletricidade tornou-se uma tecnologia de uso prático. Em sua homenagem, uma das quatro leis do eletromagnetismo

leva seu nome e pode ser expressa como: $\varepsilon = \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$, onde

ε é a força eletromotriz induzida em um circuito, $\Delta\phi$ é o fluxo magnético através desse circuito e Δt é o tempo. Considere a figura a seguir, que representa um ímã próximo a um anel condutor e um observador na posição O. O ímã pode se deslocar ao longo do eixo do anel, e a distância entre o polo norte e o centro do anel é d. Tendo em vista essas informações, identifique as seguintes afirmativas como verdadeiras (V) ou falsas (F):



- Mantendo-se a distância d constante, se observará o surgimento de uma corrente induzida no anel no sentido horário.
- Durante a aproximação do ímã à espira, observa-se o surgimento de uma corrente induzida no anel no sentido horário.
- Durante o afastamento do ímã em relação à espira, observa-se o surgimento de uma corrente induzida no anel no sentido horário.
- Girando-se o anel em torno do eixo z, observa-se o surgimento de uma corrente induzida.

Assinale a alternativa que apresenta a sequência correta, de cima para baixo.

- a) F – F – V – V.
 b) F – V – F – V.
 c) V – V – F – F.
 d) V – F – V – V.
 e) F – F – V – F.

Falsa. Se a distância é constante, não há variação do fluxo magnético.

Falsa. O sentido será anti-horário, pois na figura podemos ver o ímã com polos sul e norte onde suas linhas de indução chegam e saem, respectivamente. Aplicando a regra da mão direita, o sentido da corrente será anti-horário.

Verdadeira.

Verdadeira.

5. **UFMG** – A corrente elétrica induzida em uma espira circular será:

- a) nula, quando o fluxo magnético que atravessa a espira for constante.
 b) inversamente proporcional à variação do fluxo magnético com o tempo.
 c) no mesmo sentido da variação do fluxo magnético.
 d) tanto maior quanto maior for a resistência da espira.
 e) sempre a mesma, qualquer que seja a resistência da espira.

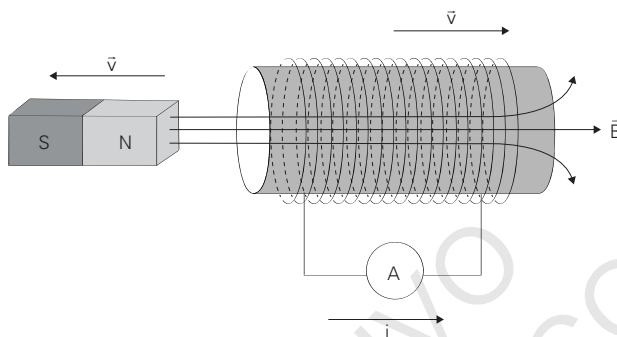
A alternativa A diz que a corrente elétrica será nula se não houver variação do fluxo magnético que atravessa a espira. Sendo assim, de acordo com a lei de Faraday, se o fluxo magnético através da espira não variar com o passar do tempo, então não haverá corrente elétrica induzida na espira.

6. Enem

C6-H21

O funcionamento dos geradores de usinas elétricas baseia-se no fenômeno da indução eletromagnética, descoberto por Michael Faraday no século XIX. Pode-se observar esse fenômeno ao se movimentar um ímã e uma espira em sentidos opostos com módulo da

velocidade igual a v , induzindo uma corrente elétrica de intensidade i , como ilustrado na figura.



A fim de se obter uma corrente com o mesmo sentido da apresentada na figura, utilizando os mesmos materiais, outra possibilidade é mover a espira para a:

- a) esquerda e o ímã para a direita com polaridade invertida.
 b) direita e o ímã para a esquerda com polaridade invertida.
 c) esquerda e o ímã para a esquerda com mesma polaridade.
 d) direita e manter o ímã em repouso com polaridade invertida.
 e) esquerda e manter o ímã em repouso com mesma polaridade.

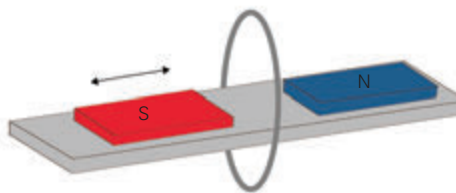
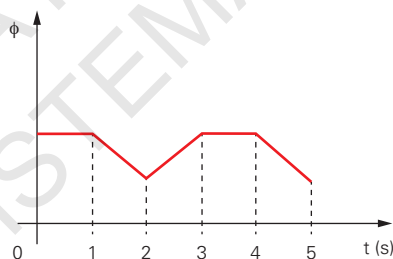
De início, temos um afastamento relativo entre a face norte do ímã e a espira. Pela lei de Lenz, a fim de se obter uma corrente com o mesmo sentido da apresentada na figura, uma possibilidade é aproximar a face sul do ímã à espira, movendo-a para a esquerda e o ímã para a direita, com polaridade invertida em relação à inicial.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. **UFJF-MG** – Uma espira circular está imersa em um campo magnético criado por dois ímãs, conforme a figura a seguir. Um dos ímãs pode deslizar livremente sobre uma mesa, que não interfere no campo gerado. O gráfico da figura representa o fluxo magnético através da espira em função do tempo.



O intervalo de tempo em que aparece na espira uma corrente elétrica induzida é de:

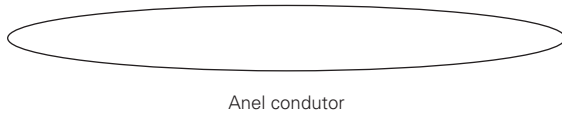
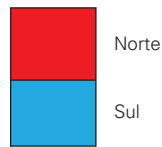
- a) 0 a 1 s, somente.
 b) 0 a 1 s e de 3 s a 4 s.
 c) 1 s a 3 s e de 4 s a 5 s.
 d) 1 s a 2 s e de 4 s a 5 s.
 e) 2 s a 3 s, somente.

8. **PucCamp** – Um pequeno ímã é colocado nas proximidades de uma barra de ferro. Sobre a situação descrita, assinale a alternativa correta.

- a) O ímã atrai a barra de ferro com a mesma intensidade que a barra de ferro atrai o ímã.
 b) A força que o ímã exerce sobre a barra de ferro é maior que a força que o ferro exerce sobre o ímã.
 c) O ímã atrai a barra de ferro.
 d) A barra de ferro atrai o ímã.
 e) A força que a barra de ferro exerce sobre o ímã é maior que a força que o ímã exerce sobre a barra de ferro.

9. **Sistema Dom Bosco** – Qual é o valor de uma corrente elétrica induzida em uma espira circular quando, sob a espira, atua um campo magnético constante?

10. PUC-PR – Um ímã natural está próximo a um anel condutor, conforme a figura.



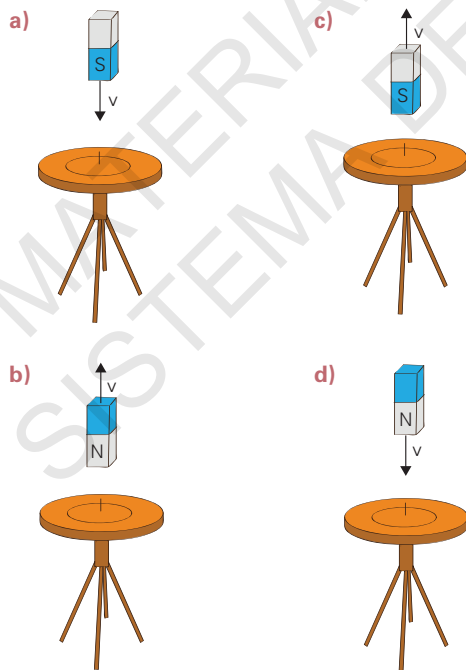
Considere as proposições:

- I. Se existir movimento relativo entre eles, haverá variação do fluxo magnético através do anel e corrente induzida.
- II. Se não houver movimento relativo entre eles, existirá fluxo magnético através do anel, mas não corrente induzida.
- III. O sentido da corrente induzida não depende da aproximação ou do afastamento do ímã em relação ao anel.

Estão corretas:

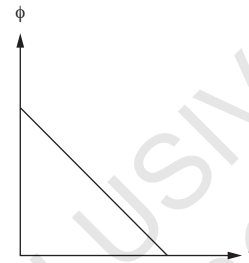
- | | |
|-------------------|---------------------|
| a) todas | d) somente I e III |
| b) somente III | e) somente II e III |
| c) somente I e II | |

11. UFU-MG – Nas figuras a seguir, um ímã é movimentado sobre uma espira condutora, colocada sobre uma mesa, de tal forma que há uma variação do fluxo do campo magnético na espira. As figuras indicam o sentido da velocidade imprimida ao ímã em cada caso e o polo dele, que se encontra mais próximo da espira. Assinale a alternativa que representa corretamente o sentido da corrente induzida na espira, de acordo com o movimento do ímã.

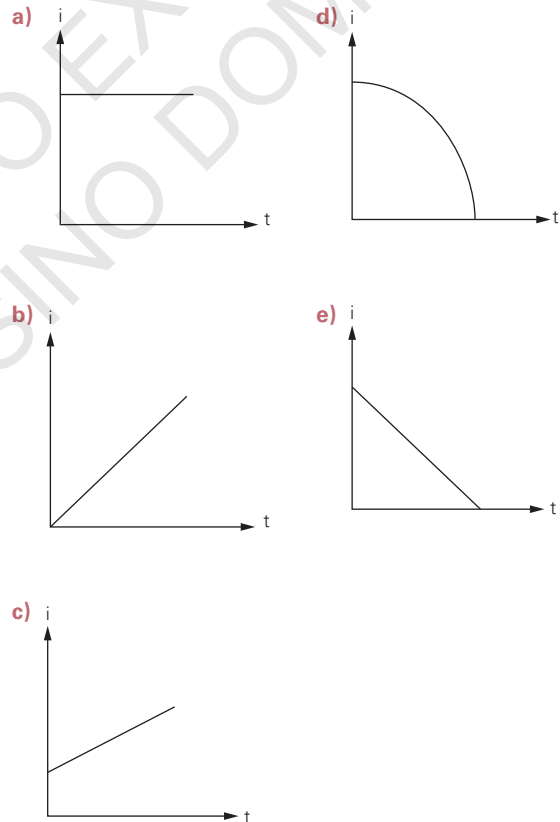


12. CUSC – O fenômeno da indução eletromagnética foi descoberto por Faraday em 1831, e, graças a ele, podemos usufruir dos benefícios da energia elétrica produzida por uma usina hidrelétrica. Sabendo que:

- I. ao variar o fluxo magnético no interior de uma espira, surge nela uma corrente induzida.
- II. o gráfico a seguir representa uma variação do fluxo magnético ϕ no interior de uma espira no decorrer do tempo t .



O gráfico que melhor representa a corrente induzida na espira é:

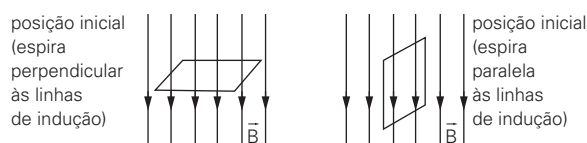


13. UPF (adaptado) – Considere uma região do espaço onde existe um campo magnético uniforme cujas linhas de indução são verticais, com sentido para cima. Suponha que uma partícula carregada negativamente se movimenta horizontalmente da direita para a esquerda, com velocidade constante, e penetre na região do campo. Sobre o comportamento da partícula, analise as afirmações que seguem.

Assinale (V) para verdadeiro e (F) para falso. Justifique cada uma das afirmativas.

- () O campo magnético interage com a partícula, diminuindo o módulo da velocidade.
- () O campo magnético interage com a partícula, mas não influencia no módulo de sua velocidade.
- () O campo magnético interage com a partícula e modifica a direção original do deslocamento dessa partícula.
- () O módulo da força magnética sobre a partícula é zero.

14. Acafe-SC (adaptado) – A principal aplicação da indução magnética, ou eletromagnética, é na obtenção de energia. Podem-se produzir pequenas f.e.m. com um experimento bem simples. Considere uma espira quadrada com 0,4 m de lado que está totalmente imersa em um campo magnético uniforme (intensidade $B = 5,0 \text{ Wb/m}^2$) e perpendicular às linhas de indução. Gira-se essa espira até que ela fique paralela às linhas de campo.



Sabendo-se que a espira levou 0,2 segundo para ir da posição inicial para a final, encontre o módulo f.e.m. induzida na espira.

15. PUC-RS – A Costa Rica, em 2015, chegou muito próximo de gerar 100% de sua energia elétrica a partir de fontes renováveis, como a hídrica, a eólica e a geotérmica. A lei da física que permite a construção de geradores que transformam outras formas de energia em energia elétrica é a de Faraday, que pode ser mais bem definida pela seguinte declaração:

- a) Toda carga elétrica produz um campo elétrico com direção radial, cujo sentido independe do sinal dessa carga.
- b) Toda corrente elétrica, em um fio condutor, produz um campo magnético com direção radial ao fio.
- c) Uma carga elétrica, em repouso, imersa em um campo magnético sofre uma força centrípeta.
- d) A força eletromotriz induzida em uma espira é proporcional à taxa de variação do fluxo magnético em relação ao tempo gasto para realizar essa variação.
- e) Toda onda eletromagnética torna-se onda mecânica quando passa de um meio mais denso para um menos denso.

16. Sistema Dom Bosco – Pensando nas linhas de indução magnética de um ímã, assinale a alternativa correta:

- a) As linhas de indução magnética são abertas no norte magnético e fechadas no sul magnético dos ímãs.
- b) As linhas de indução magnética são sempre abertas.
- c) As linhas de indução magnética são fechadas, emergem do norte magnético e adentram o sul magnético do ímã.
- d) Um ímã pode apresentar apenas sul ou apenas norte magnético.
- e) Ao quebrarmos um ímã ao meio, uma de suas metades será de polaridade sul, e a outra será de polaridade norte.

17. ITA (adaptado) – Uma carga q de massa m é solta do repouso em um campo gravitacional g onde também atua um campo de indução magnética uniforme de intensidade B na horizontal. Calcule a altura percorrida pela massa desde o repouso até o ponto mais baixo de sua trajetória, onde ela fica sujeita a uma aceleração igual e oposta à que tinha no início.

ESTUDO PARA O ENEM

18. Enem

C6-H21

O manual de funcionamento de um captador de guitarra elétrica apresenta o seguinte texto: “Esse captador comum consiste em uma bobina, fios condutores enrolados em torno de um ímã permanente”. O campo magnético do ímã induz ao ordenamento dos polos magnéticos na corda da guitarra, que está próxima a ele. Assim, quando a corda é tocada, as oscilações produzem variações, com o mesmo padrão, no fluxo magnético que atravessa a bobina. Isso induz a uma corrente elétrica na bobina, que é transmitida até o amplificador e, daí, para o alto-falante. Um guitarrista trocou as cordas originais de sua guitarra, que eram feitas de aço, por outras feitas de náilon. Com o uso dessas cordas, o amplificador ligado ao instrumento não emitia mais som, porque a corda de náilon:

- a) isola a passagem de corrente elétrica da bobina para o alto-falante.
- b) varia seu comprimento mais intensamente do que ocorre com o aço.
- c) apresenta uma magnetização desprezível sob a ação do ímã permanente.

- d) induz correntes elétricas na bobina mais intensas que a capacidade do captador.
- e) oscila com uma frequência menor do que a que pode ser percebida pelo captador.

19. Enem

C6-H21

Os dínamos são geradores de energia elétrica utilizados em bicicletas para acender uma pequena lâmpada. Para isso, é necessário que a parte móvel esteja em contato com o pneu da bicicleta e, quando ela entra em movimento, é gerada energia elétrica para acender a lâmpada. Dentro desse gerador, encontram-se um ímã e uma bobina.

O princípio de funcionamento desse equipamento é explicado pelo fato de que a:

- a) corrente elétrica no circuito fechado gera um campo magnético nessa região.
- b) bobina imersa no campo magnético em circuito fechado gera uma corrente elétrica.
- c) bobina em atrito com o campo magnético no circuito fechado gera uma corrente elétrica.

- d) corrente elétrica é gerada em circuito fechado por causa da presença do campo magnético.
- e) corrente elétrica é gerada em circuito fechado quando há variação do campo magnético.

20. Enem**C6-H21**

A tecnologia de comunicação da etiqueta RFID (chamada de etiqueta inteligente) é usada há anos para rastrear gado, vagões de trem, bagagem aérea e carros nos pedágios. Um modelo mais barato dessas etiquetas pode funcionar sem baterias e é constituído por três componentes: um microprocessador de silício; uma bobina de metal, feita de cobre ou alumínio, que é enrolada em um padrão circular; e um encapsulador, que é um material de vidro ou polímero envolvendo o microprocessador e

a bobina. Na presença de um campo de radiofrequência gerado pelo leitor, a etiqueta transmite sinais. A distância de leitura é determinada pelo tamanho da bobina e pela potência da onda de rádio emitida pelo leitor.

Disponível em: <<http://eletronicos.hsw.uol.com.br>>. Acesso em: 27 fev. 2012. (Adaptado)

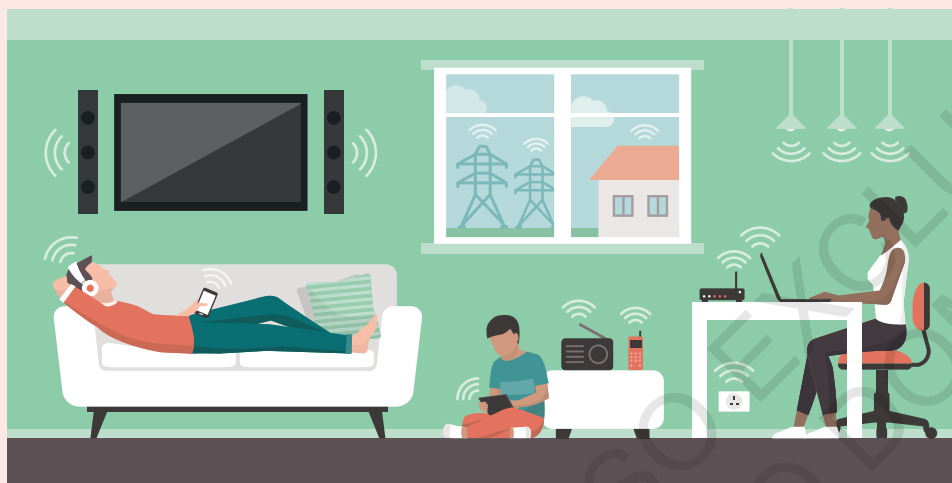
A etiqueta funciona sem pilhas porque o campo

- a) elétrico da onda de rádio agita elétrons.
- b) elétrico da onda de rádio cria uma tensão na bobina.
- c) magnético da onda de rádio induz a corrente na bobina.
- d) magnético da onda de rádio aquece os fios da bobina.
- e) magnético da onda de rádio diminui a ressonância no interior da bobina.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

ONDAS ELETROMAGNÉTICAS E O ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO

27



ELENA/ISTOCKPHOTO

Exemplos de ondas eletromagnéticas.

A indução eletromagnética foi um dos fenômenos mais importantes estudados por Michael Faraday e Joseph Henry, por volta de 1830. Assim, descobriu-se que um campo elétrico é gerado pela variação do fluxo magnético, o que originou boa parte da tecnologia que utilizamos atualmente: motores, geradores, transformadores elétricos são exemplos de aplicações práticas da indução eletromagnética.

Apesar das contribuições de diversos cientistas como Oersted, Ampère e Faraday para o desenvolvimento da eletricidade e do magnetismo, essas descobertas formavam pontos isolados, sem que houvesse uma teoria que as relacionasse.

Assim, o físico e matemático James Clerk Maxwell, entre 1831 e 1868, organizou todo esse conhecimento em um conjunto de quatro equações denominadas, atualmente, de “equações de Maxwell”. O trabalho desse matemático demonstra a interdependência entre os campos magnético e elétrico.

A natureza ondulatória da luz, desde o início do século XIX, já era conhecida e, de alguma forma, estava associada ao magnetismo e à eletricidade. Assim, o trabalho de Maxwell demonstrou que a luz, a eletricidade e o magnetismo estão, de fato, intimamente relacionados. Maxwell indicou que campos magnéticos e elétricos oscilantes se propagam pelo espaço com velocidades equivalentes à da luz. E, portanto, deu-se início à ideia de **ondas eletromagnéticas**.

ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

A partir dos trabalhos de Maxwell, foi possível compreender que, se existir um campo magnético **B** variável, será produzido um campo elétrico **E**. Esse campo elétrico **E**, também variável, por sua vez, produzirá um campo magnético, e assim sucessivamente. Maxwell descobriu que o resultado da interação entre esses campos desencadeia a produção das **ondas eletromagnéticas**. Essas ondas têm as propriedades típicas das ondas mecânicas: reflexão, refração, difração, interferência e transporte de energia.

Uma onda eletromagnética apresenta um campo elétrico **E** e um magnético **B** variáveis que estão intimamente ligados, ou seja, ambos variam em fases. Isso quer

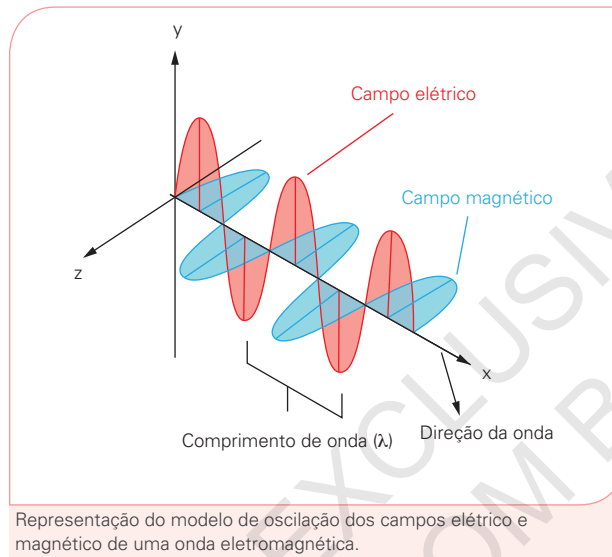
- Ondas eletromagnéticas
- Espectro eletromagnético

HABILIDADES

- Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.
- Utilizar leis físicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto do eletromagnetismo.
- Confrontar interpretações científicas com interpretações baseadas no senso comum, ao longo do tempo ou em diferentes culturas.
- Analisar fenômenos resultados de experimentos científicos, organizando e sistematizando informações dadas.

dizer que, quando um campo atinge a intensidade máxima, o outro campo também atinge a intensidade máxima; quando um deles se anula, o outro também se anula.

Esses campos atuam perpendicularmente entre si e determinam um plano perpendicular em relação à direção de propagação da onda que se movimenta com velocidade \mathbf{v} .



A figura apresenta uma representação do modelo de oscilação dos campos elétrico e magnético de uma onda eletromagnética, de modo que a equação fundamental da ondulatória também é válida, ou seja:

$$v = \lambda \cdot f$$

A partir das equações de Maxwell, a relação entre a intensidade E do campo elétrico e a intensidade B do campo magnético é:

$$\frac{E}{B} = v$$

Maxwell demonstrou que a velocidade de propagação da onda eletromagnética, no vácuo, permanece a mesma, seja qual for a onda. A expressão que permite calcular a velocidade é dada por:

$$v = \sqrt{\frac{1}{\epsilon_0 \cdot \mu_0}}$$

$$\epsilon_0 \text{ é a permissividade elétrica do vácuo: } \epsilon_0 = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot 9 \cdot 10^9} \cdot \frac{C^2}{N \cdot m^2}$$

$$\mu_0 \text{ é permeabilidade magnética do vácuo: } \mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{T \cdot m}{A}$$

A partir desses valores, é possível obter $v \cong 3 \cdot 10^8$ m/s.

Assim, esse valor é igual ao da velocidade da luz no vácuo. Maxwell propôs que a luz é uma onda eletromagnética, ou seja, também é formada por oscilações transversais de campo magnético e elétrico.

ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO

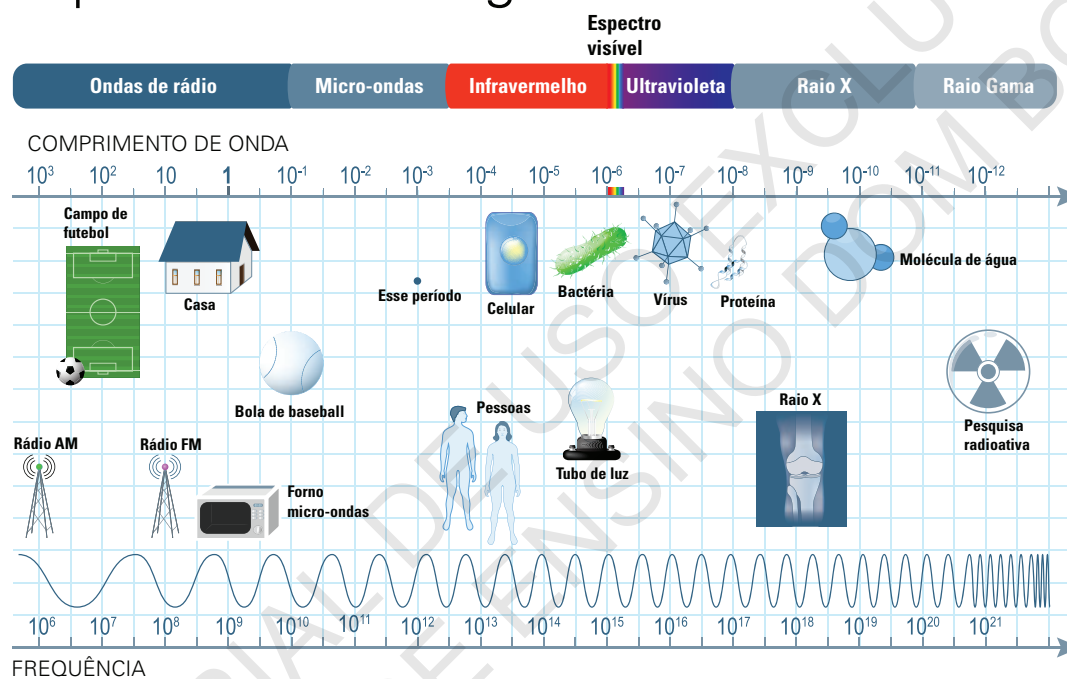
O físico Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894) foi o primeiro cientista a gerar e a detectar experimentalmente as ondas eletromagnéticas, em 1887, e ainda conseguiu demonstrar que essas ondas se propagam com a velocidade da luz no vácuo. Essas ondas ficaram conhecidas por longo tempo como ondas hertzianas, e hoje são tidas como ondas de rádio, pois são utilizadas para transmitir sinais de rádio e TV.

O inglês Thomas Young (1773-1829), que já havia obtido provas de que a luz se comporta como onda, conseguiu calcular valores que situavam o comprimento de onda da luz visível, sendo eles entre $4,0 \cdot 10^{-7}$ m e $7,5 \cdot 10^{-7}$ m. Utilizando a equação fundamental da ondulatória e o valor da velocidade da luz no vácuo, temos que o intervalo da frequência da luz visível está compreendido entre $4 \cdot 10^{14}$ Hz e $7,5 \cdot 10^{14}$ Hz.

Essas duas ondas eletromagnéticas, rádio e luz visível, representam apenas dois exemplos desse tipo de onda. Assim, quando as diferentes ondas eletromagnéticas são ordenadas por sua frequência ou por seu comprimento, temos um arranjo chamado de **espectro eletromagnético**.

O diagrama a seguir apresenta o espectro eletromagnético conhecido, separado por faixas de frequência, e cada faixa recebe um nome específico: ondas de rádio, micro-ondas, infravermelho, ultravioleta, raios X e raios gama.

Espectro eletromagnético



TTSZ/ISTOCKPHOTO

Espectro eletromagnético.

EXERCÍCIO RESOLVIDO

Sistema Dom Bosco – Sendo uma onda luminosa de 600 nm no vácuo, durante sua propagação a intensidade máxima do campo elétrico é $6 \cdot 10^{-4}$ V/m. Determine a frequência e a intensidade máxima do campo magnético dessa onda.

Resolução

Como essa onda se propaga no vácuo, a velocidade é $3 \cdot 10^8$ m/s. Assim, temos que a frequência será:

$$3 \cdot 10^8 = 6 \cdot 10^{-7} \cdot f \Rightarrow f = 5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

Para a intensidade máxima do campo magnético, temos:

$$\frac{6 \cdot 10^{-4}}{B} = 3 \cdot 10^8 \Rightarrow B = 2 \cdot 10^{-12} \text{ T}$$

ROTEIRO DE AULA

ONDAS ELETROMAGNÉTICAS E ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO

Ondas eletromagnéticas são associações de campos magnéticos e elétricos oscilantes.

A relação entre a intensidade E do campo elétrico e a intensidade B do campo magnético é:
 $E/B = v$

Quando as diferentes ondas eletromagnéticas são ordenadas por sua frequência ou por seu comprimento de onda, temos o espectro eletromagnético.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO SISTEMA DE ENSINO DOMINUS

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

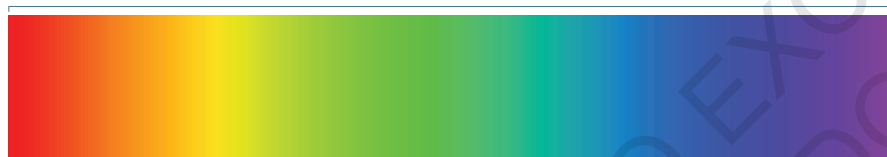
1. **Sistema Dom Bosco** – Uma onda eletromagnética propagando-se no vácuo tem um pico de intensidade do campo elétrico de $3 \cdot 10^{-4}$ V/m. Qual é o valor do pico de intensidade do campo magnético?

$$\frac{E}{B} = v \Rightarrow B = \frac{3 \cdot 10^{-4}}{3 \cdot 10^8} = 1 \cdot 10^{-12} \text{ T} = 1 \text{ pT}$$

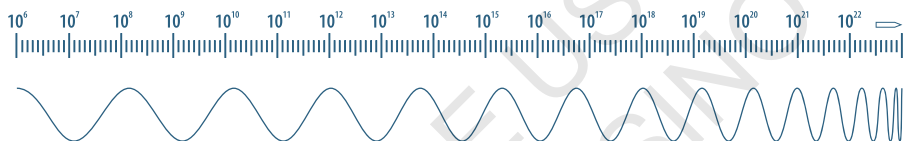
2. **Sistema Dom Bosco** – Sabendo que o campo magnético de uma onda eletromagnética atinge um pico máximo de 60 nT, qual é o valor máximo atingido pelo campo elétrico? Considere essa onda propagando-se no vácuo.

$$\frac{E}{B} = v \Rightarrow E = 60 \cdot 10^{-9} \cdot 3 \cdot 10^8 = 12 \text{ V/m}$$

3. **Sistema Dom Bosco** – Observe o espectro eletromagnético na representação a seguir e assinale a alternativa na qual as radiações monocromáticas visíveis aparecem em ordem crescente de comprimento de onda.



FREQÜÊNCIA



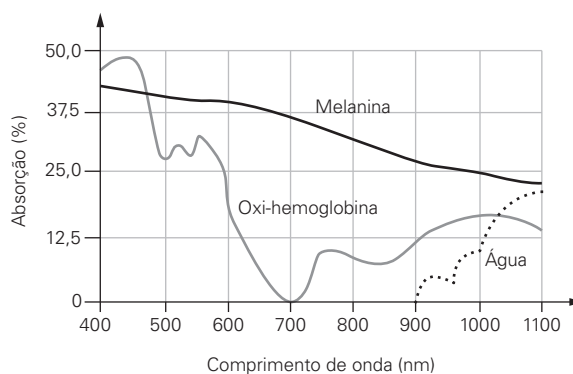
- a) anil, amarelo e verde. Considerando que o comprimento de onda é inversamente proporcional à frequência ($\lambda = \frac{v}{f}$), temos que a ordem crescente de comprimento de onda é: violeta, amarelo e vermelho.
- b) vermelho, verde e violeta.
- c) vermelho, verde e violeta.
- d) violeta, amarelo e vermelho.
- e) laranja, vermelho e verde.
4. **Uncisal** – O disco do Blu-ray é uma mídia de gravação óptica digital; tem capacidade para 25 GB (camada simples) ou 50 GB (camada dupla) e utiliza laser de cor azul-violeta. O disco de DVD apresenta capacidade de 4,7 GB (camada simples) ou 8,5 GB (camada dupla) e utiliza laser de cor vermelha. A principal diferença entre esses tipos de lasers é que o de cor azul-violeta tem
- a) amplitude maior do que a do laser vermelho.
- b) frequência menor do que a do laser vermelho.
- c) maior intensidade do que a do laser vermelho.
- d) comprimento de onda menor do que o do laser vermelho.
- e) velocidade de propagação maior do que a do laser vermelho.

Observando o espectro eletromagnético, percebe-se que o comprimento de onda da cor azul-violeta é menor do que o da vermelha.

5. Enem

C6-H22

A epilação a laser (popularmente conhecida como depilação a laser) consiste na aplicação de uma fonte de luz para aquecer e causar uma lesão localizada e controlada nos folículos capilares. Para evitar que outros tecidos sejam danificados, selecionam-se comprimentos de onda que são absorvidos pela melanina presente nos pelos, mas que não afetam a oxi-hemoglobina do sangue e a água dos tecidos da região em que o tratamento será aplicado. A figura mostra como é a absorção de diferentes comprimentos de onda pela melanina, pela oxi-hemoglobina e pela água.



Qual é o comprimento de onda, em nm, ideal para a depilação a laser?

- a) 400 c) 1 100 e) 500
b) 700 d) 900

Analisando o gráfico e buscando um ponto em que a absorção de oxi-hemoglobina e a de água sejam zero, temos que o único possível é o de 700 nm.

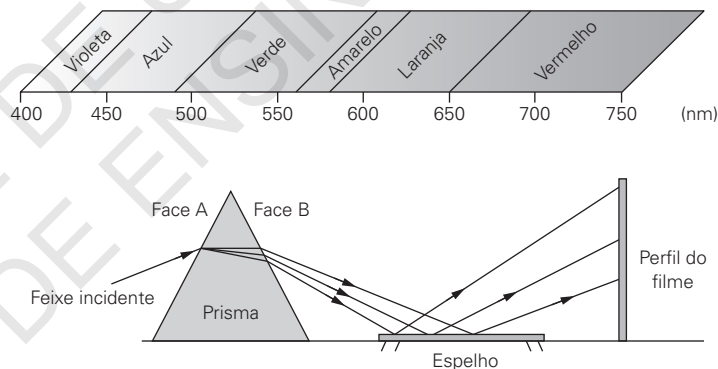
Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Compreender fenômenos decorrentes da interação entre a radiação e a matéria em suas manifestações em processos naturais ou tecnológicos, ou em suas implicações biológicas, sociais, econômicas ou ambientais.

6. Enem

C6-H22

A figura representa um prisma óptico, constituído de um material transparente, cujo índice de refração é crescente com a frequência da luz que sobre ele incide. Um feixe luminoso, composto por luzes vermelha, azul e verde, incide na face A, emerge na face B e, após ser refletido por um espelho, incide em um filme para fotografia colorida, revelando três pontos.



Observando os pontos luminosos revelados no filme, de baixo para cima, constatam-se as seguintes cores:

- a) Vermelha, verde, azul.**
b) Verde, vermelha, azul.
c) Azul, verde, vermelha.
d) Verde, azul, vermelha.
e) Azul, vermelha, verde.

O gráfico apresenta o espectro em função do comprimento de onda. Como a frequência é dada por $f = \frac{v}{\lambda}$, então verificamos que a frequência é inversamente proporcional ao comprimento de onda. Logo, a menor frequência será dada pela cor vermelha, e a maior frequência, pela cor azul (entre as cores indicadas no exercício). Assim, o maior desvio é dado pela cor azul e o menor desvio é dado pela cor vermelha. Observando o desenho, percebe-se que, de baixo para cima, a ordem será vermelha, verde e azul.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Compreender fenômenos decorrentes da interação entre a radiação e a matéria em suas manifestações em processos naturais ou tecnológicos, ou em suas implicações biológicas, sociais, econômicas ou ambientais.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. Enem

C6-H22

Alguns sistemas de segurança incluem detectores de movimento. Nesses sensores, existe uma substância que se polariza na presença de radiação eletromagnética de certa região de frequência, gerando uma tensão que pode ser amplificada e empregada para efeito de controle. Quando uma pessoa se aproxima do sistema, a radiação emitida por seu corpo é detectada por esse tipo de sensor.

WENDLING, M. *Sensores*. Disponível em: <www2.feg.unesp.br>. Acesso em: 7 maio 2014. (Adaptado)

A radiação captada por esse detector encontra-se na região de frequência

- a) da luz visível.
- b) do ultravioleta.
- c) do infravermelho.
- d) das micro-ondas.
- e) das ondas longas de rádio.

8. Unemat



Em sua pesquisa, o pai de Calvin descobriu que do espectro da luz visível que compõe a luz solar, a violeta, seguida da azul, são as que sofrem maior difusão ao atravessarem a atmosfera terrestre, sendo que nossa sensibilidade para o violeta é baixa comparada com o azul. Assim, ele explicou para o filho que

- a) No nascer e no pôr do sol, vemos o céu e o Sol avermelhados porque a luz que mais se difunde é a vermelha, logo ela é a que mais chega aos nossos olhos. Ao meio-dia, é a luz azul a que menos se difunde, logo ela é a que mais chega aos nossos olhos. As nuvens difundem todas as componentes da luz solar, por isso que as vemos brancas.
- b) No nascer e no pôr do sol, vemos o céu e o Sol avermelhados porque a luz que menos se difunde é a vermelha, logo ela é a que mais chega aos nossos olhos. Ao meio-dia, é a luz azul a que mais se difunde, logo ela é a que mais chega aos nossos olhos. As nuvens difundem todas as componentes da luz solar, por isso que as vemos brancas.
- c) No nascer e no pôr do sol, vemos o céu e o Sol avermelhados porque a luz que mais se difunde é a vermelha, logo ela é a que mais chega aos nossos olhos. Ao meio-dia, é a luz azul a que mais se difunde, logo ela é a que mais chega aos nossos olhos. As nuvens difundem todas as componentes da luz solar, por isso que as vemos brancas.
- d) No nascer e no pôr do sol, vemos o céu e o Sol avermelhados porque a luz que menos se difunde é a vermelha, logo ela é a que mais chega aos nossos olhos. Ao meio-dia, é a luz azul a que menos se difunde, logo ela é a que mais chega aos nossos olhos. As nuvens difundem todas as componentes da luz solar, por isso que as vemos brancas.
- e) No nascer e no pôr do sol, vemos o céu e o Sol avermelhados porque a luz que menos se difunde é a vermelha, logo ela é a que mais chega aos nossos olhos. Ao-meio dia, é a luz azul a que mais se difunde, logo ela é a que mais chega aos nossos olhos. As nuvens não difundem as componentes da luz solar, por isso que as vemos brancas.

9. Sistema Dom Bosco – Como regra geral, em museus é proibido o uso de câmeras fotográficas com flash. Qual é a justificativa para essa proibição?

CALVIN & HOBBS, BILL WATTERSON
© 1987 WATTERSON / DIST. BY
ANDREWS/MCMEEL SYNDICATION

10. Enem

C6-H22

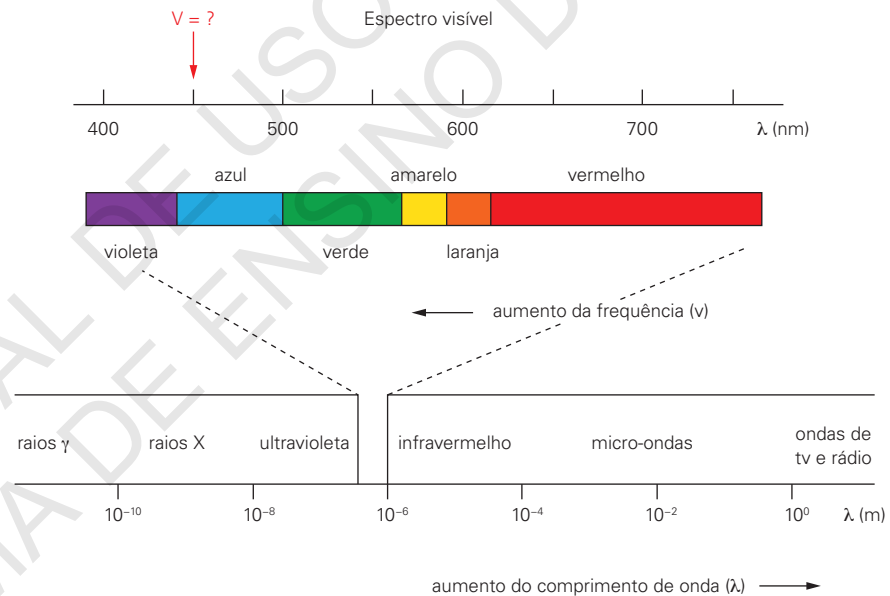
Em viagens de avião, é solicitado aos passageiros o desligamento de todos os aparelhos cujo funcionamento envolva a emissão ou a recepção de ondas eletromagnéticas. O procedimento é utilizado para eliminar fontes de radiação que possam interferir nas comunicações via rádio dos pilotos com a torre de controle.

A propriedade das ondas emitidas que justifica o procedimento adotado é o fato de

- a) terem fases opostas. d) serem de mesma amplitude.
 b) serem ambas audíveis. e) terem frequências próximas.
 c) terem intensidades inversas.

11. **Sistema Dom Bosco** – Uma emissão AM transmite em frequência de $1,6 \cdot 10^6$ Hz. Determine o comprimento de onda transmitido por essa emissora.

12. **Unesp** – Observe o espectro de radiação eletromagnética com a porção visível pelo ser humano em destaque. A cor da luz visível ao ser humano é determinada pela frequência ν , em Hertz (Hz). No espectro, a unidade de comprimento de onda λ é o metro (m) e, no destaque, é o nanômetro (nm).

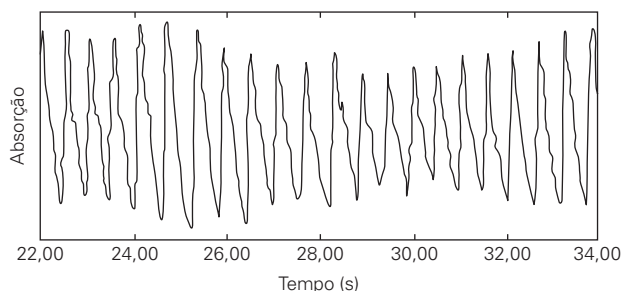


Sabendo que a frequência ν é inversamente proporcional ao comprimento de onda λ , que a constante de proporcionalidade é igual à velocidade da luz no vácuo – de, aproximadamente, $3,0 \cdot 10^8$ m/s – e que 1 nanômetro equivale a $1,0 \cdot 10^{-9}$ m, pode-se deduzir que a frequência da cor, no ponto de destaque indicado pela flecha, em Hz, vale aproximadamente

- a) $6,6 \cdot 10^{14}$. c) $4,5 \cdot 10^{14}$. e) $0,6 \cdot 10^{14}$.
 b) $2,6 \cdot 10^{14}$. d) $1,5 \cdot 10^{14}$.

13. **UPE** – Um relógio inteligente utiliza fotopletoisografia para medir a frequência cardíaca de seu usuário. Essa tecnologia consiste na emissão de luz de coloração esverdeada no braço do portador e na conseguinte medição, por fotossensores, da intensidade da luz refletida por sua pele. Quando o coração bate, o sangue flui, e a absorção da luz verde através da pele é maior. Entre batidas, a absorção é menor. Piscando a luz centenas de vezes em um segundo, é possível calcular a frequência cardíaca.

Suponha que, monitorando os resultados obtidos pelo relógio, um usuário tenha se deparado com o seguinte gráfico de absorção da luz em função do tempo:



Então, sua frequência cardíaca em batimentos por minuto (bpm) no momento da medida está mais bem representada na faixa entre

- a) 15 e 50 bpm.
- b) 55 e 65 bpm.
- c) 70 e 85 bpm.
- d) 90 e 100 bpm.
- e) 105 e 155 bpm.

14. Sistema Dom Bosco – Durante missões tripuladas no espaço, os astronautas precisam se comunicar com bases na Terra por meio de ondas de rádio. Considerando que essas ondas se locomovem a cerca de 300 000 km/s no vácuo e, ainda, que a distância entre uma dessas missões e a Terra é de aproximadamente 372 000 km, encontre o intervalo de tempo médio da emissão de um sinal de rádio da Terra até essa missão.

15. Enem

C6-H22

Para obter a posição de um telefone celular, a polícia baseia-se em informações do tempo de resposta do aparelho em relação às torres de celular da região de onde se originou a ligação. Em uma região, um aparelho está na área de cobertura de cinco torres, conforme o esquema.



Considerando que as torres e o celular são puntiformes e que estão sobre um mesmo plano, qual o número mínimo de torres necessárias para se localizar a posição do telefone celular que originou a ligação?

- a) Uma.
- b) Duas.

- c) Três.
- d) Quatro.
- e) Cinco.

16. Famerp – A tabela mostra a classificação das ondas eletromagnéticas em função das suas frequências.

Região do espectro eletromagnético	Faixa de frequência (Hz)
Ondas de rádio	$< 3,0 \cdot 10^9$
Micro-ondas	$3,0 \cdot 10^9$ a $3,0 \cdot 10^{12}$
Infravermelho	$3,0 \cdot 10^{12}$ a $4,3 \cdot 10^{14}$
Visível	$4,3 \cdot 10^{14}$ a $7,5 \cdot 10^{14}$
Ultravioleta	$7,5 \cdot 10^{14}$ a $3,0 \cdot 10^{17}$
Raios X	$3,0 \cdot 10^{17}$ a $3,0 \cdot 10^{19}$
Raios gama	$> 3,0 \cdot 10^{19}$

Fonte: <www.if.ufrgs.br>. (Adaptado)

Considere que as ondas eletromagnéticas se propagam pelo ar com velocidade $3,0 \cdot 10^8$ m/s, aproximadamente, e que um radar emite ondas eletromagnéticas de comprimento 2,0 cm. As ondas emitidas por esse radar são

- a) infravermelho.
- b) ultravioleta.
- c) raios X.
- d) micro-ondas.
- e) ondas de rádio.

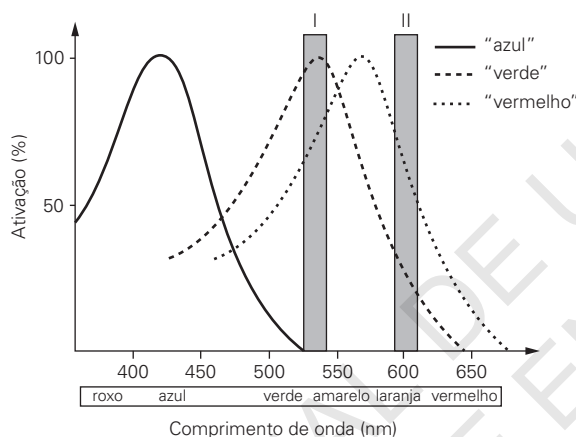
17. Sistema Dom Bosco – O aquecimento dos alimentos em um forno de micro-ondas é provocado pela absorção de energia por alguns tipos de moléculas, especialmente moléculas de água, gorduras e açúcares, por meio do fenômeno da ressonância. A frequência das micro-ondas utilizadas nesses fornos é de 2,45 GHz. Considere que a velocidade de propagação das micro-ondas é de $3 \cdot 10^8$ m/s. Qual é o comprimento dessas micro-ondas?

ESTUDO PARA O ENEM

18. Enem

C6-H22

Muitos primatas, incluindo nós, humanos, possuem visão tricromática: três pigmentos visuais na retina são sensíveis à luz de determinada faixa de comprimentos de onda. Informalmente, embora os pigmentos em si não possuam cor, são conhecidos como pigmentos "azul", "verde" e "vermelho" e estão associados à cor que causa grande excitação (ativação) deles. A sensação que temos ao observar um objeto colorido decorre da ativação relativa dos três pigmentos. Ou seja, se estimulássemos a retina com uma luz na faixa de 530 nm (retângulo I no gráfico), não excitaríamos o pigmento "azul"; o pigmento "verde" seria ativado ao máximo e o "vermelho" seria ativado em aproximadamente 75%, e isso nos daria a sensação de ver uma cor amarelada. Já uma luz na faixa de comprimento de onda de 600 nm (retângulo II) estimularia o pigmento "verde" um pouco e o "vermelho" em cerca de 75%, e isso nos daria a sensação de ver laranja-avermelhado. No entanto, há características genéticas presentes em alguns indivíduos, conhecidas coletivamente como daltonismo, em que um ou mais pigmentos não funcionam perfeitamente.



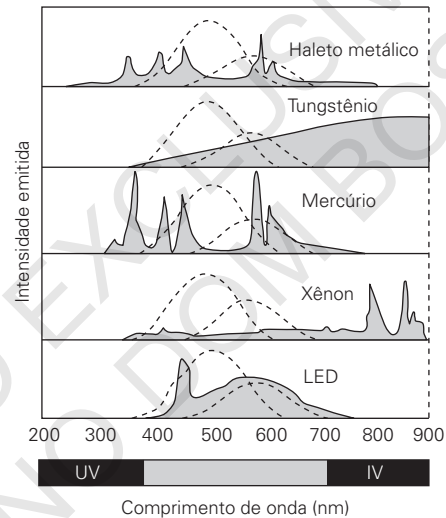
Caso estimulássemos a retina de um indivíduo com essa característica, que não possuísse o pigmento conhecido como "verde", com as luzes de 530 nm e 600 nm na mesma intensidade luminosa, esse indivíduo seria incapaz de

- identificar o comprimento de onda do amarelo, uma vez que não possui o pigmento "verde".
- ver o estímulo de comprimento de onda laranja, pois não haveria estimulação de um pigmento visual.
- detectar ambos os comprimentos de onda, uma vez que a estimulação dos pigmentos estaria prejudicada.
- visualizar o estímulo do comprimento de onda roxo, já que ele se encontra na outra ponta do espectro.
- distinguir os dois comprimentos de onda, pois ambos estimulam o pigmento "vermelho" na mesma intensidade.

19. Enem

C6-H22

A figura mostra como é a emissão de radiação eletromagnética para cinco tipos de lâmpada: haleto metálico, tungstênio, mercúrio, xênon e LED (diodo emissor de luz). As áreas marcadas em cinza são proporcionais à intensidade da energia liberada pela lâmpada. As linhas pontilhadas mostram a sensibilidade do olho humano aos diferentes comprimentos de onda. UV e IV são as regiões do ultravioleta e do infravermelho, respectivamente. Um arquiteto deseja iluminar uma sala usando uma lâmpada que produza boa iluminação, mas que não aqueça o ambiente.



