

Física

Energia e quantidade de movimento

Organizadores

Maurício Pietrocola

Nobuko Ueta

Elaboradores

Rogério Vogt Cardoso dos Santos

José Alves da Silva

Maurício Pietrocola

5
módulo

Nome do Aluno _____

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO

Governador: *Geraldo Alckmin*

Secretaria de Estado da Educação de São Paulo

Secretário: *Gabriel Benedito Issac Chalita*

Coordenadoria de Estudos e Normas Pedagógicas – CENP

Coordenadora: *Sônia Maria Silva*

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Reitor: *Adolpho José Melfi*

Pró-Reitora de Graduação

Sônia Teresinha de Sousa Penin

Pró-Reitor de Cultura e Extensão Universitária

Adilson Avansi Abreu

FUNDAÇÃO DE APOIO À FACULDADE DE EDUCAÇÃO – FAFE

Presidente do Conselho Curador: *Selma Garrido Pimenta*

Diretoria Administrativa: *Anna Maria Pessoa de Carvalho*

Diretoria Financeira: *Sílvia Luzia Frateschi Trivelato*

PROGRAMA PRÓ-UNIVERSITÁRIO

Coordenadora Geral: *Eleny Mitrulis*

Vice-coordenadora Geral: *Sônia Maria Vanzella Castellar*

Coordenadora Pedagógica: *Helena Coharik Chamlian*

Coordenadores de Área

Biologia:

Paulo Takeo Sano – Lyría Mori

Física:

Maurício Pietrocola – Nobuko Ueta

Geografia:

Sônia Maria Vanzella Castellar – Elvio Rodrigues Martins

História:

Kátia Maria Abud – Raquel Glezer

Língua Inglesa:

Anna Maria Carmagnani – Walkyria Monte Mór

Língua Portuguesa:

Maria Lúcia Victório de Oliveira Andrade – Neide Luzia de Rezende – Valdir Heitor Barzotto

Matemática:

Antônio Carlos Brolezzi – Elvia Mureb Sallum – Martha S. Monteiro

Química:

Maria Eunice Ribeiro Marcondes – Marcelo Giordan

Produção Editorial

Dreampix Comunicação

Revisão, diagramação, capa e projeto gráfico: *André Jun Nishizawa, Eduardo Higa Sokei, José Muniz Jr. Mariana Pimenta Coan, Mario Guimarães Mucida e Wagner Shimabukuro*

The background is a light green, semi-transparent overlay on a white background. It features a large clock face in the upper left, a gear in the lower right, and a hand holding a pencil in the center. The text is centered over the image.

***Cartas ao
Aluno***

Carta da

Pró-Reitoria de Graduação

Caro aluno,

Com muita alegria, a Universidade de São Paulo, por meio de seus estudantes e de seus professores, participa dessa parceria com a Secretaria de Estado da Educação, oferecendo a você o que temos de melhor: conhecimento.

Conhecimento é a chave para o desenvolvimento das pessoas e das nações e freqüentar o ensino superior é a maneira mais efetiva de ampliar conhecimentos de forma sistemática e de se preparar para uma profissão.

Ingressar numa universidade de reconhecida qualidade e gratuita é o desejo de tantos jovens como você. Por isso, a USP, assim como outras universidades públicas, possui um vestibular tão concorrido. Para enfrentar tal concorrência, muitos alunos do ensino médio, inclusive os que estudam em escolas particulares de reconhecida qualidade, fazem cursinhos preparatórios, em geral de alto custo e inacessíveis à maioria dos alunos da escola pública.

O presente programa oferece a você a possibilidade de se preparar para enfrentar com melhores condições um vestibular, retomando aspectos fundamentais da programação do ensino médio. Espera-se, também, que essa revisão, orientada por objetivos educacionais, o auxilie a perceber com clareza o desenvolvimento pessoal que adquiriu ao longo da educação básica. Tomar posse da própria formação certamente lhe dará a segurança necessária para enfrentar qualquer situação de vida e de trabalho.

Enfrente com garra esse programa. Os próximos meses, até os exames em novembro, exigirão de sua parte muita disciplina e estudo diário. Os monitores e os professores da USP, em parceria com os professores de sua escola, estão se dedicando muito para ajudá-lo nessa travessia.

Em nome da comunidade USP, desejo-lhe, meu caro aluno, disposição e vigor para o presente desafio.

Sonia Teresinha de Sousa Penin.

Pró-Reitora de Graduação.

Carta da

Secretaria de Estado da Educação

Caro aluno,

Com a efetiva expansão e a crescente melhoria do ensino médio estadual, os desafios vivenciados por todos os jovens matriculados nas escolas da rede estadual de ensino, no momento de ingressar nas universidades públicas, vêm se inserindo, ao longo dos anos, num contexto aparentemente contraditório.

Se de um lado nota-se um gradual aumento no percentual dos jovens aprovados nos exames vestibulares da Fuvest — o que, indubitavelmente, comprova a qualidade dos estudos públicos oferecidos —, de outro mostra quão desiguais têm sido as condições apresentadas pelos alunos ao concluírem a última etapa da educação básica.

Diante dessa realidade, e com o objetivo de assegurar a esses alunos o patamar de formação básica necessário ao restabelecimento da igualdade de direitos demandados pela continuidade de estudos em nível superior, a Secretaria de Estado da Educação assumiu, em 2004, o compromisso de abrir, no programa denominado Pró-Universitário, 5.000 vagas para alunos matriculados na terceira série do curso regular do ensino médio. É uma proposta de trabalho que busca ampliar e diversificar as oportunidades de aprendizagem de novos conhecimentos e conteúdos de modo a instrumentalizar o aluno para uma efetiva inserção no mundo acadêmico. Tal proposta pedagógica buscará contemplar as diferentes disciplinas do currículo do ensino médio mediante material didático especialmente construído para esse fim.

O Programa não só quer encorajar você, aluno da escola pública, a participar do exame seletivo de ingresso no ensino público superior, como espera se constituir em um efetivo canal interativo entre a escola de ensino médio e a universidade. Num processo de contribuições mútuas, rico e diversificado em subsídios, essa parceria poderá, no caso da estadual paulista, contribuir para o aperfeiçoamento de seu currículo, organização e formação de docentes.

Prof. Sonia Maria Silva

Coordenadora da Coordenadoria de Estudos e Normas Pedagógicas

Apresentação da área

A Física é tida pelos estudantes como uma área de conhecimento de difícil entendimento. Por exigir nível de raciocínio elevado e grande poder de abstração para entender seus conceitos, acaba-se acreditando que o conhecimento físico está distante do cotidiano das pessoas. No entanto, se olharmos para o mundo que nos cerca com um pouco de cuidado, é possível perceber que a Física está muito perto: a imagem no tubo de televisão só existe porque a tecnologia moderna é capaz de lidar com elétrons e ondas eletromagnéticas. Nossos veículos automotores são máquinas térmicas que funcionam em ciclos, os quais conhecemos e a partir deles produzimos energia mecânica necessária para nos locomovermos. O Sol é na verdade uma grande fonte de emissão de radiação eletromagnética de diferentes frequências, algumas visíveis e outras não, sendo que muitas delas podem fazer mal à nossa saúde.

Assim, o que pretendemos neste curso de Física é despertar em vocês a sensibilidade para re-visitare o mundo com um “olhar” físico, de forma a ser capaz entendê-lo através de suas teorias.

Serão seis módulos, cada qual tratando de um tema pertencente às seguintes áreas da Física: Luz e Som; Calor; Eletromagnetismo, Mecânica, Energia e Física Moderna. Esses módulos abordarão os conteúdos físicos, tratando aspectos teóricos, experimentais, históricos e suas relações com a tecnologia e sociedade.

A Física pode ser interessante e prazerosa quando se consegue utilizar seus conceitos para estabelecer uma nova relação com a realidade.

Bom estudo para todos!

A coordenação

Apresentação do módulo

Nesta unidade, você estudará os conceitos de Energia e Quantidade de Movimento.

Ambos os conceitos são de fundamental importância para a Física, principalmente porque estão relacionados a dois dos princípios mais importantes da natureza: o Princípio da Conservação da Energia e o Princípio da Conservação da Quantidade de Movimento. Muitos dos fenômenos naturais podem ser explicados a partir destes princípios.

Além de compreender bem os conceitos, esperamos que, ao final, você identifique, de imediato, qual dos dois princípios é o mais adequado para que determinados problemas sejam resolvidos. Por exemplo, se você perceber quaisquer alusões à massa e à velocidade num problema, associando-as ao caráter vetorial do movimento executado, muito provavelmente você deverá utilizar o Princípio da Conservação da Quantidade de Movimento. Se, no entanto, você identificar elementos envolvendo movimentos sem que o caráter vetorial seja um elemento importante, provavelmente você deverá utilizar o Princípio da Conservação da Energia, e assim por diante.

Começemos, então, pelo estudo de energia.

Unidade 1

Energia

Organizadores

Maurício Pietrocola

Nobuko Ueta

Elaboradores

Rogério Vogt

Cardoso dos Santos

José Alves da Silva

Maurício Pietrocola

Em sua vida, você certamente já ouviu a palavra “energia” em várias situações. Leia, imagine as situações a seguir e reflita sobre o sentido da palavra “energia” em cada contexto:

1) Depois de um “blecaute”:

“ – Acordei tarde porque faltou energia ontem à noite e o rádio despertador não tocou.”



2) Sobre gasto de energia:

“ – Esta geladeira velha gasta mais energia do que o necessário.”

3) Sobre combustível:

“Um avião, para alçar vôo, precisa de muita energia.”

4) Sobre desânimo:

“ – Ando sem ânimo. Falta-me energia.”

5) Na alimentação:

“ – Um iogurte achocolatado tem mais energia do que outro iogurte de outro sabor.”

6) Em uma estufa:

“ – Esta estufa tem capacidade de armazenar energia solar.”

Conforme você deve ter observado, “energia” está em muitos contextos. Considerando que esta expressão está em quase todos os lugares e situações de sua vida, é importante que você saiba o que há de comum entre todos eles. Para tanto, compreender o conceito de energia em Física certamente irá ajudá-lo na tarefa de identificar algumas uniformidades entre todos estes contextos.

Em Física, embora não haja uma definição absolutamente precisa do termo, energia pode ser compreendida como sendo *a capacidade que um objeto ou um corpo tem de realizar trabalho ao imprimirem uma determinada força.*

Podemos interpretá-la, também, como *a capacidade que uma força tem de produzir deslocamento (movimento) em quaisquer corpos*. Esta última idéia é útil para percebermos a sua existência na natureza.

Assim, por exemplo, um carro em movimento pode “empurrar” alguns objetos que estejam à sua frente. Portanto, podemos dizer que ele é dotado de energia.

O mesmo pode ser dito de nós mesmos. Se temos a capacidade de empurrar um determinado objeto, fazendo-o adquirir movimento, ou se temos capacidade de levantá-lo, então somos dotados de energia.

Esta mesma energia é responsável por todos os movimentos que você exerce no seu corpo: piscar o olho, bater o coração, respirar, transmitir informações cerebrais, andar etc. Note que em todas essas atividades, há movimento (ainda que muitas vezes sejam imperceptíveis a olho nu) e, portanto, há energia.