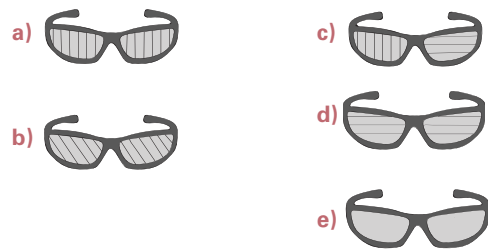
Qual tipo de lâmpada melhor atende ao desejo do arquiteto?

- Haleto metálico.
- Tungstênio.
- Mercúrio.
- Xênon.
- LED.

20. Enem

C6-H22

Nas rodovias, é comum motoristas terem a visão ofuscada ao receberem a luz refletida na água empoçada no asfalto. Sabe-se que essa luz adquire polarização horizontal. Para solucionar esse problema, há a possibilidade de o motorista utilizar óculos de lentes constituídas por filtros polarizadores. As linhas nas lentes dos óculos que representam o eixo de polarização dessas lentes são:



PRODUÇÃO E CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

28

LUCIANO_QUEIROZ/ISTOCKPHOTO



Linhas de transmissão de alta tensão ao pôr do sol.

A energia elétrica tornou-se o enorme pilar da sociedade contemporânea. Tomando como exemplo os hospitais, podemos imaginar a quantidade de pessoas que, neste momento, estão sobrevivendo graças a aparelhos que necessitam da energia elétrica para funcionar. O trânsito nas grandes cidades, sem o semáforo, seria ainda mais caótico. Poderíamos elencar uma infinidade de situações em que seria inconcebível nos imaginarmos sem a energia elétrica. Por isso, pensarmos sobre seu processo de produção e consumo se torna algo muito importante nos dias de hoje.

Fontes de energia elétrica

Quando falamos em energia, podemos pensar que os primeiros seres humanos dependiam da energia de seus músculos para realizar trabalho e obter energia. Depois, veio o uso de animais para a realização de atividades que necessitavam de esforço físico, como puxar carroças e arados. Surgiram o emprego do vento para movimentar as pás de moinhos, da queda d'água para movimentar rodas d'água, do vapor nas máquinas a vapor, e, assim, a humanidade foi se desenvolvendo de modo a conseguir dominar técnicas a fim de transformar as diferentes formas de energia para que atendessem suas necessidades. E, com isso, foi possível obter conhecimentos e aprimorar a produção de energia elétrica.

No Brasil, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) elabora e publica anualmente o Balanço Energético Nacional (BEN), cuja finalidade é apresentar a contabilização relativa à oferta e ao consumo de energia no país, contemplando as atividades de extração de recursos energéticos primários, sua conversão em formas secundárias, a importação e a exportação, a distribuição e o uso final. Tomando como base o relatório de 2017, que evidenciou dados relativos a 2015 e 2016, tivemos as seguintes fontes de produção de energia elétrica (em GWh):

- Produção e consumo de energia elétrica

HABILIDADES

- Compreender a limitação da energia disponível.
- Compreender os custos envolvidos na geração de energia.
- Adquirir consciência da necessidade do uso racional da energia no dia a dia, bem como da preservação de recursos naturais.
- Reconhecer formas alternativas para a obtenção de energia.

Geração Elétrica¹ (GWh)

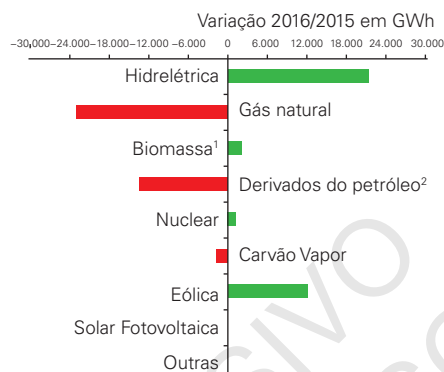
Fonte	2015	2016	Δ16/15
Hidrelétrica	359.743	380.911	5,9%
Gás Natural	79.490	56.485	-28,9%
Biomassa ²	47.394	49.236	3,9%
Derivados do Petróleo ³	25.657	12.103	-52,8%
Nuclear	14.734	15.864	7,7%
Carvão Vapor	18.856	17.001	-9,8%
Eólica	21.626	33.489	54,9%
Solar Fotovoltaica	59	85	44,7%
Outras ⁴	13.669	13.723	0,4%
Geração Total	581.228	578.898	-0,4%

¹ Inclui geração distribuída

² Inclui lenha, bagaço de cana e lixívia

³ Inclui óleo diesel e óleo combustível

⁴ Inclui outras fontes primárias, gás de coque e outras secundárias

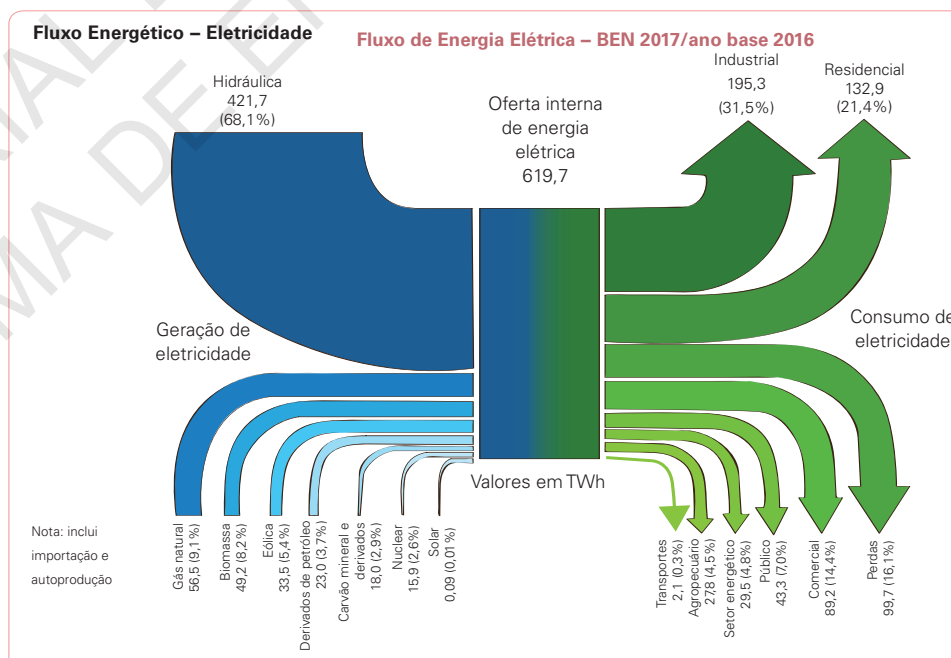


Balanco energético nacional – geração de energia elétrica.

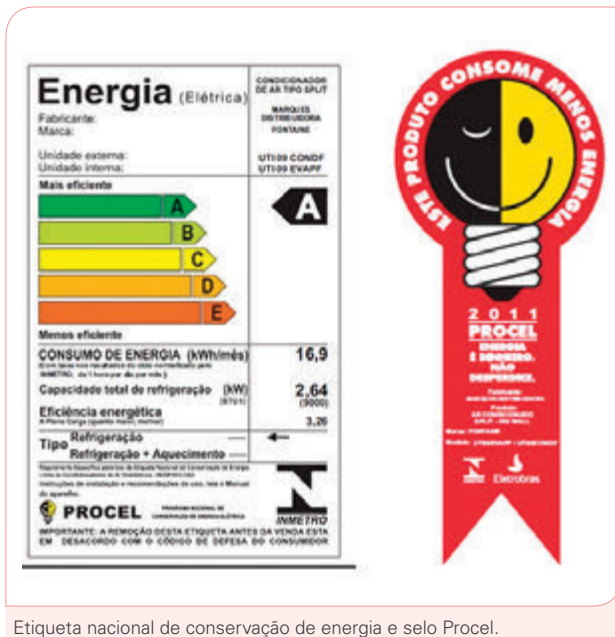
Esses dados mostram as fontes de geração de energia elétrica no Brasil, tendo como base as diferentes opções, de modo a verificar o crescimento da produção entre os anos de 2015 e 2016. A hidrelétrica é a maior fonte de produção de energia elétrica no país, enquanto fontes de derivados do petróleo tem sido preteridas – o que se mostra como um fator positivo, dada a necessidade de se pensar em fontes renováveis e não renováveis de energia.

Consumo de energia elétrica

Considerando a produção de energia elétrica, o gráfico a seguir mostra o fluxo energético de eletricidade, de maneira que os maiores consumidores são as indústrias e as residências.



É importante compreender que, ao adquirir um aparelho eletrodoméstico, você e sua família devem ficar atentos à etiqueta nacional de conservação de energia e ao selo Procel de economia de energia.



Etiqueta nacional de conservação de energia e selo Procel.

As certificações e a eficiência energética, instituídas em 1993, demonstram uma preocupação nacional quanto à redução do consumo energético no Brasil e, conseqüentemente, quanto ao equilíbrio nacional e à preservação do meio ambiente. Assim, para saber se um aparelho é mais eficiente, precisamos calcular seu consumo de energia elétrica.

Com base na potência informada pelo fabricante no manual do aparelho, conseguimos relacioná-la com o tempo em que o aparelho fica ligado e, assim, encontrar o valor da energia consumida.

$$\Delta E = P \cdot \Delta t$$

Em que: ΔE = energia consumida; P = potência; Δt = tempo de consumo do aparelho.

No cálculo da energia elétrica, costuma-se expressar a potência em kW e o tempo em horas, o que resulta em kWh (quilowatt-hora). Isso ocorre porque as companhias de energia elétrica cobram do consumidor com base em cada kWh.

EXERCÍCIO RESOLVIDO

Sistema Dom Bosco – Um televisor de LCD consome 120 W quando conectado à rede de 120V.

- Qual é, em kWh, a energia consumida por mês, caso o televisor fique ligado 5 horas por dia?
- Qual a intensidade da corrente elétrica que atravessa o televisor?

Resolução

$$a) \Delta E = 120 \text{ W} \cdot 5 \text{ h} \cdot 30 \text{ dias} = 18000 \text{ Wh} = 18 \text{ kWh}$$

$$b) i = \frac{120 \text{ W}}{120 \text{ V}} = 1 \text{ A}$$

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

ROTEIRO DE AULA

PRODUÇÃO E CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

A maior fonte de produção de eletricidade no Brasil é a

_____ hidroelétrica.

O consumo de energia elétrica é dado pela relação:

_____ $\Delta E = P \cdot \Delta t$

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

EXERCÍCIOS DE APLICAÇÃO

1. Sistema Dom Bosco – Tendo em vista as localizações das cidades de Natal (RN), Criciúma (SC) e Manaus (AM), quais seriam as fontes de energia mais adequadas para essas cidades?

Considerando os fortes ventos no Nordeste do Brasil, a fonte de energia mais adequada é a eólica. Em Manaus, há condições climáticas favoráveis como fortes ventos. Os rios Solimões e Negro não apresentam declive para os morros altos. E, ainda, não conta com insolação constante. Por isso, petróleo e gás natural podem ser boas fontes de energia para o local. Criciúma está localizada em uma região rica em carvão, e esse mineral pode ser utilizado em usinas geradoras de eletricidade.

2. Sistema Dom Bosco – Imagine uma cidade superpulsosa, com cerca de 15 milhões de habitantes, localizada em uma região fria, de modo que não haja possibilidades de extrair carvão ou gás. Indique uma alternativa de fonte de energia para suprir necessidades de eletricidade e energia térmica.

Uma possibilidade é fazer uso de biomassa, de modo a utilizar os lixos produzidos pela própria população para ser processados como biogestores.

3. UFRR – Leia atentamente as assertivas sobre a estrutura energética no Brasil:

- I. No que se refere às possibilidades de geração de energia, o Brasil apresenta grande vantagem em relação à maioria dos países, pois as condições naturais (clima, relevo, hidrografia, solo, estrutura geológica) e a dimensão territorial permitem que o país disponha de várias opções energéticas.
- II. Apesar da variedade de opções energéticas no Brasil, assim como em todo o mundo, é grande a dependência de fontes de energia não renováveis e altamente poluidoras, especialmente no setor de transportes.
- III. Para a geração de eletricidade no Brasil, há um grande aproveitamento da força das águas, o que é bastante desfavorável, pois essa fonte de energia polui a atmosfera, não é renovável e não provoca impactos ambientais.
- IV. O Brasil apresenta um grande potencial para desenvolver fontes energéticas alternativas, sobretudo as que são agrupadas no termo biomassa, além da energia solar e da eólica.

Após a leitura, marque as assertivas corretas:

- a) I, III e IV
- b) I, II, III e IV
- c) II, III e IV
- d) I, II e IV
- e) I e IV

I. Verdadeira.

II. Verdadeira.

III. Falsa. As hidroelétricas não poluem a atmosfera, sendo consideradas uma fonte de energia renovável.

IV. Verdadeira.

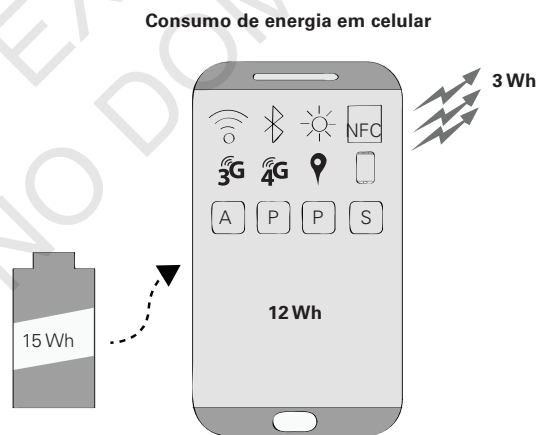
4. Unicentro – O aquecimento global tem sido um problema enfrentado por todas as nações. O uso de fontes de energia não renováveis é o responsável por esse aquecimento. Assinale qual é a fonte de energia mais recomendável para que haja uma diminuição dos gases causadores do aquecimento global.

- a) Óleo diesel.
- b) Gasolina.
- c) Vento.

- d) Gás natural.
- e) Petróleo.

Entre as opções, o vento é o único que não produz gases que podem contribuir para o aquecimento global.

5. Fatec – Um professor do curso de Eletrônica Industrial da Fatec decide apresentar aos alunos a eficiência da bateria de um telefone celular hipotético, modelo *smartphone*. Ele destaca que alguns fatores são determinantes para que a carga elétrica da bateria seja consumida mais rapidamente. O professor mostra que há um aumento de consumo devido à conexão Wi-Fi, ao uso permanente de Bluetooth e de NFC (Near Field Communication), à elevada luminosidade de fundo de tela, à instabilidade das conexões 3G e 4G, ao localizador GPS ligado constantemente, ao uso de toque vibratório e ao excessivo armazenamento de apps (aplicativos diversos). Os dados são apresentados aos alunos por meio de um infográfico, contendo o quanto a bateria fornece de energia, quanta energia o aparelho celular consome (utiliza) e o valor da dissipação de energia.



Desprezando quaisquer outras perdas do sistema, e considerando apenas as informações apresentadas no texto e no infográfico, é correto afirmar que

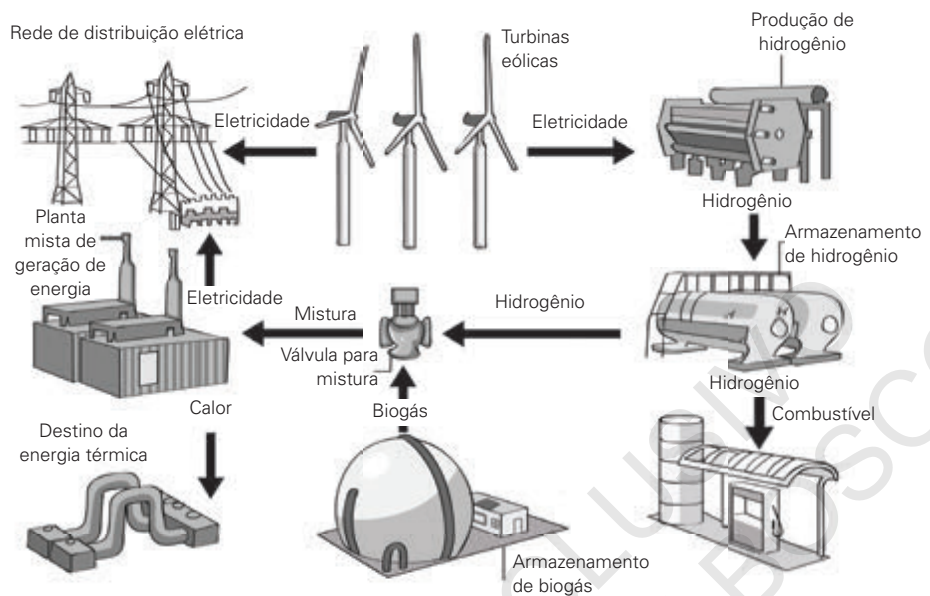
- a) o rendimento do sistema é de 25%.
- b) o rendimento da bateria na utilização do aparelho é de 80%.
- c) a potência nominal máxima gerada pela bateria em 1,5 h é de 5 W.
- d) a energia dissipada pelo dispositivo independe do uso das funcionalidades descritas no texto.
- e) funcionalidades como Bluetooth e NFC são as maiores consumidoras de energia.

$$\frac{\text{Energia útil}}{\text{Energia total}} = \frac{12 \text{ Wh}}{15 \text{ Wh}} = 0,8 = 80\%$$

6. Enem

C6-H23

A figura mostra o funcionamento de uma estação híbrida de geração de eletricidade movida a energia eólica e biogás. Essa estação possibilita que a energia gerada no parque eólico seja armazenada na forma de gás hidrogênio, usado no fornecimento de energia para a rede elétrica comum e para abastecer células a combustível.



Mesmo com a ausência de ventos por curtos períodos, essa estação continua abastecendo a cidade onde está instalada, pois o(a)

- planta mista de geração de energia realiza eletrólise para enviar energia à rede de distribuição elétrica.
- hidrogênio produzido e armazenado é utilizado na combustão com o biogás para gerar calor e eletricidade.
- conjunto de turbinas continua girando com a mesma velocidade, por inércia, mantendo a eficiência anterior.
- combustão da mistura biogás-hidrogênio gera diretamente energia elétrica adicional para a manutenção da estação.
- planta mista de geração de energia é capaz de utilizar todo o calor fornecido na combustão para a geração de eletricidade.

Olhando o esquema apresentado, percebe-se que o hidrogênio e o biogás ainda podem ser armazenados para geração de calor e eletricidade.

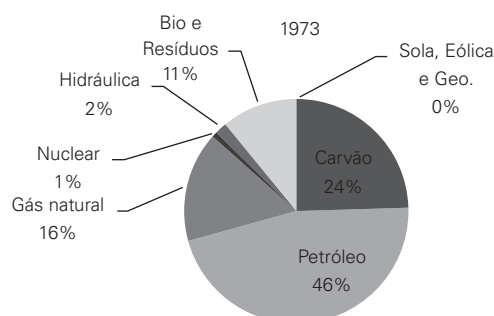
Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

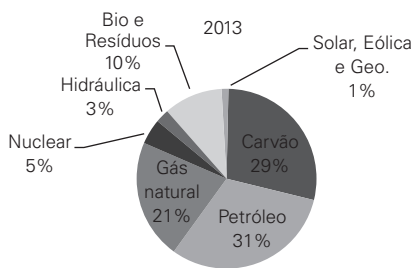
Habilidade: Avaliar possibilidades de geração, uso ou transformação de energia em ambientes específicos, considerando implicações éticas, ambientais, sociais e/ou econômicas.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

7. Sistema Dom Bosco – Indique algumas cidades brasileiras em que a energia elétrica poderia ser obtida por meio de fontes de energia eólica.

8. Uema – Atualmente há uma diversidade de fontes de energia, classificadas como renováveis, pois continuam disponíveis depois de utilizadas, e não renováveis, pois são limitadas e demoram milhões de anos para se formar. Analise os gráficos sobre o consumo de energia no mundo.





Da análise dos gráficos, pode-se afirmar que houve, no período de 1973 a 2013, em relação ao consumo mundial de energias não renovável e renovável, respectivamente,

- diminuição percentual de petróleo e de carvão.
- diminuição percentual de carvão e de energia solar.
- aumento percentual de petróleo e de energia nuclear.
- duplicação do percentual de petróleo e de gás natural.
- aumento percentual de energia nuclear e de energia solar.

9. Unicamp – O carro elétrico é uma alternativa aos veículos com motor a combustão interna. Qual é a autonomia de um carro elétrico que se desloca a 60 km/h, se a corrente elétrica empregada nessa velocidade é igual a 50 A e a carga máxima armazenada em suas baterias é $q = 75 \text{ Ah}$?

- 40,0 km.
- 62,5 km.
- 90,0 km.
- 160,0 km.

10. Famema – A tabela apresenta parte das informações contidas em uma conta de energia elétrica de determinada residência.

Consumo de energia mensal (kWh)	Valor a ser pago pelo consumidor (R\$)
140	70,00

Considere que, nessa residência, 8 lâmpadas de 60 W fiquem acesas durante 4 horas por dia, em um mês de 30 dias. O valor a ser pago por esse consumo será de

- R\$ 28,80.
- R\$ 21,60.
- R\$ 25,20.
- R\$ 14,40.
- R\$ 3,60.

11. UEG – Uma pessoa utiliza um ferro elétrico de 1 000 W de potência, seis dias por semana, 30 min por dia. Qual será sua economia aproximada, em porcentagem, por semana, se passar a utilizar o ferro por 2 h e apenas em um dia na semana?

- 22
- 33
- 44
- 55
- 66

12. Albert Einstein

Copenhague – Os japoneses Isamu Akasaki, Hiroshi Amano e Shuji Nakamura, este último naturalizado americano, foram agraciados nesta terça-feira com o Prêmio Nobel de Física 2014 pela invenção, nos anos 90, do LED azul. A descoberta se inscreve no “espírito de Alfred Nobel” de fazer invenções que geram grande benefício à humanidade, afirmou o comitê do Nobel no Instituto Karolinska, em

Estocolmo, na Suécia. Por muitos anos, a indústria teve à sua disposição LED de cor vermelha e verde. No entanto, para obter a luz branca, era necessário ter a componente azul. A importância vem do fato que era impossível criar lâmpadas com luz branca sem o uso do azul. “Para fazer qualquer coisa, você precisa das três cores primárias (vermelho, verde e azul). Vermelho era mais fácil por causa do arsenieto de gálio que já estava disponível, mas ninguém sabia como fazer o azul”, disse Nakamura em uma entrevista em 2009.

Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/tecnologia/noticias/nobel-de-fisica-vai-para-3-japoneses-por-iluminacao-a-led>>. Acesso em: mar. 2019. (Adaptado)

Empolgado com a divulgação da notícia do prêmio Nobel de Física de 2014, o sr. Píril Ampo resolve desembolsar R\$ 60,00 e substituir a lâmpada incandescente de sua sala, cuja potência é de 100 W e cujo custo de aquisição foi de R\$ 5,00, por uma lâmpada com a tecnologia LED, de 9 W, que tem o mesmo fluxo luminoso da lâmpada a ser substituída. Calcule após quantos dias consecutivos de uso, aproximadamente, o sr. Píril Ampo terá recuperado a diferença entre os valores desembolsados pelas duas lâmpadas. Considere para as duas lâmpadas uma utilização diária de 7 h e o custo do kWh de R\$ 0,30.

13. UEA (adaptado) – O gerador solar mostrado na figura é a fonte de energia para o telefone ligado a ele, fornecendo uma diferença de potencial de 12,0 V e uma corrente elétrica de intensidade máxima igual a 0,75 A.



Qual a máxima potência, em watts, que o telefone pode desenvolver quando em funcionamento?

14. Urca (adaptado) – Um aquecedor de potência 30 kW ficou ligado durante 20 minutos. Desprezando perdas por energia térmica nos fios de ligação, qual a quantidade (aproximada) de energia consumida por esse aparelho nessa situação? Considere kW min.

15. Unisinos – A intensidade da luz solar sobre a superfície da Terra é de 340 W/m².



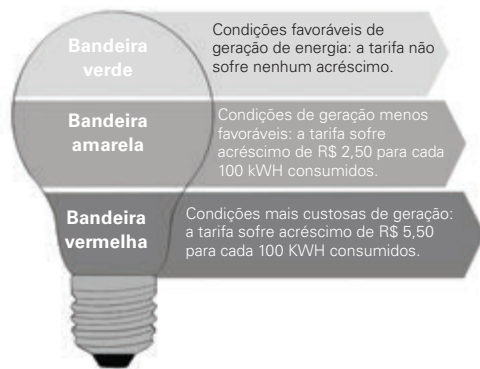
Supondo-se:

- 1) uma residência com consumo mensal (30 dias) de 280 kWh, sendo 153 kWh relativos ao aquecimento de água ($k = 10^3$);
 - 2) uma insolação diária de 6 h; e
 - 3) uma eficiência do coletor solar de 50%, a área mínima, em m^2 , de um coletor para atender ao consumo de água quente dessa residência, que tenha as características descritas, é de
- a) 5. c) 30. e) 150.
b) 10. d) 50.

16. Fepar

Bandeiras tarifárias

Entenda o que cada cor indica na sua conta de luz



A partir de 2015, por determinação da Aneel, as contas de energia passaram a trazer uma novidade: o Sistema de Bandeiras Tarifárias. As bandeiras verde, amarela e vermelha indicam se a energia custa mais ou menos, em função das condições de geração de eletricidade. A Aneel esclarece que a nova tarifa deve-se à utilização de usinas termoeletricas, que geram custos adicionais ao preço da energia para suprir a demanda no país. Esse cenário é resultado, em parte, da escassez de chuvas, que comprometeu a recomposição dos reservatórios das usinas hidrelétricas, principal fonte de geração de energia do Brasil. Enquanto a energia das hidrelétricas custa cerca de R\$ 100,00 por MWh, o custo da energia gerada por usinas térmicas, que operam com combustíveis fósseis, como óleo diesel, pode chegar a R\$ 800,00 por MWh.

Com base no exposto e em conhecimentos sobre o assunto, julgue as afirmativas.

- () Durante a vigência da bandeira vermelha, um chuveiro de 5000 W, ligado por meia hora todos os dias, durante um mês, produz um acréscimo superior a R\$ 2,00 na conta de energia.
- () Para fabricar 1 tonelada de papel, utilizam-se cerca de 50 m^3 de água (em circuito fechado) e 3 125 kWh de energia elétrica. Se for produzida por uma usina térmica, a energia elétrica necessária para a fabricação de uma tonelada de papel pode chegar a mais de R\$ 2 000,00.
- () Uma usina térmica, apesar de produzir energia a custo elevado, apresenta um processo em que toda a energia térmica é transformada em energia elétrica.
- () Durante a vigência da bandeira amarela, uma máquina industrial de 20 000 W de potência, em uma jornada de 8 horas de trabalho, gera uma economia de R\$ 8,00 no custo de energia em relação ao mesmo uso durante a vigência da bandeira vermelha.
- () Segundo a lei de Faraday, a transformação de energia mecânica em elétrica, nas turbinas de uma hidrelétrica, se deve, no processo de indução elétrica, ao fluxo magnético constante.

17. Uema – Os espaços públicos fazem emprego de muitos aparelhos de ar-condicionado, com vistas ao uso racional de energia-água. Sabendo-se que uma academia utiliza, em sua refrigeração, 10 aparelhos de ar-condicionado, o proprietário deseja reaproveitar a água proveniente das unidades condensadoras para o consumo da água em seus banheiros. Cada aparelho utilizado na academia condensa um volume de 20 litros, por dia, com consumo, em média, de 120 000 litros de água por mês (adote mês de 30 dias). O percentual de economia de água obtido com o reaproveitamento da água condensada ao final do mês e a quantidade de aparelhos de ar-condicionado que garantiriam uma economia de, pelo menos, 3%, são, respectivamente,

- a) 4% e 6 aparelhos.
- b) 6% e 5 aparelhos.
- c) 6% e 4 aparelhos.
- d) 4% e 5 aparelhos.
- e) 5% e 6 aparelhos.

ESTUDO PARA O ENEM

18. Enem

C2-H5

Uma lâmpada LED (diodo emissor de luz), que funciona com 12 V e corrente contínua de 0,45 A, produz a mesma quantidade de luz que uma lâmpada incandescente de 60 W de potência. Qual é o valor da redução da potência consumida ao se substituir a lâmpada incandescente pela de LED?

- a) 54,6 W
- b) 27,0 W
- c) 26,6 W
- d) 5,4 W
- e) 5,0 W

19. Enem

C3-H8

A energia nuclear é uma alternativa aos combustíveis fósseis que, se não gerenciada de maneira correta, pode causar impactos ambientais graves. O princípio da geração dessa energia pode se basear na reação de fissão controlada do urânio por bombardeio de nêutrons, como ilustrado:



Um grande risco decorre da geração do chamado lixo atômico, que exige condições muito rígidas de tratamento e armazenamento para evitar vazamentos ao meio ambiente.

Esse lixo é prejudicial, pois

- a) favorece a proliferação de microrganismos termófilos.
- b) produz nêutrons livres que ionizam o ar, tornando-o condutor.
- c) libera gases que alteram a composição da atmosfera terrestre.
- d) acentua o efeito estufa decorrente do calor produzido na fissão.
- e) emite radiação capaz de provocar danos à saúde dos seres vivos.

20. Enem

C3-H8

Empresa vai fornecer 230 turbinas para o segundo complexo de energia à base de ventos, no sudeste da Bahia.

O Complexo Eólico Alto Sertão, em 2014, terá capacidade para gerar 375 MW (megawatts), total suficiente para abastecer uma cidade de 3 milhões de habitantes.

MATOS, C. GE busca bons ventos e fecha contrato de R\$ 820 mi na Bahia. *Folha de S.Paulo*, 2 dez. 2012.

A opção tecnológica retratada na notícia proporciona a seguinte consequência para o sistema energético brasileiro:

- a) Redução da utilização elétrica.
- b) Ampliação do uso bioenergético.
- c) Expansão das fontes renováveis.
- d) Contenção da demanda urbano-industrial.
- e) Intensificação da dependência geotérmica.

EXERCÍCIOS INTERDISCIPLINARES

21. Unicamp – Alguns experimentos muito importantes em física, tais como os realizados em grandes aceleradores de partículas, necessitam de um ambiente com uma atmosfera extremamente rarefeita, comumente denominada de ultra-alto-vácuo. Em tais ambientes a pressão é menor ou igual a 10^{-6} Pa.

- a) Supondo que as moléculas que compõem uma atmosfera de ultra-alto-vácuo estão distribuídas uniformemente no espaço e se comportam como um gás ideal, qual é o número de moléculas por unidade de volume em uma atmosfera cuja pressão seja $P = 3,2 \cdot 10^{-8}$ Pa, à temperatura ambiente $T = 300$ K? Se necessário, use: Número de Avogadro $N_A = 6 \cdot 10^{23}$ e a Constante universal dos gases ideais $R = 8$ J/molK.
- b) Sabe-se que a pressão atmosférica diminui com a altitude, de tal forma que, a centenas de quilômetros de altitude, ela se aproxima do vácuo absoluto. Por outro lado, pressões acima da encontrada na superfície terrestre podem ser atingidas facilmente em uma submersão aquática. Calcule a razão P_{sub}/P_{nave} entre as pressões que devem suportar a carcaça de uma nave espacial (P_{nave}) a centenas de quilômetros de altitude e a de um submarino (P_{sub}) a 100 m de profundidade, supondo que o interior de ambos os veículos se encontra à pressão de 1 atm. Considere a densidade da água como $\rho = 1000$ kg/m³.

22. Fuvest – Uma pessoa que vive numa cidade ao nível do mar pode ter dificuldade para respirar ao viajar para La Paz, na Bolívia (cerca de 3600 m de altitude).

- a) Ao nível do mar, a pressão barométrica é 760 mmHg e a pressão parcial de oxigênio é 159 mmHg. Qual é a pressão parcial de oxigênio em La Paz, onde a pressão barométrica é cerca de 490 mmHg?
- b) Qual é o efeito da pressão parcial de oxigênio, em La Paz, sobre a difusão do oxigênio do pulmão para o sangue, em comparação com o que ocorre ao nível do mar? Como o sistema de transporte de oxigênio para os tecidos responde a esse efeito, após uma semana de aclimação do viajante?

23. UEM – Num experimento, um determinado material de massa 10 g e de calor específico de 0,25 cal/g °C é colocado em um forno cuja temperatura é controlada e varia segundo a função $T_w = 120 + \text{sen} \frac{\pi}{2} t$, em que t é o tempo em minutos e T é a temperatura em °C.

Sobre o experimento, assinale o que for correto.

- 01) A massa do material e a quantidade de calor que o material troca com o forno são grandezas diretamente proporcionais, mantendo-se fixa a variação de temperatura.
- 02) A quantidade de calor que deve ser absorvida por esse material para que sua temperatura aumente 2 °C é de 5 cal.
- 04) A função T é periódica de período 2π .
- 08) A temperatura T ao qual o material está exposto varia de °C a 120 °C.
- 16) O gráfico da função T tem amplitude $\frac{1}{2}$.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

RESPOSTAS E COMENTÁRIOS

FÍSICA 1

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO



APRESENTAÇÃO

FÍSICA

As mudanças nos principais processos de seleção e no Enem têm mostrado que a preparação para ingresso na universidade exige muito mais que um bom material didático. Além de dominar conteúdos de ensino médio, os alunos precisam conhecer a diversidade de contextos sociais, tecnológicos, ambientais e políticos. Desenvolver habilidades para obter autonomia e entender criticamente a realidade e os acontecimentos que os cercam são critérios básicos para prosseguir estudo em nível superior.

Os exames seletivos das melhores universidades do país avaliam habilidades como a de saber selecionar, organizar e interpretar dados para enfrentar situações-problema em diferentes áreas do conhecimento; compreender fenômenos naturais, processos histórico-geográficos e de produção tecnológica.

O aluno que conclui ou em vias de concluir o ensino médio deve ser capaz de dominar linguagens e seus códigos, construir argumentações e elaborar respostas aos diversos questionamentos.

De acordo com as Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (DCNEM), orientadoras das avaliações do Enem, o encaminhamento pedagógico e metodológico para esse segmento deve envolver temáticas diversas, por meio do diálogo entre os conteúdos dos diferentes componentes curriculares de uma ou mais áreas do conhecimento, com propostas curriculares que contemplem as dimensões do trabalho, da ciência, da tecnologia e da cultura como eixos integradores entre os conhecimentos de distintas naturezas; o trabalho como princípio educativo; a pesquisa como princípio pedagógico; os direitos humanos como princípio norteador; a sustentabilidade socioambiental como meta universal.

Pensando nisso, uma equipe de excelência, respaldada na qualidade acadêmica dos conhecimentos e na prática de sala de aula, elaborou esta coleção de livros didáticos integrados para pré-vestibular extensivo e terceiro ano, abrangendo as áreas de conhecimento com projeto editorial exclusivo e adequado às recentes mudanças. O material contempla assim todos os conteúdos exigidos nos concursos vestibulares de todo o país e no Enem, enriquecidos com variada coletânea de questões selecionadas, quadro de respostas e roteiro de aula integrado a cada módulo, com indicação das respectivas competências e habilidades da Matriz de Referência do Enem. Aliando inovações tecnológicas com propostas metodológicas de ensino voltadas à preparação dos alunos para ingressar em grau superior, a coleção abrange todos os conteúdos do ensino médio, organizados e estruturados em módulos, com desenvolvimento teórico associado a exemplos e exercícios resolvidos que facilitam a aprendizagem.

Os alunos deparam-se com organização e sistematização teóricas seguidas de exercícios em níveis gradativos de dificuldade, o que lhes facilita fixar conceitos e desenvolver habilidades específicas associadas ao conteúdo trabalhado. Como apoio ao professor, em cada módulo as questões do material estão resolvidas e há orientações metodológicas, sugestões de leitura e uso de tecnologias para aprofundamento.

CONTEÚDO

FÍSICA 1

Volume	Módulo	Conteúdo
1A	45	Modelos Planetários
	46	Leis de Kepler
	47	Teoria Gravitacional de Newton
	48	Campo Gravitacional e Movimento de Satélites
	49	Equilíbrio de ponto material
	50	Momento de uma força

Volume	Módulo	Conteúdo
1B	51	Equilíbrio Estático de Corpo Extenso
	52	Tipos de Alavancas e Aplicações
	53	Movimento Harmônico Simples
	54	Pêndulo Simples
	55	Sistema Massa-Mola
	56	Análise Dimensional

FÍSICA 2

Volume	Módulo	Conteúdo
2A	45	Introdução à Termodinâmica
	46	Comportamento dos Gases
	47	Transformação Isobárica
	48	Transformação Isotérmica
	49	Transformação Isovolumétrica
	50	Primeira Lei da Termodinâmica
2B	51	Segunda Lei da Termodinâmica
	52	Terceira Lei da Termodinâmica
	53	Introdução à Física Moderna
	54	Dualidade Onda-Partícula
	55	Relatividade I
	56	Relatividade II

FÍSICA 3

Volume	Módulo	Conteúdo
3A	23	Ímãs e suas propriedades
	24	Campo Magnético Gerado por Corrente Elétrica
	25	Força Magnética
3B	26	Indução Eletromagnética
	27	Ondas Eletromagnéticas e o Espectro Eletromagnético
	28	Produção e Consumo de Energia Elétrica

45 MODELOS PLANETÁRIOS

Comentário sobre o módulo

Este é um momento do curso em que o caráter dinâmico da Ciência, na qual não há verdades absolutas, torna-se explícito. A evolução dos modelos planetários evidencia a forma com que se dá a evolução do pensamento científico. Algumas das contribuições de Ptolomeu, Copérnico, Giordano Bruno e Galileu são apresentadas com seus modelos de Universo.

Para ir além

- Série *Cosmos*, de Carl Sagan, episódio 3 – A harmonia dos mundos.

https://www.youtube.com/watch?v5TO7KMPi_iEU

- Série *Poeira das estrelas*, exibida pela Rede Globo no Fantástico.

<https://www.youtube.com/watch?v53sk4rrmg0Wk>

- TED-Ed: Quão pequenos somos diante do universo?, com Alex Hofeldt.

<https://www.youtube.com/watch?v5WYQ3O8U6SMY>

Acessos em: fev. 2019.

Exercícios propostos

7. B

Somente a alternativa [B] está correta. Os povos da Antiguidade construíram seus calendários marcando o tempo de acordo com sua realidade socio-cultural. Esses calendários estavam vinculados às necessidades materiais e variavam de acordo com a civilização. A proposição [D] está incorreta ao se considerar que o relógio e outros marcadores de tempo não seguem necessariamente o ritmo da natureza e não são um fenômeno universal. O tempo histórico e o tempo cronológico não servem para medir as superioridades racial e cultural de um povo ou uma civilização, até porque, do ponto de vista antropológico, não é possível conceber que haja uma raça ou uma cultura superiores.

8. C

Como a luz solar percorre o sentido leste-oeste, as cidades de Berlim e Seattle irão presenciar o pôr do Sol, nessa ordem. Porém, o amanhecer em primeiro lugar será obtido mais ao extremo direito do mapa, isto é, em Sydney, depois em Moscou, Berlim e Seattle. Portanto, a alternativa [C] é a correta.

9. E

As três afirmações são verdadeiras.

$$10. v = \frac{\Delta S}{\Delta t} \rightarrow 3 \cdot 10^8 = \frac{\Delta S}{3,2 \cdot 10^7} \rightarrow \Delta S = 9,6 \cdot 10^{15} \text{ m} =$$

$$= 9,6 \cdot 10^{24} \text{ nm}$$

$$1 \text{ ano-luz} \approx 9,6 \cdot 10^{24} \text{ nm}$$

11. E

O matemático alemão Johannes Kepler descobriu que os planetas gravitam em torno do Sol em órbitas elípticas. O período orbital de cada planeta está matematicamente associado à distância média que o separa do Sol.

A alternativa [A] é falsa. A astronomia, como as demais ciências, avança superando algumas ideias mais tradicionais, mudando paradigmas para alcançar estágios mais desenvolvidos.

A alternativa [B] é falsa. O sacerdote e astrônomo polonês Nicolau Copérnico viveu bem antes (séculos XV e XVI) dos Luíses da França (século XVIII).

A alternativa [C] é falsa. Nicolau Copérnico (1473–1543) viveu em um período no qual certas formas de pensamento consideradas hereges pela Igreja eram perseguidas e seus elaboradores, condenados.

A alternativa [D] é falsa. Kepler viveu entre os séculos XVI e XVII e suas pesquisas astronômicas ocorreram em um período pré-capitalista anterior à expansão econômica alemã, que só iria acontecer no século XIX.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes.

12. A razão (r) pedida é:

$$r = \frac{D_J}{D_T} = \frac{140000}{13000} = \frac{140}{13} \Rightarrow \boxed{r \approx 10,8}$$

13. A

Para a pessoa na Lua, o Sol ficaria escondido atrás da Terra, formando para o afortunado astronauta um eclipse solar.

14. C

A representação do Sistema Solar nos livros didáticos não é precisa; trata-se de uma representação artística, fora de escala. Isso ocorre porque as distâncias são muito expressivas mesmo para representações em escala pequena, ou seja, abrangente, com generalização.

15. B

A teoria que explica a origem do Universo é a do Big Bang. O Universo teria se originado a partir de uma grande explosão por volta de 20 bilhões de anos atrás, e a partir de então estaria em processo de expansão.

16. D

As áreas da Física citadas no texto são: astrofísica e física de partículas, por conta dos estudos dos raios cósmicos e da desintegração do méson pesado positivo; da radioatividade, pelos estudos de Marie Curie; e das partículas subatômicas, pelos estudos de Sonja Ashauer sobre elétrons e radiações eletromagnéticas.

$$17. \frac{mT^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{G} \Rightarrow \frac{mT^2}{r^3} = \text{constante}$$

$$\frac{M_G T_G^2}{r_G^3} = \frac{M T_T^2}{r_T^3}$$

$$M_G = M \cdot \frac{T_T^2}{r_T^3} \cdot \frac{r_G^3}{T_G^2}$$

$$M_G = M \cdot \frac{(27T_G)^2}{(18r_G)^3} \cdot \frac{r_G^3}{T_G^2}$$

$$M_G = M \cdot \frac{27^2}{18^3}$$

$$M_G = \frac{M}{8}$$

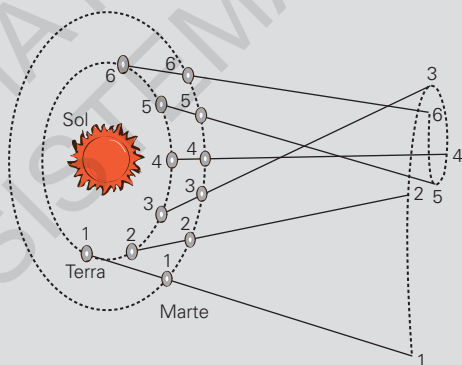
Estudo para o Enem

18. A

Considerando órbitas circulares, a força gravitacional age como resultante centrípeta. Sendo m a massa do planeta, M a massa do Sol e r o raio da órbita do planeta:

$$F_{R_{\text{cent}}} = F_{\text{grav}} \Rightarrow \frac{mv^2}{r} = \frac{GMm}{r^2} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

Essa expressão final mostra que a velocidade orbital é inversamente proporcional à raiz quadrada do raio da órbita. Como a Terra está mais próxima do Sol que de Marte, sua velocidade orbital é maior, possuindo, em consequência, também maior velocidade angular e menor período.



A figura mostra seis posições da Terra e as seis correspondentes posições de Marte, bem como a trajetória de Marte para um observador situado na Terra. Os intervalos de tempo entre duas posições consecutivas são, aproximadamente, iguais. Note que, pela maior velocidade orbital da Terra, da posição 1 até a 3, Marte parece avançar, de 3 a 5 ele parece regredir, tornando a avançar de 5 a 6. Aliás, esse fenômeno foi um dos grandes argumentos para que o heliocentrismo de Copérnico superasse o geocentrismo de Ptolomeu.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes.

19. B

O fenômeno descrito depende também da posição relativa entre os corpos celestes, ou seja, do movimento de translação da Terra em torno do Sol.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes.

20. C

A Revolução Científica do século XVII foi caracterizada por questionar certos pressupostos da filosofia que a antecedia, sobretudo a escolástica. Galileu foi um dos principais pensadores do período, e uma de suas ideias era a de que a Terra não é o centro do Universo. Isso significava questionar verdades religiosas, procurando abrir espaço para a constituição da ciência moderna, ancorada na linguagem matemática.

Competência: Compreender as ciências naturais e as tecnologias a elas associadas como construções humanas, percebendo seus papéis nos processos de produção e no desenvolvimento econômico e social da humanidade.

Habilidade: Confrontar interpretações científicas com interpretações baseadas no senso comum, ao longo do tempo ou em diferentes culturas.

46 MODELOS PLANETÁRIOS

Comentário sobre o módulo

Neste módulo, contamos um pouco sobre a história de cientistas que contribuíram para o estabelecimento da Astronomia pelo mundo. Johannes Kepler é o personagem principal deste módulo. Embasado nas preciosas observações e dados astronômicos de Tycho Brahe, Kepler descreveu, com suas três leis, o movimento planetário com precisão inédita, além de ter sido o primeiro a propor que uma força emanada pelo Sol fosse responsável pela dinâmica planetária. A lei das órbitas, a lei das áreas e a lei dos períodos foram discutidas.

Para ir além

- Artigo que trata dos procedimentos metodológicos empregados por Johannes Kepler, particularmente aqueles utilizados no processo de elaboração das duas primeiras leis dos movimentos planetários.

<http://www.scielo.br/pdf/ss/v8n3/v8n3a03.pdf>

- TED-Ed: Tycho Brahe, o astrônomo escandaloso _Dan Wenkel.

<https://www.youtube.com/watch?v=7QDvKzY4aqA>

- TED-Ed: Perguntas que ninguém sabe a resposta.

https://www.youtube.com/watch?v=7SWvDHvWXok&list=P_LhDvDID3b85zmvERO_rSSUj3FVWScEA_X

Acessos em: jan. 2019.

Exercícios propostos

21.

$$a) V = \frac{\Delta S}{\Delta t} \rightarrow \Delta t = \frac{\Delta S}{V}$$

$$\text{Sol/Terra} \rightarrow \Delta t = \frac{1,5 \cdot 10^{11}}{3,0 \cdot 10^8} = 5,0 \cdot 10^2 \text{s}$$

$$\text{Sol/Plutão} \rightarrow \Delta t = \frac{60 \cdot 10^{11}}{3,0 \cdot 10^8} = 2,0 \cdot 10^4 \text{s}$$

$$b) \frac{T_1^2}{a_1^3} = \frac{T_2^2}{a_2^3} \rightarrow \frac{1}{(1,5 \cdot 10^{11})^3} = \frac{T_p^2}{(60 \cdot 10^{11})^3} \rightarrow T_p^2 =$$

$$= \left(\frac{60 \cdot 10^{11}}{1,5 \cdot 10^{11}} \right)^3 = 40^3 = 64 \ 000$$

$$T_p = \sqrt{64 \cdot 10^2 \cdot 10} = 8 \cdot 10 \cdot 3,2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_p = 256 \text{ anos terrestres.}$$

22. D

De acordo com as leis de Kepler, o planeta acelera de A até P após passar o afélio (ponto de menor velocidade escalar) e desacelera de P até A após passar o periélio (ponto de maior velocidade escalar). Ou seja, a velocidade escalar está aumentando no ponto M e diminuindo no ponto N.

23. A

Como mencionado corretamente na alternativa [A], a afirmativa está incompleta porque as estações do ano resultam do movimento de translação e da inclinação do eixo terrestre, que expõe sazonalmente os hemisférios Norte e Sul à maior insolação. Estão incorretas as alternativas: [B], porque a posição da Terra se modifica perante o Sol, e não ao contrário; [C], porque as estações são resultantes do movimento de translação, e não de rotação; [D], porque quem determina as estações é o movimento de translação, e não o de precessão; [E], porque as estações são determinadas pela inclinação do eixo terrestre, e não por sua distância em relação ao Sol.

24.

Nos pontos mais próximos da estrela o planeta terá maior velocidade e, portanto, maior energia cinética. Sendo assim: $E_3 > E_4 > E_5 > E_2 > E_1$.

25. E

A velocidade orbital do planeta varia na órbita, pois, quando este se aproxima da estrela, sua velocidade cresce e, quando se afasta, sua velocidade diminui.

26. C

I. **Correta.** A segunda lei de Kepler afirma que o segmento de reta Sol-planeta varre áreas iguais em intervalos de tempo iguais.

II. **Incorreta.** O **quadrado** do período (**T**) da órbita é proporcional ao **cube** do raio médio (**r**) da trajetória (semieixo maior da elipse): $T^2 = k \cdot r^3$.

III. **Correta.** O movimento do planeta é acelerado de H para A e retardado de A para H. Portanto, $V_A > V_H$.

27. A

De acordo com a 3ª lei de Kepler, relacionamos o período de órbita com o raio dela, conforme a equação:

$$\frac{T^2}{R^3} = \text{constante}$$

Como se trata de dois satélites com órbitas circulares e de mesma massa e girando em torno de um mesmo astro, temos:

$$\frac{T_1^2}{R_1^3} = \frac{T_2^2}{R_2^3}$$

Então, substituindo os valores apresentados, ficamos com:

$$\frac{T_1^2}{R_1^3} = \frac{(28 \cdot d)^2}{(4 \cdot R_1)^3} \Rightarrow T_1 = \sqrt{\frac{(28 \cdot d)^2 \cdot R_1^3}{(4 \cdot R_1)^3}} =$$

$$= \sqrt{\frac{784 \cdot R_1^3}{64 \cdot R_1^3}} \therefore T_1 = \sqrt{12,25} = 3,5 \text{ dias}$$

28. B

Dados: $r_1 = 1\,200\,000 \text{ km} = 12 \cdot 10^5 \text{ km}$; $r_2 =$
 $= 300\,000 \text{ km} = 3 \cdot 10^5 \text{ km}$; $T_1 = 16 \text{ dias}$.

Aplicando a terceira lei de Kepler:

$$\left(\frac{T_2}{T_1}\right)^2 = \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^3 \Rightarrow \left(\frac{T_2}{16}\right)^2 = \left(\frac{3 \cdot 10^5}{12 \cdot 10^5}\right)^3 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{T_2^2}{256} = \left(\frac{1}{4}\right)^3 \Rightarrow T_2^2 = \frac{256}{64} = 4 \Rightarrow$$

$$\boxed{T_2 = 2 \text{ dias.}}$$

29.

a) Segundo a lei das áreas de Kepler, em um intervalo de tempo fixo Δt , a linha que une o planeta ao Sol percorre a mesma área. O deslocamento nesse intervalo de tempo é máximo, próximo a P, e mínimo, próximo a A. Logo, a velocidade é máxima em P e mínima em A.

b) $\Delta t \text{ (VPI)} < \Delta t \text{ (PIA)} = \Delta t \text{ (AVP)} < \Delta t \text{ (IAV)}$

30. C

De acordo com a 3ª lei de Kepler, para todos os planetas de um mesmo sistema solar, ou para todos os satélites de um mesmo planeta, a relação entre o período de translação (**T**) e o raio médio da órbita (**r_m**) é dada pela expressão:

$$\frac{T^2}{r_m^3} = k \text{ (constante), sendo } r_m \text{ igual à medida do se-}$$

mieixo maior para órbitas elípticas, e igual ao raio para órbitas circulares. Assim, como o semieixo maior da órbita de S é igual ao raio da órbita de T, os dois satélites têm o mesmo período de translação.

31. B

I. **Incorreta.** Pelo princípio da ação-reação, essas forças têm a mesma intensidade.

II. **Incorreta.** De acordo com a 2ª lei de Kepler, se a trajetória do cometa é elíptica, seu movimento é acelerado quando ele se aproxima do Sol e retardado quando se afasta.

III. **Correta.** A 3ª lei de Kepler garante que corpos mais afastados do Sol têm maior período de translação.

Estudo para o Enem

32. D

Da 3ª lei de Kepler: o quadrado do período de translação (ano do planeta) é diretamente proporcional ao cubo do raio médio da órbita: **T² = k · r³**. Podemos concluir que, quanto mais distante do Sol orbitar o planeta, mais longo é seu ano. Portanto, os chamados planetas internos, Mercúrio e Vênus, têm anos mais curtos do que o ano terrestre.

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

33. A

Como mencionado corretamente na alternativa [A], o fenômeno da superlua ocorre quando o satélite se encontra mais próximo da Terra, posição denominada perigeu, coincidindo com sua fase de lua cheia, apresentando-se, dessa forma, mais brilhante e maior.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes.

34. D

Nos planetas com excentricidade orbital (elipse bem alongada), o periélio (maior proximidade do Sol) corresponde a um verão com temperaturas muito elevadas. Já o afélio corresponde ao inverno, em decorrência das temperaturas muito baixas.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes.

47 TEORIA GRAVITACIONAL DE NEWTON

Comentário sobre o módulo

A teoria gravitacional de Newton caracteriza a interação gravitacional e unifica a física de Kepler (dos astros) com a de Galileu (dos eventos terrestres). Neste módulo, foram discutidas as características, e algumas aplicações, da força gravitacional. Foi dada atenção especial ao comportamento da intensidade dessa força em função da distância entre os corpos participantes da interação.

Para ir além

- Excelente simulador para visualizar as características da interação gravitacional.

https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/gravity-force-lab

- TED-Ed: Quão longe você teria que ir para escapar da gravidade? – Rene Laufer.

<https://www.youtube.com/watch?v=YlxKh4oCKhw>

- TED-Ed: Como pensar na gravidade – Jon Bergmann.

https://www.youtube.com/watch?v=IY3XV_GGV0M

- Newton, o mago da razão – *Revista Fapesp*.

<http://revistapesquisa.fapesp.br/2000/12/01/newton-o-mago-da-razao/>

Acessos em: fev. 2019.

Exercícios propostos

7. A

Pela lei da gravitação universal,

$$F = \frac{G \cdot m_1 \cdot m_2}{d^2}$$

Em outras palavras, a força que um astro exerce sobre outro depende de suas massas e da distância entre eles.

É comum pensar que a órbita da Terra depende exclusivamente da interação Terra-Sol. Porém, esse é um pensamento errado. Não só a Terra, mas todos os planetas são mantidos em órbitas em torno do Sol por conta não somente da força existente entre o Sol e os planetas, mas também da força mútua que existe entre todos os corpos presentes no Sistema Solar.

Porém, é importante ressaltar que, por conta da elevada massa do Sol, a força que esse corpo exerce sobre os demais tem maior importância na definição da órbita que estes desenvolvem. É por isso que os corpos solares têm sua órbita em torno do Sol.

8. D

De acordo com a lei de Newton da gravitação, a força gravitacional (ou peso) é dada por:

$$F_g = G \frac{M \cdot m}{d^2}$$

Estando a espaçonave sempre na superfície da estrela, à medida que esta colapsa, a distância da espaçonave ao centro dela diminui. Portanto, como a força é inversamente proporcional ao quadrado dessa distância, ela aumenta com o inverso do quadrado da última. Assim, se a distância for reduzida pela metade, o peso aumenta quatro vezes.

$$9. F_g = \frac{G \cdot M \cdot m}{d^2} \Rightarrow G = \frac{F \cdot d^2}{M \cdot m} \Rightarrow [G] = \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2}$$

10. A

As forças exercidas pelos dois planetas sobre o ponto P são iguais em módulo, portanto: $F_{13} = F_{23}$.

Usando a lei da gravitação de Newton:

$$F_{13} = \frac{G \cdot m_1 \cdot m_3}{(D/3)^2} \text{ e } F_{23} = \frac{G \cdot m_2 \cdot m_3}{(2D/3)^2}$$

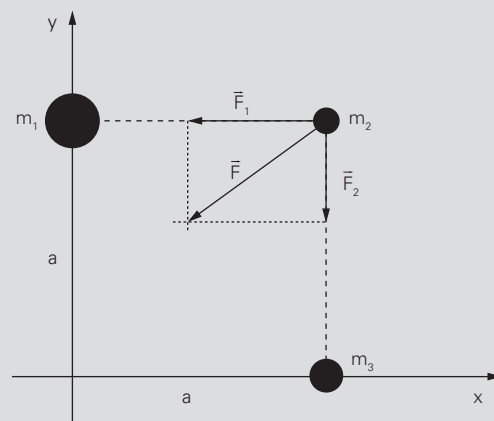
Igualando e simplificando:

$$\frac{G \cdot m_1 \cdot m_3}{(D/3)^2} = \frac{G \cdot m_2 \cdot m_3}{(2D/3)^2} \Rightarrow \frac{m_1}{D^2/9} = \frac{m_2}{4D^2/9}$$

$$\therefore \frac{m_1}{m_2} = \frac{1}{4}$$

11. A

A figura mostra as forças gravitacionais atuantes no corpo de massa m_2 , bem como a resultante dessas forças:



Calculando as intensidades dessas forças pela lei de Newton da gravitação:

$$F = \frac{GMm}{d^2} \left\{ \begin{array}{l} F_1 = \frac{G \cdot (4m) \cdot (2m)}{a^2} = \frac{8 \cdot Gm^2}{a^2} \\ F_2 = \frac{G \cdot (3m) \cdot (2m)}{a^2} = \frac{6 \cdot G \cdot m^2}{a^2} \end{array} \right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F^2 = F_1^2 + F_2^2 = \frac{64 \cdot G^2 \cdot m^4}{a^4} + \frac{36 \cdot G^2 \cdot m^4}{a^4} \Rightarrow$$

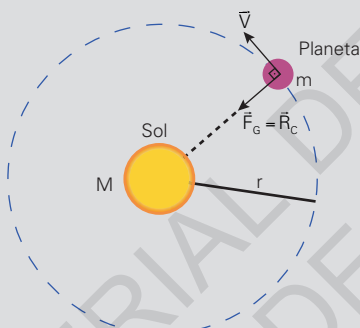
$$\Rightarrow F = \sqrt{\frac{100 \cdot G^2 \cdot m^4}{a^4}} \Rightarrow \boxed{F = \frac{10 \cdot G \cdot m^2}{a^2}}$$

12. B

Fazendo a razão entre as expressões das duas forças, vem:

$$\left\{ \begin{array}{l} F_e = \frac{k \cdot Q^2}{d^2} \\ F_g = \frac{G \cdot m^2}{d^2} \end{array} \right\} \frac{F_e}{F_g} = \frac{k \cdot Q^2}{d^2} \cdot \frac{d^2}{G \cdot m^2} \Rightarrow \boxed{\frac{F_e}{F_g} = \frac{k \cdot Q^2}{G \cdot m^2}}$$

13.



Na figura:

M: massa do Sol;

m: massa do planeta;

r: raio da órbita;

\vec{V} : velocidade orbital do planeta;

\vec{F}_G : força gravitacional;

\vec{R}_C : resultante centrípeta.

Lembremos que a 3ª lei de Kepler afirma que: “o quadrado do período de translação (T) do planeta é diretamente proporcional ao cubo do raio de sua órbita: $T^2 = k \cdot r^3$ ”.

Como o movimento é circular uniforme, a força gravitacional comporta-se como resultante centrípeta. Assim:

$$F_G = R_C \Rightarrow \frac{G \cdot M \cdot m}{r^2} = \frac{m \cdot v^2}{r} \Rightarrow v^2 = \frac{G \cdot M}{r} \quad (\text{equação 1})$$

$$\text{Mas: } v = \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{T} \Rightarrow v^2 = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot r^2}{T^2} \quad (\text{equação 2})$$

Substituindo (2) em (1), vem:

$$\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot r^2}{T^2} = \frac{G \cdot M}{r} \Rightarrow \frac{r^3}{T^2} = \frac{G \cdot M}{4 \cdot \pi^2} \Rightarrow T^2 = \frac{4 \cdot \pi^2}{G \cdot M} r^3$$

Ora, G, M e π são todos constantes. Então:

$$\frac{4 \cdot \pi^2}{G \cdot M} = k \text{ (constante)}. \text{ Assim:}$$

$$T^2 = k \cdot r^3.$$

14. B

A força de atração gravitacional entre os corpos é igual à resultante centrípeta. Portanto:

$$F_g = F_{cp} \\ \frac{G \cdot M \cdot M}{D^2} = M \cdot \omega^2 \cdot R$$

$$\frac{G \cdot M^2}{D^2} = M \cdot \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 \cdot \frac{D}{2}$$

$$\frac{G \cdot M^2}{D^2} = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot M \cdot D}{2 \cdot T^2}$$

$$\therefore G \cdot M \cdot T^2 = 2 \cdot \pi^2 \cdot D^3$$

No MCU, a velocidade linear dos corpos é tangencial à trajetória, com módulo constante, mas com direção variável no tempo. A velocidade angular é constante e a energia cinética se conserva.

15. 09 (01 + 08)

[01] Verdadeira.

$$1 \text{ ano-luz} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} \cdot 365 \text{ dias} \cdot \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ dia}} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}}$$

$$\therefore 1 \text{ ano-luz} \approx 9,5 \cdot 10^{15} \text{ m} = 9,5 \cdot 10^{12} \text{ km}$$

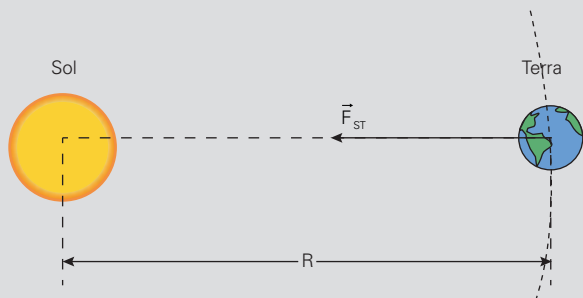
[02] Falsa. As leis da física, assim como servem para descrever o nosso Sistema Solar, também servem para descrever qualquer outro sistema planetário externo.

[04] Falsa. O correto é justamente o contrário. No afélio, o planeta está mais afastado da estrela, tendo sua velocidade orbital menor; já no

periélio, a órbita é mais próxima da estrela e sua velocidade orbital é maior.

[08] Verdadeira. Em muitos casos de estrelas extremamente massivas, a translação em torno do centro de massa é praticamente imperceptível, pois em situações extremas o centro de massa se encontra em um ponto dentro da própria estrela.

16. a) A força que o satélite exerce sobre a Terra é desprezível. Então, a resultante centrípeta sobre a Terra é a força gravitacional que o Sol exerce sobre ela, conforme indica a figura a seguir.



$$\vec{R}_{\text{cent}} = \vec{F}_{ST} \Rightarrow M_T \cdot \omega_T^2 \cdot R = \frac{G \cdot M_S \cdot M_T}{R^2} \Rightarrow$$

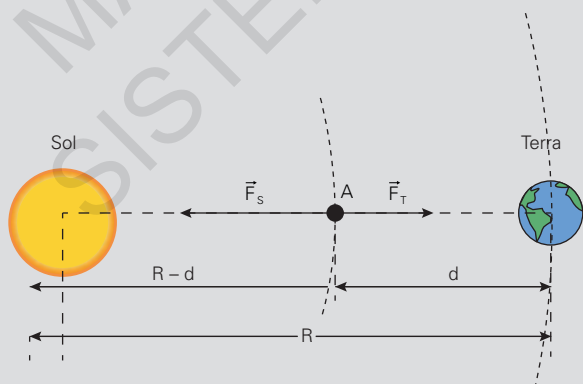
$$\Rightarrow \omega_T^2 = \frac{G \cdot M_S}{R^3} \Rightarrow \omega_T = \sqrt{\frac{G \cdot M_S}{R^3}}$$

- b) O período de translação do satélite é igual ao período de translação da Terra:

$$T_A = T_T = 1 \text{ ano} = 3,14 \cdot 10^7 \text{ s.}$$

$$\omega_A = \frac{2 \cdot \pi}{T_A} = \frac{2 \cdot 3,14}{3,14 \cdot 10^7} \Rightarrow \omega_A = 2 \cdot 10^{-7} \text{ rad/s.}$$

- c) A força resultante gravitacional sobre o satélite é a soma vetorial das forças gravitacionais que o satélite recebe do Sol e da Terra, conforme ilustra a figura a seguir.



$$F_{\text{res}} = F_S - F_T = \frac{G \cdot M_S \cdot m}{(R-d)^2} - \frac{G \cdot M_T \cdot m}{d^2} \Rightarrow$$

$$F_{\text{res}} = G \cdot m \left[\frac{M_S}{(R-d)^2} - \frac{M_T}{d^2} \right]$$

17. Pela lei da conservação da energia, tem-se:

$$E_{\text{mec}}^i = E_{\text{mec}}^f$$

$$E_c^i + E_p^i = E_c^f + E_p^f$$

$$\frac{m \cdot v^2}{2} + \left(-\frac{G \cdot M \cdot m}{R^2}\right) = 0 + 0$$

$$\frac{1}{2} m \cdot v_e^2 = \frac{G \cdot m \cdot M}{R} \Rightarrow R = \frac{2 \cdot G \cdot M}{v_e^2}$$

Como a velocidade de escape corresponde à velocidade da luz, c , temos para a massa do buraco negro:

$$M = \frac{R \cdot c^2}{2 \cdot G}$$

Pelo volume da esfera:

$$V = \frac{4 \cdot \pi}{3} R^3 \text{ (volume máximo)}$$

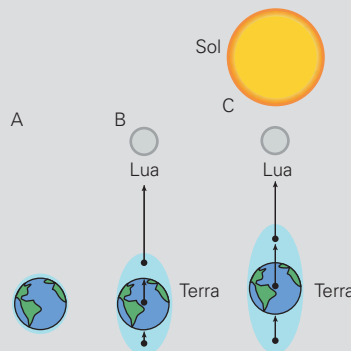
A densidade mínima do buraco negro será:

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{3 \cdot c^2}{8 \cdot \pi \cdot G \cdot R^2}$$

Estudo para o Enem

18. C

As marés ocorrem por conta das forças gravitacionais de atração entre a Terra e a Lua e entre a Terra e o Sol. Portanto, quando os centros desses astros estão sobre a mesma linha, nos pontos da superfície da Terra que estão sobre essa linha a maré é ainda mais alta, sendo mais baixa nos pontos a 90° .



Ação das marés, mostrada de maneira exagerada para melhor entendimento.

A – situação isopotencial (sem maré); B – maré lunar; C – maré lunissolar.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes.

19. E

Quando a força resultante tem a mesma direção da velocidade, o movimento é retilíneo, podendo ser acelerado ou retardado, de acordo com os sentidos de ambas as grandezas.

No trecho em que o movimento é curvilíneo, há a componente centrípeta, não tendo a força resultante a mesma direção da velocidade.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes.

20. B

A intensidade da força de atração gravitacional é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre a Terra e o satélite. Como as órbitas são circulares, a distância para cada satélite é constante, sendo também constante a intensidade da força gravitacional sobre cada um. Como as massas são iguais, o satélite mais distante sofre força de menor intensidade.

Assim: $F_A < F_B < F_C < F_D < F_E$.

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO
SISTEMA DE ENSINO

48 CAMPO GRAVITACIONAL E MOVIMENTO DE SATÉLITES

Comentário sobre o módulo

Neste momento do curso, foi discutido o conceito de campo gravitacional e definida a relação que possibilita o cálculo de sua intensidade em qualquer ponto do espaço. A cinemática e a dinâmica dos satélites foram estudadas, além de apresentadas as características inerentes àqueles do tipo geoestacionário.

Para ir além

- Excelentes simulações para visualizar as características do movimento planetário e de satélites.

https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/gravity-and-orbits

https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/my-solar-system

- Jogo didático que permite a compreensão dos efeitos do campo gravitacional.

https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/lunar-lander

- TED-Ed: A gravidade e o corpo humano.

<https://www.youtube.com/watch?v=7CuYx9mZCQA>

- TED-Ed: Como seu smartphone sabe exatamente onde você está? – Wilton L. Virgo.

<https://www.youtube.com/watch?v=70cDSUI4XKE>

Acessos em: jan. 2019.

Exercícios propostos

7. B

$$F = \frac{m \cdot G \cdot M}{d^2}$$

$$F = m \cdot a$$

$$m \cdot a = \frac{m \cdot G \cdot M}{d^2} \Rightarrow \frac{m \cdot a}{m} = \frac{m \cdot G \cdot M}{m \cdot d^2} \Rightarrow a = \frac{G \cdot M}{d^2}$$

Onde,

$$a = g \therefore g = \frac{G \cdot M}{d^2}$$

8. 12 (04 + 08)

[01] Falso. Estando um corpo em queda livre, ele estará sob a ação da aceleração da gravidade e descreverá um movimento uniformemente variado.

[02] Falso. O tempo de queda em que não há resistência do ar independe da massa ou da geometria do objeto.

[04] Verdadeiro. Descrição correta de acordo com o item [01].

[08] Verdadeiro. Com a velocidade contrária à

aceleração de 10 m/s², o corpo descreve um movimento retardado e perde velocidade a uma taxa de 10 m/s.

[16] Falso. A aceleração da gravidade é inversamente proporcional à distância do corpo ao centro da Terra. Portanto, quanto mais próximo o corpo da Terra, maior será a influência da gravidade sobre ele.

9. D

Análise das alternativas falsas:

[A] Falsa. A força resultante é o peso do satélite ou a força de atração gravitacional.

[B] Falsa. Mesmo que reduzida, existe gravidade nessa altitude em relação à Terra.

[C] Falsa. É a velocidade orbital que mantém o satélite na posição geoestacionária, que é calculada para que o período do movimento circular seja de 24 h.

[E] Falsa. O peso é reduzido por conta da redução da aceleração da gravidade, de acordo com Newton, mas não é zero.

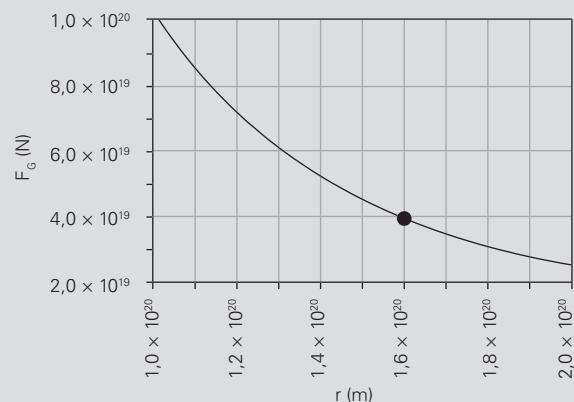
10. B

A velocidade orbital é dada pela igualdade da força gravitacional e da componente centrípeta:

$$F_c = F_g \Rightarrow m \cdot \omega^2 \cdot r = \frac{G \cdot M \cdot m}{r^2} \therefore \omega = \sqrt{\frac{G \cdot M}{r^3}}$$

Assim, para a mesma altura, ou seja, para o mesmo raio r , a velocidade angular não depende da massa do satélite, sendo a mesma para os dois casos. Se houvesse alteração da altitude para os dois casos, haveria diferença na velocidade angular orbital.

11. a) Observe o gráfico a seguir.



O ponto assinalado mostra que, para $r = 1,6 \cdot 10^{20}$ m, a força de interação é:

$$F = 4,0 \cdot 10^{19} \text{ N.}$$

$$\text{Como foi dito no texto, } F = \frac{G \cdot M \cdot m}{r^2} \rightarrow M = \frac{F \cdot r^2}{G \cdot m}$$

$$M = \frac{4,0 \cdot 10^{19} \cdot (1,6 \cdot 10^{20})^2}{6,7 \cdot 10^{-11} \cdot 1,0 \cdot 10^{30}} \cong 1,5 \cdot 10^{40} \text{ kg}$$

b) A força de atração é a centrípeta.

$$F_a = F_c \rightarrow F_a = m \frac{V^2}{r} \rightarrow V^2 = \frac{r \cdot F_a}{m} = \frac{1,6 \cdot 10^{20} \cdot 4,0 \cdot 10^{19}}{1,0 \cdot 10^{30}} = 64 \cdot 10^8$$

$$V = 8,0 \cdot 10^4 \text{ m/s}$$

12. B

Verdadeira. Fazendo a razão entre as forças gravitacionais colocando os dados em função da Terra, temos:

$$\frac{F_p}{F_T} = \frac{2 \cdot M_T}{(0,5 \cdot R_T)^2} \Rightarrow \frac{F_p}{F_T} = 8$$

Verdadeira. Fazendo a razão entre as forças gravitacionais dos planetas e de suas estrelas usando a referência da Terra:

$$\frac{F_{PE}}{F_{TS}} = \frac{2M_S \cdot 2M_T}{(3 \cdot R)^2} \Rightarrow \frac{F_{PE}}{F_{TS}} = \frac{4}{9}$$

Falsa. Na primeira afirmativa já calculamos essa razão.

Verdadeira. A velocidade orbital quando aproximada a uma trajetória circular nos fornece a seguinte expressão:

$v = \sqrt{\frac{G \cdot M}{R}}$, onde G é a constante de gravitação universal, M é a massa da estrela, R é a distância entre os centros de massa e v é a velocidade orbital.

Logo, fazendo a razão entre as velocidades orbitais da Terra e do planeta P, temos:

$$\frac{v_P}{v_T} = \sqrt{\frac{2M_S / 3R}{M_S / R}} \therefore \frac{v_P}{v_T} = \sqrt{\frac{2}{3}}$$

Falsa. Na segunda afirmativa já foi feito o cálculo.

13. C

Para diminuir o peso desse objeto, deveríamos diminuir o campo gravitacional terrestre (g). Analisando a expressão, vejamos o que aconteceria se aumentássemos o raio e diminuíssemos a massa na mesma proporção. Sendo k esse fator, temos:

$$\left\{ \begin{array}{l} g = \frac{G \cdot M}{R^2} \\ g' = \frac{G \left(\frac{M}{k} \right)}{(k \cdot R)^2} \Rightarrow g' = \frac{G \cdot M}{k^3 \cdot R^2} \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{g'}{g} = \frac{G \cdot M}{k^3 \cdot R^2} \cdot \frac{R^2}{G \cdot M} \Rightarrow \Rightarrow g' = \frac{g}{k^3}$$

O peso diminuiria, ficando dividido pelo cubo desse fator.

14. D

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Na superfície: } g_T = \frac{G \cdot M}{R_T^2} \\ \text{Na espaçonave: } g = \frac{G \cdot M}{(R_T + h)^2} \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{g}{g_T} = \frac{G \cdot M}{(R_T + h)^2} \cdot \frac{R_T^2}{G \cdot M} \Rightarrow g = g_T \left(\frac{R_T}{R_T + h} \right)^2$$

15. 84 (04 + 16 + 64)

[01] Falsa. A velocidade linear varia com o raio, portanto, é a velocidade angular da estação e da superfície da Terra que seriam iguais.

[02] Falsa. A atração gravitacional na estação espacial seria equivalente a 0,04 g, portanto, ainda teríamos a sensação de imponderabilidade, mas com a gravidade reduzida.

[04] Verdadeira. A velocidade angular seria a mesma, pois o local da Terra onde o cabo estivesse ancorado faria uma volta completa em sua rotação no mesmo tempo da estação espacial.

[08] Falsa. À medida que o carro subisse no cabo da Terra rumo à estação, mesmo que com velocidade de subida constante, a velocidade final seria a soma vetorial com a velocidade linear que aumenta com a altura. Com isso, a velocidade resultante também aumentaria.

[16] Verdadeira. Como as velocidades angulares da estação espacial e da superfície da Terra são iguais, os períodos e as frequências de rotação de ambos serão iguais entre si.

[32] Falsa. A força responsável em manter a estação em órbita é a força centrípeta por conta do peso.

[64] Verdadeira. Considerando o raio da Terra de aproximadamente 6 400 m, então a altura da estação equivale, em raios da Terra, a:

$$h(R_T) = \frac{96000}{6400} = 15 R_T$$

Como o peso equivale à força gravitacional:

$$P = F_g \Rightarrow m \cdot g = \frac{G \cdot M \cdot m}{d^2} \Rightarrow g = \frac{G \cdot M}{(R_T + 15 \cdot R_T)^2}$$

$$g = \frac{G \cdot M}{(16 \cdot R_T)^2} \Rightarrow g = \frac{G \cdot M}{256(R_T)^2} \therefore g_{\text{est.}} = \frac{g_{\text{sup.}}}{256} \approx 0,04 g_{\text{sup.}}$$

Logo, a aceleração da gravidade sentida na estação espacial seria aproximadamente 4% da aceleração da gravidade da superfície da Terra.

16. a) Do enunciado, temos:

$$\text{Echo: } T_1 = 24 \text{ h e } R_1 = 4\,200 \text{ km}$$

$$\text{Sky: } R_2 = 6\,500 \text{ km} + 500 \text{ km} = 7\,000 \text{ km}$$

$$v = \sqrt{\frac{G \cdot M}{R}}$$

Assim, a razão das velocidades é dada por:

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{\sqrt{\frac{G \cdot M}{R_2}}}{\sqrt{\frac{G \cdot M}{R_1}}} \rightarrow \frac{v_2}{v_1} = \frac{\sqrt{R_1}}{\sqrt{R_2}} \rightarrow \frac{v_2}{v_1} = \frac{\sqrt{4\,200}}{\sqrt{7\,000}} = \sqrt{6}$$

b) O valor do período T_2 dos satélites SkySats, em horas, será:

$$\begin{aligned} \frac{T_1^2}{R_1^3} &= \frac{T_2^2}{R_2^3} \Rightarrow \frac{24^2}{4\,200^3} = \frac{T_2^2}{7\,000^3} \therefore T_2 = \\ &= \sqrt{\frac{24^2 \cdot 7\,000^3}{4\,200^3}} \therefore T_2 = 51,63 \text{ h} \end{aligned}$$

17. D

Dados:

$$R = 6 \cdot 10^3 \text{ km} = 6 \cdot 10^6 \text{ m}; h = 720 \text{ km} = 0,72 \cdot 10^6 \text{ m};$$

$$M = 6 \cdot 10^{24} \text{ kg}; G = 6,7 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg} \cdot \text{s}^2.$$

Como a órbita é circular, a gravidade tem a função de aceleração centrípeta.

$$a_c = g \Rightarrow \frac{v^2}{R+h} = \frac{G \cdot M}{(R+h)^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v = \sqrt{\frac{G \cdot M}{R+h}} = \sqrt{\frac{6,7 \cdot 10^{-11} \cdot 6 \cdot 10^{24}}{6 \cdot 10^6 + 0,72 \cdot 10^6}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v = \sqrt{\frac{6,7 \cdot 10^{-11} \cdot 6 \cdot 10^{24}}{6,72 \cdot 10^6}} = \sqrt{60 \cdot 10^6} \cong 7,7 \cdot 10^3 \text{ m/s} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{v = 7,7 \text{ km/s.}}$$

Estudo para o Enem

18. B

A expressão renascentista nos remete à Idade Moderna, momento em que uma nova visão de mundo se desenvolveu ao mesmo tempo que a burguesia e o comércio estavam em expansão. A cultura renascentista resgatava valores greco-romanos, em contraposição à visão medieval ainda predominante na sociedade, e, dessa maneira, revalorizou a razão, estimulando a reflexão e o senso crítico, com novas descobertas científicas, assim como uma nova arte, que refletia não apenas a adoção de novas técnicas, mas a valorização do ser humano e de sua vida cotidiana.

Competência: Compreender a arte como saber cultural e estético gerador de significação e integrador da organização do mundo e da própria identidade.

Habilidade: Reconhecer diferentes funções da arte, do trabalho da produção dos artistas em seus meios culturais.

19. B

Sendo r o raio médio da órbita e T o período de translação do planeta, analisando a 3ª lei de Kepler:

$$\frac{T_{\text{Vênus}}^2}{r_{\text{Vênus}}^3} = \frac{T_{\text{Terra}}^2}{r_{\text{Terra}}^3}$$

Sendo o raio médio da órbita de Vênus menor que o da Terra, o período de translação de Vênus é menor que o da Terra; logo, a frequência é maior.

– a velocidade angular é: $\omega = \frac{2 \cdot \pi}{T}$. Como Vênus tem menor período, sua velocidade angular é maior.

– Para analisar a velocidade linear (v), aproximando as órbitas como circulares, a força gravitacional age como resultante centrípeta. Sendo m a massa do planeta e M a massa do Sol:

$$R_{\text{Cent}} = F_{\text{Grav}} \Rightarrow \frac{m \cdot v^2}{r} = \frac{G \cdot M \cdot m}{r^2} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{G \cdot M}{r}}$$

Sendo o raio médio da órbita de Vênus menor que o da Terra, Vênus tem maior velocidade linear que a Terra.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes.

20. D

A força gravitacional age como resultante centrípeta. Seja M a massa do buraco negro e m massa do objeto orbitante. Combinando a lei de Newton da gravitação com a expressão da velocidade para o movimento circular uniforme, vem:

$$\left\{ \begin{array}{l} v = \frac{\Delta S}{\Delta t} \Rightarrow v = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{T} \\ \frac{G \cdot M \cdot m}{R^2} = \frac{m \cdot v^2}{R} \Rightarrow M = \frac{R}{G} v^2 \end{array} \right\} \Rightarrow M = \frac{R}{G} \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot R}{T} \right)^2 =$$

$$= \frac{R}{G} \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot R^2}{T^2} \Rightarrow \boxed{M = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot R^3}{G \cdot T^2}}$$

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

49 EQUILÍBRIO DE PONTO MATERIAL

Comentário sobre o módulo

Após definidos os conceitos de ponto material e de corpo extenso, a partir da 1ª lei de Newton discute-se a condição de equilíbrio (translacional) para pontos materiais. Foram apresentados os tipos de equilíbrio: estável, instável e indiferente. Por serem importantes, foram lembradas algumas ferramentas e características do cálculo vetorial.

Para ir além

- Aplique a soma vetorial no simulador do link a seguir.

https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/vector-addition

- TED Talk – Tom Shannon e a sua escultura que desafia a gravidade.

https://www.ted.com/talks/tom_shannon_s_magnetic_sculpture/transcript?embed=true&language=pt#t-660189

- Observe no vídeo demonstrativo do link a seguir a trajetória descrita pelo centro de massa de corpos lançados obliquamente.

<https://www.youtube.com/watch?v=DY3LYQv22qY&t=3s>

Acessos em: fev. 2019.

Exercícios propostos

7. B

Como a trajetória é retilínea e a velocidade é constante, trata-se de movimento retilíneo e uniforme. Ora, o princípio da inércia afirma que, nesse caso, a resultante das forças tem que ser nula. Assim, as forças opostas (\vec{P} e \vec{E}) e (\vec{M} e \vec{R}) devem ter suas setas representativas de mesmo comprimento, pois $P = E$ e $R = M$.

8. C

O enunciado não forneceu a massa do equipamento; portanto, seu peso será desprezado. Serão também desconsideradas as forças de interação entre as costas da pessoa e o encosto do equipamento, como também eventuais atritos entre a pessoa e o assento.

Além disso, é pedido o módulo da força exercida pela **perna** (no singular). Será calculado o módulo da força exercida pelas **pernas** da pessoa.

Pelo princípio da ação e reação, a intensidade da força exercida pelas pernas da pessoa sobre o apoio do equipamento tem mesma intensidade que a da força que o apoio exerce sobre suas pernas, em sentido oposto.

Considerando a pessoa como ponto material, têm-se as três forças agindo sobre ela (Fig. 1). Como ela está em repouso, pelo princípio da inércia, a resultante dessas forças é nula. Usando a regra da poligonal, essas três forças formam um triângulo retângulo (Fig. 2).

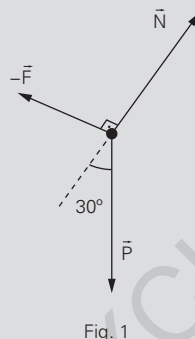


Fig. 1

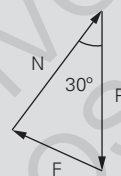
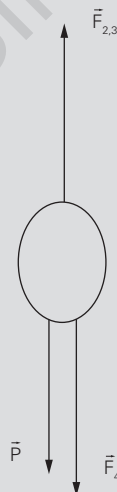


Fig. 2

Na Fig. 2:

$$(A_{\text{máx}}) \cdot \lim_{x \rightarrow \infty}$$

9. a) O diagrama mostra as forças atuantes no terceiro elo.



$\vec{F}_{2,3}$: força do 2º elo no 3º.

$\vec{F}_{4,3}$: força do 4º elo no 3º.

\vec{P} : peso do 3º elo.

- b) Dados: $m = 200 \text{ g} = 0,2 \text{ kg}$

Considerando $g = 10 \text{ m/s}^2$, temos:

$$P = m \cdot g = 0,2(10) \Rightarrow P = 2 \text{ N};$$

$$F_{43} = 2P = 4 \text{ N};$$

$$F_{23} = 3P = 6 \text{ N}.$$

10. $P = m \cdot g$

$$P = 100 \cdot 10$$

$$P = 1000 \text{ N}$$

$$T_{BC} \cdot \sin 30^\circ = 1000 \Rightarrow$$

$$T_{BC} \cdot 0,5 = 1000 \Rightarrow$$

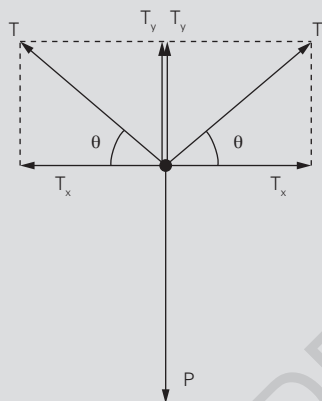
$$T_{BC} = \frac{1000}{0,5} \Rightarrow T_{BC} = 2000 \text{ N}$$

$$T_{BC} \cdot \cos 30^\circ = T_{AB} \Rightarrow$$

$$2000 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = T_{AB} \Rightarrow T_{AB} = 1000\sqrt{3} \text{ N}$$

11. A

Analisemos a figura a seguir, que mostra as forças que atuam no bloco.



Na horizontal, as componentes da tração se equilibram. Na vertical, para haver equilíbrio:

$$2T_y = P \Rightarrow 2T \sin \theta = P \Rightarrow T = \frac{P}{2 \sin \theta}$$

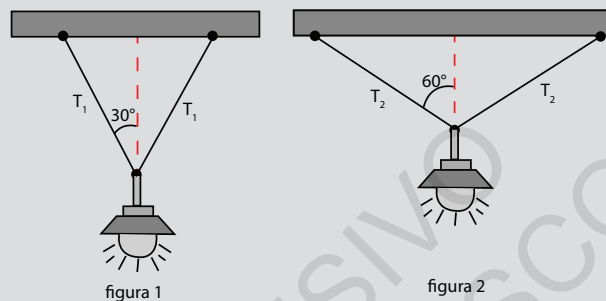
Aplicando essa expressão em cada um dos casos:

$$T = \frac{P}{2 \sin \theta} \left\{ \begin{array}{l} T_1 = \frac{P}{2 \sin 30^\circ} = \frac{P}{2 \cdot \frac{1}{2}} \Rightarrow T_1 = P \\ T_2 = \frac{P}{2 \sin 60^\circ} = \frac{P}{2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}} \Rightarrow \\ \Rightarrow T_2 = \frac{\sqrt{3}}{3} P \Rightarrow T_2 = 0,58 P \\ T_3 = \frac{P}{2 \sin 90^\circ} = \frac{P}{2} \Rightarrow T_3 = 0,5 P \end{array} \right. \Rightarrow$$

$$T_3 < T_2 < T_1$$

12. B

A figura a seguir mostra as trações nos fios em cada caso.

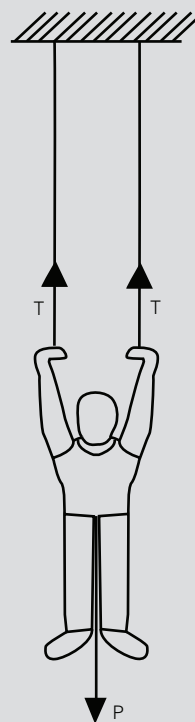


As componentes verticais das trações equilibram o peso do lustre.

$$\left. \begin{array}{l} 2T_1 \cdot \cos 30^\circ = P \\ 2T_2 \cdot \cos 60^\circ = P \end{array} \right\} \rightarrow 2T_2 \cdot \cos 60^\circ = 2T_1 \cdot \cos 30^\circ$$

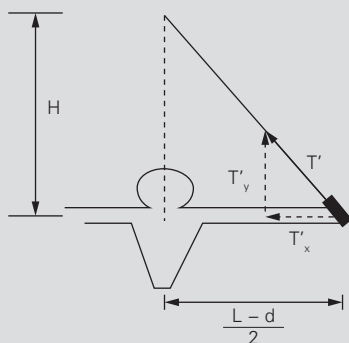
$$T_2 = 1,74T_1$$

13. a) Supondo que "braços na vertical" significa que as cordas também pairam na vertical e entendendo por "tensão" a força de tração nas cordas, temos:



$$2 \cdot T = P \rightarrow 2 \cdot T = 600 \text{ N} \rightarrow T = 300 \text{ N}$$

b) Com os braços do atleta na horizontal, temos:



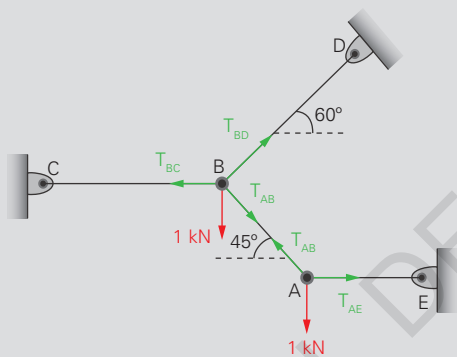
$$2 \cdot T'_y = P \rightarrow 2 \cdot T'_y = 600 \text{ N} \rightarrow T'_y = 300 \text{ N}$$

Por semelhança de triângulos, tem-se:

$$\frac{T'_y}{H} = \frac{T'_x}{\frac{L-d}{2}} \Rightarrow \frac{300}{3} = \frac{T'_x}{0,5} \Rightarrow T'_x = 50 \text{ N}$$

14. E

De acordo com o diagrama de forças a seguir:



Equilíbrio de forças no eixo vertical:

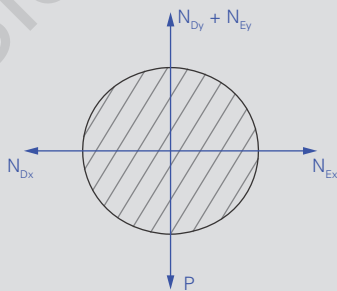
$$T_{BD} \cdot \sin 60^\circ - 1 \text{ kN} - T_{AB} \cdot \sin 45^\circ + T_{AB} \cdot \sin 45^\circ - 1 \text{ kN} = 0$$

$$T_{BD} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} - 2 \text{ kN} = 0$$

$$T_{BD} = \frac{4}{\sqrt{3}} = \frac{4\sqrt{3}}{3} \text{ kN}$$

15. C

Decompondo as forças que estão atuando na bola, temos que:



Onde,

$$N_{Dy} = N_D \cdot \sin(45^\circ) \rightarrow \text{Comp. Vertical de } N_D$$

$$N_{Ey} = N_E \cdot \sin(45^\circ) \rightarrow \text{Comp. Vertical de } N_E$$

Sabendo que, pelo ângulo formado entre os apoios DB e EA, o esforço decorrente do peso do cilindro é dividido igualmente entre eles. Dessa forma, $N_D = N_E = N$

Assim, para o equilíbrio de forças no eixo y, temos que:

$$P = N_{Dy} + N_{Ey}$$

$$1000 = (N \cdot \cos(45^\circ)) + (N \cdot \cos(45^\circ))$$

$$N = \frac{1000}{2} \cdot \frac{2}{\sqrt{2}}$$

$$N = 500\sqrt{2} \text{ N}$$

É fácil notar também que, para o equilíbrio horizontal de forças, a tração no fio deverá ser igual à componente horizontal de uma das componentes normais. Assim,

$$N_{Ex} = T$$

$$T = N \cdot \cos(45^\circ)$$

$$T = 500\sqrt{2} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$T = 500 \text{ N}$$

16. C

A mola N está submetida ao peso de uma partícula de massa m, de modo que, no equilíbrio estático da partícula, tem-se:

$$k \cdot \Delta x_N = m \cdot g \Rightarrow \Delta x_N = \frac{m \cdot g}{k} \quad (1)$$

A mola N-1, imediatamente superior à mola N, está submetida ao peso de duas partículas de massa m, de modo que:

$$\Delta x_{N-1} = \frac{(2 \cdot m) \cdot g}{k} \quad (2)$$

De maneira recorrente, pode-se concluir que, para a i-ésima mola, sua distensão será:

$$\Delta x_i = [N - (i - 1)] \frac{m \cdot g}{k} \quad (3)$$

O comprimento total da mola i será, então:

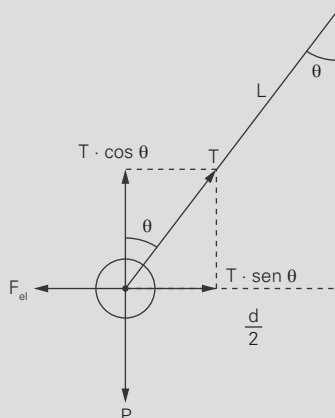
$$\ell_i = \ell + \Delta x_i = \ell + [N - (i - 1)] \frac{m \cdot g}{k} \quad (4)$$

sendo ℓ o comprimento natural da mola.

Da equação (4), conclui-se que apenas o item C está correto, pois: $\ell_3 = \ell + [N - (3 - 1)] \frac{m \cdot g}{k} = \ell + (N - 2) \frac{m \cdot g}{k}$.

17. a) O canudo eletrizado é aproximado da esfera sem que haja contato, esta é então atraída por ele por indução eletrostática, com as cargas de sinal contrário em relação às do canudo concentradas no lado próximo a ele. Em seguida, aterra-se o lado oposto da esfera, fazendo que ela perca ou receba elétrons. Após rompida a ligação, afasta-se o canudo, ficando ele e a esfera eletrizados com cargas de sinais opostos.

b) Na situação de equilíbrio, para uma das esferas, temos:



$$T \cdot \cos \theta = P$$

$$T \cdot 1 = 9 \cdot 10^{-3} \cdot 10$$

$$\therefore T = 9 \cdot 10^{-2} \text{ N}$$

c) Teremos:

$$F_{el} = T \cdot \sin \theta$$

$$\frac{k \cdot |q_1| \cdot |q_2|}{d^2} = T \cdot \sin \theta$$

$$\frac{9 \cdot 10^9 \cdot |q_2|^2}{(8 \cdot 10^{-2})^2} = 9 \cdot 10^{-2} \cdot 0,1 \quad (|q_1| = |q_2|)$$

$$\therefore |q_2| = 8 \cdot 10^{-8} \text{ C}$$

d) Teremos:

$$|q_2| = N \cdot e$$

$$8 \cdot 10^{-8} = N \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}$$

$$\therefore N = 5 \cdot 10^{11}$$

Estudo para o Enem

18. E

Ação e reação são forças de mesma intensidade, mesma direção e sentidos opostos, porém, não se equilibram pois não atuam no mesmo corpo.

Competência: Compreender as ciências naturais e as tecnologias a elas associadas como construções humanas, percebendo seus papéis nos processos de produção e no desenvolvimento econômico e social da humanidade.

Habilidade: Confrontar interpretações científicas com interpretações baseadas no senso comum, ao longo do tempo ou em diferentes culturas.

19. C

Quando a pessoa anda, aplica no solo uma força de atrito horizontal para trás. Pelo princípio da ação e reação, o solo aplica nos pés da pessoa uma reação, para a frente (no sentido do movimento), paralela ao solo.

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

20. B

A vantagem mecânica de um sistema é dada pela razão entre a força resistente e a força potente.

Na situação apresentada, a força resistente é a intensidade da força de atrito máxima ($A_{\text{máx}}$).

$$A_{\text{máx}} = \mu_e \cdot N = \mu_e \cdot m \cdot g = 0,8 \cdot 3000 \cdot 10 \Rightarrow \\ \Rightarrow \underline{A_{\text{máx}} = 24000 \text{ N.}}$$

A força potente, aplicada por Arquimedes, teve intensidade $F = 400 \text{ N}$.

A vantagem mecânica foi, então:

$$V_M = \frac{A_{\text{máx}}}{F} = \frac{24000}{400} \Rightarrow \underline{V_M = 60.}$$

Somente com a polia fixa, a vantagem mecânica é igual a 1. Para cada polia móvel acrescentada ao sistema, a vantagem mecânica é multiplicada por 2. A tabela apresenta a vantagem mecânica (V_M) em função do número de polias móveis (n).

n	V_M
1	$2^1 = 2$
2	$2^2 = 4$
3	$2^3 = 8$
\vdots	\vdots
n	2^n

Para Arquimedes ter conseguido mover o navio, a vantagem mecânica foi maior que 60.

Assim:

$2^n > 60$. Sabemos que $2^6 = 64$.

Então o número mínimo de polias móveis usadas por Arquimedes foi 6.

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

50 MOMENTO DE UMA FORÇA

Comentário sobre o módulo

Aqui foi apresentada a definição de momento de uma força (torque), bem como as grandezas que determinam sua intensidade. Ressalta-se que o braço da força, ou braço de alavanca, é a distância entre a linha de ação da força e o polo (ponto de referência); trata-se, portanto, da distância de um ponto a uma reta. Diversas aplicações cotidianas ajudam na compreensão dessa grandeza, e também de seus efeitos na rotação de estruturas.

Para ir além

- Excelente simulador para apresentar a influência da força e do braço no torque.

https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/torque

- TED-Ed: A matemática poderosa da alavanca – Andy Peterson e Zack Patterson.

<https://www.youtube.com/watch?v=YIYEi0PgG1g>

- TED-Ed: A física do “passo mais difícil” do balé – Arleen Sugano.

<https://www.youtube.com/watch?v=l5VgOdgptRg&t=21s>

Acessos em: jan. 2019.

Exercícios propostos

7. A

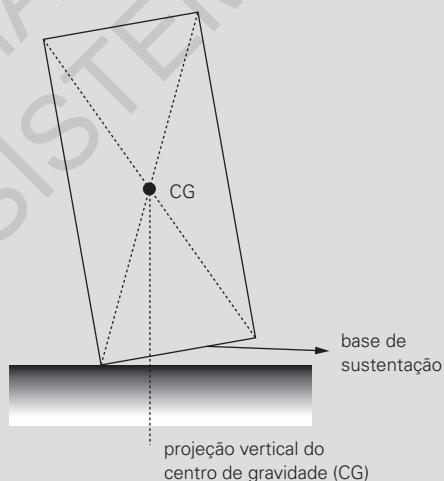
Das alternativas, a única combinação possível seria:

Utilizando a tesoura da **figura 2**, o rapaz teria que fazer uma força **menor do que** a força aplicada na tesoura da **figura 1** para produzir o mesmo torque.

8. E

Um sólido tomba quando a projeção **vertical** de seu centro de gravidade estiver fora da **base de sustentação**.

Na ilustração, o sólido não tomba.



9. B

Sabe-se que os dois garotos possuem massas iguais (consequentemente, pesos iguais) e que, em uma gangorra, a distância de cada um deles até o ponto de apoio é a mesma. Como o torque depende somente da força exercida e do braço de força (distância até o eixo de rotação), pode-se concluir que os torques são iguais.

10. D

[I] Falsa. O torque é mais efetivo quanto maior for a distância entre o ponto de aplicação da força e o eixo de rotação.

[II] Falsa. Apesar de o torque e o trabalho terem a mesma dimensão de força pela distância, essas grandezas são bastante distintas entre si. O torque é vetorial, enquanto o trabalho e a energia são grandezas escalares. Portanto, utiliza-se para a unidade do torque da força no SI o Newton-metro [N·m], enquanto para o trabalho e energia costuma-se usar o joule [J].

[III] Verdadeira.

[IV] Falsa. Não haverá rotação se a força for aplicada sobre o eixo de rotação.

11. A

Comentário: Se as placas estão dispostas em um plano horizontal, uma força de direção horizontal é qualquer força paralela a esse plano. Portanto, faltou definir o sentido dessas forças. Ao que tudo indica, essas forças horizontais são de sentido para a direita ou para a esquerda, em relação à figura dada.

Assim, sendo **k** a constante de proporcionalidade, temos:

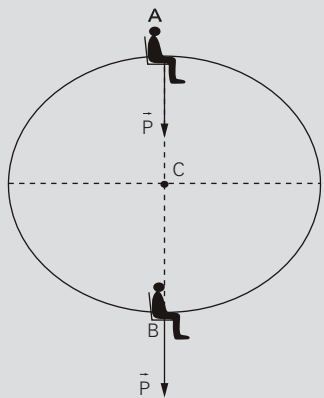
$$\alpha = k \cdot M_F \left\{ \begin{array}{l} \alpha_A = k \frac{F \cdot L}{2} \\ \alpha_B = k \cdot F \cdot L \\ \alpha_C = k \cdot F \cdot 2 \cdot L \end{array} \right\} \Rightarrow$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\alpha_A}{\alpha_C} = k \frac{F \cdot L}{2} \cdot \frac{1}{k \cdot F \cdot 2 \cdot L} \Rightarrow \alpha_C = 4 \cdot \alpha_A \\ \frac{\alpha_B}{\alpha_C} = \frac{k \cdot F \cdot L}{k \cdot F \cdot 2 \cdot L} \Rightarrow \alpha_C = 2 \cdot \alpha_B \end{array} \right\} \Rightarrow$$

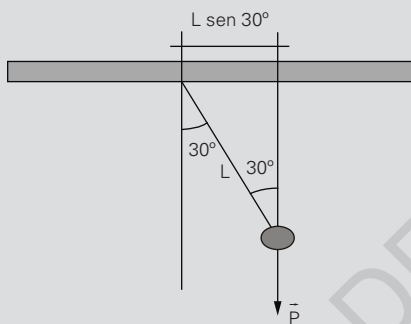
$$4 \alpha_A = 2 \alpha_B = \alpha_C$$

12. A

A figura mostra que nos pontos mais baixo e mais alto a linha de ação do peso passa pelo ponto central (C); portanto, nesses pontos, em relação ao ponto central da roda, o torque da força peso é zero.