Você pode perceber a existência de energia em outras situações. Ao esquentar uma panela com água, o calor fornecido à panela e desta para a água, aquecendo-a e evaporando-a, fará com que os vapores de água adquiram movimento e acabem por deslocar (movimentar), por exemplo, a tampa da panela. Em síntese, há energia nestas situações.

Ao ligarmos um liquidificador, por sua vez, fazemos com que o mesmo adquira movimento. Você deve concluir que esta energia provém, a princípio, da tomada (mais precisamente da usina elétrica) que, fornecendo energia ao aparelho, faz com que ele se movimente.

Percebeu como sempre há algo relacionado à capacidade de movimentar-se quando falamos de energia? Percebeu também como energia é um conceito bem abstrato? Não podemos vê-la, senti-la, tocá-la em quase nenhuma de suas formas.

Atente que lugares, pessoas, células, astros espaciais, enfim, em geral todos têm energia, mas somente notamos sua presença quando ela está sendo transferida ou transformada (veremos mais adiante o que significam estas transformações).

No entanto, ela toma parte em todos os movimentos que existem no universo, sendo talvez o conceito mais central das ciências.

A unidade de energia no Sistema Internacional (SI) é o joule (J) com seus múltiplos e submúltiplos: 1 kJ (lê-se quilo-joule) = 1.000 J, 1 MJ (mega-joule) = 1.000.000 J. Outra medida bastante usual é a caloria (cal) e seus múltiplos: 1 kcal (lê-se uma quilo-caloria) = 1.000 cal.

Você pode converter joule em calorias e vice-versa, por meio da relação entre os valores:
1 cal = 4,18 J.

CONSERVAÇÃO DA ENERGIA

A energia, na natureza, nunca se perde, sempre se transforma. Este é um dos princípios mais fundamentais da ciência: o Princípio da Conservação da Energia.

Quando você põe um par de pilhas novas em um “walkman”, depois de um certo tempo, percebe que ela fica “velha” e, por isso, você sabe que necessita comprar um novo par. Será que neste caso a energia se conservou?

A resposta é sim: a energia se conservou. Explica-se: toda a energia armazenada pela pilha foi convertida em energia sonora (para ouvir as músicas), em energia cinética (para movimentar os CDs ou as fitas cassetes), em energia térmica (sempre há um aquecimento quando um aparelho está ligado) e assim por diante. Na verdade, o tipo de energia que havia na pilha acabou-se porque se transformou em outros tipos de energia que, por sua vez, transformaram-se em outros tipos e assim por diante.

O Princípio da Conservação da Energia, entretanto, não dá legitimidade a aqueles que desperdiçam energia elétrica. Embora, na natureza, a energia sempre se conserve, a energia elétrica ou nuclear proveniente das usinas é convertida em outros tipos de energia e nem sempre é reposta a curto prazo. Lembre-se que a água (elemento fundamental para as hidrelétricas) é um recurso natural precioso e limitado.

O mesmo podemos dizer do petróleo que, para se formar, demora milhões de anos e cujas reservas também são limitadas. Se gastarmos toda a energia produzida a partir do petróleo, demoraremos milhões de anos para obtê-la de volta.

Ou seja, precisamos evitar o desperdício de energia proveniente de recursos não-renováveis ou em escassez.

TIPOS DE ENERGIA

Quando você leu anteriormente que a expressão “energia” pode estar relacionada a vários contextos e que devemos associá-la à capacidade de produzir movimentos, talvez você já tenha percebido que não há somente um tipo de energia.

Afinal, quando ouvimos falar de situações aparentemente tão distintas quanto a energia armazenada no combustível de um carro, a energia associada a um trem em alta velocidade, ou uma pessoa que precisa repor uma quantidade de energia que gastou, ou mesmo que o Sol armazena energia, todas estas situações parecem lidar com tipos diferentes de energia.

Vejamos a seguir os principais tipos de energia:

1) Energia mecânica: é o tipo de energia ligado aos corpos no nosso cotidiano. Pode ser devida aos *movimentos* de um corpo (energia mecânica do tipo cinética) ou à *sua posição* em relação a outro objeto com o qual o mesmo interage (energia mecânica do tipo potencial gravitacional ou elástica). Estudaremos especificamente este tipo de energia mais adiante



2) Energia solar: é a energia emitida e produzida pelo Sol. É considerada um tipo de energia primária, ou seja, provêm dela quase todas as outras formas de energia presentes na Terra.

PROCESSO DE FUSÃO NAS ESTRELAS

O Sol, desde quando surgiu, realiza um processo chamado *fusão nuclear*, no qual transforma quatro núcleos de átomos de hidrogênio em um núcleo de átomo de hélio, liberando, nesta transformação, uma grande quantidade de energia que, por sua vez, é transportada até à Terra por meio de ondas eletromagnéticas. Esta energia emitida pelo

Sol é responsável por uma série de fenômenos, como a fotossíntese nas plantas, o aquecimento da Terra, a movimentação dos ventos, entre outros.

Em muitos lugares, a energia solar é por uma célula fotovoltaica que a armazena e a transforma em outros tipos de energia, sobretudo elétrica e térmica.

3) Energia térmica: é aquela energia associada à vibração das moléculas ou átomos no interior de um objeto ou substância e que, portanto, depende do calor. A energia térmica pode ser detectada quando vemos a água fervendo movimentando a tampa de uma panela (você estudou este fenômeno no módulo sobre calor).

4) Energia química: é a energia proveniente dos materiais orgânicos como alimentos, fósseis (petróleo), entre outros. Quando você se alimenta, está armazenando a energia química que será responsável pela manutenção de todas as atividades do seu corpo. Isso ocorre porque, depois do processo de digestão, em que o alimento transforma-se em glicose, dentro da célula ocorrerá a transformação dessa substância que se converterá em energia térmica, aquecendo o corpo (mantendo-o na temperatura desejada); em energia cinética (a fim de que você possa realizar todos os seus movimentos) e outras formas de energia.

De maneira semelhante, um carro, para andar, queima a energia química proveniente do combustível e a transforma em movimento (energia cinética).

As plantas, por meio da fotossíntese, utilizam a energia solar juntamente com a água e a clorofila para assimilar gás carbônico. Elas estão na base da cadeia alimentar, servindo de alimentação para os demais seres vivos na Terra. Em outras palavras, é devido à transformação da energia solar em energia química pelas plantas que se obtém a base da energia que utilizamos na nossa alimentação.

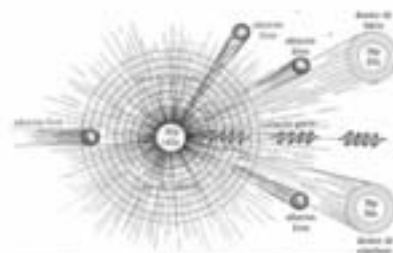
5) Energia elétrica: é a energia que se deve ao movimento e à organização dos elétrons ou de íons (você pode estudar mais sobre este tipo de energia em “Eletricidade e Eletromagnetismo”).

Note que, embora haja todos estes tipos de energia (e outros que não citamos agora), não podemos dizer nunca que a energia não se conserva ou que ela se perdeu definitivamente. Um dos princípios fundamentais da natureza diz que a energia jamais se perde, apenas se transforma. Mas esta informação merece um estudo especial, conforme você lerá a seguir.

OUTRAS FORMAS DE ENERGIA

Nuclear: É a energia utilizada pela humanidade em usinas e bombas nucleares. É também a energia liberada pelas estrelas.

É produzida devido à *fusão nuclear* (releia a definição de energia solar) ou à *fissão nuclear*, cuja técnica, dominada pela humanidade, consiste na “quebra” de átomos bombardeados por nêutrons, transformando-os em núcleos de elementos radioativos, geradores de altas quantidades de energia.



Exemplo de fissão nuclear

Eólica: É aquela obtida através do vento.



Luminosa: É a energia obtida através da luz. Algumas reações químicas, por exemplo, ocorrem mediante a presença de luz.

Sonora: É a energia devida ao som. Se você já teve a oportunidade de colocar o seu aparelho de som em volume muito alto, deve ter notado que alguns objetos próximos a ele, muitas vezes, vibram. Então, o som tem energia. Na verdade, somente o ato de escutar já se deve à energia sonora: captamos e diferenciamos o som por meio do nosso tímpano, órgão que “vibra” ao perceber um som.



TIPOS DE USINAS E TRANSFORMAÇÕES DE ENERGIA

1. Usina hidrelétrica

Uma usina hidrelétrica realiza basicamente a transformação de energia gravitacional (queda d'água) e cinética (correnteza) em energia elétrica (nos geradores). A queda d'água faz rodar, em geral, grandes imãs, presos a uma turbina (veja figura abaixo), que ficam bem na parte de baixo das represas. Estes imãs movem-se em torno de fios metálicos em forma de espiral cuja estrutura forma o que chamamos de bobinas. Quando os imãs estão em movimento, geram uma força magnética que movimenta os elétrons presentes nas bobinas, gerando energia elétrica.



2. Numa usina termoelétrica

Utiliza-se combustível (em geral carvão mineral) para aquecer a água que fica numa caldeira (veja figura); ou seja, neste tipo de usina há transformação de energia química (queima do carvão) em energia térmica (aquecimento da água na caldeira). O vapor de água, por sua vez, fará movimentarem-se as hélices (energia cinética), as quais estão atreladas aos imãs ligados às bobinas, que transformarão esta energia cinética em energia elétrica.

3. Numa usina nuclear

O processo de aquecimento da água na caldeira deve-se à emissão de elementos radioativos com altíssima energia. Os vapores de água movimentarão as hélices e, daí em diante, o processo de repete como nas usinas anteriores.

TRABALHO

Quando definimos energia, a relacionamos ao conceito de trabalho. Você estudará agora um pouco mais profundamente este conceito.

No nosso dia a dia, a expressão “trabalho” pode estar relacionada a uma tarefa (“Faça este trabalho para mim”), a uma profissão (“Você trabalha em quê?”), a uma vida conturbada (“Estou com excesso de trabalho”), entre outras possibilidades. Em Física, no entanto, o conceito de “trabalho” é bem mais específico.

Em Física, por um lado o trabalho está associado a uma força aplicada a um corpo, e ao conseqüente deslocamento deste corpo. Por outro lado, o trabalho mede a transformação da energia.

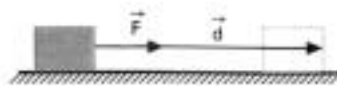
SAIBA MAIS

Observe que a definição anterior gera algumas implicações que devem ser bem observadas. A primeira delas é que mesmo que estejamos, por exemplo, empurrando uma parede, estaremos gastando energia, mas não estaremos realizando trabalho, pois não conseguiremos deslocá-la. Para que haja trabalho, deve haver deslocamento.

Outra constatação importante é que, para haver trabalho, é preciso que haja energia sendo transformada.