13. Observe a figura a seguir.



O momento do peso em relação ao ponto fixo é $M = P \cdot L \sin 30^\circ = 40 \cdot 0,2 \cdot 0,5 = 4,0 \text{ N} \cdot \text{m}$.

14. B

O trabalho realizado pela força peso depende exclusivamente do desnível (h), e este é o mesmo em ambos os casos. O sistema sobre o qual a pessoa B age não apresenta incremento em sua energia cinética, e, assim sendo, o torque resultante sobre a estrutura é nulo ($\tau_{\text{pessoaB}} = -\tau_{\text{Peso}}$).

15. B

[A] Falsa. O torque (τ) gerado por F tem módulo igual a:

$$\tau = r \cdot F \cdot \sin \theta = 0,25 \text{ m} \cdot 20 \text{ N} \cdot \sin 135^\circ \therefore \tau = 2,5\sqrt{2} \text{ N} \cdot \text{m}$$

e orientação para dentro da página, perpendicular em relação ao leitor.

[B] Verdadeira.

[C] Falsa. O torque máximo é obtido quando a força é aplicada perpendicularmente sobre o cabo da ferramenta, ou seja, a 90° .

[D] Falsa. A componente da força ao longo do cabo somente é nula se o torque for máximo; assim, o ângulo deve ser perpendicular ao eixo do cabo da chave.

[E] Falsa. Nesse caso, teríamos o torque máximo.

16. a) A tração T solicitada é a força resultante entre as componentes T_V e T_H . Como essas componentes são perpendiculares entre si, o módulo da resultante pode ser encontrado pelo teorema de Pitágoras \rightarrow

$$T^2 = T_V^2 + T_H^2$$

$$\text{Sabemos que } T_H = 4 \cdot 10^6 \text{ N e que } T_V = \frac{P}{4} = 0,3 \cdot 10^7 = 3 \cdot 10^6 \text{ N}$$

Dessa forma:

$$T^2 = (4 \cdot 10^6)^2 + (3 \cdot 10^6)^2$$

$$T^2 = 16 \cdot 10^{12} + 9 \cdot 10^{12}$$

$$T^2 = 25 \cdot 10^{12}$$

$$T = \sqrt{(25 \cdot 10^{12})} = 5 \cdot 10^6 \text{ N}$$

b) O torque de uma força é o produto dessa força pelo braço de alavanca em relação a um ponto de referência. O braço de alavanca é definido como sendo a distância entre a direção da força e o ponto de referência. Como a força T_{AB} é inclinada em relação ao segmento AO, onde O é o ponto de referência, iremos apenas considerar a componente perpendicular ao segmento AO, pois o componente de direção coincidente possui torque nulo.

Assim, torque (T_{AB}) = torque ($T_{AB \text{ vertical}}$) = $T_{AB} \cdot \sin 45^\circ \cdot \text{braço de alavanca}$. O braço de alavanca entre $T_{AB \text{ vertical}}$ e o ponto O é a distância AO, d_{AO} . Então, torque da força T_{AB} = torque (T_{AB}) = $T_{AB} \cdot d_{AO} \cdot \sin 45^\circ$.

Por sua vez, a distância AO é dada por $d_{AO} = d_{AB} \cdot \cos 45^\circ = L \cdot \cos 45^\circ$.

Ficamos, então, com torque (T_{AB}) = $T_{AB} \cdot L \cdot$

$$\cdot \cos 45^\circ \cdot \sin 45^\circ = 1,8 \cdot 10^7 \cdot 50 \cdot \left(\frac{\sqrt{2}}{2}\right)^2 =$$

$$= 4,5 \cdot 10^8 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

17. a) Sendo **F** a intensidade da força entre os pares m_1 e m_2 , o momento do binário é:

$$M_F = F \cdot L \Rightarrow M_F = \frac{G \cdot m_1 \cdot m_2}{d^2} L$$

b) No equilíbrio, o torque do fio e o binário têm mesma intensidade.

$$k \cdot \theta = \frac{G \cdot m_1 \cdot m_2}{d^2} L \Rightarrow G = \frac{k \cdot \theta \cdot d^2}{m_1 \cdot m_2 \cdot L}$$

Estudo para o Enem

18. B

No caso de forças de mesma intensidade (F) aplicadas perpendicularmente nas extremidades das alavancas para os três modelos, 1, 2 e 3, temos os respectivos momentos:

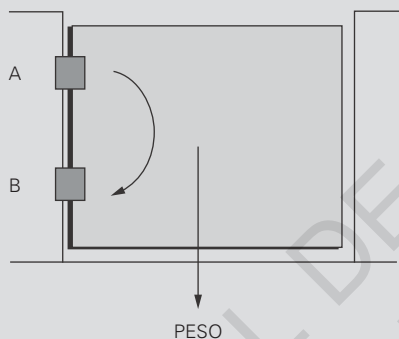
$$\left\{ \begin{array}{l} M_1 = F \cdot 40 \\ M_2 = F \cdot 30 \\ M_3 = F \cdot 25 \end{array} \right\} \Rightarrow M_1 > M_2 > M_3.$$

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar propriedades físicas, químicas ou biológicas de produtos, sistemas ou procedimentos tecnológicos às finalidades a que se destinam.

19. A

O peso do portão tende a girá-lo no sentido horário.



Isso puxa a dobradiça A, tendendo a arrancá-la, e comprime a B, tendendo a prendê-la mais na parede.

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar propriedades físicas, químicas ou biológicas de produtos, sistemas ou procedimentos tecnológicos às finalidades a que se destinam.

20. A

O torque de uma força é dado pelo produto vetorial da força pelo raio:

$\tau = R \cdot F$. O sentido é dado pela regra da mão direita, girando de \vec{R} para \vec{F} , como indicado na figura.

A intensidade do torque é: $\tau = F \cdot R \cdot \sin \theta$, sendo θ o ângulo entre \vec{R} e \vec{F} , no caso, 90° .



Assim, adotando o sentido positivo como saindo, têm-se:

$$\left\{ \begin{array}{l} \tau_{\text{aro}} = F_{\text{at}} R \\ \tau_{\text{disco}} = F_{\text{at}} r \end{array} \right\} R > r \Rightarrow \tau_{\text{aro}} > \tau_{\text{disco}} > 0.$$

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes.

51 EQUILÍBRIO ESTÁTICO DE CORPO EXTENSO

Comentário sobre o Módulo

As condições de equilíbrio estático para corpos extensos (soma das forças e dos torques igual a zero) foram discutidas neste módulo. Vale lembrar que, nesse caso, é necessário garantir tanto o equilíbrio translacional quanto o rotacional. Tais condições são aplicadas em situações-problema simples.

Para ir além

- Excelente simulador para aplicar as condições de equilíbrio para corpos extensos.

https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/balancing-act

- Torque necessário para tirar o veículo do repouso – Centro de Referência para o Ensino de Física (CREF).

<https://www.if.ufrgs.br/novocref/?contact-pergunta=torque-necessario-para-tirar-o-veiculo-do-reposo>

- Centro de gravidade do corpo humano – Centro de Referência para o Ensino de Física (CREF).

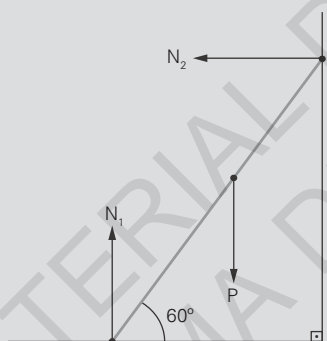
<https://www.if.ufrgs.br/novocref/?contact-pergunta=centro-de-gravidade-do-corpo-humano>

Acessos em: jan. 2019.

Exercícios propostos

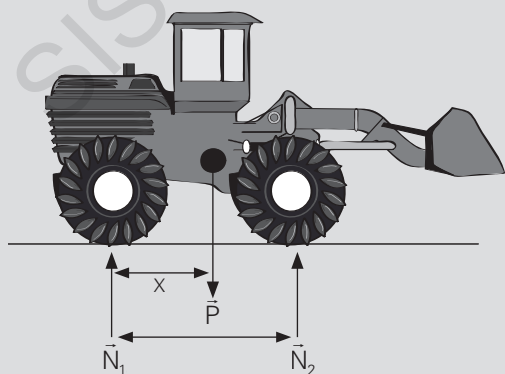
7. B

Representando as forças no sistema, temos:



Como podemos notar, as forças normais dos apoios são perpendiculares entre si.

8.



Dados: $M = 13\,000\text{ kg}$; $DE = 2,5\text{ m}$; $N_2 = 0,55P$.

Como há equilíbrio de rotação em relação ao ponto de apoio da roda traseira, o momento do peso é igual ao momento da normal na roda dianteira. Assim:

$$M_{\vec{P}} = M_{\vec{N}_2} \rightarrow P \cdot (x) = N_2 \cdot (DE) \rightarrow$$

$$P \cdot (x) = 0,55 \cdot P \cdot (DE) \rightarrow$$

$$x = 0,55 \cdot 2,5 = 1,375\text{ m}$$

$$x \cong 1,4\text{ m}$$

9. D

Dados: $m_c = 0,5\text{ kg}$; $b_c = 4\text{ cm}$; $b_p = 10\text{ cm}$.

Sendo g a aceleração da gravidade local, estando a régua em equilíbrio estático, o somatório dos momentos é igual a zero. Calculando a massa do prato:

$$m_p \cdot g \cdot b_p = m_c \cdot g \cdot b_c \Rightarrow m_p = \frac{m_c \cdot b_c}{b_p} =$$

$$= \frac{0,5 \cdot 4}{10} \Rightarrow m_p = 0,2\text{ kg.}$$

Colocando a massa $m = 1\text{ kg}$ sobre o prato e aplicando novamente a condição de o somatório dos momentos ser nulo, calculamos a nova distância b'_c do curso ao apoio.

$$(m_p + m) \cdot g \cdot b_p = m_c \cdot g \cdot b'_c \Rightarrow b'_c = \frac{(m_p + m) \cdot b_p}{m_c} =$$

$$= \frac{(0,2 + 1) \cdot 10}{0,5} \Rightarrow \boxed{b'_c = 24\text{ cm.}}$$

10. D

Volume do cubo:

$$V = (20\text{ cm})^3 = 8 \cdot 10^3\text{ cm}^3$$

Massa do cubo:

$$1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = \frac{m}{8 \cdot 10^3\text{ cm}^3} \Rightarrow m = 8 \cdot 10^3\text{ g} = 8\text{ kg}$$

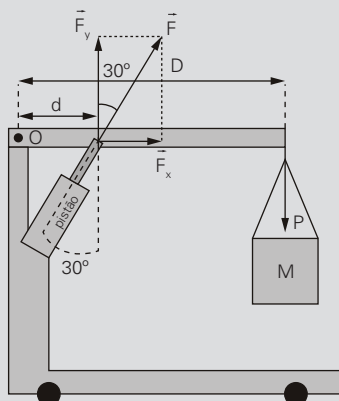
Para o equilíbrio, devemos ter:

$$F \cdot 2 = P_{\text{cubo}} \cdot 4$$

$$2 \cdot F = 80 \cdot 4$$

$$\therefore F = 160\text{ N}$$

11. a) Dados: $M = 430\text{ kg}$; $D = 2,4\text{ m}$; $d = 0,6\text{ m}$; $\sin 30^\circ = 0,5$; $\cos 30^\circ = 0,86$; $g = 10\text{ m/s}^2$.



Como o braço está em equilíbrio de rotação, o momento resultante é nulo. Assim, em relação ao ponto O, temos:

$$M_{F_y} = M_P \Rightarrow F_y \cdot d = M \cdot g \cdot D \Rightarrow F \cdot \cos 30^\circ (0,6) = 430 (10) (2,4) \Rightarrow F = \frac{10\,320}{0,6(0,86)} \Rightarrow$$

$$F = 20\,000 \text{ N.}$$

b) Dado: $F = 4,5 \text{ N}$.

Da figura dada, a superfície de contato com a madeira é um retângulo de $0,2 \text{ mm}$ por 30 mm . Então a área é:

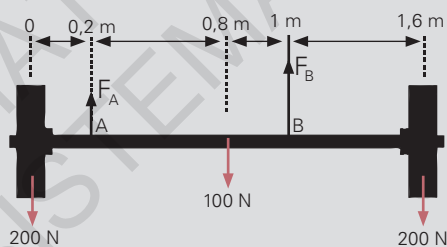
$$A = 30 (0,2) = 6 \text{ mm}^2 = 6 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2.$$

Da definição de pressão:

$$p = \frac{F}{A} = \frac{4,5}{6 \cdot 10^{-6}} \Rightarrow p = 7,5 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2.$$

12. C

De acordo com a figura a seguir, contendo as forças aplicadas e as distâncias em metros com relação ao eixo de rotação escolhido à extrema esquerda dela, temos:



Equilíbrio translacional: o somatório das forças é nulo.

$$\sum F = 0$$

$$F_A + F_B = 500 \text{ N} \quad (1)$$

Equilíbrio rotacional: o somatório dos momentos é nulo.

$$\sum M = 0 \Rightarrow \sum F \cdot d = 0$$

$$0,2 \cdot F_A - 100 \cdot 0,8 + F_B - 200 \cdot 1,6 = 0$$

$$0,2 \cdot F_A + F_B = 400 \text{ N} \quad (2)$$

Resolvendo o sistema de equações por adição, multiplicando a equação (1) por $(-0,2)$ e somando esse resultado à equação (2), fica:

$$\begin{cases} -0,2 \cdot F_A - 0,2 \cdot F_B = -100 \\ 0,2 \cdot F_A + F_B = 400 \end{cases}$$

$$0,8 \cdot F_B = 300$$

$$\Rightarrow F_B = \frac{300}{0,8} \therefore F_B = 375 \text{ N}$$

13. C

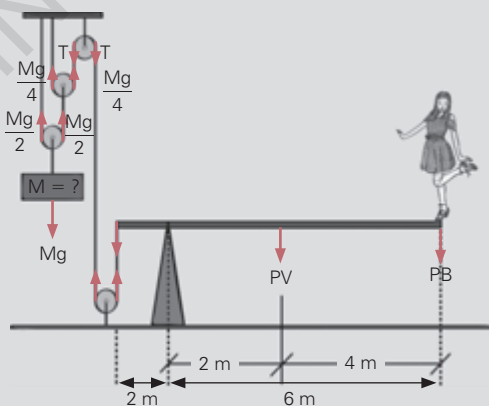
Para a viga, em equilíbrio estático, analisando o somatório dos momentos das forças capazes de provocar rotação, temos como determinar o valor da tração na corda:

$$\sum M = 0$$

$$P_B \cdot d_B + P_V \cdot d_V - T \cdot d_T = 0$$

$$500 \text{ N} \cdot 6 \text{ m} + 1\,000 \text{ N} \cdot 2 \text{ m} = T \cdot 2 \text{ m}$$

$$T = \frac{3\,000 \text{ Nm} + 2\,000 \text{ Nm}}{2 \text{ m}} \therefore T = 2\,500 \text{ N}$$



Pelo diagrama de forças, a correspondência entre a tração no sistema de polias e a massa utilizada para manter o equilíbrio estático é:

$$\frac{M \cdot g}{4} = T \Rightarrow \frac{M \cdot 10}{4} = 2\,500 \therefore M = 1\,000 \text{ kg}$$

14. D

$$y + x = 5 \Rightarrow y = 5 - x \quad (i)$$

$$\tau_{\text{horário}} = \tau_{\text{anti-horário}}$$

$$F_1 \cdot y + F_2 \cdot 2 = F_3 \cdot x$$

$$m \cdot g \cdot y + m \cdot g \cdot 2 = 3 \cdot m \cdot g \cdot x \quad (+g)$$

$$m \cdot y + 2 \cdot m = 3 \cdot m \cdot x \quad (+m)$$

$$y + 2 = 3x \quad (ii)$$

(i) em (ii)

$$5 - x + 2 = 3x$$

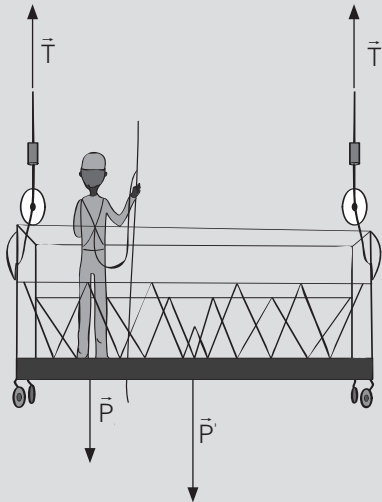
$$7 = 4x$$

$$x = \frac{7}{4}$$

15. B

Como o andaime permanece em equilíbrio, podemos afirmar que $\Sigma F = 0$ e $\Sigma M = 0$.

Analisando $\Sigma F = 0$:



\vec{P} : peso do limpador;

\vec{P}' : peso do andaime;

\vec{T} : tensão no cabo 1;

\vec{T}' : tensão no cabo 2.

$$\Sigma F = 0 \rightarrow \vec{T} + \vec{T}' + \vec{P} + \vec{P}' = 0 \rightarrow +T + T' - P - P' = 0 \rightarrow$$

$$\rightarrow T + T' = P + P'$$

$$P + P' = \text{constante} \therefore T + T' = \text{constante}$$

Condição que é satisfeita pelas alternativas A e B, apenas.

Como $T + T' = \text{constante}$, podemos concluir que o aumento da tensão no cabo 2 corresponde à mesma diminuição da tensão no cabo 1, condição essa satisfeita apenas pela alternativa B.

16. 13 (01 + 04 + 08)

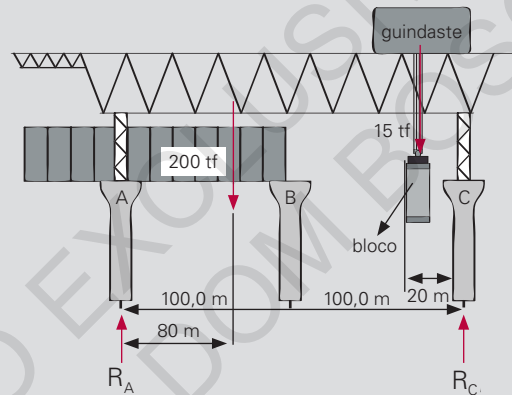
[01] Verdadeira. O equilíbrio estático de uma estrutura é atingido quando o momento e as forças resultantes são nulos.

[02] Falsa. O torque é calculado pela distância perpendicular entre o ponto de apoio (pilar A) e o ponto de aplicação (guindaste), que também é

chamado de braço de alavanca e independe da altura do bloco no guindaste, pois essa distância horizontal é a mesma para qualquer altura.

[04] Verdadeira. As reações nos pilares são maiores quanto mais próxima estiver a carga representada pelo guindaste; logo, se há aproximação em relação ao pilar A, sua reação aumenta e um afastamento em relação ao pilar C provoca uma redução da reação nesse pilar.

[08] Verdadeira. O cálculo das reações de apoio em A e C:



$$\Sigma \vec{F} = 0 \Rightarrow R_A + R_C = 215 \text{ tf} \quad (1)$$

Calculando o momento em A e usando a convenção sentido horário (-) e sentido anti-horário (+), temos:

$$\Sigma \vec{M} = 0 \Rightarrow -200 \cdot 80 - 15 \cdot 180 + R_C \cdot 200 = 0 \Rightarrow R_C =$$

$$= \frac{16000 + 2700}{200} = 93,5 \text{ tf} = 93,5 \cdot 10^4 \text{ N}$$

Substituindo R_C na equação (1):

$$R_A + 93,5 = 215 \text{ tf} \Rightarrow R_A = 215 \text{ tf} - 93,5 \text{ tf} = 121,5 \text{ tf} =$$

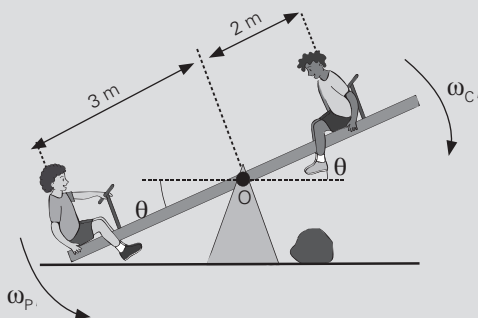
$$= 121,5 \cdot 10^4 \text{ N}$$

[16] Falsa. Neste caso, as reações seriam alteradas pelo novo apoio.

[32] Falsa. O fato de o bloco subir na vertical, em velocidade constante, não altera as configurações de forças de reação nos pilares por conta de o movimento não ter aceleração e não possuir deslocamento horizontal que afetaria os braços de alavanca e as reações.

17. Relação entre as velocidades lineares:

A figura mostra que os dois garotos sofreram o mesmo deslocamento angular (θ) em relação à posição inicial, e mostra também os raios de giro.



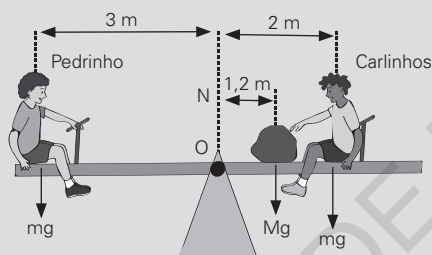
Como esses deslocamentos se deram no mesmo tempo, as velocidades angulares médias são iguais. Assim:

$$\omega_p = \omega_c \Rightarrow \frac{V_p}{R_p} = \frac{V_c}{R_c} \Rightarrow \frac{V_p}{V_c} = \frac{R_p}{R_c} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{V_p}{V_c} = \frac{3}{2} = 1,5}$$

Calculando a massa da pedra (M):

A figura mostra as forças agindo na gangorra na situação inicial de equilíbrio.



A condição de equilíbrio de rotação exige que, na gangorra, o somatório dos momentos horários seja igual ao somatório dos momentos anti-horários.

Assim, adotando o ponto O como polo, tem-se:

$$\sum^0 M_{\text{hor}} = \sum^0 M_{\text{anti-hor}} \Rightarrow M \cdot g \cdot (1,2) + m \cdot g \cdot (2) = m \cdot g \cdot (3) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow M = \frac{3 \cdot m - 2 \cdot m}{1,2} = \frac{48}{1,2} \Rightarrow$$

$$\boxed{M = 40 \text{ kg}}$$

Estudo para o Enem

18. D

[I] Incorreta. Para estar em equilíbrio de translação, a resultante das forças externas sobre o corpo deve ser nula. Assim, o centro de massa do corpo está em repouso ou em MRU.

[II] Correta. Justificada no item anterior.

[III] Correta. Para haver equilíbrio de rotação, o torque resultante das forças externas deve ser nulo.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes.

19. A

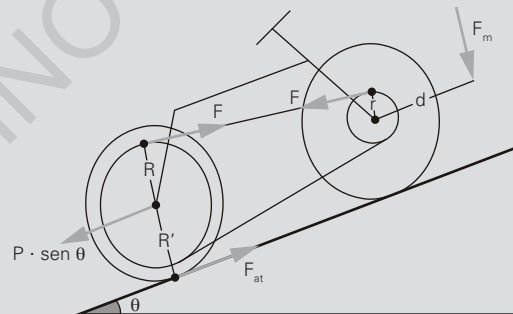
[I] Correto. Para cada coroa dianteira temos 5 opções. Sendo assim: $2 \cdot 5 = 10$ opções.

[II] Errado. A velocidade linear dos elos da corrente é constante.

Sendo assim: $\omega_T \cdot R_T = \omega_D \cdot R_D \rightarrow \omega_T = \omega_D \cdot \frac{R_D}{R_T}$.

Observe que a velocidade angular da roda traseira depende diretamente do raio da coroa dianteira e inversamente do raio da coroa traseira. Para que a velocidade atinja o maior valor, a velocidade angular da roda traseira deve ser a maior possível. Sendo assim, o raio dianteiro deve ser o maior possível e o traseiro, o menor possível.

[III] Correto. Observe a figura a seguir.



A força de atrito deve ser paralela ao plano e igual à componente do peso na mesma direção.

$$F_{\text{at}} = P \cdot \sin \theta$$

O momento produzido pela força de atrito em relação ao centro da roda deve ser compensado pelo momento da força feita pela corrente.

$$F \cdot R = F_{\text{at}} \cdot R' = P \cdot \sin \theta \cdot R' \rightarrow F = \frac{P \cdot R' \cdot \sin \theta}{R}$$

O momento produzido pela força motora exercida pelo ciclista deve ser igual ao feito pela força da corrente.

$$F_m \cdot d = Fr \rightarrow F_m = \frac{Fr}{d} = \frac{P \cdot R' \cdot \sin \theta}{d} \cdot \frac{r}{R}$$

Para que a força feita pelo ciclista seja mínima: r deve ser mínimo e R deve ser máximo.

Competência: Compreender as ciências naturais e as tecnologias a elas associadas como construções

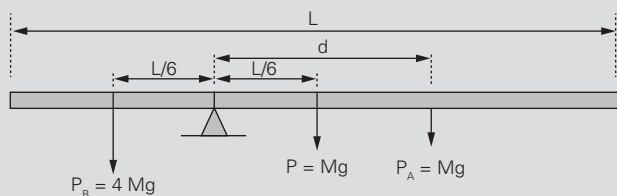
humanas, percebendo seus papéis nos processos de produção e no desenvolvimento econômico e social da humanidade.

Habilidade: Associar a solução de problemas de comunicação, transporte, saúde ou outro, com o correspondente desenvolvimento científico e tecnológico.

20. C

Na barra há seis divisões. Portanto, cada divisão corresponde a $\frac{L}{6}$.

Como a barra está em equilíbrio, o somatório dos momentos horários é igual ao somatório dos momentos anti-horários.



Sendo P_A o peso do corpo A, P o peso da barra, P_B o peso do corpo B e g a intensidade do campo gravitacional local, em relação ao ponto de apoio na cunha, temos:

$$M_{P_B} = M_P + M_{P_A} \Rightarrow P_B \frac{L}{6} = P \frac{L}{6} + P_A d \Rightarrow$$

$$4 \cdot M \cdot g \cdot \frac{L}{6} = M \cdot g \cdot \frac{L}{6} + M \cdot g \cdot d \Rightarrow d = 3 \frac{L}{6}.$$

O corpo A deve ser suspenso em três divisões à direita do apoio, ou seja, no ponto III.

Competência: Construir noções de grandezas e medidas para a compreensão da realidade e a solução de problemas do cotidiano.

Habilidade: Resolver situação-problema que envolva medidas de grandezas.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

52 TIPOS DE ALAVANCAS E APLICAÇÕES

Comentário sobre o módulo

As condições de equilíbrio estático para corpos extensos (somas das forças e dos torques iguais a zero) foram também discutidas neste módulo. Tais condições são, então, aplicadas em situações-problema mais complexas. Foram apresentadas também as estruturas fundamentais de uma alavanca (força potente, força resistente e fulcro), além de caracterizados os tipos de alavanca (interfixa, inter-resistente e interpotente).

Para ir além

- TED-Ed: Um atleta faz uso da física para quebrar recordes mundiais – Asaf Bar-Yosef.

<https://www.youtube.com/watch?v=RaGUW1d0w8g>

- As mecânicas de Galileu: as máquinas simples e a perspectiva técnica moderna – Pablo Rubén Mariconda.

<http://www.scielo.br/pdf/ss/v6n4/v6n4a06.pdf>

- Potência e torque de motores de Fórmula 1 – Centro de Referência para o Ensino de Física (CREF).

<https://www.if.ufrgs.br/novocref/?contact-pergunta=potencia-e-torque-de-motores-de-formula-1>

- A balança de Roberval e o segredo do seu mecanismo.

https://www.researchgate.net/publication/268421261_A_balanca_de_Roberval_e_o_segredo_do_seu_mecanismo

- Arquimedes, o centro de gravidade e a lei da alavanca – André Koch Torres Assis.

<https://www.ifi.unicamp.br/~assis/Arquimedes.pdf>

Acessos em: jan. 2019.

Exercícios propostos

7. D

Arthur é um corpo rígido em equilíbrio:

– Para que ele esteja em equilíbrio de translação, é necessário que a intensidade da força resultante que suas mãos aplicam nas argolas (e a da que recebem delas: ação-reação) seja a mesma que a de seu peso.

– Para que ele esteja em equilíbrio de rotação, é necessário que o torque resultante seja nulo. Como ele está sujeito a apenas duas forças, elas devem ter a mesma linha de ação, passando pelo centro de gravidade do atleta.

Analisando as alternativas e justificando as falsas:

[A] Falsa. O centro de massa do atleta está situa-

do fora de seu corpo apenas na posição 2.

[B] Falsa. Todas as posições são de equilíbrio instável.

[C] Falsa. Em todas as posições, a intensidade da força aplicada por suas mãos deve ser a mesma da do peso (equilíbrio de forças).

[D] Verdadeira.

8. C

I. Incorreta. O ponto de apoio fica na água, a força resistente é aplicada no barco e a força potente é exercida pela mão do remador. Assim, a alavanca é do tipo inter-resistente.

II. Correta.

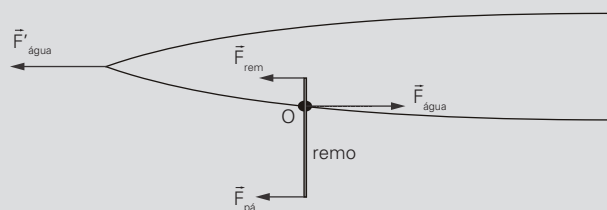
III. Correta.

IV. Correta.

Temos que considerar os remos como partes do barco; senão, a força da água sobre o barco é apenas a força de atrito entre ambos, que deve ser menor que aquela aplicada pelos remadores para que o barco possa ser acelerado a cada remada.

Façamos, então, tal consideração: a força da água no barco como sendo a força que os remos transmitem ao barco ($\vec{F}'_{\text{água}}$).

A figura mostra as forças em questão:



Considerando os remos como um sistema, agem nele três forças:

A força dos remadores (\vec{F}_{rem}), a força da água nas pás ($\vec{F}_{\text{pá}}$) e a força no ponto de fixação (O) dos remos ($\vec{F}'_{\text{água}}$).

Como o movimento do barco é uniforme ou acelerado:

$$F_{\text{água}} \geq F_{\text{rem}} + F_{\text{pá}} \Rightarrow F_{\text{água}} > F_{\text{rem}}$$

Notemos que a força transmitida ao barco é $\vec{F}'_{\text{água}}$, reação de $\vec{F}_{\text{água}}$.

9. 09 (01 + 08)

[01] Verdadeira

[02] Falsa. O item [I] é falso, pois o secador evapo-

ra a água; o [III] é correto; e o [IV] é falso pelo fato de a imagem em um espelho plano ser especular.

[04] Falsa. São corretos os itens: [III], [III], [IV] e [VI].

[08] Verdadeira. O espelho côncavo com o objeto entre o foco e o vértice contempla imagem direita, maior e virtual, e a pinça representa um exemplo de alavanca interpotente.

[16] Falsa. Nesse caso, somente o item [V] é incorreto, de acordo com o que foi justificado no item [02].

10. B

Alavanca interfixa: o fulcro fica entre as forças potente e resistente.

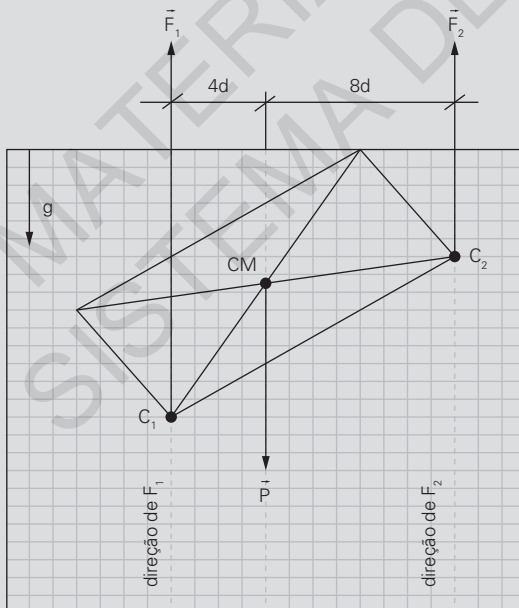
A tesoura é o exemplo clássico. Quando você vai cortar algo, a força potente é aplicada pela sua mão, a força resistente é aplicada pelo material a ser cortado e o fulcro fica entre os dois, bem perto da força resistente (é tipo uma peça que possibilita o movimento de cisalhamento da tesoura. Inclusive quando ela sai, eu apanho muito para montá-la de novo).

Alavanca inter-resistente: a força resistente fica entre o fulcro e a força potente. No quebra-nozes, o ponto de articulação fica depois do lugar onde você coloca a noz, que é a força resistente. A força potente fica antes, que é aplicada por você mesma.

11. D

O bíceps aplica a força potente e está ligado ao antebraço em uma posição que é intermediária ao cotovelo (fixação) e ao centro de massa do antebraço (o peso é a força resistente).

12. a) Observe as forças agindo no corpo.



Para haver equilíbrio é necessário que: $\sum M = 0$.

Determinando os momentos das forças em relação ao centro de massa, temos:

$$F_1 \cdot 4d - F_2 \cdot 8d = 0 \rightarrow F_1 = 2 \cdot F_2 \rightarrow R = \frac{F_1}{F_2} = 2$$

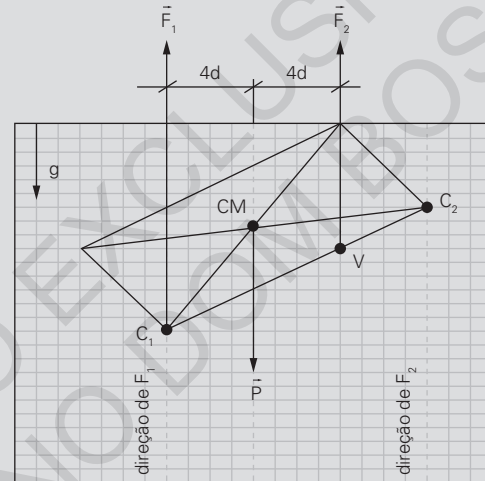
b) Para haver equilíbrio, a resultante das forças deve ser nula.

Isto é:

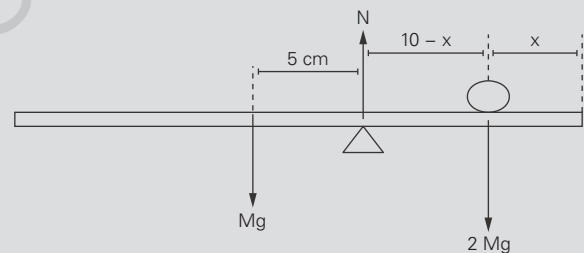
$$F_1 + F_2 - P = 0 \rightarrow 2 \cdot F_2 + F_2 = 900 \rightarrow F_2 = 300 \text{ N.}$$

$$\text{E também: } F_1 = 2 \cdot F_2 \rightarrow F_1 = 600 \text{ N.}$$

c) Para que as forças fossem iguais, os braços de alavanca deveriam ser iguais. Observe a figura.



13. D



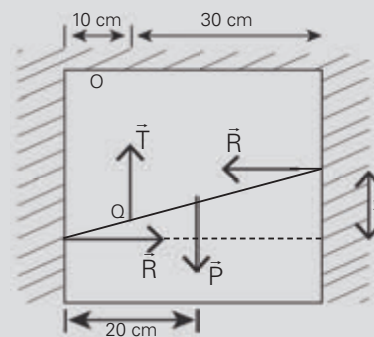
Sendo nulo o momento em relação ao apoio, temos:

$$M \cdot g \cdot 5 = 2 \cdot M \cdot g \cdot (10 - x)$$

$$2,5 = 10 - x$$

$$\therefore x = 7,5 \text{ cm}$$

14. Do equilíbrio vertical, é direta a relação $T = P$.



Sabendo que $x = 30$ cm e considerando nulo o momento total em relação ao ponto Z, tem-se:

$$T \cdot 10 + R \cdot 30 = P \cdot 20$$

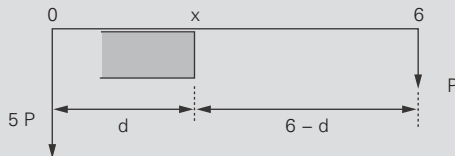
$$T \cdot 10 + R \cdot 30 = T \cdot 20$$

$$T \cdot 10 = R \cdot 30$$

$$\frac{T}{R} = 3$$

15. D

A figura representa a situação em que a régua está na iminência de tombar.



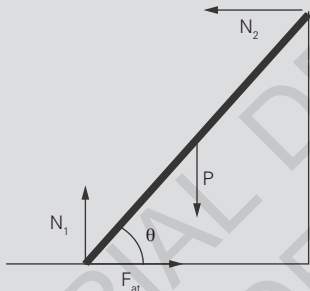
No equilíbrio:

$$M_P = M_{5P} \Rightarrow 5P \cdot d = P \cdot (6 - d) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 5d = 6 - d \Rightarrow d = 1 \Rightarrow \boxed{x = 1.}$$

16. A

Observação: o enunciado fala que a parede vertical é lisa, ou seja, não possui atrito, e que o chão é rugoso, ou seja, possui atrito.



O coeficiente de atrito estático mínimo deverá ser aquele que se manifesta quando a barra está na iminência de escorregar.

$$F_{at} = \mu_B \cdot N_1 \quad (1)$$

Como não queremos que a barra escorregue, a velocidade deverá ser nula. Se $v = 0$ m/s, pela definição de aceleração $\left(a = \frac{\Delta V}{\Delta t}\right)$, a aceleração

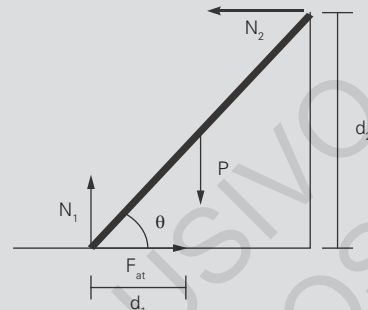
também será nula ($a = 0$ m/s²); pela 2ª lei de Newton ($F = m \cdot a$), a força resultante também o será.

$$\begin{cases} \sum F_x = 0 \\ \sum F_y = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} N_2 - F_{at} = 0 \\ N_1 - P = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} N_2 = F_{at} & (2) \\ N_1 = P & (3) \end{cases}$$

O torque resultante é nulo em torno de qualquer ponto; logo, qual ponto devemos escolher? A extremidade inferior da escada é a melhor escolha, pois duas forças são exercidas sobre esse ponto,

as quais não produzem torque em relação a ele. O torque resultante em torno dessa extremidade é:

Observação: atente que os sinais são baseados na verificação de que a força peso faria a escada girar em sentido anti-horário, enquanto a N_2 a faria girar em sentido oposto.



$$\tau_{res} = d_1 \cdot P - d_2 \cdot N_2$$

$$\tau_{res} = \frac{1}{2}(L \cdot \cos \theta) \cdot P - (L \cdot \sin \theta) \cdot N_2 = 0$$

$$\frac{1}{2}(L \cdot \cos \theta) \cdot P = (L \cdot \sin \theta) \cdot N_2$$

$$\frac{1}{2}(\cos \theta) \cdot P = (\sin \theta) \cdot N_2 \quad (4)$$

Substituindo (2) e (3) em (4), temos:

$$\frac{1}{2}(\cos \theta) \cdot N_1 = (\sin \theta) \cdot F_{at}$$

$$F_{at} = \frac{N_1 \cdot \cos \theta}{2 \cdot \sin \theta} \quad (5)$$

De (1), vem:

$$F_{at} = \mu_e \cdot N_1$$

Substituindo (1) em (5), temos:

$$\frac{N_1 \cdot \cos \theta}{2 \sin \theta} = \mu_e \cdot N_1$$

$$\frac{\cos \theta}{2 \cdot \sin \theta} = \mu_e$$

$$\mu_e = \frac{\cos \theta}{2 \cdot \sin \theta}$$

17. a) Dados: $v = 72$ km/h = 20 m/s;
 $C = 35$ MJ/L = $35 \cdot 10^6$ J/L; $\eta = 30\% = 0,3$;
 $\Delta t = 1$ h = 3600 s.

Como a velocidade é constante, a força motriz tem a mesma intensidade da força de resistência do ar. Assim, a energia útil (E_U) é igual ao trabalho realizado pela força motriz.

$$E_U = \tau_F = F \cdot \Delta S = F \cdot v \cdot \Delta t \Rightarrow$$

$$\Rightarrow E_U = 380 \cdot 20 \cdot 3600 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow E_U = 2,74 \cdot 10^7 \text{ J.}$$

Calculando a energia total (E_T):

$$\eta = \frac{E_U}{E_T} \Rightarrow E_T = \frac{E_U}{\eta} = \frac{2,74 \cdot 10^6}{0,3} \Rightarrow \\ \Rightarrow E_T = 9,12 \cdot 10^7 \text{ J.}$$

Por proporção direta, calculamos o consumo de gasolina:

$$\left\{ \begin{array}{l} 35 \cdot 10^6 \text{ J} \rightarrow 1 \text{ L} \\ 9,12 \cdot 10^7 \text{ J} \rightarrow V \end{array} \right\} \Rightarrow \\ \Rightarrow V = \frac{9,12 \cdot 10^7}{35 \cdot 10^6} \Rightarrow \boxed{V = 2,6 \text{ L.}}$$

b) Dados: $N = 2500 \text{ N}$; $R = 30 \text{ cm}$; $d = 0,3 \text{ cm}$.

O torque total em relação ao ponto O deve ser nulo. Então, quanto a esse ponto, o somatório dos momentos horários é igual ao somatório dos momentos anti-horários. Assim:

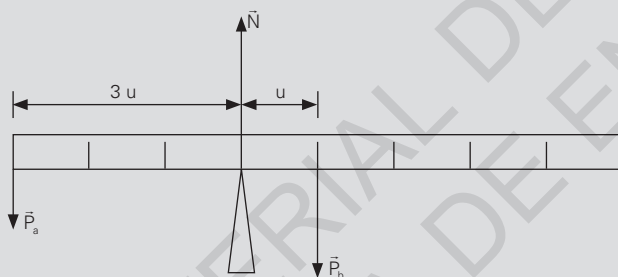
$$F_{at} \cdot R = N \cdot d \Rightarrow F_{at} = \frac{N \cdot d}{R} = \frac{2500 \cdot (0,3)}{30} = \frac{2500}{100} \Rightarrow$$

$$\boxed{F_{at} = 25 \text{ N.}}$$

Estudo para o Enem

18. E

Na barra agem as três forças mostradas na figura: o peso do saco arroz (\vec{P}_a), o peso da barra (\vec{P}_b), agindo no centro de gravidade, pois a barra é homogênea; e a normal (\vec{N}), no ponto de apoio.



Adotando o polo no ponto de apoio, chamando de u o comprimento de cada divisão e fazendo o somatório dos momentos, temos:

$$M_{\vec{P}_b} = M_{\vec{P}_a} \Rightarrow m_b \cdot g \cdot (u) = m_a \cdot g \cdot (3u) \Rightarrow \\ \Rightarrow m_b = 3 \cdot (5) \Rightarrow \boxed{m_b = 15 \text{ kg.}}$$

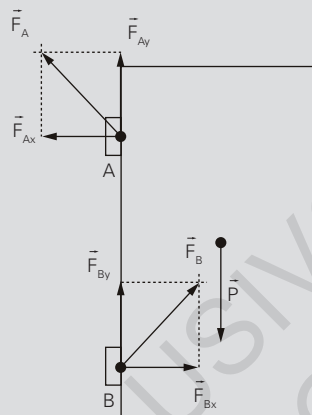
Competência: Construir noções de grandezas e medidas para a compreensão da realidade e a solução de problemas do cotidiano.

Habilidade: Resolver situação-problema que envolva medidas de grandezas.

19. D

A figura mostra as componentes horizontal e vertical das forças exercidas por dobradiça, A e B, sobre

a porta. As componentes verticais equilibram o peso, enquanto as componentes horizontais impedem o movimento de rotação no sentido horário, provocado também pela ação da força peso.

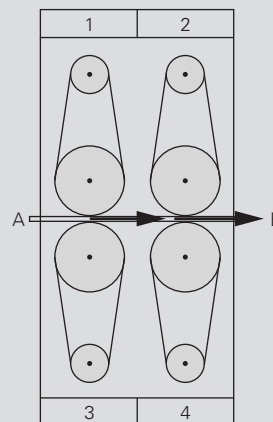


Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar propriedades físicas, químicas ou biológicas de produtos, sistemas ou procedimentos tecnológicos às finalidades a que se destinam.

20. C

A figura mostra as forças exercidas pelas polias sobre a prancha para que o movimento seja de A para B.



Portanto, 1 e 2 devem girar no sentido anti-horário, e 3 e 4, no sentido horário.

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar propriedades físicas, químicas ou biológicas de produtos, sistemas ou procedimentos tecnológicos às finalidades a que se destinam.

53 LANÇAMENTO VERTICAL

Comentário sobre o módulo

Neste módulo foi caracterizado o movimento harmônico simples. O estudo cinemático do MHS dá-se por meio da análise da projeção de um movimento circular uniforme. As funções horárias (da posição, da velocidade e da aceleração) foram deduzidas e seus termos, discutidos. Busque, em sala, trazer exemplos do cotidiano para aprofundar o aprendizado.

Para ir além

- Aplicativo que demonstra a relação entre o movimento harmônico simples de um oscilador e a onda gerada por ele.

https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/wave-on-a-string

- O oscilador harmônico simples (experimento) 2 Univesp.

<https://www.youtube.com/watch?v5BfOO1gGpMHE>

Acessos em: jan. 2019.

Exercícios propostos

21. D

O movimento harmônico simples é um movimento oscilatório sobre trajetória retilínea, em que a aceleração é diretamente proporcional à elongação. Isso ocorre apenas nas situações [III] e [IV].

22. Do gráfico tiramos que a amplitude é $A = 0,3 \text{ m}$ e que o período é $T = 2 \text{ s}$. A frequência angular (ω) é:

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi}{T} = \frac{2 \cdot \pi}{2} \Rightarrow \omega = \pi \text{ rad/s.}$$

Como em $t = 0 \Rightarrow y = 0$, devemos usar a função seno. Assim, em unidades do Sistema Internacional, a equação correspondente à elongação é:

$$y = A \cdot \text{sen}(\omega \cdot t) \Rightarrow y = 0,3 \cdot \text{sen}(\pi \cdot t).$$

23. A

A análise do gráfico nos dá que:

- O valor máximo da elongação é 2 m . A amplitude do movimento é $A = 2 \text{ m}$;
- O período do movimento é $T = 2 \text{ s}$;
- No instante $t = 0$, a partícula está no ponto de elongação máxima: $\theta_0 = 0$;
- A pulsação é: $\omega = \frac{2 \cdot \pi}{T} = \frac{2 \cdot \pi}{2} \Rightarrow \omega = \pi \text{ rad/s}$.

Substituindo esses valores na função horária da elongação para o MHS:

$$x = A \cdot \cos(\omega t + \theta_0) \Rightarrow x = 2 \cdot \cos(\pi t + 0) \Rightarrow$$

$$x = 2 \cdot \cos(\pi t).$$

24. B

I **Falsa**. A amplitude é igual a 25 cm e a posição de equilíbrio é igual a $x = -10 \text{ cm}$. Perceba que de x até x_1 e de x até x_2 a partícula se desloca 25 cm .

II **Verdadeira**. A posição de equilíbrio é o ponto que fica “no meio do caminho”, $x = \frac{-35+15}{2} \Rightarrow x = -10 \text{ cm}$, e é justamente nesse ponto que sua velocidade é máxima.

III **Verdadeira**. A velocidade instantânea é zero nos pontos onde $x = \pm A$. Esses são os pontos de retorno do movimento.

IV **Falsa**. O tempo necessário para completar um ciclo completo, ou uma oscilação, é chamado de período do movimento. Em outras palavras, 10 s foi o tempo para realizar um quarto de período; assim, um período completo é 40 s .

25. a) A partir da equação de f , temos $A = 2$.

$$b) \omega = \frac{2 \cdot \pi}{T} = 2 \cdot \pi \cdot f \Rightarrow f = \frac{5}{2 \cdot \pi} \text{ Hz}$$

26. A

Para uma tensão alternada senoidal, tem-se a seguinte equação que descreve seu comportamento em função do tempo:

$$v(t) = V_p \cdot \text{sen}(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t + \theta_0)$$

Onde,

$V_p \rightarrow$ Valor de pico

$f \rightarrow$ Frequência

$\theta_0 \rightarrow$ Fase inicial

Comparando com a equação dada na questão, pode-se concluir que:

$$V_p = 200 \cdot \sqrt{2} \text{ Volts}$$

$$f = 60 \text{ Hertz}$$

$$\theta_0 = 0^\circ$$

27. D

No movimento harmônico simples, a aceleração escalar (a) e a posição (x) estão relacionadas pela propriedade fundamental do MHS: a aceleração escalar é diretamente proporcional à posição $\Rightarrow a = -\omega^2 \cdot x$, sendo a pulsação (ω) constante.

Nessa expressão, o sinal ($-$) indica que essas grandezas têm máximos e mínimos no mesmo instante, porém, opostos. Ou seja:

$$x_{\text{máx}} \Rightarrow a_{\text{mín}} \text{ e } x_{\text{mín}} \Rightarrow a_{\text{máx}}$$

Analisando as curvas dadas, vemos que essas condições são satisfeitas pelas linhas cheia e pontilhada.

Portanto, as linhas **cheia** e **pontilhada** representam a **aceleração** e a **posição** da partícula, não necessariamente nessa ordem.

Já a velocidade da partícula pode ser representada apenas pela linha tracejada, pois nos pontos máximo e mínimo da aceleração e da posição a velocidade é nula, e nos pontos de posição e aceleração nulas a velocidade tem módulo máximo.

Assim, linha **tracejada** corresponde à **velocidade** da partícula.

Analisando, então, as proposições:

[I] **Incorreta.** A linha cheia pode representar a aceleração ou a posição, e a linha tracejada representa a velocidade da partícula.

[II] **Incorreta.** As linhas cheia e pontilhada representam, necessariamente nessa ordem, a posição e a aceleração da partícula.