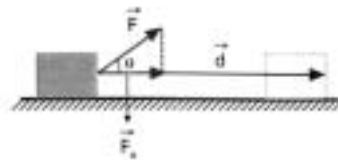
Observe que trabalho sempre está associado a um deslocamento (d) e a uma força (F) responsável por esse deslocamento. No caso mais simples, em que a força aplicada sobre um objeto não varia e o movimento é retilíneo e na mesma direção e sentido da força (veja figura), o trabalho pode ser dado pela expressão:

$$\tau = F \cdot d$$



Caso haja algum ângulo entre a força e o deslocamento (veja figura), devemos considerá-lo através do uso da componente da força, de acordo com a expressão:

$$\tau = F \cdot d \cdot \cos \theta$$



onde θ = ângulo entre F e d .

Perceba que ambas as expressões envolvem força e distância. Assim, caso você esteja numa academia sustentando um haltere que pesa 1.000 N acima de sua cabeça, você não estará realizando trabalho algum sobre o haltere. No entanto, você se cansará: isso porque o trabalho estará sendo feito sobre os seus músculos, esticando-os e contraindo-os.

Mas até aí você pode perguntar: Quando um objeto cai, quem executa este trabalho?

A resposta é: a força peso exercida pela Terra. Numa situação em queda livre, a força exercida sobre o objeto que cai é o peso $P = m \cdot g$ e o deslocamento d equivale à altura da qual o objeto está caindo. Portanto, neste caso, o trabalho da força peso será dado por:

$$\tau = m \cdot g \cdot h$$

onde m = massa;
 g = gravidade;
 h = altura.

A unidade de medida para o trabalho é o N.m (newton.metro), que é o mesmo que joule (J). Um joule de trabalho é realizado quando uma força de 1 N é exercida num corpo ao longo de um deslocamento de 1 metro. Todas as outras medidas de energia também podem ser utilizadas para cálculos de trabalhos.

Exercícios

1. Identifique as transformações de energia que ocorrem nas seguintes situações:

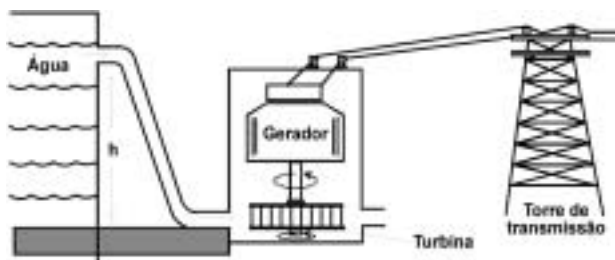
- | | |
|---------------------------------|---------------------------|
| a) pessoa andando; | f) secador de cabelo; |
| b) elevador subindo; | g) metrô circulando; |
| c) aparelho de som funcionando; | h) computador; |
| d) cata-vento girando; | i) televisão; |
| e) chuveiro; | j) lâmpada incandescente. |

Há muito tempo sabemos que “é preciso economizar energia” a fim de que não haja desperdício. Segundo algumas campanhas de conscientização, que muitas vezes falam em “conservar energia”, isto pode ser feito apagando-se as lâmpadas desnecessárias, desligando aquecedores de água que não estejam sendo usados, entre outras medidas. Diferencie o termo “conservar a energia” utilizado nessas campanhas do Princípio de Conservação da Energia que estudamos.

2. Uma criança puxa uma caixa de massa 2 kg, através de um barbante, conforme mostra a figura, aplicando uma força $F = 10$ N. Ao deslocar-se 3,0 m, a caixa sofre a ação de uma força de atrito no valor de 2 N, contrária ao movimento. Considerando $g = 10$ m/s² e $\cos 60^\circ = 0,5$:

- desenhe as forças que agem na caixa;
- determine o trabalho realizado pela força F no deslocamento;
- determine o trabalho realizado pela força normal;
- determine o trabalho realizado pela força peso;
- determine o trabalho realizado pela força de atrito;
- determine o trabalho realizado pela força resultante.

3. (ENEM-2003) Na figura abaixo está esquematizado um tipo de usina utilizada na geração de eletricidade.



Analisando o esquema, é possível identificar que se trata de uma usina:

- a) hidrelétrica, porque a água corrente baixa a temperatura da turbina.
- b) hidrelétrica, porque a usina faz uso da energia cinética da água.
- c) termoelétrica, porque no movimento das turbinas ocorre aquecimento.
- d) eólica, porque a turbina é movida pelo movimento da água.
- e) nuclear, porque a energia é obtida do núcleo das moléculas de água.

4. (ENEM-2001) No processo de obtenção de eletricidade na usina hidrelétrica anterior, ocorrem várias transformações de energia. Considere duas delas:

- I. transformação de energia cinética em energia elétrica
- II. transformação de energia potencial gravitacional em energia cinética.

Analisando o esquema, é possível identificar que estas transformações se encontram, respectivamente, entre:

- a) I - a água no nível h e a turbina, II - o gerador e a torre de distribuição.
- b) I - a água no nível h e a turbina, II - a turbina e o gerador.
- c) I - a turbina e o gerador, II - a turbina e o gerador.
- d) I - a turbina e o gerador, II - a água no nível h e a turbina.
- e) I - o gerador e a torre de distribuição, II - a água no nível h e a turbina.

ENERGIA MECÂNICA

Um dos principais tipos de energia é aquele ligado à posição de um objeto em relação a outro ou aquele devido aos movimentos. Nestas situações, temos a energia mecânica que pode ser de dois tipos:

1) Energia mecânica do tipo cinética (ou simplesmente energia cinética): quando empurramos um objeto, podemos colocá-lo em movimento e, sendo assim, por estar em movimento, o mesmo será capaz também de empurrar outros, ou seja, ele também será capaz de realizar trabalho. Chamamos esta “*energia devido ao movimento*” de *energia cinética*.

A energia cinética (E_c) depende da massa de um objeto e de sua velocidade. Assim, se um carro e um caminhão estiverem com a mesma velocidade, o caminhão, por ter mais massa do que o carro, terá maior energia cinética. Por outro lado, caso o caminhão esteja com uma baixíssima velocidade e o carro com uma velocidade bem maior, então será necessário calcularmos mais precisamente a energia de ambos para sabermos quem terá maior capacidade de realizar trabalho.

Podemos calcular a energia cinética (E_c) através da expressão:

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2$$

SAIBA MAIS

Observe que a expressão anterior revela que a energia cinética possui uma grande variação ao mudarmos o valor da velocidade. Se dobrarmos o valor de v , a energia cinética terá seu valor quadruplicado. Por outro lado, se reduzirmos v pela metade, o valor da energia cinética será reduzido à quarta parte de seu valor inicial. Você consegue demonstrar estas observações? Tente e verá que não é difícil.

2) Energia mecânica do tipo potencial gravitacional (ou simplesmente energia potencial gravitacional): um objeto qualquer que esteja amarrado a um fio, suspenso em uma determinada altura da Terra, adquirirá movimento caso este fio se rompa, ou seja, ele ganhará energia cinética após o rompimento do fio. Você, que já sabe que a energia se conserva, deve estar se perguntando agora: “*Nesta situação, de onde vem esta energia que virou energia cinética?*”

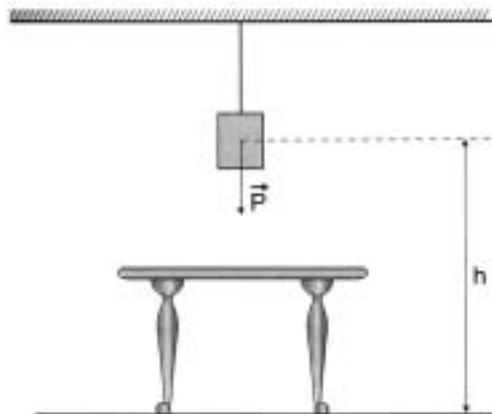
A resposta a esta pergunta está no conceito de energia potencial. Um objeto, suspenso a uma determinada altura, possui um potencial de realizar trabalho que se deve essencialmente à ação da gravidade (que o atrairá para baixo). Dizemos, pois, que tal objeto possui uma energia armazenada chamada de *energia potencial gravitacional*.

Este tipo de energia não ocorre somente em objetos suspensos em fios, mas também por todo e qualquer corpo que esteja a uma determinada altura de uma certa referência.

Observe que esta “referência” é fundamental. Por exemplo, um livro que esteja em cima de uma mesa possui energia potencial em relação ao chão (se tirarmos a mesa, adquirirá movimento), mas não possui energia potencial em relação à própria mesa (não há altura entre ele e a mesa, pois o mesmo se encontra em sua superfície). É por esta razão que dizemos que *a energia potencial depende de um referencial*.

Além deste referencial, a energia potencial gravitacional (E_{pg}) também depende:

- da altura (h):* quanto maior for a altura de um objeto em relação ao seu referencial, maior será a sua E_{pg} . O contrário também é verdadeiro: quanto menor for h , menor será E_{pg} ;
- da massa (m) do corpo:* quanto maior for m , maior será a energia (e o contrário também é verdadeiro). É fácil verificar isso: uma barra de ferro caindo tem maior capacidade de realizar trabalho do que uma folha de papel caso ambos estejam caindo de uma mesma altura;
- da gravidade (g):* Quanto maior for a gravidade exercida por um planeta ou quaisquer outros astros espaciais sobre um determinado corpo maciço, maior será a sua E_{pg} . Por outro lado, quanto menor a gravidade, menor será a energia potencial gravitacional. Assim, um corpo que estiver a uma determinada altura da superfície da Terra, cuja gravidade em média vale $9,8 \text{ m/s}^2$, terá maior energia potencial do que quando estiver na Lua, à mesma altura da superfície lunar, já que a aceleração da gravidade da Lua é bem menor (cerca de $1,6 \text{ m/s}^2$).



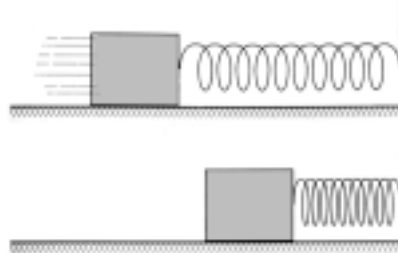
Assim, a energia potencial gravitacional pode ser obtida através da expressão:

$$E_{pg} = m \cdot g \cdot h$$

A expressão acima implica também que a energia potencial gravitacional não depende da trajetória que um objeto realiza ao cair ou ao ser suspenso. Assim, a energia potencial adquirida por uma pessoa que subiu em um prédio por um elevador será a mesma adquirida por esta mesma pessoa, à mesma altura, caso tenha subido pelas escadas. No entanto, a que a pessoa que subiu pelas escadas ficará mais “cansada” do que aquela que subiu pelo elevador. Isso se deve porque esta última transformou a sua energia química (dos alimentos) em energia potencial gravitacional para subir o prédio, enquanto que, com a primeira, foi o elevador quem converteu energia elétrica em energia potencial gravitacional.

3) Energia potencial elástica: uma mola que esteja esticada ou comprimida, ao ser solta, adquire movimento, ou seja, terá energia cinética. Considerando a conservação da energia, podemos dizer que, tanto no caso da compressão quanto no ato de esticar, a mola possui uma energia armazenada que se converterá em energia cinética. Esta *energia armazenada pela mola* é chamada de *energia potencial elástica*.

A exemplo da energia potencial gravitacional, a energia potencial elástica também depende de um referencial. Quanto mais a mola for comprimida ou esticada, afastando-se de seu ponto de equilíbrio (veja figura), maior será a sua energia potencial elástica.