[III] **Incorreta.** A linha cheia representa a posição ou a aceleração da partícula.

28. a) A distância entre dois máximos é percorrida em um período de oscilação do pêndulo.

$$v = \frac{\Delta S}{\Delta t} \rightarrow 5 = \frac{20}{T} \rightarrow T = 4,0 \text{ s}$$

b) O período de um pêndulo é dado pela expressão:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{L}{g}}$$

$$\text{Sendo assim: } \frac{T_2}{T_1} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot L}{g}}}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{L}{g}}} = 2 \rightarrow T_2 = 2 \cdot T_1 = 8,0 \text{ s}$$

A distância entre dois máximos é percorrida em um período de oscilação do pêndulo.

$$v = \frac{\Delta S}{\Delta t} \rightarrow 5 = \frac{\Delta S}{8} \rightarrow \Delta S = 40 \text{ cm}$$

29. Considerando a fase inicial nula, são conhecidas as equações para a posição e a velocidade no MHS:

$$x = A \cos \theta \text{ e } v = -\omega A \sin \theta, \text{ com } \theta = \omega t.$$

$$\text{Para } x_1: \frac{A}{4} = A \cdot \cos \theta_1 \Rightarrow \cos \theta_1 = \frac{1}{4} \Rightarrow \sin \theta_1 = \frac{\sqrt{15}}{4}$$

$$\text{Para } x_2: \frac{3 \cdot A}{4} = A \cdot \cos \theta_2 \Rightarrow \cos \theta_2 = \frac{3}{4} \Rightarrow \sin \theta_2 = \frac{\sqrt{7}}{4}$$

Com ω igual para x_1 e x_2 , podemos escrever:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{-\omega \cdot A \cdot \sin \theta_1}{-\omega \cdot A \cdot \sin \theta_2} = \frac{\sqrt{15}/4}{\sqrt{7}/4}$$

$$\therefore \frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{15}{7}}$$

30. 21 (01 + 04 + 16)

01) **Correto.**

– Ciclista A: 36 km/h, que equivale a 10 m/s. Em um minuto percorre 600 m. 240° a partir da origem no sentido anti-horário.

– Ciclista B: 54 km/h, que equivale a 15 m/s. Em um minuto percorre 900 m. 360° a partir da origem no sentido horário.

Portanto, o menor ângulo entre os ciclistas nesse instante é de aproximadamente $\frac{2 \cdot \pi}{3}$.

02) **Incorreto.**

– Ciclista A: 36 km/h, que equivale a 10 m/s. Em 23 s percorreu 230 m no sentido anti-horário.

– Ciclista B: 54 km/h, que equivale a 15 m/s. Em 23 s percorreu 345 m no sentido horário.

Logo, não se cruzaram, pois a soma das distâncias é diferente de 900 metros.

04) **Correto.**

Dados: $v_A = 36 \text{ km/h} = 10 \text{ m/s}$; $C = 900 \text{ m}$.

Calculando o raio (R) da pista:

$$C = 2 \cdot \pi \cdot R \Rightarrow R = \frac{C}{2 \cdot \pi} = \frac{900}{2 \cdot \pi} = \frac{450}{\pi} \text{ m.}$$

Calculando a velocidade angular (ω).

$$\omega_A = \frac{v_A}{R} = \frac{10}{\frac{450}{\pi}} \Rightarrow \omega_A = \frac{\pi}{45} \text{ rad/s.}$$

08) **Incorreto.**

– Ciclista A: 36 km/h. Em 2 h percorreu 72 km no sentido anti-horário.

– Ciclista B: 54 km/h. Em 2 h percorreu 108 km no sentido horário.

Logo, a distância é de 36 km, aproximadamente.

16) **Correto.**

Dados: $v_B = 54 \text{ km/h} = 15 \text{ m/s}$; $R = \frac{450}{\pi} \text{ m}$ (calculado no item 04).

$$a_{\text{cent B}} = \frac{v_B^2}{R} = \frac{15^2}{\frac{450}{\pi}} = \frac{225\pi}{450} \Rightarrow a_{\text{cent B}} = \frac{\pi}{2} \text{ m/s}^2.$$

31. C

Para $t = 0$, temos:

$$\frac{y'}{y} = \frac{0,5 \cdot \sin\left(\frac{3 \cdot \pi}{2}\right)}{0,1 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2}\right)} = -5$$

$$\frac{v'}{v} = \frac{-p'}{p} = -5 \Rightarrow p' = 5p$$

$$v = 2 = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow 2 = \frac{1}{p} + \frac{1}{5p} \Rightarrow p = 0,6 \text{ m}$$

$$\therefore p' = 3 \text{ m} = 300 \text{ cm}$$

Estudo para o Enem

32. C

O tempo decorrido por passo é de aproximadamente:

$$T = \frac{10}{41} \approx \frac{10}{40} \Rightarrow T \approx \frac{1}{4} \text{ s}$$

Como foi perguntado o período de oscilação apenas do pé direito, podemos obter esse resultado multiplicando o valor de T por 2, já que cada pé toca o solo em um tempo que equivale ao dobro do período de cada passo. Logo:

$$T_d = 2 \cdot T = 2 \cdot \frac{1}{4}$$

$$\therefore T_d = \frac{1}{2} \text{ s}$$

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes.

33. C

A projeção do movimento circular uniforme sobre um plano perpendicular ao plano do movimento é associada a um movimento retilíneo harmônico simples.

Competência: Compreender as ciências naturais e as tecnologias a elas associadas como construções humanas, percebendo seus papéis nos processos de produção e no desenvolvimento econômico e social da humanidade.

Habilidade: Reconhecer características ou propriedades de fenômenos ondulatórios ou oscilatórios, relacionando-os a seus usos em diferentes contextos.

34. A

$$\text{Dado: } E_c(t) = 4,0 \cdot \text{sen}^2\left(\frac{2}{3}\pi \cdot t - \frac{\pi}{2}\right).$$

O valor máximo da energia cinética ocorre nos instantes em que:

$$\text{sen}^2\left(\frac{2}{3}\pi \cdot t - \frac{\pi}{2}\right) = 1 \Rightarrow$$

$$\text{Nesses instantes: } E_{c_{\text{máx}}} = 4(1) \Rightarrow E_{c_{\text{máx}}} = 4 \text{ J.}$$

Determinando esses instantes:

$$\text{sen}^2\left(\frac{2}{3}\pi \cdot t - \frac{\pi}{2}\right) = 1 \Rightarrow \text{sen}\left(\frac{2}{3}\pi \cdot t - \frac{\pi}{2}\right) = \pm 1 \Rightarrow$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{sen}\left(\frac{2}{3}\pi \cdot t - \frac{\pi}{2}\right) = -1 \Rightarrow \left(\frac{2}{3}\pi \cdot t - \frac{\pi}{2}\right) = -\frac{\pi}{2} \Rightarrow \\ \frac{2}{3}\pi \cdot t = 0 \Rightarrow \boxed{t = 0.} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{sen}\left(\frac{2}{3}\pi \cdot t - \frac{\pi}{2}\right) = 1 \Rightarrow \left(\frac{2}{3}\pi \cdot t - \frac{\pi}{2}\right) = \frac{\pi}{2} \Rightarrow \\ \frac{2}{3}\pi \cdot t = \frac{2 \cdot \pi}{2} \Rightarrow \frac{2}{3}t = 1 \Rightarrow t = \frac{3}{2} \Rightarrow \boxed{t = 1,5 \text{ s.}} \end{array} \right.$$

Portanto:

$$\left\{ \begin{array}{l} E_{c_{\text{máx}}} = 4 \text{ J} \Rightarrow E_p = 0 \Rightarrow t = (0; 1,5; 3; 4,5...) \text{ s} \\ E_c = 0 \Rightarrow E_{p_{\text{máx}}} = 4 \text{ J} \Rightarrow t = (0,75; 2,25; 3,75...) \text{ s} \end{array} \right.$$

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

54 PÊNULO SIMPLES

Comentário sobre o módulo

Neste módulo, as características do MHS foram observadas no movimento de um sistema massa-mola. O comportamento da energia mecânica (e de suas componentes) foi estudado neste momento do curso, e a função do período de oscilação de um sistema massa-mola foi deduzida.

Para ir além

- Excelente simulador para visualizar as características do movimento pendular.

https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/pendulum-lab

- Por que o relógio de pêndulo atrasa no verão? – Sociedade Portuguesa de Física.

<https://www.spf.pt/magazines/GFIS/97/article/781/pdf>

- Como usar um pêndulo – WikiHow.

<https://pt.wikihow.com/Usar-Um-P%C3%AAndulo>

- A primeira experiência com o pêndulo de Foucault no Brasil.

<http://www1.fisica.org.br/fne/phocadownload/Vol02-Num1/notas1.pdf>

Acessos em: jan. 2019.

Exercícios propostos

7. a) O período dobra, pois $T' = 2 \cdot \pi \sqrt{\frac{4 \cdot L}{g}} = 2 \cdot \pi \cdot 2 \sqrt{\frac{L}{g}}$, logo $T' = 2T$.

b) A frequência reduz-se à metade, pois $f = \frac{1}{T}$, assim: $f' = \frac{1}{T'} \Rightarrow f' = \frac{1}{2 \cdot T} \Rightarrow f' = \frac{f}{2}$.

8. C

Por tratar-se de uma MHS, pode-se dizer que há conservação de energia nesse movimento.

Analisando as afirmativas, temos que:

[I] CORRETA. Pela conservação de energia mecânica, a energia mecânica nos pontos A e B é igual.

[II] INCORRETA. É fácil observar que existe uma diferença de altura entre os pontos A e B. Como $E_p = m \cdot g \cdot h$, onde h é a altura, a energia potencial nos dois pontos é diferente.

Sendo B o ponto mais baixo da trajetória, é lógico observar que a energia potencial que existia inicialmente no corpo é convertida em energia cinética. Dessa forma, é possível dizer que nesse ponto tem-se que a energia cinética é máxima e a energia potencial é mínima.

Sendo A o ponto mais alto da trajetória, a energia potencial será máxima e a energia cinética, mínima.

[III] CORRETA. Ver explicação na afirmativa [II].

[IV] INCORRETA. Ver explicação na afirmativa [II].

Portanto, as afirmativas corretas são [I] e [III].

9. D

O período (T) de um pêndulo simples de comprimento (L) para oscilações de pequena amplitude é dado pela expressão:

$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{L}{g}}$, sendo g a intensidade do campo gravitacional local.

Analisando essa expressão, conclui-se que o período é diretamente proporcional à raiz quadrada do comprimento, **inversamente proporcional à raiz quadrada da intensidade do campo gravitacional** local e independe da massa e da amplitude (desde que pequena, como já frisado).

10. B

Considerando apenas oscilações de pequena amplitude, o período (T) do pêndulo simples de comprimento (L), em um local onde a intensidade do campo gravitacional é g , é dado pela expressão:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{L}{g}}$$

Com o aumento da temperatura, o fio dilata-se, aumentando seu comprimento. Consequentemente, o período do pêndulo aumenta. Como a frequência é o inverso do período, $f = \frac{1}{T}$, se o período aumenta, a frequência diminui.

11. D

A velocidade de oscilação da massa pendular é máxima no ponto mais baixo. Então, nesse ponto, a energia cinética é máxima e a energia potencial é mínima.

O enunciado afirma que a resistência do ar (força de atrito) é máxima no ponto onde a velocidade é máxima. Então, a força de atrito é máxima no ponto em que a energia cinética é máxima e, consequentemente, em que a energia potencial é mínima.

12. 25 (01 + 08 + 16)

[01] **Correta**. Em relação a um plano horizontal, $m \cdot g \cdot h_A > m \cdot g \cdot h_B$.

[02] **Incorreta.** O ponto C é o de velocidade máxima; portanto, nessa posição, a energia cinética é máxima.

[04] **Incorreta.** O sistema é conservativo; portanto, a energia mecânica é constante, sendo de mesmo valor em todos os pontos.

[08] **Correta.** O período de um pêndulo simples para oscilações de pequenas amplitudes independe da massa e é dado pela expressão:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{L}{g}}$$

$$\text{Para } t = 1 \text{ s: } 1 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{L}{g}} \Rightarrow (1)^2 = \left(2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{L}{g}} \right)^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 1 = (2 \cdot \pi)^2 \cdot \frac{L}{g} \Rightarrow \frac{g}{L} = (2 \cdot \pi)^2$$

[16] **Correta.** A função horária da projeção do movimento da massa pendular para pequenas amplitudes é dada pela expressão:

$x = A \cdot \cos(\theta_0 + \omega t)$, sendo: $A \rightarrow$ amplitude do movimento; $\theta_0 \rightarrow$ fase inicial e $\omega \rightarrow$ pulsação.

13. C

Neste caso, temos dois pêndulos de períodos e comprimentos diferentes. Seus comprimentos são: L e $L - d$.

As expressões dos períodos de cada pêndulo são:

$$T_1 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{L}{g}} \text{ e } T_2 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{L-d}{g}}$$

O período total do pêndulo misto é formado pela soma das duas metades de cada pêndulo

$$\frac{T_1}{2} + \frac{T_2}{2} = T_{\text{tot}}$$

Então,

$$T_1 + T_2 = 2 \cdot T_{\text{tot}}$$

$$2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} + 2\pi \sqrt{\frac{L-d}{g}} = 2 \cdot T_{\text{tot}}$$

Usando os valores de $T_{\text{tot}} = 1,5$ s, $L = 1$ m e $g = \pi^2$ m/s²

$$\pi \sqrt{\frac{1}{\pi^2}} + \pi \sqrt{\frac{1-d}{\pi^2}} = 1,5$$

$$\sqrt{1} + \sqrt{1-d} = 1,5$$

$$\sqrt{1-d} = 1,5 - 1$$

$$1-d = (0,5)^2$$

$$d = 0,75 \text{ m}$$

14. C

O período de um pêndulo simples, quando oscilando com pequenas amplitudes, **não** depende da massa. Calculando o período de oscilação:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{L}{g}} \Rightarrow T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{1,6}{10}} = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{0,16} = 2 \cdot \pi \cdot 0,4 \Rightarrow$$

$$T = 0,8\pi \text{ s.}$$

15. a) Do gráfico: $T_1 = 0,4$ s e $T_2 = 0,2$ s.

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{L}{g}} \Rightarrow \frac{T_1}{T_2} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{L_1}{g}}}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{L_2}{g}}} \Rightarrow \frac{T_1}{T_2} = \sqrt{\frac{L_1}{L_2}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^2 = \frac{L_1}{L_2} \Rightarrow \frac{L_1}{L_2} = \left(\frac{0,4}{0,2} \right)^2 \Rightarrow \frac{L_1}{L_2} = 4.$$

b) Dado: $\pi = 3,14$.

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{L}{g}} \Rightarrow T^2 = 4 \cdot \pi^2 \cdot \frac{L}{g}$$

Do gráfico: $L = 1$ m $\Rightarrow T^2 = 4$ s².

Substituindo esses valores na expressão anterior:

$$4 = \frac{4 \cdot \pi^2}{g} \cdot 1 \Rightarrow g = \pi^2 = 3,14^2 \Rightarrow g = 9,86 \text{ m/s}^2.$$

16. B

Dados: $T = 3$ s; $m = 250$ g = 0,25 kg; $L = 25$ cm = 0,25 m; $g = 10$ m/s² e $\pi = 3$.

Como a densidade da esfera é menor que a densidade do líquido, o pêndulo simples oscila sujeito a uma gravidade aparente com sentido para cima.

Supondo que as oscilações sejam de pequena amplitude, tem-se que o período do pêndulo simples é:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{L}{g_{\text{ap}}}} \Rightarrow T^2 = 4 \cdot \pi^2 \cdot \frac{L}{g_{\text{ap}}} \Rightarrow g_{\text{ap}} = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot L}{T^2} = \frac{4 \cdot 9 \cdot 0,25}{9} \Rightarrow g_{\text{ap}} = 1 \text{ m/s}^2.$$

O peso aparente é a diferença entre o empuxo e o peso:

$$P_{\text{ap}} = E - P \Rightarrow m \cdot g_{\text{ap}} = \underbrace{(\rho_{\text{liq}} \cdot V)}_{m_{\text{liq}}} g - m \cdot g \Rightarrow$$

$$\Rightarrow m \cdot g_{\text{ap}} = m_{\text{liq}} \cdot g - m \cdot g \Rightarrow m_{\text{liq}} \cdot g = m \cdot g_{\text{ap}} + m \cdot g \Rightarrow$$

$$\Rightarrow m_{\text{liq}} = \frac{m \cdot g_{\text{ap}} + m \cdot g}{g} = \frac{0,25 \cdot 1 + 0,25 \cdot 10}{10} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow m_{\text{liq}} = 0,275 \text{ kg} \Rightarrow m_{\text{liq}} = 275 \text{ g.}$$

17. a) A densidade é a razão entre a massa e o volume:

$$d = \frac{M}{V}.$$

Se as densidades fossem iguais:

$$d_p = d_T \Rightarrow \frac{M_p}{V_p} = \frac{M_T}{V_T} \Rightarrow \frac{\alpha \cdot M_T}{\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot (\beta \cdot R_T)^3} = \frac{M_T}{\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R_T^3} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{\alpha}{\beta^3} = \frac{1}{1} \Rightarrow \boxed{\alpha = \beta^3}.$$

- b) A gravidade na superfície de um planeta esférico é:

$$g = \frac{G \cdot M}{R^2}.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} g_p = \frac{G \cdot M_p}{R_p^2} \Rightarrow g_p = \frac{G \cdot \alpha \cdot M_T}{(\beta \cdot R_T)^2} \Rightarrow \\ \Rightarrow g_p = \frac{\beta^3 \cdot G \cdot M_T}{\beta^2 \cdot R_T^2} \Rightarrow \\ \Rightarrow g_p = \frac{\beta \cdot G \cdot M_T}{R_T^2} \\ g_T = \frac{G \cdot M_T}{R_T^2} \end{array} \right. \Rightarrow$$

$$r_g = \frac{g_p}{g_T} = \beta$$

- c) O período do pêndulo simples é: $T = 2 \cdot \pi \left(\frac{L}{g} \right)^{\frac{1}{2}}.$

$$r_t = \frac{t_p}{t_T} \Rightarrow r_t = \frac{2\pi \left(\frac{L}{g_p} \cdot \frac{g_T}{L} \right)^{\frac{1}{2}}}{2\pi \left(\frac{L}{g_T} \right)^{\frac{1}{2}}} = \left(\frac{g_T}{g_p} \right)^{\frac{1}{2}} \Rightarrow r_t = \left(\frac{1}{\beta} \right)^{\frac{1}{2}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{r_t = \frac{1}{\beta^{1/2}}}.$$

- d) A velocidade é: $v = \frac{L}{t}.$

$$r_v = \frac{v_p}{v_T} = \frac{\frac{L}{t_p}}{\frac{L}{t_T}} = \frac{t_T}{t_p} \Rightarrow \boxed{r_v = \beta^{1/2}}.$$

Estudo para o Enem

18. A

Para oscilações de pequena amplitude, o período

do pêndulo simples é $T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{L}{g}}.$

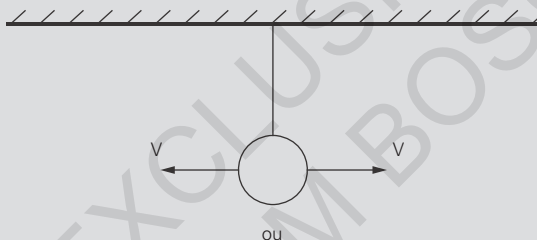
Uma vez que a intensidade do campo gravitacional (g) é constante, para o período não se alterar o comprimento (L) da haste deve ser mantido constante.

Competência: Compreender as ciências naturais e as tecnologias a elas associadas como construções humanas, percebendo seus papéis nos processos de produção e no desenvolvimento econômico e social da humanidade.

Habilidade: Reconhecer características ou propriedades de fenômenos ondulatórios ou oscilatórios, relacionando-os a seus usos em diferentes contextos.

19. C

No ponto mais baixo, a velocidade em um pêndulo assume seu maior valor.



Do enunciado, a força de arrasto é dada por:

$$\vec{F} = -b \cdot \vec{v}$$

Como b é uma constante, a força de arrasto tem a mesma direção da velocidade. Pelo sinal negativo da equação, o sentido da força será contrário ao da velocidade.

Logo, a força \vec{F} tem mesma direção e sentido contrário a \vec{v} . Como \vec{v} no ponto mais baixo tem direção na horizontal, então \vec{F} está na direção horizontal.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes.

20. C

Como se trata de sistema conservativo, a energia mecânica é constante.

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

55 SISTEMA MASSA-MOLA

Comentário sobre o módulo

Neste módulo, as características do MHS foram observadas no movimento de um sistema massa-mola. O comportamento da energia mecânica (e de suas componentes) foi estudado neste momento do curso, e a função do período de oscilação de um sistema massa-mola foi deduzida.

Para ir além

- Excelente simulador para compreender o comportamento elástico de molas e a lei de Hooke.

https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/hookes-law

- Observe no vídeo demonstrativo do link a seguir a onda associada a um oscilador harmônico.

https://www.youtube.com/watch?v=P-Umre5Np_0

Acessos em jan. 2019.

Exercícios propostos

7. a) $k = m \cdot 4 \cdot \pi^2 \cdot f^2 = 3,6 \cdot 10^{10} \text{ N/m}$

b) $F = k \cdot x = 3,6 \cdot 10^7 \text{ N}$

8. B

A energia potencial do sistema é dada pela soma das energias potenciais elástica e gravitacional.

$$E_s = E_{el} + E_g$$

$$E_s = \frac{k \cdot x^2}{2} + m \cdot g \cdot h$$

Já que h pode ser expresso em função de x , tem-se que E_s é função de m , g , x e k .

9. A

Da situação inicial, podemos determinar a constante elástica da mola:

$$F_{el} = P$$

$$k \cdot x = m \cdot g \Rightarrow k \cdot 0,5 = 10 \cdot 10$$

$$k = 200 \text{ N/m}$$

Com uma massa de 12,5 kg posta em oscilação com a mesma mola, teremos:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}} = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{12,5}{200}}$$

$$\therefore T = \frac{\pi}{2} \text{ s}$$

10. C

A frequência de oscilação de um sistema massa-mola é dada pela expressão:

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi} \sqrt{\frac{k}{m}}. \text{ Nota-se, então, que a frequência não depende da gravidade, mas apenas da mola e da}$$

massa do carro.

11. 15 (01 + 02 + 04 + 08)

[01] Verdadeira. Caso haja força dissipativa, o sistema irá perder energia mecânica (se transformando em energia térmica no caso do atrito) até que esta se anule, cessando o movimento.

[02] Verdadeira. Respeitada a condição de pequenas amplitudes, o pêndulo simples é um caso de MHS.

[04] Verdadeira. Um aumento da energia potencial causa uma diminuição da energia cinética e vice-versa, mas sua somatória (que equivale à energia mecânica) se mantém constante.

[08] Verdadeira. Outro caso de MHS é o de um corpo oscilando periodicamente em linha reta por conta de uma mola, com força resultante expressa pela lei de Hooke.

[16] Falsa. Com a velocidade mínima, a energia cinética também deve ser mínima.

12. A

Em um sistema massa-mola em MHS, o período do movimento é dado por:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}}$$

Ou seja, o período (e, conseqüentemente, a frequência) do movimento depende somente da massa do bloco e da constante da mola.

Como nos dois casos a mola é a mesma, assim como a massa do bloco, é fácil observar que a frequência de oscilação será a mesma em ambos os casos.

13. B

Em um sistema massa-mola, a energia mecânica é igual à energia potencial no ponto de elongação máxima, pois nesse ponto a energia cinética é nula, ou seja:

$$E_{mec} = E_{pot_{m\acute{a}x}} = \frac{k \cdot X_{m\acute{a}x}^2}{2}.$$

14. D

Para a onda estacionária, usaremos duas equações relacionadas com a velocidade da onda:

$$v = \lambda \cdot f \quad \text{e} \quad v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

Igualando as duas equações:

$$\lambda \cdot f = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

Sendo a frequência na corda relacionada com a tensão, o comprimento de onda e a densidade linear de massa:

$$f = \frac{1}{\lambda} \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

Já para o sistema massa-mola, temos a expressão para a frequência:

$$f' = \frac{1}{2 \cdot \pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Como as duas frequências devem ser iguais:

$$\frac{1}{\lambda} \sqrt{\frac{T}{\mu}} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Substituindo os valores fornecidos, procuramos uma alternativa que verifica a mesma relação:

$$\frac{1}{2 \cdot \pi} \sqrt{\frac{10}{0,1}} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$\sqrt{\frac{k}{m}} = 10$$

A alternativa D é a única que verifica essa relação.

15. 03 (01 + 02)

[01] Verdadeira. O período é calculado com a expressão:

$$T = 2 \cdot \pi \sqrt{\frac{m}{k}} \Rightarrow T = 2 \cdot \pi \sqrt{\frac{0,1 \text{ kg}}{0,4 \cdot \pi^2 \frac{\text{N}}{\text{m}}}} \therefore T = 1 \text{ s}$$

[02] Verdadeira. A amplitude de oscilação para um sistema sem a presença de atrito corresponde à elongação máxima, ou seja, 10 cm.

[04] Falsa. A energia potencial elástica calculada para as condições apresentadas resulta:

$$E_{pe} = \frac{k \cdot x^2}{2} \Rightarrow E_{pe} = \frac{0,4 \cdot \pi^2 \text{ N/m} \cdot (0,1 \text{ m})^2}{2} \therefore$$

$$\therefore E_{pe} = 2 \cdot 10^{-3} \cdot \pi^2 \text{ J}$$

[08] Falsa. Calculando o módulo da força elástica, temos:

$$F_e = k \cdot x \Rightarrow F_e = 0,4 \cdot \pi^2 \text{ N/m} \cdot 0,1 \text{ m} \therefore F_e = 4 \cdot 10^{-2} \cdot \pi^2 \text{ N}$$

[16] Falsa. No ponto de equilíbrio, a energia cinética é igual à energia potencial elástica no ponto de elongação máxima, isto é:

$$E_c = E_{pe} \therefore E_c = 2 \cdot 10^{-3} \cdot \pi^2 \text{ J}$$

16. D

Comparando a equação dada, $y(x,t) = 0,03 \cdot \cos(2 \cdot x - 30 \cdot t)$, com a fórmula da equação de onda, $y(x,t) = A \cdot \cos(K \cdot x - \omega \cdot t + \theta_0)$, temos que:

$$K = 2 \Rightarrow K = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda} = 2 \Rightarrow \lambda = \pi \cdot \text{m}$$

$$\omega = 30 \Rightarrow \omega = \frac{2 \cdot \pi}{T} \Rightarrow T = \frac{\pi}{15} \text{ s}$$

Para o sistema em MHS, sendo k a constante elástica da mola, devemos ter:

$$T = 2 \cdot \pi \sqrt{\frac{m}{k}} \Rightarrow \frac{\pi}{15} = 2 \cdot \pi \sqrt{\frac{0,7}{k}} \Rightarrow \frac{1}{30^2} = \frac{0,7}{k}$$

$$\therefore k = 630 \text{ N/m}$$

Pela equação de Taylor, sendo F a força de tração na corda, obtemos:

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \Rightarrow \frac{\lambda}{T} = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \Rightarrow \frac{\pi}{\pi/15} = \sqrt{\frac{F}{1,6 \cdot 10^{-4}}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 15^2 = \frac{F}{1,6 \cdot 10^{-4}}$$

$$\therefore F = 36 \cdot 10^{-3} \text{ N} = 36 \text{ mN}$$

17. 14 (02 + 04 + 08)

[01] Falsa. Tanto frequência como período dependem da relação entre o número de oscilações completas e o tempo gasto para realizá-las, sendo ambas inversas entre si.

[02] Verdadeira. A frequência no MHS é dada por

$f = \frac{1}{2 \cdot \pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$, sendo a constante da mola k igual à razão entre o módulo da força elástica, F_e , e a compressão da mola, x .

Sabendo que o peso do conjunto que comprime a mola é igual à força elástica e substituindo na equação da frequência:

$$F_e = P \Rightarrow k \cdot x = m \cdot g \Rightarrow k = \frac{m \cdot g}{x}$$

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \Rightarrow f = \frac{1}{2 \cdot \pi} \sqrt{\frac{m \cdot g}{m \cdot x}} \Rightarrow f = \frac{1}{2 \cdot \pi} \sqrt{\frac{g}{x}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow f = \frac{1}{2 \cdot \pi} \sqrt{\frac{10 \text{ m/s}^2}{5 \cdot 10^{-2} \text{ m}}} \therefore f = \frac{5}{\pi} \sqrt{2} \text{ Hz}$$

[04] Verdadeira. Para um sistema ideal, sem atrito, no ponto de equilíbrio, não há elongação nem compressão da mola, isto é, antes desse ponto a mola acelera o conjunto, mas, quando ela

passa desse ponto, exerce uma desaceleração. Portanto, o ponto de máxima velocidade e, consequentemente, de máxima energia cinética é a posição de equilíbrio da mola.

[08] Verdadeira. Calculando o valor da constante elástica da mola, expressa anteriormente:

$$k = \frac{m \cdot g}{x} \Rightarrow k = \frac{(1000 + 250) \text{ kg} \cdot 10 \text{ m/s}^2}{5 \cdot 10^{-2} \text{ m}} \therefore$$

$$\therefore k = 25 \cdot 10^4 \text{ N/m}$$

[16] Falsa. O período de oscilação T para o carro vazio é dado por:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}} \Rightarrow T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{1000 \text{ kg}}{25 \cdot 10^4 \text{ N/m}}} \therefore$$

$$\therefore T = \frac{\pi}{25} \sqrt{10} \text{ s} \approx 0,4 \text{ s}$$

Estudo para o Enem

18. A

O período (T) de um sistema massa-mola realizando MHS, sendo m a massa do corpo oscilante e k a constante elástica da mola, é dado pela expressão:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}}$$

Essa expressão mostra que o período independe da direção de oscilação e da intensidade do campo gravitacional.

Assim:

$$T' = T \Rightarrow \frac{T'}{T} = 1.$$

Competência: Compreender as ciências naturais e as tecnologias a elas associadas como construções humanas, percebendo seus papéis nos processos de produção e no desenvolvimento econômico e social da humanidade.

Habilidade: Reconhecer características ou propriedades de fenômenos ondulatórios ou oscilatórios, relacionando-os a seus usos em diferentes contextos.

19. B

O período de oscilação (T) de um pêndulo simples de comprimento L em um local onde o campo gravitacional tem intensidade g , para oscilações de pequenas amplitudes, é:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{L}{g}}$$

Por essa expressão, concluímos que, quando a

intensidade do campo gravitacional diminui, o período aumenta, ou seja, o pêndulo passa a oscilar mais vagarosamente. Na ausência total de gravidade, o pêndulo teria período infinito, ou seja, deixaria de oscilar.

Para um sistema massa-mola (m e k), o período de oscilação (T) é dado por:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}}$$

Vemos nessa expressão que o período desse sistema independe da gravidade local.

Concluindo: nesse ambiente de microgravidade, o período do sistema bloco-mola não sofrerá alteração; já o período do pêndulo simples deixará de ser o mesmo.

Competência: Compreender as ciências naturais e as tecnologias a elas associadas como construções humanas, percebendo seus papéis nos processos de produção e no desenvolvimento econômico e social da humanidade.

Habilidade: Reconhecer características ou propriedades de fenômenos ondulatórios ou oscilatórios, relacionando-os a seus usos em diferentes contextos.

20. A

(F) O período do movimento do bloco é de 4 s; do gráfico, o período é $T = 2$ s.

(V) A amplitude da oscilação é de 20 cm. Interpreta-se a amplitude como sendo igual ao comprimento total da trajetória.

(V) A maior distância, a partir da origem, que o bloco atinge é de 0,2 m.

(F) A velocidade do bloco é sempre positiva; de $x = 20$ cm a $x = 0$, o movimento é retrógrado e a velocidade é negativa.

(V) A frequência de oscilação do bloco é de 0,5 Hz:
 $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2} \Rightarrow f = 0,5 \text{ Hz}$

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

56 ANÁLISE DIMENSIONAL

Comentário sobre o módulo

Neste módulo foram apresentadas as sete grandezas fundamentais da física, bem como suas respectivas unidades no Sistema Internacional de Unidades (SI). A necessidade da homogeneidade dimensional nas relações matemáticas e sua aplicação ao determinar as expressões dimensionais das grandezas físicas derivadas também foram discutidas. Alguns múltiplos e submúltiplos das unidades base foram abordados.

Para ir além

- Aprovada a nova definição universal do quilograma – *El País*.

https://brasil.elpais.com/brasil/2018/11/13/ciencia/1542109733_360096.html

- Sistema Internacional de Unidades – Inmetro.

http://www.inmetro.gov.br/inovacao/publicacoes/si_versao_final.pdf

- O ensino da análise dimensional.

<http://www1.fisica.org.br/fne/phocadownload/Vol14-Num1/fne-14-1-a121.pdf>

- Medidas de grandezas físicas – Univesp.

<https://www.youtube.com/watch?v=Y2lEx9MxAu0&index=1&list=PLxI8Can9yAHcM3xwZ5yLh5C7duTNCTsmZ>

Acessos em: jan. 2019.

Exercícios propostos

7. a) Massa (M), comprimento (L) e tempo (T).

b) Não, a expressão não é dimensionalmente homogênea ($[h] \neq [l]^2$); logo, não é verdadeira. O vestibulando errou o exercício por partir de uma premissa falsa.

c) Não, a expressão não é dimensionalmente homogênea ($[V] \neq [R]^2$).

d)

Grandeza física	Relação	Expressão dimensional
Velocidade (v)	$v = \frac{\Delta S}{\Delta t}$	$l \cdot t^{-1}$
Aceleração (a)	$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$	$l \cdot t^{-2}$
Força (F)	$F_R = m \cdot a$	$m \cdot l \cdot t^{-2}$
Campo gravitacional (g)	$g = \frac{F_g}{m}$	$l \cdot t^{-2}$

Pressão (p)	$p = \frac{F}{A}$	$m \cdot l^{-1} \cdot t^{-2}$
Trabalho (τ)	$\tau^F = F \cdot d \cdot \cos \theta$	$m \cdot l^2 \cdot t^{-2}$
Potência (P)	$p = \frac{\tau}{\Delta t}$	$m \cdot l^2 \cdot t^{-3}$
Carga elétrica (q)	$ q = i \cdot \Delta t$	$l \cdot t$
Campo elétrico (E)	$E = \frac{F_E}{ q }$	$m \cdot l \cdot t^{-3} \cdot l^{-1}$

e) k (quilo), M (mega), G (giga) e T (tera).

f) n (nano), μ (micro), m (mili) e c (centi).

8. A

A resolução do problema passa pela transformação de unidades $\frac{\text{Potência}}{\text{Área}}$ para $\frac{\text{Energia}}{\text{tempo} \cdot \text{Área}}$. Para isso, basta transformar a potência em (W) para $\left(\frac{J}{s}\right)$, segundos (s) em minutos (min) e a área de centímetros quadrados (cm^2) para milímetros quadrados (mm^2).

Relações usadas:

$$1 \text{ W} = 1 \frac{\text{J}}{\text{s}}; 1 \text{ min} = 60 \text{ s e } 1 \text{ cm}^2 = 100 \text{ mm}^2$$

$$\frac{\text{Energia}}{\text{tempo} \cdot \text{Área}} = 10^3 \frac{\text{W}}{\text{cm}^2} \cdot \frac{1 \frac{\text{J}}{\text{s}}}{1 \text{ W}} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \cdot \frac{1 \text{ cm}^2}{100 \text{ mm}^2} = 600 \frac{\text{J}}{\text{min} \cdot \text{mm}^2}$$

9. C

Como o argumento do cosseno deve ser adimensional, temos que:

$$[\omega] = [t^2]^{-1}$$

$$[\omega] = [s^2]^{-1}$$

$$\therefore [\omega] = s^{-2}$$

10. E

Sendo X a referida grandeza, pelo enunciado, temos que:

$$X = k \frac{F \cdot v}{p^2 \cdot a^3} \text{ (com k adimensional)}$$

Sendo assim:

$$[X] = \frac{[m] \cdot [l] \cdot [t]^{-2} \cdot [l] \cdot [t]^{-1}}{([m] \cdot [l] \cdot [t]^{-2})^2 \cdot ([l] \cdot [t]^{-2})^3} = \frac{[m] \cdot [l]^2 \cdot [t]^{-3}}{[m]^2 \cdot [l]^5 \cdot [t]^{-10}}$$

$$\therefore [X] = [m]^{-1} \cdot [l]^{-3} \cdot [t]^7$$

11. B

$$\Delta m = \alpha \cdot v \cdot S \cdot \Delta t \Rightarrow$$

$$\alpha = \frac{\Delta m}{v \cdot S \cdot \Delta t} \Rightarrow [\alpha] = \left[\frac{\text{kg}}{\frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}} \right] \Rightarrow \boxed{[\alpha] = [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{s}]}$$

12. 07 (01 + 02 + 04)

Justificando a incorreta:

08) A unidade quilograma (kg) pode ser utilizada **apenas** como unidade de massa. A grandeza peso é uma força e, no SI, é medida em **newtons**.

13. B

Fazendo a análise dimensional da equação dada e usando os seguintes símbolos:

m = massa;

l = comprimento;

t = tempo.

$$\text{Assim, } \rho = \left[\frac{\text{m}}{\text{l}^3} \right], R = [l], t = [t], C = [\text{adimensional}].$$

$$E = \frac{C\rho \cdot R^5}{t^2} = \left[\frac{\text{m}}{\text{l}^3} \cdot \frac{\text{l}^5}{\text{t}^2} \right] = [\text{m} \cdot \text{l}^2 \cdot \text{t}^{-2}]$$

14. B

Comparando a função dada com a função horária dos espaços, temos:

$$\begin{cases} S = B \cdot t^2 + A \\ S = S_0 + v_0 t + \frac{a}{2} \cdot t^2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} A = S_0 \\ B = \frac{a}{2} \end{cases} \text{ Portanto, A possui}$$

unidade de medida da posição inicial e B, de aceleração.

$$15. \frac{a}{4} = \frac{b}{3} = \frac{c}{1} \rightarrow \begin{cases} a = 4c \\ b = 3c \end{cases}$$

$$V = a \cdot b \cdot c = 4 \cdot c \cdot 3 \cdot c \cdot c = 12 \cdot c^3 = 12 \cdot 10^3 = 1,2 \cdot 10^4 = 10^4$$

Portanto, a potência da ordem de grandeza do número de feijões é igual a 4.

$$16. a) \Delta P = Z \cdot \Phi \rightarrow Z = \frac{\Delta P}{\Phi} \rightarrow U(Z) = U\left(\frac{\Delta P}{\Phi}\right) = \frac{\text{N/m}^2}{\text{m}^3/\text{s}} =$$

$$= \frac{\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \frac{1}{\text{m}^2}}{\frac{\text{m}^3}{\text{s}}} = \text{kg} / \text{m}^4 \text{s}$$

b) Vazão estimada \rightarrow um copo de 250 mL \rightarrow 5 s

$$\Phi = \frac{\text{volume}}{\text{tempo}} = \frac{250 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-3}}{5} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$\Delta P = Z \cdot \Phi \rightarrow Z = \frac{\Delta P}{\Phi} = \frac{4 \cdot 10^4}{5 \cdot 10^{-5}} = 8,0 \cdot 10^8 \text{ kg} / \text{m}^4 \text{s}$$

17. A

Será adotada a seguinte notação: dada uma grandeza X, então (X) corresponderá à sua dimensão em unidades do S.I.

Seja P_g a potência gravitacional; G a constante de gravitação universal; c a velocidade da luz; e Q uma grandeza com unidade $\text{kg} \cdot \text{m}^2$, conforme o enunciado.

Sabe-se por hipótese que:

$$[P_g] = [G \cdot c^\beta \cdot Q^\gamma \cdot \omega^\delta] = [G] \cdot [c]^\beta \cdot [Q]^\gamma \cdot [\omega]^\delta \quad (I)$$

Da equação geral da gravitação universal, tem-se que:

$$F = G \cdot \frac{M \cdot m}{r^2} \Rightarrow [G] = \left[\frac{F \cdot r^2}{M \cdot m} \right] = \frac{\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}$$

$$G = \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2} \quad (II)$$

Sabe-se também que:

$$[c] = \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$[Q] = \text{kg} \cdot \text{m}^2$$

$$[\omega] = \frac{\text{rad}}{\text{s}} = \text{s}^{-1} \quad (III)$$

$$[P_g] = \frac{\text{Nm}}{\text{s}} = \frac{\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \text{m}}{\text{s}} = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-3}$$

Substituindo-se as equações (II) e (III) na equação (I), tem-se:

$$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-3} = \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-2} [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]^\beta [\text{kg} \cdot \text{m}^2]^\gamma [\text{s}^{-1}]^\delta \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-3} = \text{kg}^{\gamma-1} \cdot \text{m}^{3+\beta+2\gamma} \cdot \text{s}^{-2-\beta-\delta} \quad (IV)$$

Da equação (IV) tem-se, igualando-se os expoentes correspondentes:

$$\gamma - 1 = 1 \Rightarrow \gamma = 2$$

$$3 + \beta + 2\gamma = 2 \Rightarrow \beta = 2 - 3 - 2\gamma = -5$$

$$-2 - \beta - \delta = -3 \Rightarrow \delta = -2 - \beta + 3 = 6$$

Estudo para o Enem

18. C

Ano-luz é a **distância** percorrida pela luz em um ano.

Competência: Construir noções de grandezas e medidas para a compreensão da realidade e a solução de problemas do cotidiano.

Habilidade: Identificar relações entre grandezas e unidades de medida.

19. B

Seja $\frac{P}{D} \left[\frac{\text{R\$}}{\text{km}} \right]$ a razão custo por quilômetro rodado.

Seja $C \left[\frac{\text{km}}{\text{kWh}} \right]$, $\left[\frac{\text{km}}{\text{L}} \right]$ ou $\left[\frac{\text{km}}{\text{m}^3} \right]$ a distância rodada por unidade consumida de energia ou de volume de combustível, e $E \left[\frac{\text{R\$}}{\text{kWh}} \right]$, $\left[\frac{\text{R\$}}{\text{L}} \right]$ ou $\left[\frac{\text{R\$}}{\text{m}^3} \right]$ o preço por unidade consumida de energia ou de volume de combustível, então, por análise dimensional, obtém-se:

$$\frac{P}{D} = \frac{E}{C} \Rightarrow \begin{cases} \left[\frac{\text{R\$}}{\text{km}} \right] = \left[\frac{\text{R\$} \cdot \text{kWh}}{\text{kWh} \cdot \text{km}} \right] = \left[\frac{\text{R\$}}{\text{km}} \right] \\ \left[\frac{\text{R\$}}{\text{km}} \right] = \left[\frac{\text{R\$} \cdot \text{L}}{\text{L} \cdot \text{km}} \right] = \left[\frac{\text{R\$}}{\text{km}} \right] \\ \left[\frac{\text{R\$}}{\text{km}} \right] = \left[\frac{\text{R\$} \cdot \text{m}^3}{\text{m}^3 \cdot \text{km}} \right] = \left[\frac{\text{R\$}}{\text{km}} \right] \end{cases}$$

Aplicando essa expressão a cada um dos combustíveis:

Combustível	Consumo na cidade (C)	Preço (E) (R\$)	$\frac{P}{D} = \frac{E}{C} \left[\frac{\text{R\$}}{\text{km}} \right]$
Eletricidade	6 km/kWh	0,40/kWh	0,067
Gasolina	13 km/L	2,70/L	0,208
Diesel	12 km/L	2,10/L	0,175
Etanol	9 km/L	2,10/L	0,233
Gás natural	13 km/m ³	1,60/m ³	0,123

A tabela destaca o combustível que apresenta maior custo por quilômetro rodado.

Competência: Modelar e resolver problemas que envolvem variáveis socioeconômicas ou técnico-científicas, usando representações algébricas.

Habilidade: Identificar representações algébricas que expressem a relação entre grandezas.

20. A

$$m = 1\text{libra} = 1 \cdot 16\text{onças} = 16 \cdot 28,350\text{g} = 453,60\text{g} = 0,45360\text{kg}$$

Competência: Construir noções de grandezas e medidas para a compreensão da realidade e a solução de problemas do cotidiano.

Habilidade: Resolver situação-problema que envolva medidas de grandezas.

RESPOSTAS E COMENTÁRIOS

FÍSICA 2

SHUTTERSTOCK/ABCZ

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO



45 INTRODUÇÃO À TERMODINÂMICA

Comentário sobre o módulo

Neste módulo, definimos trabalho e como obtê-lo em um gráfico. Além disso, aprendemos a reconhecer uma transformação cíclica e a compreender as variações de temperatura, pressão e volume.

Para ir além

- É possível propor uma atividade em que os alunos devam reconhecer o conceito de trabalho em termodinâmica, aplicada no cotidiano. Como exemplo, é possível discutir o artigo “Teoria para o trabalho de expansão aplicada às brisas do Nordeste brasileiro”, no link a seguir:

<http://www.scielo.br/pdf/rbmet/v24n4/a05v24n4>

Acesso em: jan. 2019.

Exercícios propostos

7. E

$$W_{AB} + W_{BCD} = W_{\text{total}}$$

$$30(4-2) + W_{BCD} = 1050$$

$$W_{BCD} = 990 \text{ J}$$

8. A

O comprimento do cilindro é igual ao comprimento da barra. A dilatação no comprimento é:

$$\Delta l = \epsilon \cdot \alpha \cdot l_0$$

O trabalho (W) em uma transformação isobárica é dado pelo produto da pressão (p) com a variação de volume (ΔV)

$$W = p \cdot \Delta V$$

$$W = p \cdot A \cdot \Delta l$$

$$W = p \cdot A \cdot l_0 \cdot \alpha \cdot \epsilon$$

$$W = p \cdot \epsilon \cdot \alpha \cdot A \cdot l_0$$

9. C

A energia térmica é diretamente proporcional à temperatura. Desse modo, como neste caso a temperatura inicial e a final são a mesma, é correto afirmar que o ganho de energia térmica é o mesmo para atingir 90 °C.

10. Calculando-se a energia interna:

$$\Delta U = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot T = n \cdot c \cdot \Delta\theta = 3 \cdot 5 \cdot 30 = 450 \text{ cal}$$

11. E

[I] Está incorreta, pois o ciclo é anti-horário, o trabalho é negativo e seu módulo é numericamente igual à área do ciclo.

[II] Está correta, pois a energia interna (U) é diretamente proporcional ao produto pressão \times volume. Assim: $p_C \cdot V_C > p_A \cdot V_A \Rightarrow U_C > U_A$.

[III] Está correta, pois na transformação $A \rightarrow B$ ocorre expansão, indicando que o gás realiza trabalho ($W > 0$). Há também aumento da energia interna ($\Delta U > 0$).

12. C

O sistema gasoso, ao ser aquecido, dilata-se, realizando trabalho e empurrando a água para cima.

13. A

[B] É falsa, pois, em um processo de transformação de energia, há perdas com o atrito, fazendo que parte da energia se transforme em calor, que é perdido no processo.

[C] e [E] São falsas, pois a tendência de modelos termodinâmicos é de aumentar a desordem, ou seja, a entropia do sistema. Sendo assim, não poderíamos ter as moléculas separadas e ordenadas, mas sim inteiramente misturadas.

[D] É falsa, pois uma máquina térmica moto-perpetuo contraria as leis da termodinâmica.

14. [I] Correta. Calor é definido como energia térmica em trânsito entre dois corpos que possuem diferença de temperatura, do corpo de maior temperatura para o corpo mais frio.

[II] Incorreta. Esse calor recebido também pode virar trabalho ou, ainda, ser dissipado em parte pelo atrito.

[III] Incorreta. A energia térmica pode ser transmitida por radiação e também por convecção, além de por condução.

[IV] Correta. A agitação térmica das partículas de um corpo indica sua temperatura média.

[V] Correta. O trabalho de um sistema pode ser obtido pela variação da energia.

15. B

O trabalho realizado por um gás é dado por:

$$\epsilon = p \cdot \Delta V$$

Na transformação AB ocorre uma expansão ($\Delta V > 0$). Assim, o trabalho realizado é não nulo e positivo. Nas transformações BC e AD não há variação de volume. Logo, o trabalho realizado nessas transformações é nulo. Já na transformação CD ocorre uma contração ($\Delta V < 0$). Portanto, o trabalho realizado é não nulo e negativo.

16. C

Calculando-se o trabalho:

$$\mathcal{E} = p \cdot \Delta V$$

$$\mathcal{E} = 1,02 \cdot 10^5 \cdot (1,98 \cdot 10^{-2} - 2,00 \cdot 10^{-2})$$

$$\mathcal{E} = -20,40 \text{ J} = -10,40 \text{ J}$$

17. A

Calculando-se a energia interna:

$$U = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T = \frac{3}{2} \cdot 1,5 \cdot 8,31 \cdot (273 + 30) \cong 5\,665,35 \text{ J}$$

Estudo para o Enem

18. C

Para haver resfriamento e liquefação do nitrogênio, o sistema de refrigeração deve realizar trabalho sobre o gás.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnoló-

gicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

19. C

Ao se produzir a centelha, o gás explode, sofrendo um aumento de pressão a volume constante. Isso ocorre no ponto C.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

20. A

$$\frac{70}{100} \cdot m \cdot g \cdot h = n \cdot c \cdot \Delta T$$

$$0,7 \cdot 0,5 \cdot 10 \cdot 15 = 3 \cdot 5 \cdot \Delta T$$

$$\Delta T = 3,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

46 COMPORTAMENTO DOS GASES

Comentário sobre o módulo

Neste módulo, caracterizamos um gás ideal reconhecendo suas três variáveis e suas unidades no Sistema Internacional. Aplicamos a equação de Clapeyron e a equação de mudança de estado. Introduzimos, ainda, as propriedades da teoria cinética dos gases e a relação da pressão com a velocidade das moléculas presentes nos gases.

Para ir além

- Alguns experimentos simples podem trabalhar diversos conceitos da física e de outras áreas da ciência. O experimento do artigo a seguir propõe a medição da velocidade do som no ar. No caso, o ar como um gás ideal. A propagação da velocidade do som em um gás ideal depende de sua temperatura. É possível propor a realização do experimento descrito no artigo e coordenar uma discussão sobre os conceitos termodinâmicos envolvidos na atividade.

<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/viewFile/6397/5923>

Acesso em: jan. 2019.