Além disso, é preciso observar o tipo de mola em questão: há algumas que possuem maior elasticidade que outras e, portanto, são capazes de armazenar mais energia do que aquelas com menor elasticidade. A grandeza que contempla a elasticidade e, portanto, o tipo de mola, é chamada de *constante elástica*, a qual representamos por K .

ELASTICIDADE DOS CORPOS

A grandeza que mede o caráter elástico da mola, representada por K , chamada de constante de Hooke, é dada por $K = \frac{F}{x}$,

onde F = força que comprime ou estica a mola;

x = deslocamento sofrido pela mola ao ser comprimida ou esticada em relação a uma determinada referência.

É importante ressaltar que a energia potencial elástica não ocorre somente em molas, mas em todo objeto dotado de elasticidade (elásticos, estilingues, entre outros).

Assim, a energia potencial elástica (Epel) é dada por:

$$E_{pel} = \frac{1}{2} kx^2$$

CONSERVAÇÃO DA ENERGIA MECÂNICA

Já vimos que, na natureza, a energia sempre se conserva, mudando apenas a sua forma (ou os seus tipos). Assim, a energia mecânica pode se converter em química, em sonora, elétrica etc.

No que se refere aos tipos exclusivos de energia mecânica, pode haver também a conservação entre eles. Por exemplo: toda a energia potencial gravitacional pode se transformar totalmente em energia cinética, sem que haja transformação em qualquer outro tipo de energia não-mecânica. O mesmo pode ser dito em relação a uma mola: toda a sua energia potencial elástica pode ser transformada em energia cinética.

Em todas as situações em que um determinado tipo de energia mecânica se transforma em outro tipo de energia mecânica (e somente mecânica), então dizemos que há conservação da energia mecânica.

Esta conservação somente ocorre na ausência de *forças dissipativas* (como a força de atrito e a força de resistência do ar), cuja ação transforma energia cinética em outro tipo de energia (sobretudo sonora e térmica), não havendo, portanto, conservação da energia mecânica.

Há conservação da energia mecânica na presença de *forças conservativas* (como o peso), dentro de um sistema fechado (você verá mais detalhadamente a noção de sistema quando estudar o conceito de quantidade de movimento mais adiante).

Podemos relacionar diretamente trabalho com energia cinética através do Teorema da Energia Cinética, que afirma que “o trabalho de uma força resultante pode ser obtido através da variação da energia cinética de um corpo qualquer”. Matematicamente:

$$\tau = E_{cf} - E_{ci}$$

onde E_{cf} = energia cinética final;
 E_{ci} = energia cinética inicial;
 τ = trabalho da força resultante.

O teorema acima nos garante que, se um objeto muda a sua velocidade, mudando a sua energia cinética, o trabalho gasto para propiciar esta mudança pode ser obtido por meio da subtração da energia cinética inicial pela energia cinética final.

Você verá agora alguns exemplos, a fim de se familiarizar com estas transformações de energia.

Exemplo 1: Imagine uma máquina trabalhando numa bate-estaca (veja a figura). Responda:

- Quais são as transformações de energia que estão ocorrendo na situação?
- Há conservação da energia mecânica?

Respostas:

a) O trabalho realizado para elevar o martelo do bate-estacas fornece-lhe energia potencial gravitacional. Quando solto, o martelo adquire energia cinética e a transfere para a estaca que, por sua vez, realizará um trabalho ao empurrar a camada superficial da Terra para o chão à medida que o penetra. Parte desta energia recebida pela estaca ao penetrar na Terra será transformada em energia sonora (haverá um considerável barulho) e energia térmica (tanto a estaca quanto o chão terão um sensível aquecimento).

b) Não há, portanto, conservação da energia mecânica, pois nem toda a energia potencial do martelo foi transformada totalmente em energia cinética, havendo perda na forma de energia sonora e térmica.

Exemplo 2: Agora imagine uma montanha russa realizando um famoso *loop* (conforme podemos ver na figura). Podemos dizer que há conservação de energia mecânica?

Resposta:

O correto seria dizer que somente há conservação de energia mecânica caso não haja atrito nos trilhos. Nesse caso, toda a energia potencial gravitacional do carrinho alcançada no ponto mais alto do círculo será transformada em energia cinética no ponto mais baixo que, por sua vez, o remeterá para cima novamente, num processo indefinido (caso não haja atrito).

Exemplo 3: Leia bem o problema a seguir e tente identificar porque você deve utilizar o princípio da conservação da energia mecânica para resolvê-lo:

Um jovem escorrega por um tobogã aquático, com uma rampa retilínea, de comprimento L , como na figura, sem impulso, ele chega ao final da rampa com uma velocidade de cerca de 6 m/s. Para que essa velocidade passe a ser de 12 m/s, mantendo-se a inclinação da rampa, será necessário que o comprimento dessa rampa passe a ser aproximadamente de



- a) $L/2$ b) L c) $1,4 L$ d) $2 L$ e) $4 L$

Resposta:

Observe que há alguns elementos presentes no problema que apontam para o uso da conservação da energia mecânica como a melhor forma de resolvê-lo. Perceba alguns elementos:

1) Os dados do problema envolvem velocidade e altura, relacionando variáveis presentes na energia cinética e na energia potencial gravitacional:

Situação 1: $V_{f1} = 6 \text{ m/s}$;

g

$h_1 = ?$

Situação 2: $V_{f2} = 12 \text{ m/s}$

g

$h_2 = ?$

2) Não há forças dissipativas (não há atrito), o que nos garante a conservação da energia mecânica.

3) Portanto, pela conservação da energia mecânica:

$$E_{\text{Mec}} \text{ no alto} = E_{\text{Mec}} \text{ no ponto mais baixo}$$

$$E_p + E_c = E_c$$

$$m \cdot g \cdot h_1 = \frac{1}{2} m v_1^2$$

Substituindo os dados do problema e cancelando-se as massas m , temos:

$$h_1 = \frac{(6)^2}{2}$$

$$h_1 = 18 \text{ m}$$

Segue, também, que:

$$h_2 = \frac{(12)^2}{2}$$

$$h_2 = 72 \text{ m}$$

4) Utilizando-se uma proporção simples, temos:

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{L_1}{L_2}$$

$$\frac{18}{72} = \frac{L_1}{L_2} \Leftrightarrow L_2 = \frac{72L_1}{18} \Leftrightarrow L_2 = 4L_1$$

Portanto, a alternativa correta é (e).

Exercícios

1. Escreva se são falsas (F) ou verdadeiras (V) as seguintes afirmações:

- Em uma usina hidrelétrica, no ponto em que se inicia a queda d'água, há energia potencial gravitacional e energia cinética. No ponto mais baixo, em que não há altura, só há energia cinética.
- O trabalho realizado pela força peso só depende da altura, independentemente da sua trajetória.
- O Princípio da Conservação da Energia só vale para situações em que não ocorram forças dissipativas (atrito, resistência do ar etc.).
- Trabalho é a energia sendo gasta. Então, se não há energia, não há trabalho.
- Energia é a capacidade de realizar trabalho. Então, sempre que não há trabalho, não há energia.

2.(Fuvest) No rótulo de uma lata de leite em pó lê-se : “Valor energético 1 509 kJ por 100 g (361 kcal)”. Se toda energia armazenada em uma lata que contém 400 g de leite fosse utilizada para levantar um objeto de 20 kg, a altura atingida seria de aproximadamente:

- a) 25 cm; b) 15 m; c) 400 m; d) 2 km; e) 60 km.

3. (Vunesp/SP) Uma esfera de aço de $3 \cdot 10^{-2}$ Kg, abandonada de uma altura de 2,0 m, cai em uma superfície plana, horizontal e rígida, e volta atingindo a altura máxima de 0,75 m. Despreze a resistência do ar e admita $g = 10 \text{ m/s}^2$.

- Qual a energia dissipada no choque da esfera contra a superfície?
- Qual deveria ser o valor da velocidade vertical inicial da esfera para que ela, na volta, atingisse a posição inicial?

4. (PUC/MG) Assinale a alternativa correta: Quando um corpo é elevado a uma certa altura do solo, a energia despendida para se conseguir tal intuito:

- acumula-se, no corpo, sob a forma de energia interna.
- é igual à variação da energia cinética do corpo.
- é nula, pois a resultante média das forças de elevação é nula.
- fica armazenada, no corpo, sob a forma de energia potencial gravitacional.
- transforma-se em calor durante a subida.

5. Qual é a energia cinética de um carro com massa de 1.500Kg que viaja a 72 km/h (ou 20 m/s)? Se a velocidade do carro dobrar, o que acontecerá com a sua energia cinética?

6. Uma bala de revólver, cuja massa é de 10 g (ou 0,001 Kg), tem uma velocidade de 400 m/s ao atingir um bloco, no qual penetra, até parar.

- Calcule a energia cinética inicial da bala.
- Determine a energia cinética final da bala.
- Determine a variação da energia cinética neste trecho.

7. Um garoto em um carrinho de rolimã desce uma ladeira com forte vento contrário a seu movimento. A sua velocidade se mantém constante durante a descida. Responda o que acontece com

- a energia potencial gravitacional do sistema.
- a energia cinética do sistema.
- a energia mecânica do sistema.

8. Uma criança, ao subir em um elevador, apresenta em média 900 J de energia potencial. À medida que chegou no chão, com altura nula, sua energia baixou para 850 J, sendo que este valor corresponde somente à energia cinética. Responda:

- Houve conservação da energia mecânica?
- Houve conservação da energia? Por quê?

9. Imagine que você pudesse optar em colidir com dois garotos, cada um em cima de um skate. Um deles é leve, enquanto o outro é duas vezes mais pesado, mas com a metade da rapidez do outro. Considerando-se apenas massa e velocidade, com qual dos dois a colisão seria menos danosa? Justifique usando a expressão da energia cinética.

10. Um trabalhador ergue um saco de cimento de 50 Kg a uma altura de dois metros. Em seguida, ergue meio saco de cimento (25 Kg) a uma altura de 4m. Em qual destas duas situações ele gastou mais energia? (Considere $g = 9,8 \text{ m/s}^2$; lembre-se que $t = m \cdot g \cdot h$)

DEGRADAÇÃO DA ENERGIA

Considerando que a energia nunca se perde, sempre se transforma, você pode se perguntar qual seria, então, a importância do Sol para a manutenção da energia na Terra: afinal, bastaria então fornecer uma determinada quantidade de energia (que jamais se perderia) para a Terra e, com isso, o Sol não precisaria continuar enviando.

Para resolver este aparente “paradoxo”, você precisa saber que a Terra não consegue manter a sua energia interna constante. Ela recebe energia e a reemite, na forma de ondas eletromagnéticas, através do processo de irradiação (leia mais sobre este assunto no módulo sobre calor), o que a faz depender sempre do Sol para manter a sua energia.

Além disso, há um outro fato: à medida que a energia vai se transformando em diversos tipos, há uma certa quantidade que se degrada, ou seja, há uma parte que não conseguirá ser totalmente transformada em determinado tipo de energia. Em síntese, qualquer energia pode ser transformada, mas a eficiência desta transformação não é a mesma. Daí vem a constatação de que é possível transformar 100% da energia cinética em energia térmica (calor), mas o contrário não é verdadeiro. Para cada transformação de energia, temos um determinado percentual de degradação.