Exercícios propostos

7. A

Calculando-se a pressão final:

Inicialmente:

$$p_1 \cdot V_1 = n \cdot R \cdot T_1 = 3 \cdot V_1 = n \cdot R \cdot 300$$

Depois:

$$p_2 \cdot V_1 = \frac{n}{2} \cdot R \cdot T_2 = p_2 \cdot V_1 = \frac{n}{2} \cdot R \cdot 280$$

Razão:

$$\frac{p_2 \cdot V_1}{3 \cdot V_1} = \frac{\frac{n}{2} \cdot R \cdot 280}{n \cdot R \cdot 300}$$

$$p_2 = 1,4 \text{ kPa}$$

8. D

Equacionando-se, temos:

$$\frac{p}{T} = \frac{n \cdot R}{V} = \frac{\frac{m}{M} \cdot R}{\frac{m}{d}}$$

$$\frac{p}{T} = \frac{R}{M} \cdot d$$

A equação indica que a razão $\frac{p}{T}$ é diretamente

proporcional à densidade do gás.

9. Calculando o número de mols, temos:

$$n = \frac{p \cdot V}{R \cdot T} = \frac{2 \cdot 1 \cdot 10^5 \cdot 8 \cdot 10^{-3}}{8 \cdot 300} = \frac{2}{3} \text{ mol}$$

Assim,

$$m = 28 \cdot \frac{2}{3} = 18,67 \text{ g}$$

10. D

Equacionando-se, temos:

$$p_1 \cdot V_1 = n \cdot R \cdot T_1$$

Depois:

$$p_2 \cdot V_1 = n \cdot R \cdot T_2$$

Então:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

Como a temperatura é constante, logo, é possível concluir que a pressão também é constante.

11. I e III

I) Correta. Se os cilindros possuem mesma pressão, mesmo volume e mesma temperatura, logo, possuem o mesmo número de mols. Assim, para massas molares diferentes, teremos massas diferentes. Se $M_A > M_B$, então, $m_A > m_B$.

II) Incorreta. Se os cilindros possuem mesma pressão, mesmo volume e mesma temperatura, logo, possuem o mesmo número de mols.

III) Correta. Portanto, temos:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T = 3 \cdot 41 = n \cdot 0,082 \cdot 300$$

$$n = 5 \text{ mols}$$

$$\frac{n_{\text{água}}}{n_{\text{oxi}}} = r = \frac{n_{\text{água}}}{5 - n_{\text{oxi}}} = 0,1$$

$$n_{\text{água}} = 0,5 - 0,1 \cdot n_{\text{oxi}} \cong 0,45$$

IV) Incorreta. Temos:

$$\frac{n_{\text{água}}}{n_{\text{oxi}}} = r = \frac{2}{n_{\text{oxi}}} = 0,1$$

$$n_{\text{oxi}} = 20 \text{ mols}$$

$$n_B = n_{\text{água}} + n_{\text{oxi}} = 2 + 20 = 22 \text{ mols}$$

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T = p \cdot 41 = 22 \cdot 0,082 \cdot (-73 + 273)$$

$$p = 8,8 \text{ atm}$$

V) Incorreta. Podemos observar pela proposição a seguir:

$$\frac{n_{\text{água B}}}{n_{\text{oxi B}}} = r$$

$$\frac{n_{\text{água B}}}{n_{\text{oxi B}} + n_{\text{oxi A}}} = r'$$

Se $r' = \frac{r}{2}$, então, $n_{\text{oxi B}} = n_{\text{oxi A}}$, e essa igualdade não é correta.

12. I, II e III

I) Correta. No caso de não ocorrer perda de massa de gás na transformação gasosa.

II) Correta. O modelo de gás ideal supõe colisões elásticas em sua teoria.

III) Correta. A razão entre pressão e volume nas situações anterior e posterior à transformação gasosa em que a temperatura é constante são ilustrações adequadas.

IV) Incorreta. Em uma transformação na qual a pressão não varia, o volume e a temperatura serão diretamente proporcionais.

13. E

Todas as afirmativas são corretas, dada a equação de Clapeyron, que expressa que $n = \frac{p \cdot V}{R \cdot T}$, onde

R é um valor constante denominado constante universal. Para dois gases com P, V e T iguais, n também será igual.

A energia cinética média das moléculas de um gás é diretamente proporcional à temperatura absoluta dele, conceituação relacionada à chamada equação de Boltzmann.

14. A

Analisando a equação de Clapeyron, $p \cdot V = n \cdot R \cdot T$, e enfatizando-se especificamente a relação entre V e T, observa-se uma relação linear e, ainda, crescente. Assim, o gráfico representado no item A corresponde à equação a seguir:

$$V = \frac{n \cdot R}{p} \cdot T$$

15. a) Convertendo-se o volume:

$$V = 4 \text{ cm}^3 = 4 \cdot (10^{-2})^3 \text{ m}^3$$

b) Calculando-se a temperatura do lago:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$T = \frac{1,5 \cdot 10^{25} \cdot 4 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 4 \cdot 10^{-4} \cdot 8,3} = 310 \text{ K}$$

16. B

O gás sai da bombinha, sofrendo uma expansão. Como o processo acontece muito rapidamente, não ocorre perda ou ganho de calor do meio, assim, ele se classifica como expansão adiabática.

17. I, III, IV

I) Correta. É justificada pela equação de Clapeyron.

II) Incorreta. Na equação de Clapeyron não se observa relação quadrática.

III) Correta. Trabalhando a equação de Clapeyron, tem-se:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{\frac{n_1 \cdot R \cdot T}{p}}{\frac{n_2 \cdot R \cdot T}{p}} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\frac{m_1}{M}}{\frac{m_2}{M}} = \frac{m_1}{m_2}$$

IV) Correta. Trabalhando a equação de Clapeyron, tem-se:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \rightarrow T = \frac{p \cdot V}{n \cdot R}$$

$$\frac{p}{2} \cdot 2 \cdot V = n \cdot R \cdot T' \rightarrow T' = \frac{p \cdot V}{n \cdot R}$$

$$T' = T$$

V) Incorreta. A dependência entre os parâmetros da equação de Clapeyron invalida a afirmativa.

Estudo para o Enem

18. A

O enunciado descreve o comportamento de gases ideais. O restante das alternativas não corresponde à conceituação prevista para um gás ideal.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnoló-

gicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

19. C

I) Correta. Pela equação de Clapeyron, observa-se a relação indicada.

II) Correta. Pela equação de Clapeyron, observa-se a relação indicada.

III) Incorreta. Pela equação de Clapeyron, observa-se que a relação indicada é incorreta, já que o volume é indiretamente proporcional à temperatura absoluta.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

20. II e IV

I) Incorreta. Pela equação de Clapeyron, observa-se que, para um volume constante, a relação entre T e P deve também permanecer constante.

II) Correta. Para um aumento de temperatura, tem-se um aumento na agitação das moléculas, o que significa um aumento na energia cinética média.

III) Incorreta. Para um volume constante, não poderá haver aumento na distância entre as moléculas.

IV) Correta. Aumentando-se a temperatura e, portanto, o grau de agitação das moléculas, estas colidirão mais vezes com as paredes do recipiente.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

47 TRANSFORMAÇÃO ISOBÁRICA

Comentário sobre o módulo

Neste módulo, descrevemos a transformação isobárica e pudemos reconhecer esse tipo de transformação no nosso cotidiano.

Para ir além

- O artigo a seguir propõe uma abordagem ciência-tecnologia-sociedade para o estudo dos gases e da cinética química, sugerindo quatorze aulas pautadas em uma abordagem CTS, a partir do tema "Qualidade do ar interior" com base em parâmetros de alfabetização científica e tecnológica. É possível se basear em algumas dessas aulas para realizar atividades com os alunos.

<https://revistas.utfpr.edu.br/rbect/article/view/1823/2520>

Acesso em: jan. 2019.

Exercícios propostos

7. Para um gás ideal e monoatômico, temos:

$$\Delta U = \frac{3}{2} \cdot p \cdot \Delta V$$

$$p = \frac{2 \cdot \Delta U}{3 \cdot \Delta V}$$

$$p = 40 \text{ kPa}$$

8. A variação da energia interna de um gás ideal monoatômico está associada apenas à energia cinética de translação das moléculas que constituem o sistema gasoso, de acordo com a equação. Para tanto, necessita-se calcular o número de mols e a temperatura final T_2 após a expansão isobárica.

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$n = \frac{p \cdot V}{R \cdot T}$$

$$n = 0,04065 \text{ mol}$$

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$T_2 = 900 \text{ K}$$

Assim, a variação da energia interna do processo será:

$$\Delta U = \frac{3}{2} n \cdot R \cdot \Delta T$$

$$\Delta U = 3,04 \cdot 10^2 \text{ J}$$

Finalmente:

$$\mathcal{C} = p \cdot \Delta V$$

$$\mathcal{C} = 2 \cdot 10^2 \text{ J}$$

9. C

Da 1ª lei da termodinâmica: $\Delta U = Q - W$.

Devemos achar o trabalho (\mathcal{C}) da transformação isobárica:

$$\mathcal{C} = p \cdot \Delta V$$

$$\mathcal{C} = 100 \text{ J}$$

Para a mudança de estado físico, calculamos o calor latente (Q):

$$Q = m \cdot L_v$$

$$Q = 920 \text{ J}$$

E a variação de energia interna (ΔU) será:

$$\Delta U = Q - \mathcal{C}$$

$$\mathcal{C} = 920 - 100$$

$$\mathcal{C} = 0,82 \text{ kJ}$$

10. Da equação geral dos gases:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{n_1 \cdot T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{n_2 \cdot T_2}$$

$$\frac{V_1}{2 \cdot 200} = \frac{V_1}{4 \cdot 400}$$

$$V_2 = 4 \cdot V_1$$

11. E

Como o gás sofreu uma expansão, ele realizou trabalho, mas o processo foi adiabático, isto é, sem troca de calor com o meio externo. Portanto, o trabalho realizado pelo gás foi à custa de sua energia interna.

12. E

A transformação BC é isométrica, sendo a temperatura diretamente proporcional à pressão. Assim:

$$\frac{p_B}{T_B} = \frac{p_A}{T_A} \quad p_B > p_A \rightarrow T_B > T_A \rightarrow T_A < T_B$$

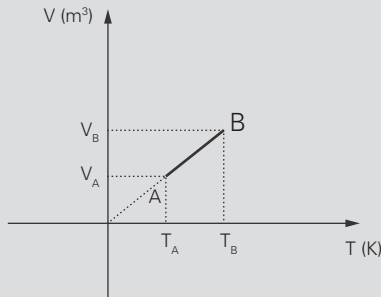
– Pelo gráfico, nota-se que a transformação BC ocorre sob pressão constante, sendo, portanto, **isobárica**.

– A transformação CD é uma expansão, portanto, o trabalho realizado pela força de pressão do gás é **maior** do que zero.

13. B

[I] Está correta, pois o segundo gráfico mostra que a pressão é constante, o que caracteriza uma transformação isobárica.

[II] Está correta, pois a figura mostra que, se prolongarmos a linha do primeiro gráfico, ela é uma reta que passa pela origem. Isso significa que o volume e a temperatura absoluta são diretamente proporcionais.



[III] Está incorreta, pois está ocorrendo expansão do gás, portanto, o trabalho total realizado (W) pelo sistema é positivo.

[IV] Está incorreta, pois a variação da energia interna é diretamente proporcional à variação da temperatura. Se a temperatura está aumentando, a energia interna também está.

14. A

Para a transformação isobárica:

$$\frac{V_0}{T_0} = \frac{V}{T}$$

$$T = 900 \text{ K} = 627 \text{ }^\circ\text{C}$$

15. A

Como $p_A = p_B = p_1$, a transformação AB é isobárica.

Aplicando a equação geral dos gases, temos:

$$\frac{p_A \cdot V_A}{T_A} = \frac{p_B \cdot V_B}{T_B}$$

$$\frac{p_1 \cdot 3 \cdot V_1}{T_A} = \frac{p_1 \cdot V_1}{T_B}$$

$$\frac{T_A}{T_B} = 3$$

16. E

Para o processo isobárico, temos:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

Como a equação demonstra, volume e temperatura absoluta são diretamente proporcionais. Logo, como o volume dobra, a temperatura absoluta também deve dobrar.

Assim:

$$V_2 = 2 \cdot V_1 \rightarrow T_2 = 2 \cdot T_1$$

$$T_2 = 526 \text{ K} = 253 \text{ }^\circ\text{C}$$

17. V – V – V – F

Verdadeira. A obediência à equação geral dos gases impõe a utilização da temperatura absoluta.

Verdadeira. Há conservação da energia cinética e do momento linear.

Verdadeira. A relação entre pressão e volume são inversamente proporcionais e caracterizados pela curva chamada hipérbole.

Falsa. Na realidade, para uma transformação isobárica, volume e temperatura são diretamente proporcionais.

Estudo para o Enem

18. F – V – F – V – F – V

[I] Está incorreta, pois o ar aquece, aumentando a pressão e mantendo praticamente constante o volume. Isso a torna uma transformação aproximadamente isométrica.

[II] Correta.

[III] Está incorreta, pois $p \cdot V = n \cdot R \cdot T$. Dependendo das medidas do pneu, o volume varia, alterando o número de mols para a mesma pressão.

[IV] Correta.

[V] Está incorreta. O volume aproximado do pneu é:

$$V = \pi \cdot h \cdot (R^2 - r^2) = 3,14 \cdot 18 \cdot (19^2 - 14^2) \cong 9500 \text{ cm}^3 = 9,5 \text{ L.}$$

[VI] Correta. Pela rigidez das paredes do pneu, a variação do volume é desprezível, ocorrendo apenas aumento da pressão.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

19. E

Em uma transformação isobárica, volume e temperatura absoluta são diretamente proporcionais, sendo o gráfico de T em função de V uma reta passando pela origem (Gráfico 1). A expressão que relaciona as escalas termométricas Kelvin e Fahrenheit é:

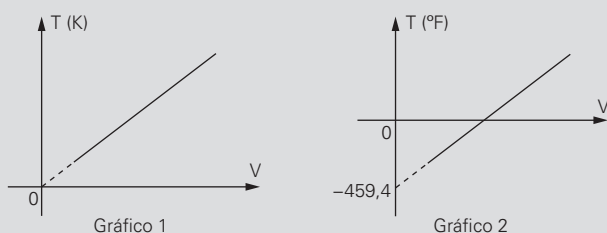
$$\frac{T_F - 32}{9} = \frac{T - 273}{5}$$

Calculando Fahrenheit para o zero absoluto:

$$\frac{T_F - 32}{9} = \frac{0 - 273}{5}$$

$$T_F = -459,4 \text{ } ^\circ\text{F}$$

O Gráfico 2 mostra, no eixo y, a temperatura na escala Fahrenheit e, no eixo x, o volume.



$$T_2 = \frac{2(150 + 273)}{3}$$

$$T_2 = 282 \text{ K} = 9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

20. A

Analisando o próprio texto fornecido, é possível chegar à resposta.

1ª lacuna: evaporar.

“Quando uma porção de ar aquecido sobe [...]”

2ª lacuna: menor.

Pela mesma parte do texto mencionado para a 1ª lacuna, se o ar sobe, estará sujeito a uma pressão cada vez menor, pois a camada de ar sobre ele é cada vez menor.

3ª lacuna: temperatura.

“[...] A rápida variação na pressão provoca uma rápida expansão do ar [...]”. Se a pressão e o volume variaram, essas alterações só podem provocar uma mudança na temperatura – terceira propriedade dos gases.

4ª lacuna: adiabática.

“[...] isto é, sem troca de calor com sua vizinhança, [...]”

5ª lacuna: perde.

“[...] e isso acarreta seu resfriamento [...]”; como

$U = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot T$, se a temperatura diminui, sua energia interna também diminui.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

48 TRANSFORMAÇÃO ISOTÉRMICA

Comentário sobre o módulo

Neste módulo, caracterizamos uma transformação isotérmica, reconhecendo e aplicando a equação que representa esse tipo de transformação.

Para ir além

- É possível propor o experimento descrito no [link](#) a seguir para discutir transformações isotérmicas com os alunos.

http://www.ciencia.iao.usp.br/tudo/exibir.php?midia=rip&cod=_leideboyletransformacaoisotermica-termologia-txttem0001b

Acesso em: jan. 2019.

Exercícios propostos

7. D

Como o processo de C para D é isotérmico e as temperaturas correspondentes são idênticas; logo, podemos usar a equação geral dos gases ideais entre os estados A e C:

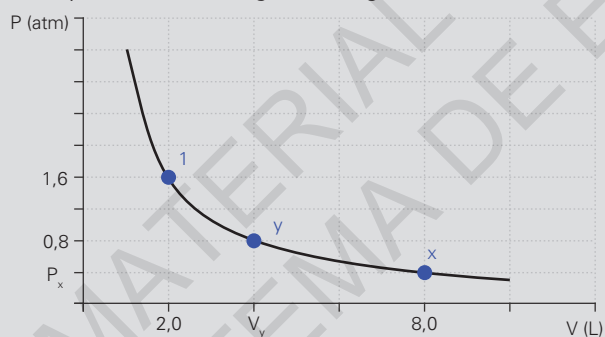
$$\frac{p_A \cdot V_A}{T_A} = \frac{p_C \cdot V_C}{T_C}$$

$$\frac{2 \cdot 4}{300} = \frac{4 \cdot 8}{T_C}$$

$$T_C = 1200 \text{ K} = 927 \text{ }^\circ\text{C}$$

8. B

Tendo como pontos a serem comparados os 1, x e y, conforme a figura a seguir:



Considerando o ponto 1 e o ponto x, e sabendo que se trata de uma transformação isotérmica, temos:

$$p_x \cdot V_x = p_1 \cdot V_1$$

$$p_x = \frac{1,6 \cdot 2}{8}$$

$$p_x = 0,4 \text{ atm}$$

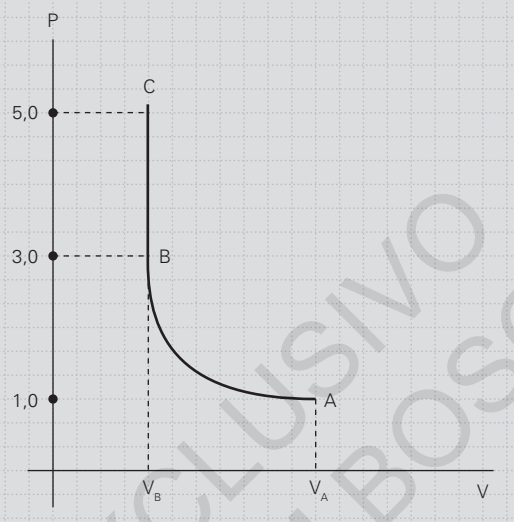
Agora, considerando o ponto 1 e o ponto y:

$$p_y \cdot V_y = p_1 \cdot V_1$$

$$V_y = \frac{1,6 \cdot 2}{0,8}$$

$$V_y = 4 \text{ L}$$

9. a) Observe o diagrama a seguir:



$$p_A \cdot V_A = p_B \cdot V_B$$

$$\frac{V_A}{V_B} = \frac{p_B}{p_A} = 3$$

$$b) 30 \text{ }^\circ\text{C} = 303 \text{ K}$$

$$\frac{p_B}{T_B} = \frac{p_C}{T_C}$$

$$T_C = 550 \text{ K} = 232 \text{ }^\circ\text{C}$$

10. a) Assumindo comportamento de gás ideal para o nitrogênio, o número de mols inicial (n_0) é:

$$p_0 \cdot V_0 = n_0 \cdot R \cdot T$$

$$n_0 = \frac{p_0 \cdot V_0}{R \cdot T} = \frac{1,4 \cdot 10^5 \cdot 4 \cdot 10^{-2}}{8,4 \cdot 77}$$

$$n_0 = 8,7 \text{ mols}$$

Após a abertura do registro, o volume de líquido diminui de 10%, correspondendo à variação (ΔV), em módulo:

$$|\Delta V| = \frac{1}{10} \cdot 60$$

$$|\Delta V| = 6 \text{ L}$$

O gás passa a ocupar esse volume, e então:

$$V_1 = V_0 + \Delta V$$

$$V_1 = 46 \text{ L}$$

O novo número de mols é n_1 :

$$p_1 \cdot V_1 = n_1 \cdot R \cdot T$$

$$n_1 = \frac{p_1 \cdot V_1}{R \cdot T} = \frac{1,4 \cdot 10^5 \cdot 4,6 \cdot 10^{-2}}{8,4 \cdot 77}$$

$$n_0 = 10 \text{ mols}$$

Portanto: $\Delta n = 1,3 \text{ mol}$

b) Para uma transformação isobárica, temos:

$$\mathcal{E} = p \cdot \Delta V = 1,4 \cdot 10^5 \cdot (46 - 40) \cdot 10^{-3}$$

$$\mathcal{E} = 840 \text{ J}$$

11. a) $p_0 \cdot V_0 = p \cdot V$

$$5 \cdot 10^5 \cdot 3 \cdot 10^{-5} = 3 \cdot 10^5 \cdot V$$

$$V = 5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

b) $p_0^r \cdot V_0^r = p \cdot V^r \rightarrow 3 \cdot 5^{1,5} = p(6)^{1,5}$

$$p = 3 \cdot \left(\frac{5}{6}\right)^{\frac{3}{2}}$$

$$p = 2,5 \cdot \sqrt{\frac{5}{6}} \cdot 10^5 \frac{\text{M}}{\text{m}^2}$$

12. E

Análise das alternativas:

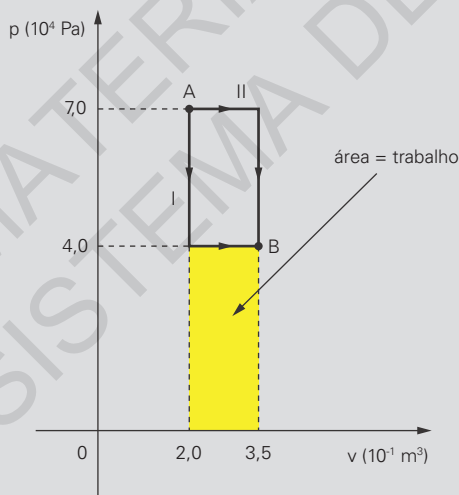
[A] Falsa. Usando a equação geral dos gases, temos:

$$\frac{p_A \cdot V_A}{T_A} = \frac{p_B \cdot V_B}{T_B} \Rightarrow \frac{7 \cdot 10^4 p_A \cdot 2 \cdot 10^{-1} \text{ m}^3}{T_A} = \frac{4 \cdot 10^4 p_A \cdot 3,5 \cdot 10^{-1} \text{ m}^3}{T_B} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{14}{T_A} = \frac{14}{T_B} \therefore T_A = T_B$$

[B] Falsa. Como o processo de A para B é isotérmico, constatado no item anterior, então não há variação da energia interna, logo: $\Delta U_I = \Delta U_{II} = 0$.

[C] Falsa. A área sob a curva do caminho I representa o trabalho e a quantidade de calor desse caminho.

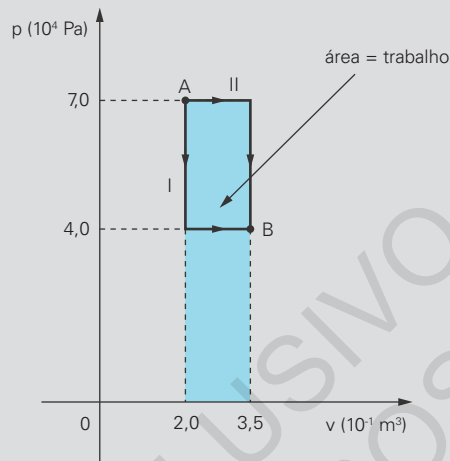


$$Q_I = \tau_I = \text{área} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \tau_I = 4 \cdot 10^4 \text{ Pa} \cdot (3,5 - 2,0) \cdot 10^{-1} \text{ m}^3$$

$$\therefore \tau_I = 6,0 \cdot 10^3 \text{ J}$$

[D] Falsa. A área sob a curva do caminho II representa o trabalho e a quantidade de calor desse caminho.



$$Q_{II} = \tau_{II} = \text{área} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \tau_{II} = 7 \cdot 10^4 \text{ Pa} \cdot (3,5 - 2,0) \cdot 10^{-1} \text{ m}^3$$

$$\therefore \tau_{II} = 1,05 \cdot 10^4 \text{ J}$$

[E] Verdadeira. A ordem de grandeza da quantidade de calor trocado pelo gás no caminho II é de 10^4 J .

13. B

[a] Incorreta. Na expansão isotérmica, o gás recebe energia (calor) do meio externo e realiza trabalho.

[b] Correta. Os três processos são reversíveis.

[c] Incorreta. Para um ciclo completo, a energia interna do gás pode aumentar em um processo, diminuir em outro, ou mesmo se manter constante em um processo isotérmico, mas a variação da energia interna em um ciclo é nula.

[d] Incorreta. No processo III, o trabalho realizado pelo gás é negativo, pois se trata de uma compressão.

[e] Incorreta. No processo I, o trabalho realizado é igual ao calor absorvido, pois a variação da energia interna é nula, já que o processo é isotérmico.

14. A

Aplicando a equação geral dos gases ideais para a transformação isobárica, temos:

$$\frac{V_A}{T_A} = \frac{V_B}{T_B} \rightarrow \frac{T_B}{T_A} = \frac{V_B}{V_A} = \frac{T_B}{T_A} = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^{-3}} = 3$$

Assim, a temperatura absoluta triplica na transformação.

O trabalho realizado pelo gás é:

$$\mathcal{E} = p \cdot \Delta V$$

$$\mathcal{E} = 1 \cdot 10^6 \cdot (3 - 1) \cdot 10^{-3}$$

$$\mathcal{E} = 2000 \text{ J}$$

15. C

[I] Correta.

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$p = \frac{n \cdot R \cdot T}{V}$$

sendo $n \cdot R \cdot T \rightarrow$ constante

$$p = \frac{\text{constante}}{V}$$

[II] Correta.

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$V = \frac{n \cdot R}{p} \cdot T$$

sendo $\frac{n \cdot R}{p} \rightarrow$ constante

$$V = \text{constante} \cdot T$$

[III] Incorreta.

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$p = \frac{n \cdot R}{V} \cdot T$$

sendo $\frac{n \cdot R}{V} \rightarrow$ constante

$$p = \text{constante} \cdot T$$

O volume é diretamente proporcional à temperatura absoluta.

16. A

Analisemos cada uma das transformações.

– AB \rightarrow Volume constante: isovolumétrica.– BC \rightarrow pressão constante: isobárica.– CA \rightarrow Se a curva mostrada for um trecho de hipérbole, a temperatura é constante: isotérmica.

17. A

Pela equação geral, tem-se que:

$$\frac{p \cdot V}{T} = \text{cte.}$$

Assim, pode-se dizer que, na situação descrita, teremos:

$$\frac{p_A \cdot V_A}{T_A} = \frac{p_B \cdot V_B}{T_B}$$

Substituindo as relações dadas no enunciado na equação anterior,

$$\frac{p_A \cdot V_A}{T_A} = \frac{(2 \cdot p_A) \cdot \left(\frac{V_A}{2}\right)}{T_B}$$

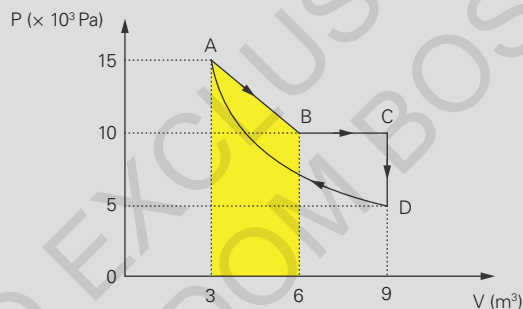
Ou seja, $T_A = T_B$.

Assim, podemos dizer que a transformação AB é uma transformação isotérmica, pois não há variação de temperatura.

Já na transformação BC, observando o gráfico fornecido no enunciado, não há variação de volume, ou seja, trata-se de uma transformação isovolumétrica ou isométrica.

Estudo para o Enem

18. a) O trabalho realizado pelo gás entre A e B é dado pela área sob a curva, representada na figura a seguir:



Assim, calculando a área do trapézio, temos:

$$\mathcal{E}_{AB} = (15 \cdot 10^3 + 10 \cdot 10^3) \cdot \frac{6-3}{2}$$

$$\mathcal{E}_{AB} = 37,5 \cdot 10^3 \text{ J}$$

b) Considerando o gás como sendo ideal e utilizando a equação geral dos gases, relacionamos as variáveis de estado entre os pontos B e C:

$$\frac{p_B \cdot V_B}{T_B} = \frac{p_C \cdot V_C}{T_C} \xrightarrow{p_B = p_C} \frac{p_B \cdot V_B}{T_B} = \frac{p_C \cdot V_C}{T_C} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_C = \frac{T_B \cdot V_C}{V_B} \Rightarrow T_C = \frac{300 \cdot 9}{6} \therefore T_C = 450 \text{ K}$$

c) A variação da energia interna (ΔU) está relacionada com o calor (Q) e com o trabalho \mathcal{E} (W) através da 1ª lei da termodinâmica:

$$Q = \Delta U + W \xrightarrow{\text{isotérmico}} Q = W \therefore \Delta U = 0$$

Como o processo é isotérmico, não há variação de temperatura no sistema gasoso, e também não há variação da energia interna, que é nula.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

19. A

Seja L o comprimento da coluna de ar dentro da bomba, medido a partir de sua base, e A a área de sua seção transversal interna.

Dados: $p_1 = 1 \text{ atm}$; $L_1 = 45 \text{ cm}$; $p_2 = 1,2 \text{ atm}$.

Da equação geral dos gases, com temperatura constante, têm-se:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \Rightarrow p_1 \cdot A \cdot L_1 = p_2 \cdot A \cdot L_2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 1 \cdot 45 = 1,2 L_2 \Rightarrow L_2 = \frac{45}{1,2} \Rightarrow L_2 = 37,5 \text{ cm.}$$

O deslocamento do pistão é:

$$\Delta L = L_1 - L_2 = 45 - 37,5 \Rightarrow \boxed{\Delta L = 7,5 \text{ cm.}}$$

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

20. D

Como a temperatura será constante, a relação entre pressão e volume é dada pela lei de Boyle:

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 \quad (1)$$

A pressão no balão imerso é dada pela lei de Stevin:

$$p_1 = p_{\text{atm}} + \rho g h \Rightarrow$$

$$\Rightarrow p_1 = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Pa} + 1,0 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3 \cdot 10 \text{ m/s}^2 \cdot 10 \text{ m}$$

$$p_1 = 2,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

Substituindo na equação (1), obtemos o volume que o balão terá na superfície da água.

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 2,0 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot 1,0 \text{ L} = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot V_2 \therefore \boxed{V_2 = 2,0 \text{ L}}$$

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO
SISTEMA DE ENSINO DOMESTICO

49 TRANSFORMAÇÃO ISOVOLUMÉTRICA

Comentário sobre o módulo

Neste módulo, caracterizamos uma transformação isovolumétrica e, com isso, podemos reconhecer situações em que ela ocorre no cotidiano. Introduzimos, ainda, a relação de Charles que representa esse tipo de transformação.

Para ir além

- O artigo a seguir propõe uma experiência a fim de verificar a proporcionalidade entre a pressão e a temperatura em uma transformação com volume constante. É possível sugerir a realização desse experimento e coordenar uma discussão com os alunos.

http://www.ciencia.iao.usp.br/tudo/exibir.php?midia=rip&cod=_transformacaoisometrica-termologia-txttem0002

Acesso em: jan. 2019.

Exercícios propostos

- 7. a)** Usando a equação geral dos gases para o processo isométrico e substituindo os valores fornecidos para cada estado do gás:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \rightarrow \frac{1,01 \cdot 10^5}{300} = \frac{p_2}{450}$$

$$p_2 = 1,515 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

- b)** Da equação de Clapeyron, retiramos o número de mols gasosos no sistema:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \rightarrow n = \frac{1,01 \cdot 10^5 \cdot \frac{24,7}{1000}}{8,31 \cdot 300}$$

$$n = 1,0 \text{ mol}$$

Da primeira lei da termodinâmica, sabemos que: $\Delta U = Q - W$.

Contudo, para o caso específico não há variação de volume, portanto, não há realização de trabalho ($W = 0$).

Logo, $\Delta U = Q$; o calor ou a variação da energia interna tem o mesmo valor e são calculadas pela expressão:

$$Q = n \cdot C_v \cdot T \rightarrow Q = 1,0 \cdot \frac{5}{2} \cdot 8,31 \cdot (450 - 300)$$

$$Q = 3116,25 \text{ J}$$

- 8. a)** Pela equação de Clapeyron:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \rightarrow p = \frac{6 \cdot 10^3 \cdot 8,3 \cdot 300}{1,8 \cdot 10^{-3} \cdot 44}$$

$$p = 1,89 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$$

- b)** Estimando a massa do extintor:

$$M_{\text{ext}} = 10 \text{ kg} = 10000 \text{ g.}$$

Como se trata de um sistema mecanicamente isolado, ocorre conservação do momento linear. Assim, em módulo:

$$M_{\text{ext}} \cdot V = m \cdot v \rightarrow V = \frac{50 \cdot 20}{10000}$$

$$V = 0,1 \text{ m/s}$$

- 9. a)** Pela equação de Clapeyron:

$$p_1 \cdot V = n_1 \cdot R \cdot T \rightarrow p_1 \cdot V = \frac{m_1}{M} \cdot R \cdot T$$

$$m_1 = \frac{200 \cdot 42 \cdot 4 \cdot 10^{-3}}{0,08 \cdot 300} = 1,4 \text{ kg}$$

O valor da massa medida pela balança é:

$$m = 45 + 1,4$$

$$m = 46,4 \text{ kg}$$

- b)** O gás para de vazar quando a pressão interna se iguala à pressão externa, que é a pressão atmosférica (1 atm). Como o volume e a temperatura não variam, tem-se:

$$\frac{p_1 \cdot V}{\frac{m_1}{M} \cdot T} = \frac{p_2 \cdot V}{\frac{m_2}{M} \cdot T} \rightarrow m_2 = \frac{1 \cdot 1,4}{200}$$

$$m_2 = 7 \text{ g}$$

- 10. C**

Na situação inicial:

$$p_A \cdot V_A = n_A \cdot R \cdot T_A \rightarrow n_A = \frac{p_A \cdot V_A}{R \cdot T_A}$$

$$p_B \cdot V_B = n_B \cdot R \cdot T_B \rightarrow n_B = \frac{p_B \cdot V_B}{R \cdot T_B}$$

Na situação final:

$$p_{Af} \cdot V_A = n_{Af} \cdot R \cdot T_A \rightarrow n_{Af} = \frac{p_{Af} \cdot V_A}{R \cdot T_A}$$

$$p_{Bf} \cdot V_B = n_{Bf} \cdot R \cdot T_B \rightarrow n_{Bf} = \frac{p_{Bf} \cdot V_B}{R \cdot T_B}$$

Como a quantidade de matéria se mantém constante, temos:

$$\frac{p_A \cdot V_A}{R \cdot T_A} + \frac{p_B \cdot V_B}{R \cdot T_B} = \frac{p_{Af} \cdot V_A}{R \cdot T_A} + \frac{p_{Bf} \cdot V_B}{R \cdot T_B}$$

$$\frac{p_{Af} \cdot V_A}{T_A} + \frac{p_{Bf} \cdot V_B}{\alpha \cdot T_B}$$

$$p_{Af} = \left[\frac{\left(1 + \frac{\beta \cdot p_{Bf} \cdot T_A}{p_A \cdot T_B} \right)}{\left(1 + \frac{\beta \cdot T_A}{\alpha \cdot T_B} \right)} \right] \cdot p_A$$

11. D

Observação: quando uma bola está totalmente murcha, a pressão do ar em seu interior é igual à pressão atmosférica. Quando enchemos a bola, a indicação do medidor (manômetro) dá a pressão do ar em seu interior acima da pressão atmosférica. Assim, quando se diz que a bola foi calibrada com pressão de 0,6 atm, na verdade, o ar no interior da bola está sob pressão de $1 \text{ atm} + 0,6 \text{ atm} = 1,6 \text{ atm}$.

Dados: $T_0 = 32 \text{ }^\circ\text{C} = 305 \text{ K}$; $T = 13 \text{ }^\circ\text{C} = 286 \text{ K}$.

Supondo que o ar no interior das bolas comporte-se como gás perfeito, temos:

$$\frac{p}{T} = \frac{p_0}{T_0} \rightarrow p = \frac{286}{305} \cdot p_0$$

Aplicando essa expressão a cada um dos valores da tabela dada:

$$p_A = \frac{286}{305} \cdot 0,6 = 0,56 \text{ atm}$$

$$p_B = \frac{286}{305} \cdot 0,7 = 0,67 \text{ atm}$$

$$p_C = \frac{286}{305} \cdot 0,8 = 0,75 \text{ atm}$$

$$p_D = \frac{286}{305} \cdot 0,9 = 0,84 \text{ atm}$$

$$p_E = \frac{286}{305} \cdot 1,0 = 0,93 \text{ atm}$$

Os cálculos mostram que somente as bolas B, C, D e E satisfazem às condições impostas.

12. B

Como as deformações nas paredes do recipiente são desprezíveis, o volume é constante. Considerando o comportamento de gás ideal, temos:

$$\frac{p_1 \cdot V}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V}{T_2} \rightarrow p_2 = p_1 \cdot \frac{T_2}{T_1}$$

Portanto, $T_2 > T_1$, e, conseqüentemente, $p_2 > p_1$.

13. B

É dado na questão que, ao ser pressurizada, a temperatura do refrigerante aumenta. Como,

$$\Delta U = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T$$

Sabendo que o número de mols (n) é constante e que R é uma constante, é fácil concluir que, se

a temperatura aumenta, a energia interna do gás também aumenta.

Sabe-se também que,

$$\frac{p \cdot V}{T} = \text{constante}$$

Como o volume é constante e limitado pela garrafa, com o aumento da temperatura (T), a pressão (p) também aumenta. Dessa forma, na situação descrita, tanto a energia interna do gás quanto a pressão aumentam.

14. D

Os dois gráficos apresentam comportamento linear entre pressão e temperatura absoluta (I) e entre volume e temperatura absoluta (II), sendo ambos relacionados com a lei geral dos gases:

$$\frac{p \cdot V}{T} = \text{constante}$$

No primeiro gráfico, temos um processo a volume constante, ou seja, isovolumétrico, e no segundo temos uma transformação isobárica, em que a pressão é mantida constante.

15. D

I) Incorreta. Na transformação isotérmica, a temperatura sempre será constante.

II) Correta. Na transformação isobárica, o volume e a temperatura absoluta do gás são diretamente proporcionais.

III) Correta. Na transformação isométrica, o calor trocado com o gás é integralmente utilizado para variar sua energia interna.

16. a) O trecho isocórico, isto é, no qual o volume é constante, corresponde no gráfico ao segmento de reta vertical DC; já o trecho isobárico, em que a pressão é constante, pertence ao segmento de reta BA.

b) Para calcular o volume do ponto D, usamos a equação geral dos gases aplicada à isoterma AD:

$$p_A \cdot V_A = p_D \cdot V_D \rightarrow V_D = 1,5 \text{ L}$$

A temperatura da isoterma BC pode ser calculada usando, por exemplo, a isobárica BA:

$$\frac{V_A}{T_A} = \frac{V_B}{T_B} \rightarrow T_B = T_C = 400 \text{ K}$$

17. C

Dados:

$V = \text{constante}$ (transformação isocórica);

$T_{\text{inicial}} = 27 \text{ }^\circ\text{C} = 300 \text{ K}$ (A lei de Charles e Gay-Lussac é verdadeira apenas na temperatura absoluta, isto é, na escala kelvin. Por isso, precisamos usar

essa unidade primeiro, e somente no final do exercício transformar para graus Celsius.)

$$P_{\text{inicial}} = 760 \text{ mmHg} = 1 \text{ atm};$$

$$P_{\text{final}} = 2 \text{ atm};$$

$$T_{\text{final}} = ?$$

* Usando a relação estabelecida por Charles e Gay-Lussac para as transformações isocóricas ou isovolumétricas, temos:

$$P_{\text{inicial}} = P_{\text{final}}$$

$$T_{\text{inicial}} = T_{\text{final}}$$

$$T_{\text{final}} = T_{\text{inicial}} \cdot \frac{P_{\text{final}}}{P_{\text{inicial}}}$$

$$T_{\text{final}} = 300 \text{ K} \cdot \frac{2 \text{ atm}}{1 \text{ atm}}$$

$$1 \text{ atm}$$

$$T_{\text{final}} = 600 \text{ K} = 600 - 273 = 327 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Estudo para o Enem

18. a) Considerando o ar um gás ideal e a transformação isovolumétrica, a relação entre as pressões e as temperaturas inicial (1) e final (2) é dada por:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

Assim, calculamos a pressão final:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \rightarrow \frac{1}{(27+273)} = \frac{p_2}{(7+273)}$$

$$p_2 = 0,93 \text{ atm}$$

b) A variação da energia interna para um gás ideal ΔU é dada por:

$$\Delta U = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T = C_v \cdot \Delta T$$

$$\Delta U = 0,718 \cdot (280 - 300) = -14,36 \text{ kJ/kg}$$

Temos, no entanto, a energia retirada por unidade de massa; é necessário multiplicá-la pela massa em kg para obtermos tão somente a energia retirada do gás.

Sabendo que a densidade do ar é ρ e que é igual a $1,17 \text{ kg/m}^3$, temos a massa de ar:

$$m = \rho \cdot V = 1,17 \cdot 0,6 = 0,7 \text{ kg}$$

Logo, usando o valor de energia interna por unidade de massa de ar em módulo, determinamos a variação de energia retirada pelo refrigerador.

$$\Delta U = 14,36 \cdot 0,7 = 10,05 \text{ kJ}$$

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

19. a) Podemos calcular a temperatura mínima (ponto D) e máxima (ponto B) usando a equação de Clapeyron para gases ideais:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \rightarrow T_D = \frac{1,0 \cdot 10^{-5} \cdot 8,3 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 8,3} = 100 \text{ K}$$

$$T_B = \frac{3,0 \cdot 10^{-5} \cdot 2 \cdot 8,3 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 8,3} = 600 \text{ K}$$

b) O trabalho W realizado pelo gás no ciclo é dado pela área no gráfico:

$$W = \Delta p \cdot \Delta V = (3,0 \cdot 10^5 - 1,0 \cdot 10^5) \cdot (2 \cdot 8,3 \cdot 10^{-3} - 8,3 \cdot 10^{-3})$$

$$W = 1660 \text{ J}$$

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

20. O volume de ar presente dentro do carro permanece inalterado. Logo, trata-se de uma transformação isovolumétrica. Assim, podem-se relacionar os instantes inicial e final da seguinte forma:

$$\frac{p_0}{T_0} = \frac{p}{T}$$

Sendo a pressão final igual à pressão inicial acrescida da diferença de pressão (o mesmo ocorre para temperatura) e sabendo-se que a temperatura deve ser representada em Kelvin, pode-se escrever:

$$\frac{p_0}{T_0} = \frac{p_0 + \Delta p}{T_0 + \Delta T} \rightarrow \frac{p}{298} = \frac{p + \Delta p}{298 + 10}$$

$$308 \cdot p = 298 \cdot p + 298 \cdot \Delta p$$

$$\frac{\Delta p}{p} = 3,35\%$$

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

50 PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA

Comentário sobre o módulo

Neste módulo, conceituamos a primeira lei da termodinâmica, relacionando as proposições possíveis através da equação que relaciona energia interna, calor e trabalho.

Para ir além

- A formulação do princípio da conservação da energia é um exemplo de longo amadurecimento da primeira lei da termodinâmica. É possível sugerir a leitura do artigo no *link* a seguir aos alunos.

http://sites.poli.usp.br/pme/sisea/portugues/disciplinas/1a%20Lei_RBEF.pdf

Acesso em: jan. 2019.

Exercícios propostos

7. a) O trabalho do ciclo ABCDA representado na figura corresponde à área da figura; considerando o sentido horário, teremos um trabalho positivo.
- Os segmentos AB e CD representam uma transformação isocórica (volume constante) e terão trabalho nulo.
 - O segmento BC representa uma expansão volumétrica isobárica, conduzindo a um trabalho positivo (gás realizando trabalho sobre o meio externo).
 - O segmento DA representa o gás recebendo trabalho do meio externo, ou seja, um trabalho negativo referente a uma contração de volume à pressão constante.

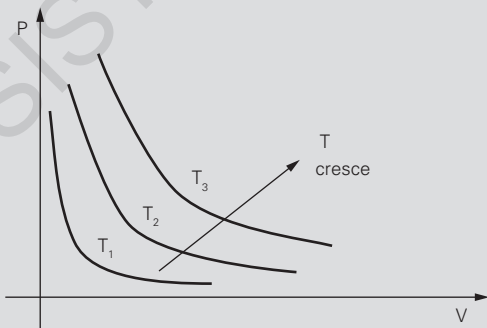
Desse modo:

$$\mathcal{E}_{BC} = 15 \cdot (6 - 2) = 60 \text{ J}$$

$$T_{DA} = 5 \cdot (2 - 6) = -20 \text{ J}$$

$$\mathcal{E}_{\text{ciclo}} = 60 - 20 = 40 \text{ J}$$

b) Para calcularmos a maior e a menor temperaturas do sistema, devemos lembrar os gráficos de isotermas, através da lei de Boyle-Mariotti.



Observando o gráfico dado, notamos que os pontos de maior e menor temperaturas absolutas são, respectivamente, C e A.

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

Isolando T e calculando as temperaturas para os pontos C e A, temos:

$$T_C = \frac{15 \cdot 6}{1 \cdot 8} = 11,25 \text{ K}$$

$$T_A = \frac{5 \cdot 2}{1 \cdot 8} = 1,25 \text{ K}$$

8. A variação da energia interna para os dois caminhos, ABD e ACD, deve ser igual.

$$Q = \Delta U + \mathcal{E} \rightarrow \Delta U = Q - T$$

$$\Delta U_{ABD} = Q_{ABD} - \mathcal{E}_{ABD}$$

$$Q_{ABD} = 120 + 500 = 620$$

$$\mathcal{E}_{ABD} = p \cdot \Delta V = 105 \text{ J}$$

Logo:

$$\Delta U_{ABD} = 620 - 105 = 515 \text{ J}$$

$$\Delta U_{ABD} = \Delta U_{ACD} = 515 \text{ J}$$

9. Em qualquer ciclo, o gás sempre volta ao estado inicial, à mesma temperatura. Como a variação da energia interna é diretamente proporcional à variação de temperatura pela expressão

$$\Delta U = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T, \text{ a variação da energia interna também é nula.}$$

10. O aquecimento na fase sólida tem duração $\Delta t = 3 \text{ min}$. A quantidade de calor absorvida é:

$$Q = p \cdot \Delta T = 2 \cdot 10^3 \rightarrow Q = 6 \cdot 10^3 \text{ J} \rightarrow Q = 6 \text{ J}$$

Aplicando a primeira lei da termodinâmica:

$$\Delta U = Q - \mathcal{E}$$

$$\Delta U = 5,9 \text{ J}$$

11. B

Para um ciclo completo, a variação da energia interna é nula.

$$\Delta E_{\text{int}} = 0$$

Mas, pela primeira lei da termodinâmica:

$$\Delta E_{\text{int}} = Q - \mathcal{E}$$

$$\text{Então: } 0 = Q - \mathcal{E} \rightarrow \mathcal{E} = Q$$

Como o ciclo acontece no sentido anti-horário, tanto trabalho quanto calor são negativos.

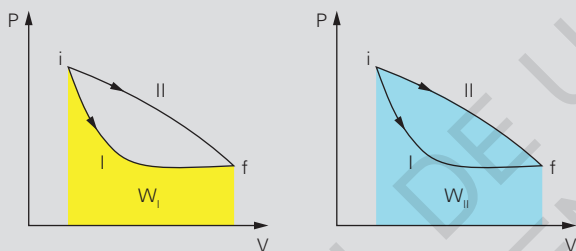
$$\mathcal{E} = Q$$

$$\mathcal{E} < 0 \text{ e } Q < 0$$

12. B

A variação da energia interna de um gás ideal depende de sua temperatura absoluta. Nos dois processos apresentados, as temperaturas inicial e final são iguais, portanto, as variações da energia interna também serão **iguais**.

O trabalho é representado pela área sob a curva, como mostra a figura a seguir, sendo possível identificar que o trabalho realizado no processo I é menor, quando comparado ao do processo II.



13. E

[I] Verdadeira. A alternativa é correta de acordo com a equação $U = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot T$.

[II] Falsa. A quantidade de calor absorvida depende do caminho percorrido no processo.

[III] Verdadeira. A variação da entropia (que mede o grau de desordem do sistema) será a mesma para os processos.

[IV] Verdadeira. Vide equação na resposta do item [I].

[V] Falsa. O trabalho depende do caminho percorrido no processo, sendo representado pela área sob a curva do gráfico de $p \times V$.

14. D

Deve-se notar que o ciclo é **anti-horário** e que o volume está expresso em litros ($1\text{L} = 10^{-3} \text{m}^3$), tratando-se de um ciclo refrigerador.

O trabalho (W) recebido a cada ciclo é calculado pela área interna do ciclo:

$$\mathcal{E} = -(6 - 2) \cdot 10^{-3} \cdot (3 - 1) \cdot 10^5$$

$$\mathcal{E} = -800 \text{ J}$$

Como em uma transformação cíclica a variação da energia interna é nula, aplicando a primeira lei da termodinâmica ao ciclo, vem:

$$Q = \Delta U + \mathcal{E}$$

$$Q = 0 + (-800) = -800 \text{ J}$$

O sinal negativo indica calor liberado para o meio ambiente.

15. D

[A] Incorreta. A energia interna de um gás é função de sua temperatura absoluta.

[B] Incorreta. De acordo com a primeira lei da termodinâmica, temos:

$$\Delta U = Q - \mathcal{E} \rightarrow \Delta U = 48 - 16 = 32 \text{ J}$$

[C] Incorreta. Ao ser fornecida energia a um sistema, este pode realizar trabalho ou aumentar sua energia interna.

[D] Correta.

[E] Incorreta. A avaliação das variáveis de processo depende de estabelecer um estado inicial e um estado final.

16. E

Para um gás ideal, a compressão adiabática significa que o sistema não troca calor com o meio. Sendo assim, o trabalho fornecido pelas vizinhanças da massa gasosa é convertido em aumento da energia interna dessa massa. Pela primeira lei da termodinâmica:

$$Q = \Delta U + \mathcal{E}$$

Mas $Q = 0$ (compressão adiabática)

$$\Delta U = -\mathcal{E}$$

17. B

Sabendo da convenção de sinais com relação a calor e trabalho em um sistema termodinâmico e analisando o enunciado, podemos dizer que:

$$\mathcal{E} = +200 \text{ J}$$

$$Q = +300 \text{ J}$$

Ou seja, tanto o calor quanto o trabalho são maiores que zero.