A grandeza que mede esta degradação é chamada de entropia. Quanto menor for a entropia de uma forma de energia, menor será a sua degradação e, assim, ela poderá ser transformada com mais eficiência em outros tipos de energia (observe a tabela).

Fontes de energia x entropia

Formas de energia	Entropia por unidade de energia
Gravitacional	0
Cinética	0
Luz solar	1
Calor terrestre perdido	10 - 100
Reações nucleares	10^{-6}

Fonte: Faces da Energia – M. Pietrocola e A. Figueiredo – Ed. FTD, São Paulo, 1998.

A entropia pode também ser compreendida como a medida da desordem de uma determinada forma de energia num sistema. Assim, quanto menor é a entropia de uma determinada forma de energia, mais “ordenada” ela está dentro de um determinado sistema. Observe na tabela “Formas de energia x Entropia” que a energia cinética e a gravitacional são as formas de energia mais organizadas no universo, podendo ser facilmente transformadas em outros tipos de energia.

Compreendida esta idéia, você pode perceber, então, porque o Sol é tão necessário para a manutenção da energia na Terra. Se acaso ele parasse de fornecer, à medida que forem ocorrendo as transformações de energia, a entropia aumentará e, com isso, depois de um certo tempo, haverá na Terra somente aquela energia degradada e que não poderia ser reaproveitada para a vida na Terra.

Observe, então, que há uma regra geral: Num sistema fechado (A Terra sem o Sol, por exemplo) a entropia nunca diminuirá: ou ela permanece constante ou aumenta.

SAIBA MAIS

Compreenda mais sobre eficiência da transformação de energia numa máquina térmica estudando novamente o módulo sobre calor, procurando o tópico rendimento. Ao lê-lo, tente estabelecer uma relação entre transformações e o conceito de degradação (entropia) de energia.

POTÊNCIA

Ao tratarmos os temas de trabalho e energia, não mencionamos o tempo que gastamos para realizar um determinado movimento, ou seja, o quanto uma máquina demora para realizar um trabalho. Você deve ter percebido também que o trabalho realizado para subir uma escada é o mesmo andando ou correndo, já que, neste caso, depende somente da altura, da gravidade e da massa do corpo que sobe. Mas, então, você pode perguntar: por que razão ficamos mais cansados quando subimos correndo (ou seja, mais rapidamente)?

Para responder à pergunta anterior, você precisa compreender o conceito de *potência*.

Podemos definir *potência* como sendo a variação da quantidade de energia ΔE (trabalho realizado) dividido pelo intervalo de tempo (Δt) em que essa variação ocorreu. Matematicamente: $P = \frac{\Delta E}{\Delta t}$

A unidade de potência é o joule por segundo (J/s), também chamado de *watt* (W). Um watt de potência é gasto quando um joule de trabalho é realizado em um segundo. No Brasil, também utilizamos a medida cavalo-vapor (cv) que corresponde à quantidade de potência necessária para elevar em um metro um corpo de 75 quilogramas em um segundo. Outra unidade bastante conhecida é o HP (*horse-power*), muito utilizado para medir a potência de motores a combustão.

CONVERSÕES DE UNIDADES

Podemos converter um sistema de unidade em outro. Para isso podemos fazer as seguintes relações:

$$1 \text{ cv} = 736 \text{ W}$$

$$1 \text{ HP} = 746 \text{ W}$$

Uma máquina com grande potência é, portanto, aquela que consegue realizar um trabalho rapidamente.

Perceba que um motor de automóvel que fornece duas vezes mais potência que outro nem sempre realiza duas vezes mais trabalho que este último ou faz o carro ir duas vezes mais rápido do que aquele com motor menos potente. Pode significar, por exemplo, que o motor *pode realizar* a mesma quantidade de trabalho na metade do tempo, ou duas vezes mais trabalho no mesmo tempo.

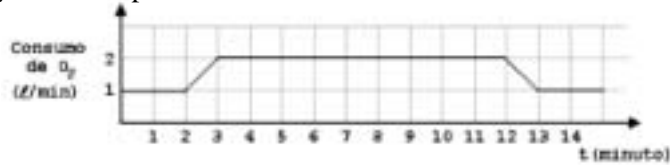
É importante ressaltar que quando estamos falando de potência, referimo-nos a qualquer gasto de energia dentro de um intervalo de tempo, seja qual for o tipo de energia (não somente energia mecânica). Podemos nos referir, por exemplo, à energia química (consumo de combustíveis), energia elétrica (você já reparou na potência do seu aparelho de som?), entre outras possibilidades.

Observe também que um litro de combustível, dotado de energia química, pode realizar uma mesma quantidade de trabalho, embora possua potências diferentes dependendo do tempo gasto para ser consumido. Um litro de com-

bustível pode ser utilizado para operar um carrinho aparador de gramas por 20 minutos ou pode ser gasto por um avião em apenas um único segundo.

Veja agora um exemplo no qual estas idéias podem ser aplicadas:

Exemplo 1: Em uma caminhada, um jovem consome 1 litro de O_2 por minuto, quantidade exigida por reações que fornecem a seu organismo 20 kJ/minuto (ou 5 “calorias dietéticas”/minuto). Em dado momento, o jovem passa a correr, voltando depois a caminhar. O gráfico representa seu consumo de oxigênio em função do tempo.



- a) 10 kJ b) 21 kJ c) 200 kJ d) 420 kJ e) 480 kJ

Resolução:

Para resolver esta questão, você deve perceber a necessidade de utilizarmos o conceito de potência: Na questão, há uma relação entre energia consumida (kJ) e tempo gasto para consumi-la (minutos).

Em seguida, observe o gráfico: o jovem passa a precisar de mais O_2 a partir do instante 3 min e prossegue assim até o instante 13 min, num total de 10 minutos correndo.

O gráfico também diz que, ao correr, ele gasta 2 litros de O_2 por minuto, o que implica numa potência que corresponde ao dobro daquela que ele consome quando caminha. Portanto, $P = 40$ kJ/min.

Substituindo o tempo gasto ao correr na expressão da potência, temos:

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} \Leftrightarrow 40 = P = \frac{\Delta E}{\Delta t} \Leftrightarrow \Delta E = 400 \text{ kJ.}$$

Observe que, se estivesse apenas caminhando (com $P = 20$ kJ), por um cálculo análogo ao que fizemos anteriormente, teríamos $\Delta E = 200$ kJ.

Então, o gasto que ele teve a mais por correr em vez de caminhar, será igual a $G = 400 - 200 \Rightarrow G = 200$ kJ.

A resposta correta é a alternativa c.

Vamos fazer um outro problema envolvendo potência:

Exemplo 2: Um alterofilista levanta 200 kg até uma altura de 2,0 m em 1,0 s.

- a) Qual a potência desenvolvida pelo halterofilista?
 b) Se a energia consumida neste movimento fosse utilizada para aquecer 50 litros de água inicialmente a 20°C , qual seria a temperatura final da água? (use a aproximação $1 \text{ cal} = 4,0 \text{ J}$).

Resolução:

- a) Lembremo-nos que $P = \frac{\Delta E}{\Delta t}$ e que $\Delta E = \tau = m \cdot g \cdot h = 200 \cdot 10 \cdot 2 = 4000 \text{ J}$

Dividindo-se o valor do trabalho por 1 s, temos $P = 4000 \text{ W}$

- b) Lembrando que a expressão da energia térmica é dada por: $Q = m.c.(T_f - T_i)$, então:

$$4000 = 50.1.(T_f - 20)$$

$$T_f = 60^\circ \text{ C.}$$

Agora, a partir destes exemplos, tente resolver os problemas a seguir:

Exercícios

1. (Fuvest) Um pai de 70 kg e seu filho de 50 kg pedalam lado a lado em bicicletas idênticas, mantendo sempre velocidade uniforme. Se ambos sobem uma rampa e atingem um patamar plano, o filho em relação ao pai:

- realizou mais trabalho;
- realizou a mesma quantidade de trabalho;
- possuía mais energia cinética;
- possuía a mesma quantidade de energia cinética;
- desenvolve potência mecânica maior.

2. (Vunesp/SP) Um motor de potência útil igual a 125 W, funcionando como elevador, eleva a 10 m de altura, com velocidade constante, um corpo de peso igual a 50 N, no tempo de:

- a) 0,4 s b) 2,5 s c) 12,5 s d) 5,0 s e) 4,0 s.

3. (Unicamp/SP) Um carro recentemente lançado pela indústria brasileira tem aproximadamente 1.500 kg e pode acelerar, do repouso até a velocidade de 108 km/h, em 10 s. (Fonte: Revista Quatro Rodas, ago.92). Adote $1 \text{ cv} = 750 \text{ W}$.

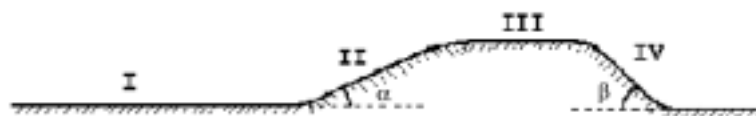
- Qual o trabalho realizado nesta aceleração?
- Qual a potência do carro em cv?

Exercícios do 4 ao 8

4. Um automóvel com massa de 1000 kg percorre, com velocidade constante $v = 20 \text{ m/s}$ (ou 72 km/h), uma estrada (ver figura) com dois trechos horizontais (I e III), um em subida (II) e um em descida (IV). Nos trechos horizontais o motor do automóvel desenvolve uma potência de 30 kW para vencer a resistência do ar, que pode ser considerada constante ao longo de todo o trajeto percorrido. Suponha que não há outras perdas por atrito. Use $g = 10 \text{ m/s}^2$. São dados: $\sin a = 0,10$ e $\sin b = 0,15$.

Determine:

- o valor, em newtons, da componente paralela a cada trecho da estrada das forças F_I , F_{II} , e F_{IV} , aplicadas pela estrada ao automóvel nos trechos I, II e IV, respectivamente.
- o valor, em kW, da potência F_{II} que o motor desenvolve no trecho II.



2. Um cartaz de uma campanha de segurança nas estradas apresenta um carro acidentado com a legenda “de 100 km/h a 0 km/h em 1 segundo”, como forma de alertar os motoristas para o risco de acidentes.

- Qual é razão entre a desaceleração média e a aceleração da gravidade, a/g ?
- De que altura o carro deveria cair para provocar uma variação de energia potencial igual à sua variação de energia cinética no acidente?
- A propaganda de um carro recentemente lançado no mercado apregoa uma “aceleração de 0 km/h a 100 km/h em 14 segundos”. Qual é a potência mecânica necessária para isso, considerando que essa aceleração seja constante? Despreze as perdas por atrito e considere a massa do carro igual a 1000 kg.

DICAS PARA ESTUDAR MAIS

Livros

- Faces da energia – série “Física, um outro lado”
Maurício Pietrocola e Aníbal Figueiredo
Ed. FTD, São Paulo, 1998.
- Ligado na Energia – série “Saber Mais”
Inácio Bajo, António Roy e Jordi Serra
Consultor: Luiz Carlos de Menezes
Ed. Ática, São Paulo, 2002.
- Energia – Projeto Escola e Cidadania
José Alves da Silva, Alexandre Custódio, Cristina Leite.
Ed. Do Brasil, São Paulo, 2000.

Filme

- K19 – The Widowmaker*
Direção: Kathryn Bigelow
Ano: 2002

Neste filme, você poderá perceber boa parte dos processos de transformações de energia sendo aplicados no mundo tecnológico, de uma maneira envolvente e surpreendente.

Sites

- Ministério das Minas e Energia
www.minasenergia.org.br
- Petrobras
www.petrobras.com.br

Unidade 2

Impulso e quantidade de movimento

Organizadores

Maurício Pietrocola

Nobuko Ueta

Elaboradores

Rogério Vogt

Cardoso dos Santos

José Alves da Silva

Maurício Pietrocola

INTRODUÇÃO



Fonte: www.bigfoto.com

Você já parou para pensar como alguns acontecimentos despertam nossa curiosidade? Ficamos maravilhados durante a festa de reveillon ao observarmos as figuras formadas no céu devido à queima dos fogos. Um outro acontecimento que mexe com as nossas emoções e de particular beleza é o lançamento de uma missão espacial. O foguete lança gases em um sentido e é impulsionado no sentido oposto. Mas o que estes eventos distintos têm em comum?

A resposta está nas leis físicas que regem estes movimentos. Bem, nesta unidade vamos falar de um tópico que é muito comum nos principais vestibulares do país: impulso, quantidade de movimento e sua conservação. Bons estudos!

MOVIMENTO

Que tal uma partida de bilhar? Uma bola de bilhar, atingida pelo taco, é posta em movimento. Esse é apenas um exemplo de como um corpo pode entrar em movimento por ação de outro corpo. Vemos outros exemplos disso em um jogo de futebol quando um jogador, ao cobrar um pênalti, chuta a bola que se encontra parada na marca da cal; no trânsito caótico de São Paulo, quando um carro parado no sinal vermelho é atingido por trás por outro carro.



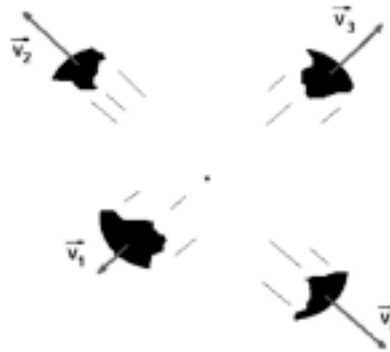
Fonte: www.fcsnooker.co.uk

Mas há uma outra maneira de corpos entrarem em movimento. Repare no exemplo abaixo:

Antes da explosão



Depois da explosão



Antes da explosão, a bomba estava parada. Depois da explosão, partes da bomba entram em movimento para um lado e partes entram em movimento para outro lado.

Um outro exemplo em que isso ocorre é o de um canhão que, ao atirar uma bala para frente, irá recuar. Vamos olhar mais de perto esse exemplo.

Antes do disparo



Depois do disparo



Se considerarmos o canhão e a bala em seu interior, antes do disparo não há movimento. Após o disparo porém, a bala avança e o canhão recua, tentando “compensar” o movimento da bala! Essa “compensação” não nos remete a uma idéia de que algo se conserva?

Você já reparou que a bala, que é “mais leve”, adquire maior velocidade e o canhão, que é “mais pesado”, menor velocidade? Não parece que o excesso de massa compensa a falta de velocidade? E se multiplicarmos a massa da bala por sua velocidade após o disparo? Será que obteremos o mesmo valor se multiplicarmos a massa do canhão por sua velocidade após o disparo? Bem, vamos estudar um pouco mais...

QUANTIDADE DE MOVIMENTO

O produto da massa do corpo pela sua velocidade é denominado *quantidade de movimento*, uma grandeza vetorial que caracteriza, num dado instante, o movimento de um corpo. Considere uma partícula de massa m se deslocando com uma velocidade vetorial \vec{v} . A quantidade de movimento desta partícula é dada por:

$$\vec{Q} = m \cdot \vec{v}$$

onde \vec{Q} = quantidade de movimento;
 m = massa
 \vec{v} = velocidade instantânea.

ATENÇÃO: QUANTIDADE DE MOVIMENTO É UMA GRANDEZA VETORIAL

Direção: mesma da velocidade (tangente à trajetória)

Sentido: mesmo da velocidade

Intensidade ou módulo: $Q = m \cdot v$ **LEMBRE-SE**

Quando a grandeza for vetorial, para defini-la é necessário, além do valor que você obtém através da fórmula, indicar a direção e o sentido (se possível faça o desenho da seta).

No sistema internacional de unidades (SI) a massa é dada em quilograma (kg) e a velocidade é dada em metros por segundo (m/s). Logo, a unidade de Quantidade de movimento no SI é quilograma metro por segundo (kg.m/s).

A quantidade de movimento é uma grandeza instantânea (definida em um certo instante).

IMPULSO

Lembra quando você, ainda criança, estava numa balança em um parque e não conseguia balançar? Você pedia para que sua mãe lhe desse um “impulso”. Ela atendia prontamente exercendo uma “força” em suas costas “durante um intervalo de tempo”.



O tenista exerce um impulso na bola com sua raquete.

Fonte: Niels Shipper (www.guga.com.br)

Podemos dizer, então, que sempre que em um corpo agir uma força durante um intervalo de tempo, este recebeu um impulso.

**IMPULSO DE UMA FORÇA CONSTANTE**

Uma força que atue sobre um corpo durante um intervalo de tempo bem determinado é chamada de *força impulsiva*.

Considere uma partícula sob ação de uma força constante F , durante um intervalo de tempo Δt . O impulso desta força é dado por:

$$\vec{I} = \vec{F} \cdot \Delta t$$

onde \vec{I} = impulso da força constante
 \vec{F} = força constante
 Δt = intervalo de tempo

ATENÇÃO: O IMPULSO É UMA GRANDEZA VETORIAL

Direção: mesma da força F

Sentido: mesmo da força F

Módulo ou intensidade: $I = F \cdot \Delta t$ **LEMBRE-SE**

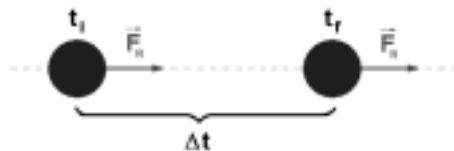
Quando a grandeza for vetorial, para defini-la é necessário, além do valor que você obtém através da fórmula, indicar a direção e o sentido (se possível faça o desenho da seta).

No sistema internacional de unidades (SI) a força é dada em newtons (N) e o intervalo de tempo é dado em segundos (s). Logo a unidade de impulso das forças no SI é newton segundo (N.s).

TEOREMA DO IMPULSO

Já vimos que, quando em um corpo atua uma força, durante um intervalo de tempo, ele recebe um impulso. Mas o que ocorre com a velocidade do corpo? Se essa força for a *resultante*, é natural de se esperar que a velocidade deste corpo se altere. Como a velocidade sofre uma mudança, a quantidade de movimento do corpo também varia. Podemos entender a relação entre força resultante, intervalo de tempo e variação de velocidade pelo *Teorema do Impulso*.

Veja abaixo:



Pela segunda lei de Newton:

$$F_R = m \cdot a \quad \text{onde} \quad a = \frac{\Delta v}{\Delta t},$$

Logo

$$F_R = m \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad \text{ou} \quad F_R \cdot \Delta t = m \cdot \Delta v$$

Portanto

$$I_R = Q_f - Q_i$$

$$I_R = \Delta Q$$

O impulso da resultante das forças sobre uma partícula é igual à variação da quantidade de movimento.

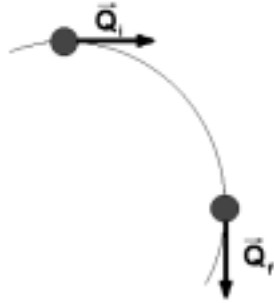
OBSERVAÇÕES

O teorema do impulso permite perceber que a unidades de impulso (N.s) e quantidade de movimento (kg.m/s) são equivalentes:

$$N.s = kg.m/s$$

IMPULSO EM TRAJETÓRIAS NÃO RETILÍNEAS

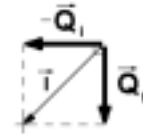
A trajetória do corpo durante o impulso pode não ser retilínea. Nesse caso, as direções das quantidades de movimento final e inicial podem ser diferentes. Então o módulo do impulso deve ser calculado fazendo-se a operação com vetores. Em particular, se o ângulo entre as quantidades de movimento final e inicial for 90° :



peelo Teorema do impulso:

$$\vec{I} = \vec{q}_f - \vec{q}_i$$

vetorialmente temos:



O módulo do impulso, representado na figura, é dado pelo teorema de Pitágoras:

$$I_R^2 = Q_f^2 + Q_i^2$$

SAIBA MAIS

Isaac Newton, em sua obra *Princípios*, publicada em 1687, propôs a segunda lei em termos da quantidade de movimento:

$$F_R = m \cdot a \quad \Rightarrow \quad F_R = m \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad \Rightarrow \quad F_R = \frac{\Delta Q}{\Delta t},$$

A taxa de variação da quantidade de movimento de um corpo pelo tempo é igual à força resultante que age sobre o corpo e tem a direção e o sentido desta força.

ALGUMAS APLICAÇÕES PRÁTICAS

Em uma colisão, os corpos ficam submetidos a um impulso, ou seja, a uma força resultante aplicada durante um intervalo de tempo, que resulta numa variação da quantidade de movimento do corpo.

$$I_R = \Delta Q$$

$$F_R \cdot \Delta t = \Delta Q$$

Para um dado impulso, ou uma dada variação da quantidade de movimento, a força é inversamente proporcional ao seu tempo de aplicação, o que significa dizer que quanto maior o tempo de aplicação da força menor será a intensidade desta força. Então, para minimizar o efeito da força durante uma colisão, o tempo de duração da colisão deve ser o maior possível. A consequência está em uma série de aplicações no nosso cotidiano, conforme veremos nos exemplos a seguir:



Fonte: www.nhtsa.dot.gov

Nos carros, o uso de *air bags* e zonas de amortecimento:

Air Bags: de acordo com o princípio da inércia, o motorista tende a manter a mesma velocidade do veículo, ficando sujeito a uma força muito intensa para

freá-lo (variar sua quantidade de movimento) durante uma batida. Quando isso ocorre, um sensor elétrico aciona o *air bag*, que infla rapidamente. Completamente cheio, este pode esvaziar-se através de orifícios que permitem que o gás em seu interior saia vagarosamente, formando uma espécie de colchão, protegendo o motorista de um choque contra o painel e o pára-brisa do automóvel. Além disso, ele também distribui esse impacto em uma superfície maior, evitando a concentração da força em uma pequena área do corpo do condutor. Sem o *air bag*, esse impacto ocorreria em um intervalo de tempo muito curto. Com o seu uso, esse tempo é consideravelmente maior, diminuindo drasticamente a intensidade da força aplicada sobre o motorista, muitas vezes salvando sua vida.