Assim, verificando as alternativas, temos que:

[A] Incorreta. Uma transformação é dita adiabática quando não existe troca de calor com o meio externo. O próprio enunciado afirma que existe uma troca de calor.

[B] Correta. Se o meio recebeu calor, e sabendo que a energia interna é dada por:

$$U = \frac{3}{2}n \cdot R \cdot T$$

Assim,

$$300 = 200 + \Delta U$$

$$\Delta U = 100 \text{ J}$$

Logo, a energia interna aumenta, e a temperatura também.

[C] Incorreta. Se o gás realiza trabalho, o volume vai variar.

[D] Incorreta. Como visto no item [B], a variação da energia interna é positiva.

Estudo para o Enem

18. B

A primeira lei da termodinâmica é a aplicação do princípio de conservação de energia em um sistema gasoso. O sistema pode trocar energia com o meio, na forma de **calor** ou na forma de **trabalho**. Essa energia pode provocar alteração na temperatura do sistema, variando a **energia interna** dele.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

19. C

[I] Correta. Do enunciado, o calor é fornecido ao sistema e o trabalho é realizado sobre o sistema. Assim, pela primeira lei da termodinâmica:

$$\Delta U = Q + \mathcal{E}$$

[II] Incorreta. Quando um sistema é fechado, não existe troca de calor com o meio externo, nem é realizado trabalho, sobre ou pelo sistema.

[III] Correta.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

20. D

[01] Verdadeira. $W_{AB} = p_B \cdot \Delta V_{AB} = 6 \cdot 10^2 \cdot (2-1) \Rightarrow W_{AB} = 6 \cdot 10^2 \text{ J}$.

[02] Verdadeira. A transformação BC é isométrica, não havendo realização de trabalho.

[04] Verdadeira. $\Delta U = \frac{3}{2} \cdot p \cdot \Delta V = \frac{3}{2} \cdot 3 \cdot 10^2 (1-2) \Rightarrow$

$$\Rightarrow \Delta U = -4,5 \cdot 10^2 \text{ J. } (\Delta U < 0 \Rightarrow U \text{ diminui})$$

[08] Falsa. $W_{\text{ciclo}} = A_{\text{ciclo}} = 3 \cdot 10^2 (2-1) \Rightarrow W_{\text{ciclo}} = 3 \cdot 10^2 \text{ J}$.

[16] Verdadeira. $P_{\text{ot}} = \frac{4 \cdot W_{\text{ciclo}}}{\Delta t} = \frac{4 \cdot 3 \cdot 10^2}{1} \Rightarrow$

$$\Rightarrow P_{\text{ot}} = 12 \cdot 10^2 \text{ W}.$$

Portanto, a soma das proposições corretas será: $01 + 02 + 04 + 16 = 23$, conforme consta na alternativa [D].

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

51 SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA

Comentário sobre o módulo

Neste módulo, treinamos a diferenciação entre a primeira e a segunda leis da termodinâmica. Conhecemos o funcionamento de máquinas térmicas e nos tornamos capazes de calcular seu trabalho, reconhecendo as transformações que ocorrem no ciclo de Carnot. Introduzimos também o conceito de eficiência de uma máquina térmica.

Para ir além

- O artigo no *link* a seguir chama atenção para o uso do diagrama $T \times S$ na descrição de máquinas térmicas. É possível sugerir a leitura dele aos alunos para facilitar a compreensão da segunda lei da termodinâmica.

<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v25n4/a04v25n4>

Acesso em: jan. 2019.

Exercícios propostos

7. Calculando-se o rendimento:

$$\eta = 1 - \frac{Q_{\text{CEDIDO}}}{Q_{\text{RECEBIDO}}} = 1 - \frac{400}{800} = 0,5$$

Assim,

$$0,5 = 1 - \frac{T_{\text{FONTE FRIA}}}{T_{\text{FONTE QUENTE}}} = 1 - \frac{27 + 273}{T_{\text{FONTE QUENTE}}} = 600 \text{ K}$$

8. Sabendo-se o rendimento, pode-se calcular a temperatura da fonte fria:

$$\eta = 1 - \frac{T_{\text{FONTE FRIA}}}{T_{\text{FONTE QUENTE}}} = 0,25 = \frac{T_{\text{FONTE FRIA}}}{227 + 273}$$

$$T_{\text{FONTE FRIA}} = 375 \text{ K} = 102^\circ \text{C}$$

9. a) Para uma máquina de Carnot:

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{2,8 \cdot 10^3}{4 \cdot 10^3}$$

$$\eta = 1 - 0,7 = 0,3$$

$$\therefore \eta = 30\%$$

- b) Calculando-se o trabalho:

$$\tau = Q_1 - Q_2 = 4 \cdot 10^3 - 2,8 \cdot 10^3$$

$$\tau = 1,2 \cdot 10^3 \text{ J}$$

Para um ciclo:

$$T = \frac{1}{\frac{3000}{60}} \Rightarrow T = 2 \cdot 10^{-2} \text{ s}$$

Assim, calcula-se a potência de operação:

$$P = \frac{\tau}{\Delta t} = \frac{1,2 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^{-2}} = 6 \cdot 10^4 \text{ W}$$

10. Calculando-se o rendimento:

$$\eta = 1 - \frac{T_{\text{FONTE FRIA}}}{T_{\text{FONTE QUENTE}}} = 1 - \frac{300}{900} = 1 - \frac{1}{3} = 0,66 = 66\%$$

Se o processo é cíclico, então, a entropia final e a entropia inicial são iguais.

11. B

Calculando-se o trabalho:

$$\eta = \frac{\tau}{Q} = 0,25 = \frac{\tau}{600}$$

$$\tau = 150 \text{ J}$$

Assim:

$$\eta = 1 - \frac{T_{\text{FONTE FRIA}}}{T_{\text{FONTE QUENTE}}} = 0,25 = 1 - \frac{T_{\text{FONTE FRIA}}}{400}$$

$$T_{\text{FONTE FRIA}} = 300 \text{ K} = 27^\circ \text{C}$$

12. A

Ao afirmar que a máquina não opera em ciclo de Carnot, o que se pode assegurar é que o rendimento dela será menor que o de Carnot. Dessa forma, todas as alternativas além da alternativa A se inviabilizam. Para confirmar isso, calcula-se o rendimento caso essa máquina operasse segundo o ciclo de Carnot:

$$\eta = 1 - \frac{300 \text{ K}}{750 \text{ K}} \Rightarrow \eta = 1 - 0,4 \therefore \eta = 0,6$$

13. 04 (04)

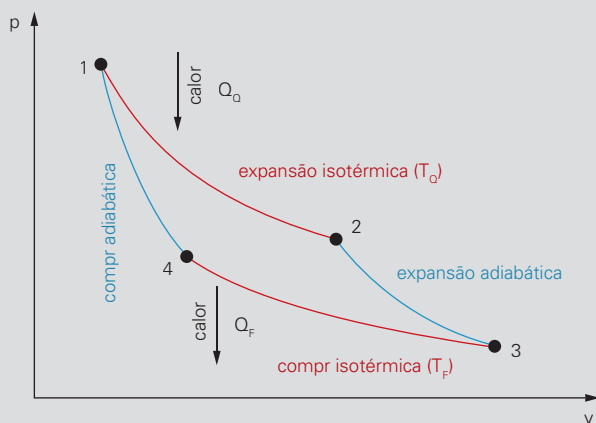
[01] Falsa. É incorreto dizer que a energia cinética pode ser absorvida. As energias são transformadas, e não absorvidas.

[02] Falsa. O correto é o fluxo do corpo mais quente para o mais frio, apenas.

[04] Verdadeira. É correto afirmar a combustão nos motores como forma de propor energia a uma máquina térmica.

[08] Falsa. A geladeira recebe energia da rede elétrica, e não trabalho.

[16] Falsa. A ilustração a seguir representa o ciclo de Carnot e o de transformações reversíveis cujo rendimento é máximo e maior que o do ciclo de Otto.



14. A

Pela comparação das alternativas com a teoria sobre máquinas térmicas, observa-se que essas alternativas são previstas pelas conceituações, exceto a alternativa A, que pode ser corrigida segundo o pensamento de que um rendimento de máquina térmica chega a seu máximo quando a menor parte da energia térmica de uma fonte quente é liberada para uma fonte fria.

15. E

a) Não se pode saber se a máquina é ou não ideal, haja vista que não sabemos se há algum tipo de perda de energia para o ambiente. Neste módulo, tratamos todas as máquinas térmicas quantitativamente ideais e, a partir disso, avaliamos seu rendimento, comparado com o do ciclo de Carnot. Todavia, é razoável considerar que essa máquina não é ideal, tendo-se em mente os argumentos para os próximos itens.

b) Considerando os valores de energia das fontes quente e fria, comparados às suas respectivas temperaturas, vemos que o rendimento real é maior que aquele calculado segundo o ciclo de Carnot. Portanto, a afirmação viola a segunda lei da termodinâmica.

c) Sendo assim, para um valor de calor rejeitado maior que 12 kJ, ela é aceitável, e não igual.

d) Como discutido no item B, ela não trabalha abaixo da eficiência de Carnot.

e) Logo, dadas as argumentações anteriores, essa máquina não pode funcionar da forma esquematizada.

16. C

Calculando-se o rendimento (utilizando-se a temperatura em kelvin):

$$\eta = 1 - \frac{T_{\text{FONTE FRIA}}}{T_{\text{FONTE QUENTE}}} = 1 - \frac{300}{1200} = 0,75$$

Calculando-se a potência total:

$$P = 925 \frac{\text{cal}}{\text{s}} = 3700 \text{ W}$$

Calculando-se a potência útil:

$$P = 2,5 \text{ cv} \cdot 740 \text{ W} = 1850 \text{ W}$$

Calculando-se o rendimento do motor:

$$\eta = \frac{P_{\text{útil}}}{P_{\text{total}}} = \frac{1850}{3700} = 0,5$$

Calculando-se a razão entre o rendimento de Carnot e o rendimento do motor:

$$\frac{\eta_{\text{Carnot}}}{\eta_{\text{motor}}} = \frac{0,75}{0,5} = 1,5$$

17. B

Calcula-se o rendimento da máquina, considerando que $\tau = Q_T - Q_R$, sendo Q_T e Q_R , respectivamente, a quantidade de calor total e a quantidade de calor rejeitado para a fonte fria. Assim:

$$Q_T = \frac{Q_R}{1 - \eta}$$

Então:

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{Q_R}{1 - \eta} - Q_R = Q_R \cdot \left(\frac{1}{1 - \eta} - 1 \right) = \\ &= 4,6 \cdot 10^6 \cdot \left(\frac{1}{1 - 0,08} - 1 \right) = 4,0 \cdot 10^5 \text{ J} \end{aligned}$$

Estudo para o Enem

18. F - V - V - F - F

Analisando-se as afirmativas na ordem em que aparecem, observamos que:

Falsa. Pelo texto proposto no enunciado, destaca-se o trecho que indica “[...] Com um cilindro a menos, tem-se menor geração de calor, o que implica menos energia dissipada”, o que significa que o trabalho realizado seria alterado.

Verdadeira.

Verdadeira.

Falsa. Pela conceituação, apreende-se que os ciclos devem estar a temperaturas diferentes.

Falsa. Pela conceituação, observa-se a contrariedade à segunda lei da termodinâmica.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

19. a) Calculando-se o rendimento da máquina térmica ideal, utilizamos $\eta = \frac{\tau}{Q_R}$, onde Q_R simboliza o calor recebido pela máquina térmica. Lembrando que $\tau = Q_R - Q_C = 50 = Q_R - 150$, onde Q_C simboliza a quantidade de calor cedida à fonte fria, então:

$$\eta = \frac{50}{200} = 0,25 = 25\%$$

- b) Calculando-se a temperatura da fonte fria:

$$T_{\text{FONTE QUENTE}} = 127 + 273 = 400 \text{ K}$$

$$\frac{Q_R}{Q_C} = \frac{T_{\text{FONTE QUENTE}}}{T_{\text{FONTE FRIA}}} = \frac{400}{T_{\text{FONTE FRIA}}}$$

$$T_{\text{FONTE FRIA}} = 300 \text{ K} = 27^\circ \text{C}$$

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

20. C

Calculando-se os rendimentos:

$$\eta_0 = 1 - \frac{T_{\text{FONTE FRIA}}}{T_{\text{FONTE QUENTE}}} = 0,6 = 1 - \frac{T_{\text{FONTE FRIA}}}{T_{\text{FONTE QUENTE}}}$$

$$\frac{T_{\text{FONTE FRIA}}}{T_{\text{FONTE QUENTE}}} = 0,4 \quad (\text{equação 1})$$

$$\eta_1 = 1 - \frac{\frac{3T_{\text{FONTE FRIA}}}{4}}{\frac{T_{\text{FONTE QUENTE}}}{2}} = 1 - \frac{3}{2} \cdot \frac{T_{\text{FONTE FRIA}}}{T_{\text{FONTE QUENTE}}} \quad (\text{equação 2})$$

Juntando-se as equações 1 e 2:

$$\eta_1 = 1 - \frac{3}{2} \cdot 0,4$$

$$\frac{\eta_1 - \eta_0}{\eta_0} \cdot 100\% = \frac{0,4 - 0,6}{0,6} \cdot 100\% = -33,3\%$$

$$\frac{\eta_1 - \eta_0}{\eta_0} \cdot 100\% = \frac{0,4 - 0,6}{0,6} \cdot 100\% = -33,3\%$$

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

52 TERCEIRA LEI DA TERMODINÂMICA

Comentário sobre o módulo

Neste módulo, introduzimos a terceira lei da termodinâmica, além de termos conceituado entropia e visto como calculá-la.

Para ir além

- No *link* a seguir, está a sugestão de um jogo com o nome de Demônio de Maxwell. É possível apresentar o jogo para os alunos e discutir com eles a relação com o conceito de entropia.

http://www.cienciamao.usp.br/tudo/exibir.php?midia=int&cod=_dmaxwell

Acesso em: jan. 2019.

Exercícios propostos

7. C

O enunciado trata do experimento mental formulado por Maxwell, no qual se busca “contrariar” a segunda lei da termodinâmica.

8. B

Observação: note que a unidade para a capacidade térmica está errada no enunciado, pois esta não depende da massa. A unidade fornecida é a de calor específico.

A resolução do exercício é direta, pois, se o leite necessita de uma menor quantidade de energia para variar sua temperatura em uma unidade, logo seu equilíbrio térmico com o ambiente irá acontecer mais rapidamente. Portanto, a alternativa correta é a B.

Analisando as demais opções:

a) Se a capacidade térmica do leite é menor que a da água e a massa é a mesma para ambos, logo o calor específico do leite também será menor que o da água.

c) A água tem temperatura inicial de $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ e, ao atingir o equilíbrio térmico, terá temperatura de $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ e não haverá transição de fase.

d) A energia térmica armazenada pela água é maior, já que ela possui maior calor específico, e ambos contam com mesma massa e mesma variação de temperatura.

9. A

I) Correta. Ao entrar no congelador, o gás é expandido, sofrendo diminuição da pressão. Como absorve energia do interior da geladeira, sua temperatura aumenta.

II) Incorreta. Contradiz a afirmativa anterior.

III) Correta. Ao passar pelo condensador, o gás está sob alta pressão. Nessa passagem, o gás libera calor para o meio, diminuindo sua temperatura.

IV) Incorreta. Contradiz a afirmativa anterior.

10. 89 (01 + 08 + 16 + 64)

01) Correta. O efeito Joule refere-se ao aquecimento de um condutor pela passagem da corrente elétrica, isto é, ocorre a transformação de energia elétrica em energia térmica. No caso da lâmpada incandescente, além do calor produzido pela passagem da corrente elétrica, temos a produção de luz.

02) Incorreta. O controle remoto emite ondas eletromagnéticas transversais que são basicamente ondas de rádio e não dependem de meio material para se propagarem, como as ondas mecânicas.

04) Incorreta. A afirmação violaria se esse processo fosse espontâneo como preconiza a segunda lei, porém, para que os aparelhos de ar-condicionado funcionem dessa forma, é necessário um fornecimento externo de energia, que ocorre através de um compressor que realiza trabalho mecânico sobre uma substância refrigerante, tornando possível o sentido inverso da troca de calor.

08) Correta. Esse princípio está por trás do sistema de marchas utilizado nas bicicletas, em que, se a relação entre os raios da coroa e da catraca for pequena, estamos na condição em que precisamos subir uma elevação e a velocidade e o torque são menores (catraca maior), ao passo que, para a relação entre coroa/catraca maior, temos velocidade maior e usamos a catraca menor, porém com maior torque. Resumindo, como a roda traseira da bicicleta e a catraca têm a mesma velocidade angular (giram no mesmo tempo), quanto menor a catraca, maior será a velocidade para uma mesma frequência de pedalada.

16) Correta. A imagem da maioria das televisões antigas se baseava em varrer a tela com emissão de elétrons formadores da imagem que eram desviados para todos os cantos da tela com um campo magnético direcionador.

32) Incorreta. O que ocorre, na realidade, é que a voz é uma onda mecânica, pois necessita de meio material para se propagar. O telefone transforma a voz em impulsos elétricos, que são transmitidos

pelos fios no telefone fixo, ou como ondas eletromagnéticas, no caso do celular, até seu destino final, onde um transdutor reconstitui a voz.

64) Correta. O aspirador de pó suga sujeiras e poeira através da diferença de pressão causada por seu funcionamento, mesmo princípio do uso de canudos para beber refrigerantes. Em seu interior, há um ventilador poderoso com hélices inclinadas puxando o ar externo com muita rapidez, provocando na entrada de ar uma diferença de pressão suficiente para sugar a seu interior tudo o que for capaz de passar pelo orifício de entrada. O ar escapa na parte superior do filtro poroso e o pó fica retido na parte inferior.

11. B

A análise do diagrama dado permite concluir que a energia total (E) liberada na queima do combustível é

$$E = 4000 + 8000 = 1,2 \cdot 10^4 \text{ J}$$

Como a queima de 1 kg de querosene libera $6 \cdot 10^4 \text{ J}$, temos que a massa m desse combustível consumido em cada ciclo é, fazendo a regra de três:

$6 \cdot 10^4 \text{ J}$ equivale a 1 kg, enquanto $1,2 \cdot 10^4 \text{ J}$ é:

$$m = \frac{1,2 \cdot 10^4}{6 \cdot 10^4} = 0,2 \text{ kg}$$

12. A

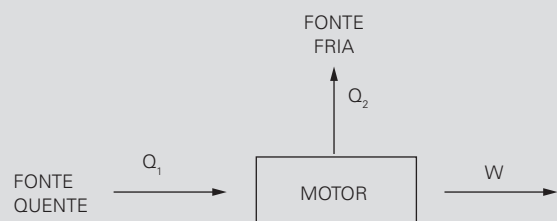
Em um gás ideal, a temperatura está ligada à energia cinética média por partícula. De acordo com a equação de Boltzmann, para um gás ideal e monoatômico:

$$E_c = \frac{3}{2} \cdot k \cdot T$$

Onde k é a constante de Boltzmann e T , a temperatura absoluta.

13.

a) Sendo um motor térmico quente, o motor de 4 tempos opera retirando calor de uma fonte quente (Q_1), transformando parte em trabalho (W) e rejeitando parte (Q_2) ao meio ambiente, que é a fonte fria.



b) Motor térmico ideal é aquele que opera com rendimento máximo, dado pelo ciclo de Carnot.

$$Q = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 36\%$$

c) Com rendimento de 20%, calculemos a energia útil para cada motor, por litro de combustível:

$$E_{\text{gás}} = 0,2 \cdot 35 = 7 \text{ J/L e } E_{\text{et}} = 0,2 \cdot 24 = 4,8 \text{ J/L}$$

Então, fazendo uma regra de três simples, temos:

$$E_{\text{gás}} = \frac{7}{4,8} = 1,46 E_{\text{et}}$$

14. C

O rendimento de uma máquina térmica é a razão entre o trabalho realizado e o calor recebido. O trabalho máximo que cada uma das máquinas pode realizar é dado por:

$$\eta = \frac{T_{\text{máx}}}{Q} \rightarrow T_{\text{máx}} = 0,5 \cdot 20 \cdot K = 10 \text{ KJ}$$

Portanto, é possível somente a construção da Máquina 3.

15. B

O rendimento máximo de uma máquina térmica é dado pela razão da diferença de temperatura entre as fontes quente e fria e a fonte quente.

$$\eta_{\text{máx}} = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \frac{300}{600} = \frac{1}{2}$$

Então temos:

$$\eta = \frac{4}{5} \cdot \eta_{\text{máx}} = \frac{4}{10}$$

Como:

$$P_U = \eta \cdot P_r \rightarrow P_U = 480 \text{ W}$$

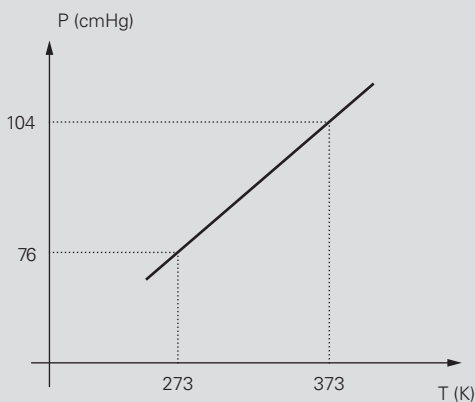
16.

No estado inicial, o recipiente se encontra aberto, ou seja, sua pressão é igual à pressão atmosférica ($T_1 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$, $P_1 = 76 \text{ cmHg}$).

No estado final, o recipiente é imerso em um banho térmico com água em ebulição, provocando um desnível indicado na escala de 28 cm.

$$P_2 = P_{\text{atm}} + P_{\text{Hg}} = 76 + 28 = 104 \text{ cmHg}$$

$$T_2 = 100 \text{ }^\circ\text{C} = 373 \text{ K}$$



Considerando que o ar no interior do recipiente se comporte como um gás ideal, a pressão em função da temperatura terá uma variação linear:

$$P = P_0 + \alpha \cdot T$$

No estado inicial: $76 = P_0 + \alpha \cdot 273$

No estado final: $104 = P_0 + \alpha \cdot 373$

Realizando a subtração das duas equações, teremos:

$$104 - 76 = (P_0 + \alpha \cdot 373) - (P_0 + \alpha \cdot 273) \rightarrow$$

$$\rightarrow \alpha = 0,28 \text{ cmHg/K}$$

Retornando em uma das duas equações:

$$76 = P_0 + \alpha \cdot 273 \rightarrow P_0 = -0,44 \text{ cmHg}$$

Para a equação do gás, temos:

$$P = P_0 + \alpha \cdot T = -0,44 + 0,28 \cdot T$$

Para temperatura T_0 com a pressão $P = 0$, temos:

$$P = -0,44 + 0,28 \cdot T_0 \rightarrow T_0 = 1,57 \text{ K}$$

Portanto, a resposta é coerente com a teoria cinética dos gases perfeitos, pois a temperatura se aproxima de 0 K quando a pressão também se aproxima de 0 cmHg.

17. A

Realizando a análise individualmente, temos:

I) Correta. Aplicando a lei geral dos gases:

$$\frac{P_0 \cdot 3 \cdot V_B}{T_A} = \frac{P_0 \cdot 2 \cdot V_0}{T_B} \rightarrow T_B = \frac{2}{3} \cdot T_A$$

Sendo assim, a temperatura diminuiu.

II) Incorreta. Como houve uma compressão, o gás realizou trabalho negativo. Calculando esse trabalho, que é, numericamente, igual à "área" entre A e B e o eixo do volume:

$$W_{AB} = \frac{2 \cdot P_0 + P_0}{2} \cdot (V_0 - 3 \cdot V_0) = -3 \cdot P_0 \cdot V_0$$

III) Incorreta. Como o gás sofreu compressão e resfriamento, logo ele perdeu calor, não sendo, portanto, um processo adiabático. Calculando essa quantidade de calor:

$$Q = \Delta U + W = \frac{3}{2} \cdot (2 \cdot P_0 \cdot V_0 - 3 \cdot P_0 \cdot V_0) - 3 \cdot P_0 \cdot V_0$$

$$Q = \frac{-9}{2} \cdot P_0 \cdot V_0$$

Estudo para o Enem

18. C

Do texto da questão: "ao aquecer uma parte de um corpo macroscópico e o isolar termicamente, a temperatura deste se torna gradualmente uniforme, jamais se observando o contrário, o que indica a direcionalidade do tempo".

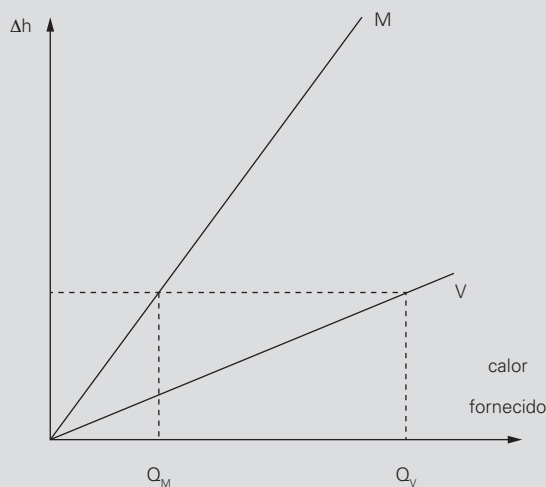
O texto se refere à entropia de um sistema, ou melhor, ao aumento da entropia dos sistemas termodinâmicos, o que é demonstrado pela segunda lei da termodinâmica, que nos diz: nunca será observado, com o passar do tempo, um acúmulo de energia térmica em apenas um ponto do corpo. Dessa forma, distribuir uniformemente a temperatura de um sistema isolado é um processo irreversível, pois ocorre de modo espontâneo, ao contrário do acúmulo de energia, que precisa ser um processo "forçado"; ou seja, requer a atuação de uma fonte de energia externa ao sistema para ocorrer.

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

19. E

Para uma mesma elevação Δh , a quantidade de calor absorvido pelo gás M é menor do que aquela absorvida pelo gás V ($Q_M < Q_V$).



Mas, para uma mesma variação Δh , ocorre uma mesma variação de volume (ΔV). Como se trata de uma transformação isobárica, os trabalhos que são realizados (W) também são iguais.

Supondo gases ideais:

Então:

$$Q_M < Q_V \rightarrow C_M < C_V$$

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

20. C

[Resposta do ponto de vista da disciplina de Física]

Os conceitos básicos da termodinâmica foram alavancados a partir de 1698 com a invenção da primeira térmica, uma bomba d'água que funcionava com vapor, criada por Thomas Savery para retirar água das minas de carvão, na Inglaterra. A partir daí, essa máquina foi sendo aprimorada com a contribuição de vários engenheiros, inventores e construtores de instrumentos, como James Watt. Por volta de 1760, a máquina térmica já era um sucesso, oferecendo importante subsídio à Revolução Industrial.

[Resposta do ponto de vista da disciplina de História]

A Primeira Revolução Industrial alterou a maneira como se produziam as mercadorias, em especial com a criação de maquinários movidos a vapor. Na Inglaterra da década de 1770, o mercado de tecidos, os transportes (como trens e navios) e as comunicações funcionavam com o uso de máquinas a vapor. Logo, a termodinâmica está relacionada à Revolução Industrial.

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

53 INTRODUÇÃO À FÍSICA MODERNA

Comentário sobre o módulo

Neste módulo, apresentamos o átomo de Bohr e sua energia. Introduzimos uma noção básica sobre o princípio da incerteza, os três tipos de partículas básicas e quais são elas. Indicamos o conceito de corpo negro e como obter sua potência de emissão. Também deduzimos a lei de Wien e determinamos o comprimento de onda máximo correspondente à emissão máxima.

Para ir além

- No *link* a seguir, é possível encontrar uma apostila que complementa o estudo de física moderna nesta etapa em que o aluno se encontra. Nessa apostila, é dada resumidamente a teoria atômica e sua aplicação.

http://www.ciencia.iao.usp.br/tudo/exibir.php?midia=pru&cod=_fisicamodernacontemporanea17968
Acesso em: jan. 2019.

Exercícios propostos

$$7. E = m \cdot c^2 \Rightarrow 170000 \cdot 3600 \cdot 10^9 = m \cdot (3 \cdot 10^8)^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow m = \frac{6,12 \cdot 10^{17}}{9 \cdot 10^{16}} \Rightarrow m = 6,8 \Rightarrow m \approx 7,0 \text{ kg}$$

8. a) Temos:

$$\frac{\mu_u}{\mu_d} = \frac{\frac{2}{3} \cdot M}{-1} \Rightarrow \frac{\mu_u}{\mu_d} = -2$$

b) Temos:

$$\mu_n = \frac{\frac{4}{3} \cdot \mu_d - \frac{4}{3} \cdot \mu_p}{\mu_p} \Rightarrow \mu_n = \frac{\mu_d \cdot \left(\frac{4}{3} - \frac{4}{3} \cdot \frac{\mu_u}{\mu_d} \right)}{\mu_p} = \frac{\frac{4}{3} - \frac{1}{3} \cdot (-2)}{\frac{4}{3} \cdot (-2) - \frac{1}{3}}$$

$$\Rightarrow \frac{\mu_n}{\mu_p} = -\frac{2}{3}$$

9. Massa do núcleo de hidrogênio = $1,6735 \cdot 10^{-27}$ kg

Massa do núcleo de hélio = $6,6470 \cdot 10^{-27}$ kg 4 núcleos de hidrogênio se combinando para formar um núcleo de hélio:

$$4 \cdot 1,6735 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \Rightarrow 6,694 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

A energia dissipada é dada através da diferença entre a massa do núcleo de hidrogênio e a massa do núcleo de hélio.

$$6,694 \cdot 10^{-27} \text{ kg} - 6,647 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \Rightarrow 0,047 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$E = m \cdot c^2 \Rightarrow E = 0,047 \cdot 10^{-27} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow E = 0,047 \cdot 10^{-27} \cdot 9 \cdot 10^{16} \Rightarrow E = 0,423 \cdot 10^{-11} \text{ J}$$

$$P = \frac{E}{\Delta t} \Rightarrow P = \frac{0,423 \cdot 10^{-11}}{10^{38}} \Rightarrow P = 0,423 \cdot 10^{-49} \text{ W}$$

10. De acordo com a equação de E_n dada, como o fóton possui energia de 2,55 eV, podemos concluir que a transição ocorre do estado $n = 4$ para o estado $n = 2$, pois:

$$E_4 - E_2 = -\frac{13,6}{4^2} - \left(-\frac{13,6}{2^2} \right) = -0,85 + 3,4 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow E_4 - E_2 = 2,55 \text{ eV}$$

E a energia total do estado final do elétron é $E_2 = -3,4 \text{ eV}$.

Para o elétron em órbita circular, temos que:

$$F_{cp} = F_{el}$$

$$\frac{m \cdot v^2}{R} = \frac{k \cdot |Q| \cdot |q|}{R^2} \Rightarrow m \cdot v^2 = \frac{k \cdot |Q| \cdot |q|}{R} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{m \cdot v^2}{2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{k \cdot |Q| \cdot |q|}{R}$$

Sendo assim, concluímos que:

$$E_{cin} = \frac{|E_{pot}|}{2}$$

Portanto:

$$E_{mec} = E_{cin} + E_{pot} \quad (E_{pot} < 0, \text{ pois a força é atrativa})$$

$$E_{mec} = -\frac{E_{pot}}{2} + E_{pot} \Rightarrow E_{pot} = 2 \cdot E_{mec} = 2 \cdot (-3,4)$$

$$\therefore E_{pot} = -6,8 \text{ eV}$$

11. D

A resolução está tão somente na soma de cargas de quarks que reproduzem a carga relativa do próton e do nêutron:

Próton: a soma das cargas deve ser igual a +1, equivalendo a dois quarks up e um down:

$$\frac{2}{3} + \frac{2}{3} - \frac{1}{3} = \frac{3}{3} = +1$$

Nêutron: a soma das cargas deve ser igual a zero, equivalendo a dois quarks down e um up:

$$\frac{2}{3} - \frac{1}{3} - \frac{1}{3} = \frac{0}{3} = 0$$

12. 07 (01 + 02 + 04)

[01] Verdadeira.

$$E_0 = m \cdot c^2 \Rightarrow E = 0,1 \cdot (3 \cdot 10^8)^2 \Rightarrow E = 9 \cdot 10^{15} \text{ J}$$

[02] Verdadeira.

$$K = (\lambda_p - 1) \cdot E_0 \Rightarrow$$

$$K = \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} - 1 \right) \cdot E_0 \Rightarrow K = \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{\left(\frac{\sqrt{8}}{3} \cdot c\right)^2}{c^2}}} - 1 \right) \cdot 9 \cdot 10^{15}$$

$$K = 1,8 \cdot 10^{16} \text{ J}$$

$$E = E_0 + K \Rightarrow 9 \cdot 10^{15} + 1,8 \cdot 10^{16} \Rightarrow E = 2,7 \cdot 10^{16} \text{ J}$$

[04] Verdadeira.

$$K = (\lambda_p - 1) \cdot E_0 \Rightarrow$$

$$K = \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} - 1 \right) \cdot E_0 \Rightarrow K = \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{\left(\frac{\sqrt{8}}{3} \cdot c\right)^2}{c^2}}} - 1 \right) \cdot 9 \cdot 10^{15}$$

$$K = 1,8 \cdot 10^{16} \text{ J}$$

[08] Falsa.

$$K = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \Rightarrow K = \frac{1}{2} \cdot 0,1 \cdot \frac{8}{9} \cdot 10^{16} = 44,4 \cdot 10^{13} \text{ J}$$

A mecânica de Newton fornece para a energia cinética um valor menor que aquele obtido pela mecânica relativística.

[16] Falsa. Não existe velocidade maior do que a da luz, segundo a teoria da relatividade restrita.

13. C

$$E = h \cdot \nu \Rightarrow h = \frac{E}{\nu}$$

$$[h] = \left[\frac{\text{J}}{\text{Hz}} \right] \Rightarrow [h] = [\text{J} \cdot \text{s}]$$

14. E

Os pontos destacados por Lord Kelvin só puderam ser compreendidos a partir da formulação de novas teorias físicas, que foram preponderantes na evolução científica e tecnológica. Os principais responsáveis por elas foram Max Planck e Albert Einstein.

15. D

Segundo Paul Tipler, em seu livro *Física Moderna*, 3ª edição, LTC: "Implícita na teoria da relatividade geral está a possibilidade de que uma massa acelerada emita ondas gravitacionais, da mesma forma como uma carga elétrica acelerada emite ondas eletromagnéticas".

16. B

O **princípio da incerteza** de Heisenberg consiste em um enunciado da mecânica quântica, formulado inicialmente em 1927 por Werner Heisenberg, impondo restrições à precisão com que se podem efetuar medidas simultâneas de uma classe de pares de grandezas (grandezas conjugadas) observáveis em nível subatômico.

17. E

A energia de um elétron em uma órbita de ordem n é inversamente proporcional ao quadrado da ordem dessa órbita, ou seja:

$$E_{el} = -\frac{k}{n^2}$$

Quando um fóton é emitido, há um decaimento na órbita. Então a energia do fóton emitido é igual à diferença entre as energias do elétron nas órbitas inicial e final:

$$E = E_i - E_f = -\frac{k}{n_i^2} - \left(-\frac{k}{n_f^2} \right) = -\frac{k}{n_i^2} + \frac{k}{n_f^2} \Rightarrow E = \frac{k}{n_f^2} - \frac{k}{n_i^2}$$

Então, somente há decaimento nos casos C, D e E. Dessa forma:

$$\left\{ \begin{array}{l} E_C = \frac{K}{3^2} - \frac{K}{4^2} = \frac{K}{9} - \frac{K}{16} \Rightarrow E_C = \frac{7 \cdot k}{144} \\ E_D = \frac{K}{2^2} - \frac{K}{4^2} = \frac{K}{4} - \frac{K}{16} \Rightarrow E_D = \frac{3 \cdot k}{16} = \frac{27 \cdot k}{144} \\ E_E = \frac{K}{1^2} - \frac{K}{2^2} = \frac{K}{1} - \frac{K}{4} \Rightarrow E_E = \frac{3 \cdot K}{4} = \frac{108 \cdot k}{144} \end{array} \right.$$

Comparando: $E_E > E_D > E_C$.

Estudo para o Enem

18. E

O modelo atômico de Bohr propõe que o elétron, ao passar de uma órbita para outra, absorve ou emite um quantum de energia. Essa energia é emitida, geralmente, na forma de luz.

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

19. A

[A] Correta. Por meio de hipóteses teóricas, Bohr chegou à seguinte relação:

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \cdot \left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_f^2} \right)$$

Sendo λ o comprimento de onda da luz emitida pelo salto quântico do elétron; R_H , a constante de Rydberg; n_i e n_f , os níveis inicial e final de energia do elétron no átomo.

Esse modelo explica satisfatoriamente as linhas do espectro visível do átomo de hidrogênio, mas falha ao tentar justificar o espectro visível em outros elementos da tabela periódica.

[B] Incorreta. Os comprimentos de onda do violeta ao vermelho correspondem às linhas da figura na ordem invertida, ou seja, da direita para a esquerda.

[C] Incorreta. O espaçamento entre as linhas decresce para um limite próximo ao ultravioleta.

[D] Incorreta. O modelo de Rutherford não considera a hipótese de quantização do momento angular, proposta posteriormente por Bohr.

Segundo Rutherford, o elétron se comporta diante do próton analogamente aos planetas em relação ao Sol. Mas, por conta das emissões de radiação, pelo modelo de Rutherford, o elétron perderia energia até colidir com o próton, fato que não é observado empiricamente.

Bohr se aproveitou do modelo proposto por Rutherford, acrescentando a ele a hipótese de quantização do momento angular do elétron em relação ao próton.

[E] Incorreta. A fórmula empírica obtida por Balmer para o comprimento de onda foi:

$$\frac{1}{\lambda} = R \cdot \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right); n = 3, 4, 5 \text{ e } 6$$

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

20. 42 (02 + 08 + 32)

[01] Incorreta. Corpos densos e quentes apresentam espectros de emissão contínuos.

[02] Correta.

[04] Incorreta. Para a obtenção de espectros contínuos, necessitamos de um gás denso e quente.

[08] Correta.

[16] Incorreta. A absorção ou emissão só ocorre para determinados valores de energia, sendo esses representados pela diferença de energia dos níveis quantizados em que transita o elétron e caracterizados por um fóton cuja frequência, multiplicada pela constante de Planck h , resulte, exatamente, na diferença entre os níveis transitados, sendo $h \cdot f = E_{\text{inicial}} - E_{\text{final}}$. Não depende da energia cinética, com sugere a fórmula apresentada.

[32] Correta.

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

54 DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA

Comentário sobre o módulo

Neste módulo, introduzimos o conceito da dualidade de onda-partícula da luz. Conhecemos o efeito fotoelétrico e suas propriedades, e determinamos a energia cinética de cada fóton.

Para ir além

- O *link* a seguir mostra um experimento simples para aprofundar o entendimento sobre a dualidade onda-partícula.

http://www.cienciamao.usp.br/tudo/exibir.php?midia5pmd&cod5_pmd2005_i2001

Acesso em: jan. 2019.

Exercícios propostos

21.

a) Teremos:

$$E_{\text{fóton}} = \frac{h \cdot c}{\lambda} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{396 \cdot 10^{-9}} = 5 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

b) Sendo E_0 a energia necessária para arrancar o elétron, de acordo com a equação do efeito fotoelétrico, vem:

$$E_{\text{cin}} = E_{\text{fóton}} - E_0 \rightarrow E_0 = 5 \cdot 10^{-19} - \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot (9 \cdot 10^5)^2}{2}$$

$$E_0 = 1,3 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

22. A energia cinética dos elétrons arrancados do material é dada por:

$$E_{\text{C máx}} = h \cdot f - \phi$$

Para a frequência mínima em que ocorre o efeito fotoelétrico, temos que a energia cinética de ejeção do elétron é nula.

Assim, ficamos com uma frequência mínima de:

$$\phi = h \cdot f_{\text{mín}} \rightarrow f_{\text{mín}} = \frac{9,94 \cdot 10^{19}}{6,63 \cdot 10^{34}} = 1,5 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$$

23. E

$$E_c = \frac{h \cdot c}{\lambda} = 6 \cdot 600 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{\lambda}$$

$$\lambda = 1,87 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$

24. $E_c = h \cdot f - W$

$$c = \lambda \cdot f$$

$$E_c = \frac{h \cdot c}{\lambda} - W$$

$$W = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{327 \cdot 10^{-9}} - 1,8 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} = 2,0 \text{ eV}$$

25. B

Análise das afirmativas:

I) Correta. A energia cinética dos fotoelétrons é dada por: $E_c = h \cdot f - W$.

Sendo a constante de Planck (h) e a função trabalho do material analisado (W) constantes, quando aumentamos a frequência, aumentamos também a energia cinética (E_c) dos elétrons ejetados pelo material.

II) Incorreta. Os elétrons mais internos apresentam menos energia que os mais externos. Portanto, para arrancar elétrons do subnível s , mais internos, é bem mais difícil que do subnível p , mais externos.

III) Correta. A energia de ligação dos elétrons com o núcleo é quantizada e característica para cada tipo de elemento químico, não somente para o carbono.

26. D

O efeito fotoelétrico é explicado considerando-se o comportamento corpuscular da luz, assumindo-se que fótons com determinada quantidade de movimento conseguem arrancar elétrons de uma placa metálica quando suas frequências atingem um valor mínimo, chamado de função trabalho, que depende do material metálico.

27. E

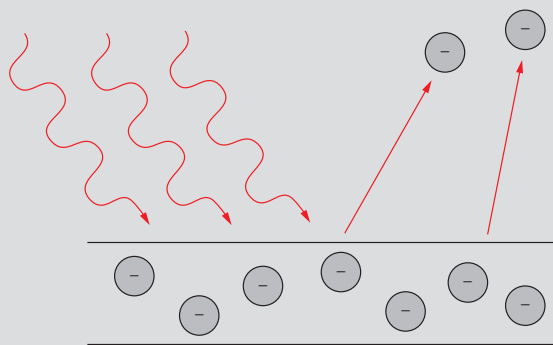
O **efeito fotoelétrico** ocorre quando uma placa metálica é exposta a uma radiação eletromagnética de frequência alta, por exemplo, um feixe de luz, e ele arranca elétrons da placa metálica.

Uma das dúvidas que se tinha a respeito era que, quanto mais se diminuía a intensidade do feixe de luz, mais o efeito ia desaparecendo. A frequência da fonte luminosa também intrigava muito os cientistas, pois, ao reduzir a frequência da fonte para abaixo de certo valor, o efeito desaparecia (chamado de frequência de corte); ou seja, para frequências abaixo desse valor, independentemente de qualquer que fosse a intensidade dela, não havia a saída de um único elétron que fosse da placa metálica.

Mais tarde, Einstein, com a teoria dos fótons, explicou que a intensidade da luz é proporcional ao número de fótons (característica corpuscular) e que, como consequência, ela determina o número de elétrons a serem arrancados da superfície

de uma placa metálica. Ainda, quanto maior a frequência (característica ondulatória), maior é a energia adquirida pelos elétrons – assim eles saem da placa. Abaixo da frequência de corte, os elétrons não recebem nenhum tipo de energia, não saindo da placa.

A figura ilustra o fenômeno descrito.



28. 03 (01 + 02)

01) Correta.

02) Correta.

04) Incorreta. Quanto maior a frequência, ou quanto menor o comprimento de onda da luz incidente, maior será a energia transferida dos fótons para os elétrons.

08) Incorreta. Os elétrons só podem ser liberados a partir da frequência-limite, ou frequência de corte.

16) Incorreta. A função trabalho do metal depende exclusivamente do tipo que está sendo usado.

29. D

O efeito fotoelétrico, descoberto por Einstein, que inclusive lhe proporcionou o Prêmio Nobel de Física em 1921, é descrito algebricamente da seguinte forma:

$$h \cdot \nu = W + E_{\text{Cmáx}}$$

sendo h a constante de Planck; ν , a frequência da onda incidente; W , a função trabalho, ou seja, a energia mínima exigida para remover um elétron de sua ligação atômica; e $E_{\text{Cmáx}}$ a energia cinética máxima dos elétrons expelidos (de cada elétron).

Do enunciado, constata-se que:

$$E_{\text{Cmáx}} > 0$$

Conclui-se, assim, que, uma vez incidida uma radiação eletromagnética proveniente do Sol (espectro visível) sobre a placa metálica, não haverá

impedimento para que os elétrons sejam expelidos da placa, a depender da radiação absorvida.

30. D

Analisando as afirmativas:

I) Incorreta. Pela análise do gráfico, para mesmas frequências, a energia dos elétrons emitidos pela placa I tem maiores energias cinéticas que os emitidos por II.

II) Correta. O trabalho é diretamente proporcional à frequência, portanto, o metal com maior trabalho para realizar o efeito fotoelétrico é aquele em que a frequência mínima é maior, ou seja, o metal da placa II.

III) Correta. O coeficiente angular das retas apresentadas no gráfico energia versus frequência é a constante de Planck, de acordo com a equação $E = h \cdot f$.

31. E

Analisando as alternativas incorretas:

a) O efeito fotoelétrico é produzido pela emissão de luz de dada energia sobre um metal, sendo capaz de arrancar elétrons dele. Logo, esse efeito não vai tornar um metal condutor, pois ele já é condutor por natureza.

b) A corrente elétrica que passa no filamento, pelo efeito Joule, se aquece até a incandescência, emitindo luz em desacordo com o efeito fotoelétrico, pois são fenômenos diferentes.

c) O fóton não possui carga elétrica, e sim energia.

d) A faísca elétrica é o transporte de carga elétrica entre dois pontos quando a rigidez dielétrica do meio foi vencida.

Estudo para o Enem

32. B

A interferência se encontra associada ao comportamento ondulatório da radiação eletromagnética, enquanto o efeito fotoelétrico está associado ao comportamento corpuscular. O fóton, que é tido com a partícula fundamental da luz, não possui massa.

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

33. C

Analisando as alternativas:

a) Incorreta. A energia mínima para remover um elétron de um material metálico, chamada de função trabalho, difere para cada material, sendo uma característica dele.

b) Incorreta. Os fótons incidentes em um metal de frequência menor que a frequência-limite não têm energia suficiente para ejetar elétrons desse metal, ou seja, não ocorre o efeito fotoelétrico.

c) Correta.

d) Incorreta. Somente os elétrons podem ser emitidos, e não núcleos atômicos.

e) Incorreta. A frequência mínima para ejeção dos elétrons da superfície metálica depende diretamente da função trabalho do material, portanto, quanto maior a função trabalho, maior será a frequência-limite para se verificar o efeito fotoelétrico.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes.

34. D

I) Correta. A energia dos fotoelétrons depende da frequência da radiação incidente, mas não da intensidade dela.

II) Correta. A radiação incidente, tendo uma frequência mínima, que varia de acordo com o material metálico-alvo, poderá remover fotoelétrons da superfície do metal. Acima dessa frequência mínima, o efeito fotoelétrico pode ser aumentado, elevando a intensidade do raio incidente.

III) Incorreta. A energia cinética dos fotoelétrons emitidos depende, de acordo com os estudos de Einstein, da diferença entre a energia do fóton incidente e a energia mínima necessária para remover o elétron do material – chamada de função trabalho do material.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Compreender fenômenos decorrentes da interação entre a radiação e a matéria em suas manifestações em processos naturais ou tecnológicos, ou em suas implicações biológicas, sociais, econômicas ou ambientais.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO
SISTEMA DE ENSINO

55 RELATIVIDADE

Comentário sobre o módulo

Neste módulo, introduzimos a definição de relatividade com o intuito de compreender seus dois postulados. Vimos como calcular a dilatação do tempo, a contração do espaço e a massa e a energia relativísticas.

Para ir além

- O artigo a seguir traz uma discussão teórica, socioeconômica e política-cultural do ensino de relatividade restrita no ambiente escolar.

http://www.cienciamao.usp.br/dados/snef/_pordentodarelatividadea.trabalho.pdf

- O artigo a seguir relaciona a tecnologia do GPS com a teoria da relatividade.

https://sprg.tecnico.ulisboa.pt/media/cms_page_media/21/GPS.pdf
Acesso em: jan. 2019.

Exercícios propostos

7.