Zonas de amortecimento: são regiões do carro, geralmente na frente e na traseira, projetadas para absorver energia durante uma colisão. Com isso, quando o carro sofre um impacto, estas regiões deformam, aumentando o tempo que leva para o carro parar e minimizando a intensidade da força da batida. Além disso, a deformação das zonas de amortecimento diminui a variação da quantidade de movimento sofrida pelo carro, uma vez que atenua o efeito do recuo sofrido pelo mesmo após a colisão. Antigamente, os veículos eram muito mais rígidos e difíceis de serem amassados. Atualmente os carros têm essas zonas de amortecimento que, se por um lado o deformam mais facilmente (danificando o veículo), por outro diminuem o risco de lesões sofridas pelos seus ocupantes.

ESPORTES

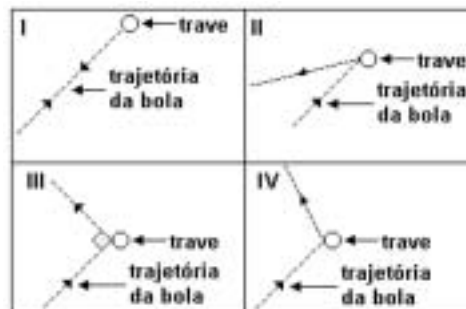
Quando um atleta ou nós mesmos saltamos, o impacto com o chão pode trazer riscos à saúde. Instintivamente flexionamos nossas pernas ao tocar o solo novamente. Ao fazermos isso, aumentamos o tempo de contato com o chão, durante a queda, minimizando assim a força a que o corpo ficará sujeito. O mesmo princípio se aplica no rolamento feito pelo lutador de judô durante a queda e pelos fabricantes de tênis com a intenção de desenvolver um solado que absorva melhor o impacto. O mesmo raciocínio vale para o uso de luvas no beisebol e no boxe, a utilização de espumas dentro de um capacete de motociclismo, o uso de um piso especial colocado em provas de ginástica olímpica e nos tatames de judô, e em muitos outros casos.

RESPONDA AGORA

Curiosamente, o rei do futebol Edson Arantes de Nascimento, o Pelé, ensina que ao “matar” a bola no peito você deve esvaziar o ar dos pulmões durante a “matada”. Tente explicar o porquê.

Exercícios

1. (Unesp) Num jogo de futebol, a bola bate na trave superior do gol. Suponha que isso ocorra numa das quatro situações representadas esquematicamente a seguir, I, II, III e IV. A trajetória da bola está contida no plano das figuras, que é o plano vertical perpendicular à trave superior do gol.



Neste site você pode encontrar um texto interessante sobre a ciência por trás da “bicicleta” de Pelé. www.usp.br/agen/bols/2002/rede1008.htm

Sabendo que o módulo da velocidade com que a bola atinge e é rebatida pela trave é o mesmo em todas situações, pode-se afirmar que o impulso exercido pela trave sobre a bola é

- a) maior em I.
- b) maior em II.
- c) maior em III.
- d) maior em IV.
- e) igual nas quatro situações.

2. (ITA) Uma metralhadora dispara 200 balas por minuto. Cada bala tem massa de 28g e uma velocidade escalar de 60 m/s. Neste caso a metralhadora ficará sujeita a uma força média, resultante dos tiros, de intensidade:

- a) 0,14N b) 5,6N c) 55N d) 336N e) diferente dos valores citados.

3. Em um teste de colisão, um automóvel de 1500 kg colide frontalmente com uma parede de tijolos. A velocidade do automóvel anterior ao impacto era de 15 m/s. Imediatamente após o impacto, o veículo é jogado no sentido contrário ao do movimento inicial com velocidade de 3 m/s. Se a colisão teve duração de 0,15 s, a força média exercida sobre o automóvel durante a colisão foi de

- a) $0,5 \times 10^4 \text{N}$
- b) $1 \times 10^4 \text{N}$
- c) $3 \times 10^4 \text{N}$
- d) $15 \times 10^4 \text{N}$
- e) $18 \times 10^4 \text{N}$

4. (CESGRANRIO) Em uma partida de futebol, a bola é lançada em linha reta na grande área e desviada por um jogador da defesa. Nesse desvio, a bola passa a se mover perpendicularmente à trajetória na qual foi lançada. Sabe-se que as quantidades de movimentos imediatamente antes e imediatamente depois do desvio têm o mesmo módulo p.

O impulso exercido sobre a bola durante o desvio referido no enunciado será igual a:

- a) zero b) p c) $p / 2$ d) $p / 3$ e) 2p

SISTEMA DE CORPOS

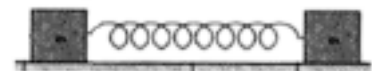
Vamos chamar de um sistema de corpos o conjunto de corpos que interagem de alguma forma. Podemos citar, como exemplo, um pescador que anda em cima de um barco, dois blocos interligados por uma mola comprimida, uma raquete golpeando uma bola e assim por diante.



1



2



Exemplos de sistemas de corpos.

Fonte 1: www.delcancer.com

Fonte 2: www.playtenis.com.br

A quantidade de movimento total do sistema é a *soma vetorial* das quantidades de movimento de cada um dos corpos que constitui o sistema:

$$\vec{Q}_{\text{sistema}} = \vec{Q}_1 + \vec{Q}_2 + \dots + \vec{Q}_n$$

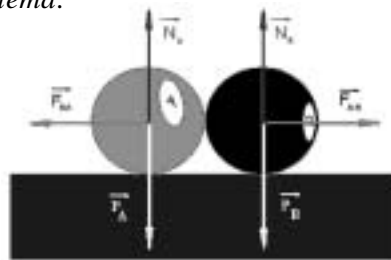
Uma força é dita *interna* se sua ação ocorrer entre os *corpos que pertencem ao mesmo sistema*. Será dita *externa* se sua ação ocorrer entre *um corpo que pertence ao sistema e um outro que está fora deste sistema*.

Se o pescador andar em cima do barco, a força que o pescador exerce no barco (e conseqüentemente a reação do barco no pescador) é interna ao sistema barco-pescador.

Um outro exemplo é o de duas bolinhas de bilhar que colidem: a força que a bolinha A exerce na bolinha B (e conseqüentemente a força que a bolinha B exerce na bolinha A – par ação e reação) são internas se considerarmos as duas bolinhas como sendo um sistema.



Mas, além dessas forças, atuam sobre cada uma das bolinhas a força que o planeta Terra exerce em cada uma delas, o peso, e a força que a mesa exerce em cada uma delas, a normal. Tanto a força peso como a força normal são forças *externas ao sistema*.



SISTEMA ISOLADO

Um sistema é considerado isolado se:

a) Nenhuma força externa age sobre ele:

É difícil ocorrer na prática. Um exemplo seria o de um foguete se movimentando no vácuo em um lugar distante de qualquer corpo celeste, para não ficar sob a ação de forças gravitacionais.

b) As forças externas que agem sobre o sistema se equilibram ou são desprezíveis em comparação com as forças internas:

Como exemplo temos colisões entre corpos, explosões, lançamentos de foguetes, disparo de armas.



Fonte: www.nasa.gov

Sistema isolado: o impulso de forças externas é nulo.

Aplicando o teorema do impulso, temos:

$$I_R = \Delta Q$$

ou seja

$$I_R = Q_f - Q_i$$

Mas

$$I_R = 0 \quad (\text{sistema isolado})$$

Então temos que

$$0 = Q_f - Q_i$$

Portanto

$$Q_f^{\text{sistema}} = Q_i^{\text{sistema}}$$

No sistema isolado, a quantidade de movimento total do sistema se conserva.

O princípio da conservação da quantidade de movimento é um mais fundamentais e importantes da mecânica. Note que ele é mais geral que o princípio da conservação da energia mecânica, pois este só ocorre quando as forças internas são conservativas. Já o princípio da conservação da quantidade de movimento vale para qualquer que seja a natureza das forças internas. Ele pode, por exemplo, ser usado para estudar as colisões de objetos desde a escala de partículas subatômicas até a escala das galáxias.

Na física de partículas, por exemplo, tema do próximo módulo, a colisão entre partículas atômicas e nucleares é de fundamental importância para o entendimento da estrutura da matéria. Uma maneira de estudar o núcleo do átomo é acelerá-lo até atingir altas velocidades e colidi-lo com outro núcleo e observar o que acontece. Este tipo de experiência é feita em grandes aceleradores de partículas, onde prótons colidem com outros prótons. As partículas resultantes da colisão deixam finos traços de sua trajetória em uma câmara de nuvens. Com essa trajetória, pode-se determinar a quantidade de movimento da partícula e, conseqüentemente, a própria partícula pode ser identificada.

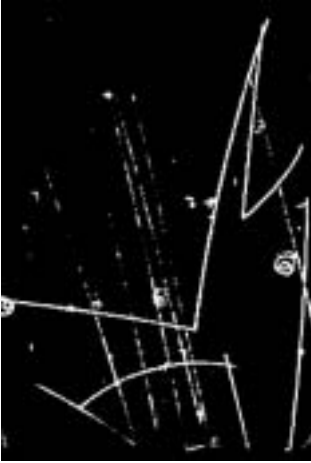


Figura 1. Fotografia de uma câmara de nuvens mostrando a trajetória de partículas subatômicas.

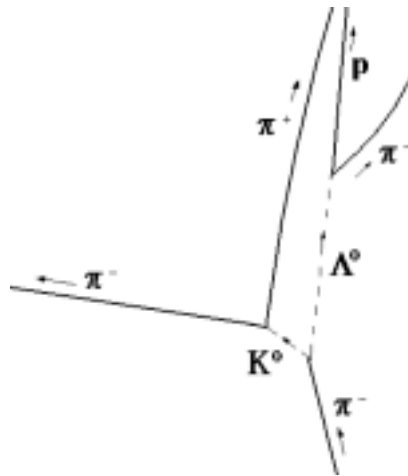


Figura 2. Interpretação das observações da Figura 1. Uma partícula elemental, chamada Píon (p) entra pela parte inferior da câmara, interagindo com um próton, dando origem a duas partículas K^0 e Λ^0 . Estas, sendo neutras, não deixam rastros visíveis até decaírem. O resultado do decaimento de cada uma destas partículas é uma partícula positiva e uma negativa (p^+ e p^- , p e p^-). Essa interpretação é possível graças às leis da física, entre elas o princípio da conservação da quantidade de movimento.

Fonte: www.users.pipeline.com.au

No nosso dia a dia, em acidentes de trânsito, colisões ocorridas em cruzamentos podem ser esclarecidas com aplicações diretas de princípios como o da conservação da quantidade de movimento, sendo possível determinar as velocidades dos veículos imediatamente antes da colisão. Isso é de fundamental importância, do ponto de vista judiciário, para determinar se há algum culpado no caso de acidentes de trânsito que envolvam excesso de velocidade.



Os casos mais comuns de sistemas isolados são bombas explodindo, um canhão atirando uma bala, corpos se chocando, lançamento de foguetes, patinadores se empurrando no gelo, etc.