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

Onde:

Δt = intervalo de tempo no referencial da Terra

$\Delta t'$ = intervalo de tempo para o astronauta

v = velocidade da nave em relação à velocidade da luz

c = velocidade da luz

Substituindo:

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \Rightarrow 9 = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - (0,8c)^2/c^2}}$$

$$\therefore \Delta t' = 9\sqrt{0,36} = 5,4 \text{ anos}$$

8.

$$\Delta t_{\text{relativ}} = \gamma \cdot \Delta t_{\text{próprio}}, \text{ onde } \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}, \text{ é a constante de Lorentz.}$$

Determinação da constante de Lorentz:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot c}{c}\right)^2}} \Rightarrow \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - 0,75}} \therefore \gamma = 2$$

Portanto:

$$\Delta t_{\text{relativ}} = 2 \cdot 28 \text{ anos}$$

$$\Delta t_{\text{relativ}} = 56 \text{ anos}$$

$$9. E = m \cdot c^2 = 9 \cdot 10^{-31} (3 \cdot 10^8)^2 = 8,1 \cdot 10^{-14} \text{ J.}$$

Lembre-se de converter para elétron-volt:

$$\left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ eV} \rightarrow 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} \\ E \rightarrow 8,1 \cdot 10^{-14} \text{ J} \end{array} \right\} \Rightarrow E = 5,0625 \cdot 10^5 \text{ eV} \cong$$

$$\cong 0,5 \cdot 10^6 \text{ eV}$$

$$E = 0,5 \text{ MeV}$$

10.

$$\frac{\lambda_{\text{aparente}}}{\lambda_{\text{real}}} = \sqrt{\frac{c-v}{c+v}} \Rightarrow \left(\frac{400}{600}\right)^2 = \frac{c-v}{c+v} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \left(\frac{2}{3}\right)^2 = \frac{c-v}{c+v} \Rightarrow \frac{4}{9} = \frac{c-v}{c+v} \Rightarrow \frac{v}{c} = \frac{5}{13}$$

11. B

Utilizando a expressão de contração de Lorentz-Fitzgerald:

$$L = L_p \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Onde:

L = comprimento da pista no referencial do avião

L_p = comprimento próprio da pista

v = velocidade do avião em relação à velocidade da luz

c = velocidade da luz

Então,

$$L = 2,5 \cdot \sqrt{1 - \frac{(0,6 \cdot c)^2}{c^2}} \Rightarrow L = 2,5 \cdot \sqrt{1 - \frac{0,36 \cdot c^2}{c^2}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow L = 2,5 \cdot \sqrt{1 - 0,36}$$

$$L = 2,5 \cdot \sqrt{0,64} \Rightarrow L = 2,5 \cdot 0,8$$

$$L = 2,0 \text{ km}$$

12. C

Para obter a energia útil consumida pela residência em 12 meses, fazemos:

$$E_u = 200 \text{ kW} \cdot \text{h} \cdot 12 = 2400 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

$$= (2400 \cdot 10^3 \text{ W}) \cdot (3,6 \cdot 10^3 \text{ s}) = 8,64 \cdot 10^9 \text{ W} \cdot \text{s}$$

$$E_u = 8,64 \cdot 10^9 \text{ J.}$$

Considerando o rendimento de 30%, a energia total produzida pela fissão é:

$$\eta = \frac{E_U}{E_T} \Rightarrow E_T = \frac{E_U}{\eta} = \frac{8,64 \cdot 10^9}{0,3}$$

$$E_T = 2,88 \cdot 10^{10} \text{ J}$$

Usando a relação massa-energia:

$$E_T = m_0 \cdot c^2 \Rightarrow m_0 = \frac{E_T}{c^2} = \frac{2,88 \cdot 10^{10}}{9 \cdot 10^{16}}$$

$$m_0 = 3,2 \cdot 10^{-7} \text{ kg}$$

13. A

$$E = \frac{m_e}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \cdot c^2 \Rightarrow 8 \cdot 10^5 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{9,1 \cdot 10^{-31}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{9 \cdot 10^{16}}}} \cdot 9 \cdot 10^{16}$$

$$E = \left(\sqrt{1 - \frac{v^2}{9 \cdot 10^{16}}} \right)^2 = 0,64^2 \Rightarrow 1 - \frac{v^2}{9 \cdot 10^{16}} = 0,41 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{v^2}{9 \cdot 10^{16}} = 0,59$$

$$v = \sqrt{5,31 \cdot 10^{16}}$$

$$v = 2,31 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

14. D

O tempo total Δt para o referencial da Terra é:

$$\Delta t = \frac{\Delta s}{v} + t_{\text{planeta}}$$

$$\Delta t = \frac{2 \cdot 20 \text{ al}}{0,999 c} + 5 \text{ a}$$

$$\Delta t = 45,04 \text{ a}$$

Utilizando a equação da dilatação dos tempos da relatividade, temos:

$$\Delta t = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \cdot \Delta t'$$

$$\Delta t = \gamma \cdot \Delta t'$$

Desse modo, o tempo total na visão do viajante é dado por:

$$\Delta t' = \frac{\Delta t}{\gamma} + t_{\text{planeta}}$$

$$\Delta t' = \frac{40}{22,4} + 5$$

$$\Delta t' = 6,79 \text{ a}$$

15. A

$$E = m \cdot c^2$$

$$m = \frac{E}{c^2}$$

$$m = \frac{1 \cdot 10^{12} \text{ cal} \cdot 4,18 \frac{\text{J}}{\text{cal}}}{(3 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2} = \frac{4,18 \cdot 10^{12} \text{ J}}{9 \cdot 10^{16} \text{ m}^2/\text{s}^2}$$

$$m = 4,64 \cdot 10^{-5} \text{ kg}$$

16. A

Utilizando a equação para dilatação do tempo, temos que:

$$\Delta t = \Delta t' \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Onde:

$\Delta t'$ = tempo decorrido para o observador em repouso

Δt = tempo decorrido dentro da aeronave

v = velocidade da aeronave

Assim,

$$\Delta t' = \frac{\Delta t}{\sqrt{1 - \frac{(0,995 \cdot c)^2}{c^2}}} = \frac{5}{0,01}$$

$$\Delta t' = 50 \text{ anos}$$

17. E

A conservação da quantidade de movimento ou do momento linear é considerada um dos alicerces fundamentais da física, pois se aplica tanto à física clássica quanto à física moderna.

Estudo para o Enem

18. C

Fazendo a correção para o tempo:

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$t = \frac{2 \cdot 10^{-6}}{\sqrt{1 - \frac{0,998 \cdot c^2}{c^2}}} = \frac{2 \cdot 10^{-6}}{\sqrt{20 \cdot 10^{-4}}}$$

$$t = 4,5 \cdot 10^{-5} \text{ s.}$$

A distância (D) percorrida pelo múon é:

$$D = v \cdot t \approx 3 \cdot 10^8 \cdot 4,5 \cdot 10^{-5}$$

$$D = 13,5 \cdot 10^3 \text{ m}$$

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

19. A

A dilatação do espaço-tempo é dada por:

$$T = T_0 \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

Para $v = 0,5c$, temos que:

$$T = T_0 \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{0,5c}{c}\right)^2}} \Rightarrow T = T_0 \frac{1}{\frac{\sqrt{3}}{2}} \Rightarrow T = T_0 \frac{2}{\sqrt{3}} \therefore$$

$$\therefore T = T_0 \frac{2\sqrt{3}}{3}$$

Já a contração do comprimento é dada pela equação:

$$L = L_0 \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}$$

Para $v = 0,5c$, temos que:

$$L = L_0 \sqrt{\frac{3}{4}} \Rightarrow L = L_0 \frac{\sqrt{3}}{2} \therefore L_0 = 2 \cdot L \cdot \frac{\sqrt{3}}{3}$$

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

20. B

$$L = L_0 \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} \rightarrow L = 50 \sqrt{1 - \left(\frac{0,6 \cdot c}{c}\right)^2}$$

$$L = 50 \sqrt{1 - \left(\frac{0,6 \cdot c}{c}\right)^2} = 50 \sqrt{1 - 0,36} = 50 \cdot 0,8 = 40 \text{ cm}$$

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO SISTEMA DE ENSINO BOSCO

56 RELATIVIDADE GERAL

Comentário sobre o módulo

Neste módulo, discutimos brevemente a relatividade geral, com suas contribuições para analisar fenômenos que a física clássica celeste não conseguiu explicar. Nos módulos seguintes, aproveitaremos para fixar melhor alguns conceitos da relatividade especial.

Para ir além

- Artigo sobre ondas gravitacionais.

https://www.bbc.com/portuguese/noticias/2016/02/160209_ondas_gravitacionais_mdb

- Artigo sobre o tempo na Física.

<http://soc.if.usp.br/~egs/Tempo.htm>
Acesso em: jan. 2019.

Exercícios propostos

7. A

A teoria da relatividade especial admite que a velocidade da luz é constante sob qualquer referencial, além de que o tempo se dilata e o espaço se contrai.

8. D

I. Falsa. O som precisa de um meio para se propagar.

II. Verdadeira.

III. Verdadeira.

9. B

A velocidade da luz é constante, independentemente da velocidade da fonte emissora.

10. D

A velocidade da luz (ondas eletromagnéticas) é de $3 \cdot 10^8$ m/s, independentemente de a fonte emissora estar em repouso ou em movimento.

11.

$$\Delta t = \Delta t_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \Rightarrow 12 = \Delta t_0 \sqrt{1 - \frac{0,8^2}{c^2}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta t_0 = \frac{12}{\sqrt{1 - 0,64}} = 20 \text{ meses}$$

12. A velocidade do sinal é igual a c , qualquer que seja o referencial adotado, esteja ele em repouso ou em movimento.

13. C

Pelos postulados da teoria da relatividade, é possível o tempo se dilatar e a velocidade se contrair.

14. E

Todas as afirmações são verdadeiras. Segundo a relatividade restrita, é possível que corpos sofram contração e que o tempo se dilate em relação ao referencial analisado, e a velocidade da luz é constante em qualquer referencial.

15. E

I. Correta.

II. Incorreta. A contração ocorre apenas na direção do movimento.

III. Correta.

16.

(00) Correta.

(11) Correta.

(22) Incorreta. Quando em movimento, o corpo sofre contração na direção dele.

(33) Correta.

17. C

$$V = 0,6 \cdot c$$

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \Rightarrow m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{0,6 \cdot c^2}{c^2}}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow m = \frac{m_0}{0,8} = 1,25 \cdot m_0$$

Estudo para o Enem

18. D

O tempo sofre uma contração relativística, isto é, o relógio do satélite vai andar mais devagar e se atrasará cada vez mais em relação ao outro na Terra.

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

19. D

Observando a relação $\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}$, temos que

o tempo é inversamente proporcional à velocidade. Caso o denominador se aproxime de zero, Δt aumentará em relação a Δt_0 .

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

20.

$$\Delta m = 4 \cdot m_p - m_{\text{He}} = 4,1673 \cdot 10^{-27} = 4,7 \cdot 10^{-29}$$

Usando $E = m \cdot c^2$

$$E = \Delta m \cdot c^2 = 4,7 \cdot 10^{-29} \cdot 9 \cdot 10^{16} = 4,236 \cdot 10^{-12} \text{ J}$$

Competência: Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

Habilidade: Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

RESPOSTAS E COMENTÁRIOS

FÍSICA 3

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

23 ÍMÃS E SUAS PROPRIEDADES

Comentário sobre o módulo

Neste módulo, estudamos as propriedades dos ímãs, incluindo a interação entre os ímãs, seus campos magnéticos, a bússola e os polos magnéticos e geográficos da Terra.

Para ir além

- Bom material para a construção de atividade experimental, ilustrando o campo magnético dos ímãs.

<http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/bitstream/handle/mec/16640/CampoMagneticodolma.pdf?sequence=1>

- Atividade experimental que evidencia o campo magnético de um ímã. Se não houver tempo hábil para realizá-la, é interessante que ela seja ao menos exibida.

<https://www.youtube.com/watch?v=Ov7EWKk6MT8>

- Atividade experimental que mostra o funcionamento de uma bússola.

<http://www2.fc.unesp.br/experimentosdefisica/ele16.htm>

Acesso em: jan. de 2019.

Exercícios propostos

7. D

Considerando a orientação de polarização da lâmina de barbear, temos que P é o polo sul, enquanto Q é o polo norte. Como os dois pedaços serão colocados lado a lado, teremos os polos iguais se encontrando para cada pedaço da lâmina de barbear. Portanto, haverá repulsão.

8. C

Considerando o sentido do campo magnético do polo norte para o polo sul, temos que:

Bússola 1: está sob o campo magnético diretamente ao lado do polo sul. Por isso, a agulha aponta para a direita.

Bússola 2: alinha-se ao campo sob o qual está atuando na agulha da bússola. Por isso, a agulha aponta para a esquerda.

Bússola 3: está sob o campo magnético diretamente ao lado do polo norte. Por isso, a agulha aponta para a direita.

Bússola 4: alinha-se ao campo sob o qual está atuando na agulha da bússola. Por isso, a agulha aponta para a esquerda.

9.

- Verdade. As linhas de campo elétrico de uma carga elétrica positiva sempre ocorrem apon-

tando para fora, enquanto cargas negativas apontam para a carga.

- Verdade. Linhas de campo magnético atravessam os ímãs, enquanto, nas cargas elétricas, os campos elétricos se originam.

- Verdade. A forma de representar qualitativamente a intensidade dos campos elétricos e magnéticos é pela quantidade de linhas exibidas.

10. B

Mesmo depois da inversão dos pontos C e D, a atração entre as barras persistiu; portanto, uma das barras não é um ímã. Na última imagem, vê-se que houve repulsão entre as barras CD e EF. Assim sendo, essas barras são ímãs e os polos representados por D e E são iguais.

11. B

- Incorreta. Não existem ímãs que possuem apenas um polo magnético.

- Incorreta. O campo magnético da Terra comporta-se como o de qualquer ímã, sendo o polo norte magnético da bússola atraído pelo polo sul magnético do planeta, que coincide com o Norte geográfico.

- Correta.

12. C

Os polos magnéticos e geográficos não coincidem e estão afastados $11,5^\circ$ um do outro. Portanto, polos magnéticos e geográficos estão próximos uns dos outros.

13.

- Falsa. Polos iguais se repelem, enquanto polos opostos se atraem.

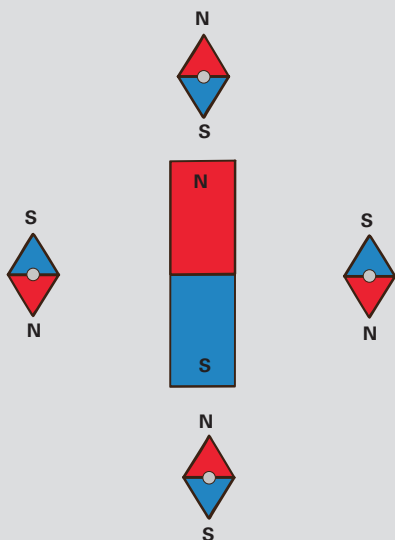
- Falsa. Cargas elétricas não geram campos magnéticos, mas sim campos elétricos.

- Verdadeira. Pelo princípio da inseparabilidade dos polos magnéticos, quando um ímã é quebrado, cada pedaço continua se comportando como um ímã, com polos norte e sul.

14. A afirmação do estudante está errada, pois, embora um ímã possa atrair o prego de ferro e a panela de ferro, pois são materiais ferromagnéticos, não é possível a caneca de alumínio ser atraída por um ímã, pois o alumínio não tem propriedades que o tornam um material capaz de ser atraído. Cobre, ouro e prata são outros exemplos de metais que não são atraídos por ímãs.

15. A

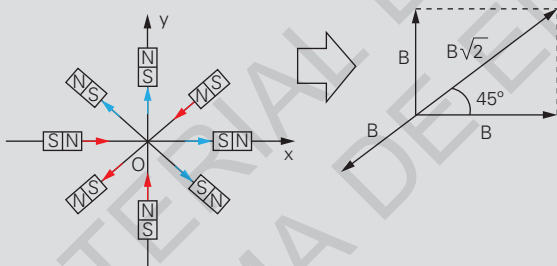
De acordo com as propriedades do ímã, sabemos que os polos de mesmo nome se repelem e os de nomes diferentes se atraem. Sendo assim, colocando uma bússola em cada um dos pontos da figura, teremos a seguinte configuração da bússola:



16. C

De acordo com as propriedades do ímã, polos de mesmo nome se repelem e polos de nomes contrários se atraem. Portanto, o polo sul de um ímã natural irá atrair o polo norte de qualquer ímã, seja ele um ímã natural ou um ímã artificial.

17.



Estudo para o Enem

18. B

Após ser fagocitada, a nanopartícula é submetida a um campo magnético variável, o que provoca nela um torque, transferindo calor.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

19. D

Utilizando a regra da mão direita, temos que a corrente i está entrando na folha.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

20. Para que os ímãs não se encostem, basta que a sequência de carrinhos tenha sempre polos iguais próximos entre si, promovendo uma repulsão magnética. A sequência correta é: 2(S) – 1(N) – 6(N) – 5(S) – 3(S) – 4(N).

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

24 CAMPO MAGNÉTICO GERADO POR CORRENTE ELÉTRICA

Comentário sobre o módulo

Neste módulo, estudamos o campo magnético gerado por corrente elétrica. Vimos a experiência de Oersted, a regra da mão direita e os campos magnéticos gerados em espiras e bobinas.

Para ir além

- Proposta de aula que aborda o experimento de Oersted.

<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html?aula=46888>

- Experimento com motor elétrico.

<https://www.youtube.com/watch?v=3nbDBCg6thM>

- Acendendo LED com motor de DVD.

<https://www.youtube.com/watch?v=TyANOy7d-kQ>

Acesso em: jan. 2019.

Exercícios propostos

7. E

Considerando que na situação ilustrada a parte do fio semirraspado esteja em contato com o mancal, se A for um polo negativo, B, um polo positivo e X, um polo norte, dado um impulso inicial na espira, ela mantém-se girando no sentido horário.

8. D

O campo magnético para uma bobina é $B = N \cdot \frac{\mu \cdot i}{2 \cdot R}$. Como o raio das duas bobinas é o mesmo, a permeabilidade constante e o módulo da corrente elétrica também são os mesmos, um maior número de voltas (N) nas espiras determinará um maior campo magnético e, conseqüentemente, uma maior atração ou força eletromotriz na bobina Y. Os sentidos das correntes são os mesmos, pois em ambos os casos o polo é Norte e é aproximado da mesma forma, ou seja, da esquerda para a direita, com a mesma velocidade.

9. Depende, basicamente, do número de espiras por unidade de comprimento e da intensidade da corrente.

10. C

A parte CD fica com menos fluxo de campo, pois ela está sendo "girada". A parte AB consegue, ao mesmo tempo, um fluxo maior de campo dentro. É essa variação que gera corrente. Logo, ao terminar o giro, não vai ter mais corrente, mas, enquanto gira, entra uma boa parte das linhas do campo na parte AB primeiro.

11. E

$$F = q \cdot v \cdot B \cdot \sin \theta$$

Considerando $\sin 90^\circ = 1$, temos:

$$F = q \cdot v \cdot B$$

$$\text{Sendo } B = \frac{\mu \cdot i}{2 \cdot R}$$

Substituindo B em F:

$$F = \frac{q \cdot v \cdot \mu \cdot i}{2 \cdot R}$$

Assim, para $F = 10 \text{ N}$ e $R = 0,25 \text{ m}$, temos:

$$10 = \frac{q \cdot v \cdot \mu \cdot i}{2 \cdot 0,25}$$

$$q \cdot v \cdot \mu \cdot i = 5$$

Para $R = 0,1 \text{ m}$, temos:

$$F_2 = \frac{q \cdot v \cdot \mu \cdot i}{2 \cdot 0,1}$$

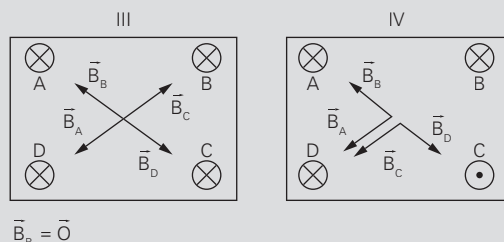
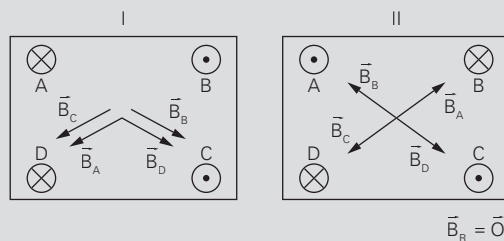
$$F_2 = \frac{5}{0,2} = 25 \text{ N}$$

12. D

O campo magnético gerado por um fio é dado por

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot r}$$

Como o centro do quadrado está equidistante de todos os fios que possuem a mesma corrente elétrica, todos os campos magnéticos têm mesmo módulo. Nomeando os fios para identificar os campos magnéticos e representando-os no centro do quadrado em cada caso:



13. O campo magnético gerado por uma espira é diretamente proporcional à corrente elétrica que a

percorre; portanto, a corrente final também é cinco vezes maior que a corrente inicial. Desse modo, a razão entre as correntes final e inicial é 5.

$$14. B = \frac{F}{|q| \cdot v}$$

$$B = \frac{1}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 3 \cdot 10^8}$$

$$B = 2,08 \cdot 10^{10} \text{ T}$$

15. A

$$B = \frac{\mu_0 \cdot i}{2 \cdot R} \Rightarrow 81 = \frac{9 \cdot 10^{-6} \cdot i}{2 \cdot 20 \cdot 10^{-6}} \cdot i = 0,36 \mu\text{A}$$

16. D

I. Falsa. As linhas não são sempre perpendiculares.

II. Falsa. A relação é ortogonal.

III. Verdadeira.

IV. Verdadeira.

$$17. B_1 = \frac{\mu_0 \cdot i_1}{2 \cdot R_1} \quad B_2 = \frac{\mu_0 \cdot i_2}{2 \cdot R_2}$$

$$\frac{B_2}{B_1} = \frac{\frac{\mu_0 \cdot i_2}{2 \cdot R_2}}{\frac{\mu_0 \cdot i_1}{2 \cdot R_1}} \Rightarrow \frac{B_2}{B_1} = \frac{\mu_0 \cdot i_2}{2 \cdot R_2} \cdot \frac{2 \cdot R_1}{\mu_0 \cdot i_1}$$

$$\frac{B_2}{B_1} = \frac{R_1 \cdot i_2}{R_2 \cdot i_1} = \frac{R_1 \cdot 3 \cdot i_1}{2 \cdot R_1 \cdot i_1} = \frac{3}{2} = 1,5$$

Estudo para o Enem

18. A

Deve-se determinar a distância OC, pois ela é a deformação da mola.

$$\Delta S = v \cdot t = 5 \cdot 6 \cdot 10^{-3} = 3 \text{ cm}$$

No ponto C, as intensidades das forças elástica e magnética são iguais: $F_{\text{mag}} = F_{\text{el}}$

$$B \cdot l \cdot i = K \cdot x$$

$$B = \frac{(K \cdot x)}{(i \cdot l)}$$

$$B = \frac{(5 \cdot 10^{-2} \cdot 3)}{(6 \cdot 5)}$$

$$B = 5,0 \cdot 10^{-1} \text{ T}$$

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

19. A

Para variar o fluxo magnético no interior da associação de espiras, podemos mudar o valor do campo magnético (B), da área (A), do ângulo de giro (teta) ou o número de espiras (N). Como a questão pedia o dobro da d.d.p. induzida, sem mudar a corrente de curto-circuito, além de dobrarmos o fluxo, devemos dobrar também a resistência do material. Isso pode acontecer através da mudança do material, do comprimento ou da área de seção do fio. A única opção que satisfaz às duas condições ao mesmo tempo é dobrar o número de espiras, o que dobra a d.d.p. e a resistência do material simultaneamente, mantendo a corrente inalterada.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

20. B

A partir da expressão $F_{\text{mag}} = B \cdot q \cdot v$, temos que:

$$B = \frac{F_{\text{mag}}}{q \cdot v}$$

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

25 FORÇA MAGNÉTICA

Neste módulo, estudamos a força magnética. Vimos a relação entre carga e campo magnético, bem como a regra do tapa para descrever o movimento dessa carga.

Para ir além

- Proposta de atividade que evidencia a regra do tapa.

http://www.cdcc.usp.br/exper/medio/fisica/kit10_eletromagnetismo/exp4_eletromag.pdf

- Proposta de atividade experimental: construção de um eletroímã.

<http://www2.fc.unesp.br/experimentosdefisica/ele11.htm>

- Vídeo que contempla uma revisão dos itens estudados.

https://www.youtube.com/watch?v=DJBu0WGPw4U&feature=player_embedded

- Leitura do texto "Influências invisíveis".

<http://cienciahoje.org.br/coluna/influencias-invisiveis/>
Acesso em: jan. 2019.

Exercícios propostos

7. D

Com a fonte desligada, atuam no ímã apenas a força peso e a normal. Quando a chave é ligada, percorre o fio uma corrente elétrica. Utilizando a regra do tapa, é possível determinar o sentido da força sobre o fio. Dessa forma, o sentido da força é vertical para cima. Pela terceira lei de Newton, deve existir uma reação no ímã vertical para baixo de mesmo módulo de intensidade. A balança registrará que a força peso do ímã (antes de o fio estar ligado no circuito) é menor. Com isso, será assinalado um aumento.

8. B

Utilizando a regra do tapa, uma partícula em movimento sob atuação de um campo magnético também estará sujeita a uma força magnética, de modo que essa força promoverá a alteração da direção da velocidade, sem influenciar seu módulo.

9. Utilizando a regra do tapa, a força magnética deve atuar de maneira perpendicular aos vetores velocidade e campo magnético.

$$10. F = B \cdot i \cdot L \cdot \sin 30^\circ = 1,5 \cdot 12 \cdot 1,8 \cdot \frac{1}{2} = 16,2 \text{ N}$$

11. B

Utilizando a regra do tapa, a força magnética estará na palma da mão. Como a partícula tem carga negativa, a força está entrando na palma da mão; portanto, a força magnética atuará na direção vertical e com sentido para baixo.

12. C

Utilizando a regra do tapa, temos:

I. Correta.

II. Errada. A força deveria estar para baixo.

III. Correta. O vetor força está indicando a força oposta, dado o sinal negativo.

IV. Errada. A força deveria estar entrando no plano da folha.

V. Errada. A força deveria estar para a esquerda.

13. Em uma carga em repouso imersa no campo magnético, a força magnética será nula.

$$14. F = B \cdot i \cdot L = 3 \cdot 140 \cdot 10^{-2} = 4,2 \text{ N}$$

15. Correto, pois a força magnética atua com ângulo de 90° em relação à trajetória da partícula, portanto, $T = F \cdot d \cdot \cos 90^\circ$ ($\cos 90^\circ = 0$). O trabalho da força magnética será nulo.

16. C

Falsa. A força magnética não depende do contato entre os corpos.

Verdadeira.

Falsa. O polo sul magnético está localizado próximo ao polo Norte geográfico, enquanto o polo norte magnético está localizado próximo polo Sul geográfico.

Verdadeira.

17. E

$$F = B \cdot i \cdot L = 3 \cdot 2 \cdot 0,6 = 3,6 \text{ N}$$

Utilizando a regra da mão direita, temos 3,6 N na direção x, com sentido positivo.

Estudo para o Enem

18. C

$$i = \frac{U}{R}$$

$$i_1 = \frac{4}{3} \text{ A}$$

$$i_2 = \frac{4}{6} = \frac{2}{3} \text{ A}$$

Para a força magnética, temos:

$$F = \frac{\mu_0 \cdot i_1 \cdot i_2 \cdot L}{2 \cdot \pi \cdot R} = \frac{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot \frac{4}{3} \cdot \frac{2}{3} \cdot 9}{2 \cdot \pi \cdot 2 \cdot 10^{-3}} = 8 \cdot 10^{-4} \text{ N}$$

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

19. E

Utilizando a regra do tapa e considerando o campo magnético da Terra, do norte magnético (Sul

geográfico) para o sul magnético (Norte geográfico), temos a força atuando para fora do plano.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

20. A

A interação entre o campo magnético da Terra e a direção da velocidade da partícula imersa nesse campo magnético está sujeita à ação de uma força magnética.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO DO
SISTEMA DE ENSINO

26 INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA

Comentário sobre o módulo

Neste módulo, estudamos a indução eletromagnética. Para tanto, abordamos o fluxo magnético, a lei de Lenz e a equação de Faraday-Neumann.

Para ir além

- Material que simula a lei de Faraday-Neumann.
https://phet.colorado.edu/sims/faradays-law/faradays-law_pt.html
- Texto que aborda uma aplicação da indução eletromagnética.
https://www.ehow.com.br/funciona-medidor-energia-eletrica-como_302184/
- Lei de Lenz.
<https://www.youtube.com/embed/GMP14t9mgrc>
- Motor de indução.
<https://www.youtube.com/embed/B5aEeuYgfTE>
Acesso em: jan. 2019.

Exercícios propostos

7. C

De acordo com a lei de Faraday, a corrente elétrica induzida ocorrerá quando houver variação de fluxo magnético (Φ). Isso se dá somente entre os instantes 1 s e 3 s e entre os instantes 4 s e 5 s.

8. A

De acordo com a terceira lei de Newton, conhecida como a lei da ação e reação, não é possível exercer força sobre um corpo sem receber dele uma força de reação. Portanto, o ímã e a barra de ferro atraem-se mutuamente. Além disso, as forças de ação e reação sempre apresentam módulos iguais.

9. Nula, pois, para haver corrente induzida na espira, deve existir um campo magnético variável em função do tempo.

10. C

I. Correta. Havendo movimento relativo entre ímã e espira, haverá variação do fluxo magnético e da corrente elétrica no anel condutor.

II. Correta. Mesmo não havendo movimento relativo entre o ímã e o anel, existirá fluxo magnético, mas, como não haverá variação do fluxo magnético, então não haverá corrente induzida.

III. Falsa. Se o ímã não se afastar ou se o anel se aproximar do ímã, não haverá variação de fluxo

magnético e, portanto, não existirá corrente induzida no anel.

11. A

O polo sul do ímã está se aproximando da espira; com isso, a espira originará um polo sul em sua face superior na tentativa de repelir o ímã. Usando a regra da mão direita, a corrente elétrica induzida na espira corresponde à figura representada na alternativa A.

12. A

Pelo gráfico, percebe-se que a variação do fluxo apresenta taxas de variação constantes. Com isso, a corrente induzida deverá ser constante no intervalo indicado.

13. Falsa. O campo magnético não influencia o módulo da velocidade de uma partícula, mas sua direção. Verdadeira. Mesma justificativa do item anterior. Verdadeira. Mesma justificativa do item anterior.

Falsa. A alteração da direção da partícula ocorre pela atuação nela de uma força diferente de zero.

14. Na posição inicial, o fluxo magnético através da espira é máximo, pois o vetor campo magnético e o vetor N imaginário e perpendicular à espira são paralelos. No entanto, na posição final, não há fluxo magnético, porque o ângulo entre N e o campo magnético é de 90° . Assim, pode-se determinar o fluxo magnético (ϕ) para cada caso.

$$\phi = B \cdot A \cdot \cos \Theta$$

$$\phi_{\text{inicial}} = 5 \cdot (0,4 \cdot 0,4) \cdot \cos 0 \Rightarrow \phi_{\text{inicial}} = 5 \cdot 0,16 = 0,8 \text{ Wb}$$

$$\phi_{\text{final}} = 5 \cdot (0,4 \cdot 0,4) \cdot \cos 90^\circ \Rightarrow \phi_{\text{final}} = 0$$

$$\Delta\phi = \phi_{\text{FINAL}} - \phi_{\text{inicial}} \Rightarrow \Delta\phi = 0,8 \text{ Wb}$$

Por meio da lei de Faraday, podemos determinar a força eletromotriz (ϵ)

$$\epsilon = \frac{-\Delta\phi}{\Delta t} \Rightarrow \epsilon = \frac{-0,8}{0,2} \Rightarrow \epsilon = -4 \text{ V}$$

15. D

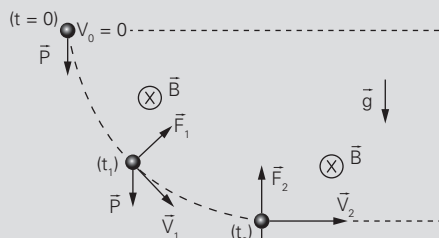
Por meio da expressão $\epsilon = \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$, temos que a variação do fluxo magnético em relação ao tempo apresenta força eletromotriz.

16. C

- Falsa. Independentemente do polo magnético, as linhas de indução serão sempre fechadas.
- Falsa. Todas as linhas de indução magnética são fechadas.

- c) Verdadeira. Todas as linhas magnéticas são fechadas, apresentando fluxo do polo norte magnético para o polo sul magnético.
- d) Falsa. Isso violaria o princípio da não existência dos monopolos magnéticos.
- e) Falsa. Tal comportamento viola o princípio da não existência dos monopolos magnéticos.

17.



A figura mostra uma simulação do movimento da partícula. Assim, temos que, no instante t_2 , representado na figura, a velocidade \vec{v}_2 é horizontal, e a força magnética \vec{F}_2 é vertical e se opõe ao peso \vec{P} .

$$F_2 - P = m \cdot a$$

Sendo $|a| = |\vec{g}| = g$, temos:

$$F_2 - m \cdot g = m \cdot g$$

$$F_2 = 2 \cdot m \cdot g$$

A força magnética tem módulo dado por:

$$F_2 = q \cdot v_2 \cdot B$$

$$q \cdot v_2 \cdot B = 2 \cdot m \cdot g$$

$$v_2 = \frac{2 \cdot m \cdot g}{q \cdot B}$$

Usando o princípio da conservação da energia entre as posições inicial ($t = 0$) e final ($t = t_2$):

$$m \cdot g \cdot h = \frac{m \cdot v_2^2}{2}$$

$$h = \frac{v_2^2}{2 \cdot g}$$

Substituindo-se, vem:

$$h = \frac{1}{2 \cdot g} \cdot \left(\frac{2 \cdot m \cdot g}{q \cdot B} \right)^2$$

$$h = 2 \cdot g \cdot \left(\frac{m}{q \cdot B} \right)^2$$

Estudo para o Enem

18. C

O campo magnético gerado pelo ímã induz a uma ordenação nos polos magnéticos das cordas. Isso é possível graças às características magnéticas do aço. Ao trocarmos os fios por náilon, pelo fato de o náilon não possuir a mesma facilidade em ordenar os polos, encontramos dificuldades na indução. Na ausência dessa indução, não existe som saindo do amplificador.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

19. E

Quando há variação do campo magnético atravessando uma bobina, haverá uma corrente induzida nela.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

20. C

A etiqueta consegue funcionar sem pilha em decorrência da indução eletromagnética, ou seja, ao variar o fluxo do campo magnético, haverá uma corrente elétrica induzida na bobina encapsulada.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Utilizar leis físicas e(ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

27 ONDAS ELETROMAGNÉTICAS E O ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO

Neste módulo, estudamos ondas eletromagnéticas e o espectro eletromagnético. Foram apresentadas as equações que descrevem as ondas eletromagnéticas e as radiações que compõem o espectro eletromagnético.

Para ir além

- Simulador pelo qual se pode calcular o comprimento de onda de uma faixa de frequência de rádio para resolver uma situação-problema.

<http://www.labvirt.fe.usp.br/applet.asp?time=16:51:22&lom=10646>

- Sugestão de construção de um eletroscópio.

http://leg.ufpi.br/subsiteFiles/pibidfisica/arquivos/files/relatorio_oficina_renato_germano_completo.pdf

- Bom material para o aprofundamento do tema luz e eletromagnetismo.

PROJECTO FÍSICA. Unidade IV: luz e eletromagnetismo. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1987. Acesso em: jan. 2019.

Exercícios propostos

7. C

A radiação eletromagnética emitida pelo corpo humano está na região do infravermelho.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Compreender fenômenos decorrentes da interação entre a radiação e a matéria em suas manifestações em processos naturais ou tecnológicos, ou em suas implicações biológicas, sociais, econômicas ou ambientais.

8. B

A frequência de luz que menos se difunde é a que mais chegará até nossos olhos.

9.

Documentos e pinturas, quando expostos ao flash de câmeras, ficam sujeitos a exposições de alta intensidade eletromagnética. Isso faz acelerar o envelhecimento de pinturas e documentos antigos. A exposição ao flash para esses documentos e pinturas equivale à exposição ao Sol por um mês.

10. E

Os aparelhos de celular e as ondas de rádio possuem características de transmissão de sinais eletromagnéticos próximas. Assim, pode haver interferência destrutiva entre esses sinais. Com isso, seria provocada a perda de sinal do avião com a torre de comando, o que pode ser muito perigoso. Para que essas interferências entre ondas eletromagnéticas ocorram, elas devem possuir mesma frequência ou frequências muito próximas.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Compreender fenômenos decorrentes da interação entre a radiação e a matéria em suas manifestações em processos naturais ou tecnológicos, ou em suas implicações biológicas, sociais, econômicas ou ambientais.

11.

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{1,6 \cdot 10^6} = 187,5 \text{ m}$$

12. A

$$f = \frac{3 \cdot 10^8}{450 \cdot 10^9} \cong 6,6 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

13. E

Observando o gráfico, percebe-se que, entre os tempos 22 e 24 segundos, há quatro ciclos de onda. Como o enunciado pede a frequência cardíaca no momento da medição, então é preciso encontrar o tempo para um ciclo de onda, logo:

$$2\text{s} \text{ -- } 4 \text{ ciclos}$$

$$T \text{ -- } 1 \text{ ciclo}$$

$$T = 0,5 \text{ s}$$

$$f = \frac{1}{T} = 2 \text{ Hz}$$

Dessa forma, temos que há dois batimentos por segundo. Como o enunciado pede em bpm, então $2 \text{ Hz} = 120 \text{ bpm}$.

14.

$$t = \frac{372\,000}{300\,000} = 1,24 \text{ s}$$

15. C

Se usarmos apenas uma torre puntiforme, o conjunto de pontos localizados à mesma distância dela (ou seja, com mesmo tempo de resposta) formaria uma circunferência, tornando impossível localizar o celular. Ao usarmos duas torres, temos um problema semelhante, em que o mesmo tempo de resposta de duas torres geraria dois pontos possíveis. A única maneira de definirmos com precisão a posição do celular é ao “triangularmos” tempos de respostas em três torres diferentes.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Compreender fenômenos decorrentes da interação entre a radiação e a matéria em suas manifestações em processos naturais ou tecnológicos, ou em suas implicações biológicas, sociais, econômicas ou ambientais.

16. D

$$f = \frac{3 \cdot 10^8}{2 \cdot 10^{-2}} = 1,5 \cdot 10^{10} = 15 \cdot 10^9 \text{ Hz}$$

Logo, $3 \cdot 10^9 \text{ Hz} < 15 \cdot 10^9 \text{ Hz} < 3 \cdot 10^{12} \text{ Hz}$

17.

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{2,5 \cdot 10^9} = 1,2 \cdot 10^{-1} \text{ m} = 12 \text{ cm}$$

Estudo para o Enem

18. E

Analisando o gráfico, no caso de luzes emitidas com comprimentos de onda entre 530 e 600 nm com cerca de 75% da ativação, são estimulados os pigmentos nas cores verde e vermelho. Como a retina desse indivíduo não possui o pigmento da cor verde, somente será estimulado o pigmento da cor vermelha. Dessa forma, a pessoa não poderá distinguir entre o verde e o vermelho.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Compreender fenômenos decorrentes da interação entre a radiação e a matéria em suas manifestações em processos naturais ou tecnológicos, ou em suas implicações biológicas, sociais, econômicas ou ambientais.

19. E

Observando a figura, a lâmpada que concentra maior intensidade no espectro do visível é o LED. As demais apresentam comprimentos de ondas fora do visível e, portanto, contribuirão para o aquecimento do ambiente.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Compreender fenômenos decorrentes da interação entre a radiação e a matéria em suas manifestações em processos naturais ou tecnológicos, ou em suas implicações biológicas, sociais, econômicas ou ambientais.

20. A

Um filtro polarizador, quando posicionado verticalmente, impede a passagem da luz polarizada horizontalmente. Segundo o texto, a luz refletida na água empoçada está polarizada horizontalmente; logo, os filtros nos óculos devem ficar posicionados verticalmente.

Competência: Apropriar-se de conhecimentos da Física para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidade: Compreender fenômenos decorrentes da interação entre a radiação e a matéria em suas manifestações em processos naturais ou tecnológicos, ou em suas implicações biológicas, sociais, econômicas ou ambientais.

28 PRODUÇÃO E CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

Comentário sobre o módulo

Neste módulo, estudamos fontes de energia para a produção e o consumo de energia elétrica. Espera-se que o aluno reflita sobre as fontes, os processos de produção e o consumo de energia elétrica, bem como sobre os impactos ambientais.

Para ir além

- Artigo "Introdução ao conceito de energia", de Alessandro A. Bucussi. Com textos de apoio ao ensino de Física.

<http://www.if.ufrgs.br/cref/ntef/producao/LeiNewton.pdf>

Para enriquecer ainda mais a aula, os alunos podem assistir aos vídeos a seguir sobre energia solar:

- EDP mostra carro a energia solar.
https://www.youtube.com/watch?v=HH3K_tNy8AA
- Casa solar movida 100% por energia fotovoltaica.
<https://www.youtube.com/watch?v=5CUsbD0Selg>
- A história das coisas.
<https://www.youtube.com/watch?v=Q3YqeDSfdk>
Acesso em: jan. 2019.

Exercícios propostos

7. Fortaleza (CE) e João Pessoa (PB), por exemplo.
8. E
Pela análise do gráfico, percebe-se aumento percentual de energia nuclear e de energia solar.
9. C
 $i = \frac{Q}{t} \Rightarrow 50 = \frac{75}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = 1,5 \text{ h}$
Então, podemos escrever:
 $\Delta S = 60 \cdot 1,5 = 90 \text{ km}$
10. A
A potência consumida por 8 lâmpadas é:
 $P = 8 \cdot 60 = 480 \text{ W}$
A energia consumida em um mês (30 dias) é:
 $E = P \cdot \Delta t = 480 \cdot 4 \cdot 30 = 57,6 \text{ kWh}$
Como a energia mensal consumida de 140 kWh tem custo de R\$ 70,00, podemos fazer uma regra de três para descobrir o consumo pelas 8 lâmpadas:
 $x = \frac{70 \cdot 57,6}{140} = 28,80.$

11. B

Em 6 dias por semana, passando 30 minutos todos os dias: 3 h por semana.

Portanto, a economia será de 1 hora por semana.

Logo, a economia em percentual pode ser dada por: $\frac{1}{3} = 0,33... \cong 33\%$.

12. B

1. A economia de energia é decorrente da diferença de potência entre as lâmpadas:

$$\Delta P = 100 - 9 \text{ (W)} = 91 \text{ W}$$

2. Logo, a energia economizada será:

$$\Delta E = \Delta P \cdot \Delta t, \text{ tal que } \Delta t = 7 \text{ horas} \cdot n,$$

em que n representa o número de dias.

$$\Delta E = 91 \text{ (W)} \cdot 7 \cdot n \text{ (kWh)}$$

$$\Delta E = 0,637 \cdot n \text{ (kWh)}$$

3. O valor economizado, dado o custo de R\$ 0,30/kWh, será:

$$VE = 0,637 \cdot n \cdot 0,3$$

$$VE = 0,1911 \cdot n \text{ (reais)}$$

4. A diferença de valores pagos:

$$\Delta VP = 60,00 - 5,00 = 55,00 \text{ (reais)}$$

5. Assim, o sr. Piril Ampo terá recuperado a diferença entre os valores desembolsados na compra (ΔVP) quando o valor economizado for:

$$VE = \Delta VP$$

$$0,1911 \cdot n = 55,00$$

$$n = 287,8 \text{ dias}$$

$$n \cong 288 \text{ dias}$$

13. $P = i \cdot U = 0,75 \cdot 12 = 9 \text{ W}$

14. $E = P \cdot \Delta t = 30 \text{ kW} \cdot 20 \text{ min} = 600 \text{ kW/min}$

15. A

Consumo mensal para aquecimento de água em watts: $E = 153 \text{ 000 Wh}$

50% de eficiência: $\frac{153 \text{ 000}}{0,5} = 306 \text{ 000 Wh}$

Insolação mensal em horas: $t = 6 \cdot 30 = 180 \text{ h/mês}$

$$\text{Potência: } \frac{E}{t} = \frac{306000}{180} = 1700 \text{ W/mês}$$

Assim, a área mínima para consumo mensal deve

$$\text{ser: } A = \frac{P}{I} = \frac{1700}{340} = 5 \text{ m}^2$$

16. Verdadeira.

$$\frac{\text{R\$ } 5,50}{100 \text{ kWh}} \cdot 5000 \text{ W} \cdot \frac{1 \text{ kW}}{1000 \text{ W}} \cdot \frac{0,5 \text{ h}}{1 \text{ dia}} \cdot \frac{30 \text{ dias}}{1 \text{ mês}} =$$

$$= \text{R\$ } 4,125/\text{mês}$$

Verdadeira. Hidroelétrica:

$$\frac{\text{R\$ } 100}{\text{MWh}} \cdot \frac{1 \text{ MWh}}{1000 \text{ kWh}} \cdot 3125 \text{ kWh} = \text{R\$ } 312,50$$

Termoelétrica:

$$\frac{\text{R\$ } 800}{\text{MWh}} \cdot \frac{1 \text{ MWh}}{1000 \text{ kWh}} \cdot 3125 \text{ kWh} = \text{R\$ } 2500,00$$

Falsa. Não existe máquina com 100% de eficiência.

Falsa. Bandeira vermelha:

$$\frac{\text{R\$ } 2,50}{100 \text{ kWh}} \cdot 20000 \text{ W} \cdot \frac{1 \text{ kW}}{1000 \text{ W}} \cdot 8 \text{ h} = \text{R\$ } 4,00$$

Bandeira amarela:

$$\frac{\text{R\$ } 5,50}{100 \text{ kWh}} \cdot 20000 \text{ W} \cdot \frac{1 \text{ kW}}{1000 \text{ W}} \cdot 8 \text{ h} = \text{R\$ } 8,80$$

Logo, a economia será: $8,80 - 4,00 = 4,80$.

Falsa. Para a geração de corrente induzida, o campo magnético deve ter fluxo variável.

17. E

Cada aparelho utilizado na academia condensa um volume de 20 litros por dia. Como são 10 aparelhos de ar-condicionado, o volume de água condensada é de $20 \cdot 10 = 200$ litros por dia. Já o consumo é, em média, de 120 000 litros de água por mês. Esse consumo equivale a $120\,000 \div 30 = 4\,000$ litros de água por dia. Portanto, a cada 4 000 litros de água consumidos, 200 litros seriam reaproveitados na condensação. Ou seja, o percentual de economia obtido com o reaproveitamento da água condensada é de $200/4\,000 = 0,05 = 5\%$.

Para que a economia fosse de 3%, mantido o consumo de 4 000 litros por dia, deveríamos ter $4\,000 \cdot 3\% = 120$ litros de água reaproveitados na condensação. Assim, esses 120 litros reaproveitados equivalem, dado o volume de água condensado diariamente por aparelho na academia, a $120/20 = 6$ aparelhos de ar-condicionado.

Estudo para o Enem

18. A

Potência fornecida pelo LED:

$$P = U \cdot i = 12 \cdot 0,45 = 5,4 \text{ W.}$$

A redução é dada por: $60 \text{ W} - 5,4 = 54,6 \text{ W}$.

Competência: Identificar a presença e aplicar as tecnologias associadas às ciências naturais em diferentes contextos.

Habilidade: Dimensionar circuitos ou dispositivos elétricos de uso cotidiano.

19. E

O lixo radioativo é prejudicial ao meio ambiente e à saúde da população. A emissão da radiação pode causar sérios danos ambientais em curto espaço de tempo. Além disso, o material radioativo pode permanecer por um longo tempo no meio.

Competência: Associar intervenções que resultam em degradação ou conservação ambiental a processos produtivos e sociais e a instrumentos ou ações científico-tecnológicos.

Habilidade: Identificar etapas em processos de obtenção, transformação, utilização ou reciclagem de recursos naturais, energéticos ou matérias-primas, considerando processos biológicos, químicos ou físicos neles envolvidos.

20. E

O Complexo Eólico Alto Sertão é uma área produtora de energia limpa e renovável, já que gerará energia a partir da circulação do vento, contribuindo, assim, para a expansão das fontes renováveis em nosso território.

Competência: Associar intervenções que resultam em degradação ou conservação ambiental a processos produtivos e sociais e a instrumentos ou ações científico-tecnológicos.

Habilidade: Identificar etapas em processos de obtenção, transformação, utilização ou reciclagem de recursos naturais, energéticos ou matérias-primas, considerando processos biológicos, químicos ou físicos neles envolvidos.

Exercícios interdisciplinares

21. a) Dados: $N_A = 6 \cdot 10^{23}$; $P = 3,2 \cdot 10^{-8} \text{ Pa}$; $T = 300 \text{ K}$; $R = 8 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$.

Sendo n o número de mols, o número de partículas (N) é:

$$N = nN_A \Rightarrow n = \frac{N}{N_A}$$

Aplicando a equação de Clapeyron:

$$n \cdot R \cdot T = P \cdot V \Rightarrow \frac{N}{N_A} R \cdot T = P \cdot V \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{N}{V} = \frac{N_A \cdot P}{R \cdot T} = \frac{6 \cdot 10^{23} \cdot 3,2 \cdot 10^{-8}}{8 \cdot 300} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{N}{V} = 8 \cdot 10^{12} \text{ moléculas/m}^3}$$

b) Dados: $p_{\text{int}} = p_0 = 1 \text{ atm}$; $\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$; $h = 100 \text{ m}$; $g = 10 \text{ m/s}^2$.

A pressão suportada pela carcaça é o módulo da diferença entre as pressões externa e interna. Assim:

$$\begin{aligned} \bullet \quad P_{\text{sub}} &= P_{\text{ext}} - P_{\text{int}} = (P_0 + \rho \cdot g \cdot h) - P_0 \Rightarrow \\ &\Rightarrow P_{\text{sub}} = \rho \cdot g \cdot h = 10^3 \cdot 10 \cdot 100 \Rightarrow \\ &\Rightarrow P_{\text{sub}} = 10 \cdot 10^5 \text{ Pa.} \end{aligned}$$

$$P_{\text{nave}} = P_{\text{int}} - P_{\text{ext}} = P_0 - 0 \Rightarrow P_{\text{nave}} = 1 \text{ atm} \Rightarrow$$

$$\begin{aligned} \bullet \quad P_{\text{nave}} &= P_{\text{int}} - P_{\text{ext}} = P_0 - 0 \Rightarrow P_{\text{nave}} = 1 \text{ atm} \Rightarrow \\ &\Rightarrow P_{\text{nave}} = 10^5 \text{ Pa.} \end{aligned}$$

$$\frac{P_{\text{sub}}}{P_{\text{nave}}} = \frac{10 \cdot 10^5}{10^5} \Rightarrow \boxed{\frac{P_{\text{sub}}}{P_{\text{nave}}} = 10}$$

22. Resposta do ponto de vista da disciplina de Física

a) Teremos:

$$\begin{array}{ccc} P_{\text{atm}} \text{ (mmHg)} & & P_{\text{O}_2} \text{ (mmHg)} \\ 760 & \text{-----} & 159 \\ 490 & \text{-----} & P \end{array}$$

$$\therefore P = 102,5 \text{ mmHg}$$

b) De acordo com o item anterior, há uma menor pressão parcial de oxigênio em La Paz, o que dificulta a difusão deste gás na corrente sanguínea. A aclimação do viajante permite que haja uma aceleração na produção de hemácias pela medula óssea vermelha, o que auxilia no fornecimento de oxigênio às células do corpo.

Resposta do ponto de vista da disciplina de Biologia

a) $P = 102,5 \text{ mmHg}$ em La Paz.

b) Em La Paz a pressão parcial do oxigênio é menor do que ao nível do mar, dificultando a difusibilidade do O_2 para o sangue. Como mecanismo compensatório, em grandes altitudes, haverá o aumento do número de hemácias pelo tecido hematopoiético mieloide da medula óssea vermelha.

23. 03 (01 + 02)

[01] Verdadeira. Sejam Q , m , c_e e Δt , respectivamente, a quantidade de calor trocada, a massa do material, o calor específico do material e a variação de temperatura. Logo, como $Q = m \cdot c_e \cdot \Delta t$, segue o resultado.

[02] Verdadeira. De fato, sendo $m = 10 \text{ g}$, $c_e = 0,25 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ e $\Delta t = 2^\circ\text{C}$, vem $Q = 10 \cdot 0,25 \cdot 2 = 5 \text{ cal}$.

[04] Falsa. A função T é periódica de período

$$\frac{2\pi}{\frac{\pi}{2}} = 4.$$

[08] Falsa. A temperatura T ao qual o material está exposto varia no intervalo

$$[120 - 1, 120 + 1] = [119, 121].$$

[16] Falsa. O gráfico da função T tem amplitude

$$\frac{121 - 119}{2} = 1.$$

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO

MATERIAL DE USO EXCLUSIVO
SISTEMA DE ENSINO DOM BOSCO



Pearson

PRÉ-VESTIBULAR
EXTENSIVO

4