Vejamos dois exemplos:

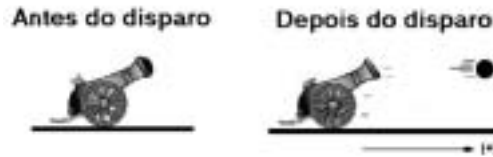
Exemplo 1: Um canhão de 500 kg, inicialmente em repouso, dispara uma bala de 2 kg com uma velocidade de 100 m/s. Determine a velocidade de recuo do canhão.

Resposta:

O movimento se dá em apenas uma direção:

Quando isso ocorrer, não há necessidade de se tratar o problema com vetores, uma vez que a direção se mantém constante. Basta adotar uma orientação: por exemplo, corpos que vão para a direita têm velocidades positivas e os que vão para esquerda têm velocidades negativas.

Fonte: www.stockphotos.com.br



Dados: Massa do canhão $m_A = 500$ kg
 Massa da bala $m_B = 2$ kg
 Velocidade da bala após o disparo $v_{fB} = 100$ m/s

Sistema isolado:

$$Q_A + Q_B = Q_{fA} + Q_{fB}$$

$$m_A \cdot v_A + m_B \cdot v_B = m_A \cdot v_{fA} + m_B \cdot v_{fB}$$

$$500 \cdot (0) + 2 \cdot (0) = 500 \cdot v_{fA} + 2 \cdot (100)$$

$$500 \cdot v_{fA} = -200$$

$$v_{fA} = -0,4 \text{ m/s}$$

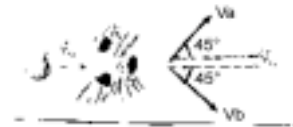
O canhão recua com velocidade de 0,4 m/s.

O enunciado abaixo se refere aos exemplos 2 e 3:

(FUVEST) Uma bomba logo antes de explodir em 3 pedaços A, B e C de igual massa, tem velocidade $v_0 = 200$ m/s. Logo após a explosão, os fragmentos A e B têm velocidades $v_A = v_B = 200\sqrt{2}$ m/s, sendo que v_A e v_B fazem um ângulo de 45° com a horizontal.

Exemplo 2: A velocidade v_C do fragmento C terá, logo após a explosão, módulo igual a:

- 0 m/s
- 400 m/s
- $200\sqrt{2}$ m/s
- $200(3 - 2\sqrt{2})$ m/s
- 200 m/s



Exemplo 3: A velocidade v_C forma com a direção de v_0 um ângulo:

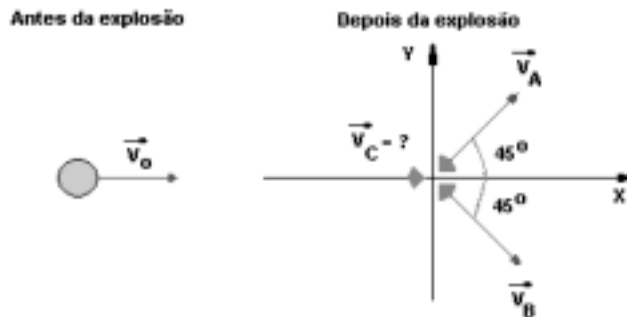
- 0°
- 180°
- 90°
- 90° normal ao plano da figura.
- indefinido pois o vetor nulo não tem direção.

Resolução:

O movimento se dá no plano:

O sistema é isolado de forças externas e a quantidade de movimento do sistema é a mesma antes e depois da explosão. Neste exemplo, nem todas as velocidades estão na mesma linha reta, e a natureza vetorial da quantidade de movimento tem que ser utilizada. Conseguimos resolver o problema obtendo-se as componentes de cada quantidade de movimento nas direções x e y.

Então, o princípio de conservação impõe que a soma das componentes x, antes da explosão, seja igual àquela após a explosão; analogamente, vale o mesmo para as componentes em y.



Direção x

$$Q_{ix} = Q_{fx}$$

$$M \cdot V_o = m_A \cdot V_{Ax} + m_B \cdot V_{Bx} + m_C \cdot V_{Cx}$$

$$3m \cdot V_o = m \cdot V_A \cos 45^\circ + m \cdot V_B \cos 45^\circ + m \cdot V_{Cx}$$

$$3m \cdot 200 = m \cdot 200 \sqrt{2} \frac{\sqrt{2}}{2} + m \cdot 200 \sqrt{2} \frac{\sqrt{2}}{2} + m \cdot V_{Cx}$$

$$600 = 400 + V_{Cx}$$

$$V_{Cx} = 200 \text{ m/s}$$

(como esta velocidade é positiva, pela orientação adotada a velocidade tem sentido da esquerda para direita)

Direção y

$$Q_{iy} = Q_{fy}$$

$$0 = m_A \cdot V_{Ay} - m_B \cdot V_{By} + m_C \cdot V_{Cy}$$

$$0 = m \cdot V_A \sin 45^\circ - m \cdot V_B \cdot \sin 45^\circ + m \cdot V_{Cy}$$

$$0 = 200 \sqrt{2} \frac{\sqrt{2}}{2} - 200 \sqrt{2} \frac{\sqrt{2}}{2} + V_{Cy}$$

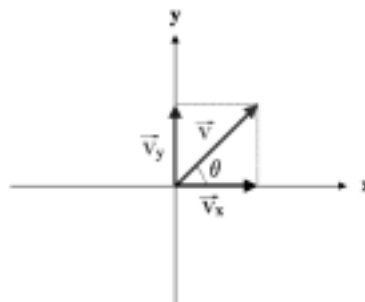
$$V_{Cy} = 0$$

(a velocidade do fragmento C na vertical é nula. Portanto, ele desloca-se apenas na direção horizontal).


Logo, exercício 2 alternativa E e exercício 3 alternativa A.

PROJEÇÕES DE UM VETOR

Freqüentemente, na Física aparecem exercícios em que os vetores não estão na mesma direção. Para facilitar a resolução desses exercícios, geralmente precisamos achar as projeções dos vetores nos eixos x e y:



Da trigonometria temos:



$$\left\{ \begin{array}{l} \text{sen } \theta = \frac{V_y}{V} \Rightarrow V_y = V \text{ sen } \theta \\ \text{cos } \theta = \frac{V_x}{V} \Rightarrow V_x = V \text{ cos } \theta \end{array} \right.$$

Onde V_x e V_y são denominados componentes ou projeções do vetor V .

VOCÊ SABIA...

Durante uma competição de remo, os atletas sentados num “carrinho sobre trilhos” dentro do barco iniciam cada remada aplicando uma força ao remo, primeiro com as pernas, depois com o tronco e, finalmente, com os braços. Ao término de cada ciclo, o remador volta para a posição inicial (ir à proa) para o início de uma nova remada.



Para atingir o máximo de velocidade do barco, é necessário maximizar a aplicação horizontal de força durante a fase propulsiva da remada e minimizar o efeito do movimento dos remadores na ida à proa. A velocidade do carrinho em direção à proa deve ser controlada e proporcional à velocidade de deslocamento do barco. Se o remador retornar à proa muito rápido irá impor uma desaceleração à embarcação.

Trocando em miúdos: se o remador avança rapidamente, o barco tende a recuar!

É a conservação da quantidade de movimento mais uma vez.

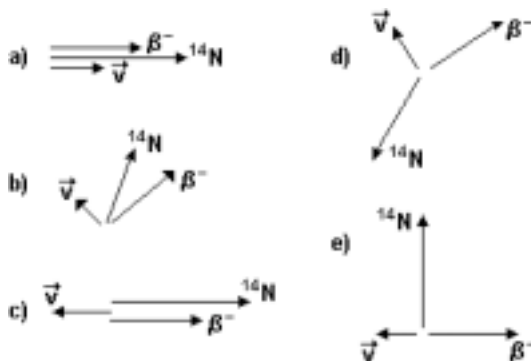
Fonte: www.cbr-remo.com.br

Exercícios

1. (Fuvest) Núcleos atômicos instáveis, existentes na natureza e denominados isótopos radioativos, emitem radiação espontaneamente. Este é o caso do Carbono-14 (^{14}C), um emissor de partículas beta (β^-). Neste processo, o núcleo de ^{14}C deixa de existir e se transforma em um núcleo de Nitrogênio-14 (^{14}N), com a emissão de um anti-neutrino $\bar{\nu}$ e uma partícula β^- .



Os vetores quantidade de movimento das partículas, em uma mesma escala, resultantes do decaimento beta de um núcleo de ^{14}C , em repouso, poderiam ser melhor representados, no plano do papel, pela figura

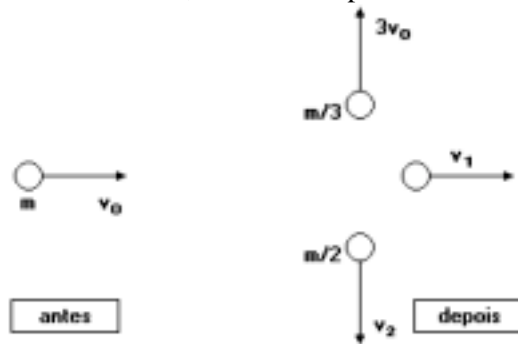


2. (Unicamp) Um canhão de massa $M = 300$ kg dispara na horizontal uma bala de massa $m = 15$ kg com uma velocidade de 60 m/s em relação ao chão.

- Qual a velocidade de recuo do canhão em relação ao chão?
- Qual a velocidade de recuo do canhão em relação à bala?
- Qual a variação da energia cinética no disparo?

3. (Unicamp) Uma bomba explode em três fragmentos na forma mostrada na figura a seguir.

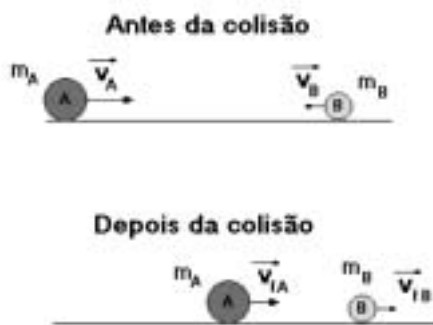
- Ache v_1 em termos de v_0 .
- Ache v_2 em termos de v_0 .
- A energia mecânica aumenta, diminui ou permanece a mesma? Justifique.



COLISÕES

As colisões podem ser classificadas de acordo com considerações a respeito da energia do sistema. Uma colisão na qual a energia cinética se conserva é chamada de colisão perfeitamente elástica ou simplesmente *elástica*. Uma colisão na qual a energia cinética do sistema diminui e os dois corpos têm a mesma velocidade final é chamada de colisão perfeitamente inelástica ou simplesmente *inelástica*. Há casos intermediários em que parte da energia cinética do sistema é dissipada, mas não o bastante para manter os corpos unidos após o choque (ou seja, para que eles tenham a mesma velocidade final). Estas colisões são chamadas de *parcialmente elásticas*. Observe que em qualquer que seja a colisão, as forças internas são muito maiores que as externas (que, portanto, podem ser desprezadas) e o sistema pode ser considerado isolado (a quantidade de movimento total do sistema é conservada).

Na maioria das vezes temos colisões entre dois corpos:



Sistema Isolado

$$Q_{i \text{ sistema}} = Q_{f \text{ sistema}}$$

$$m_A \cdot v_{iA} + m_B \cdot v_{iB} = m_A \cdot v_{fA} + m_B \cdot v_{fB}$$

Colisão frontal

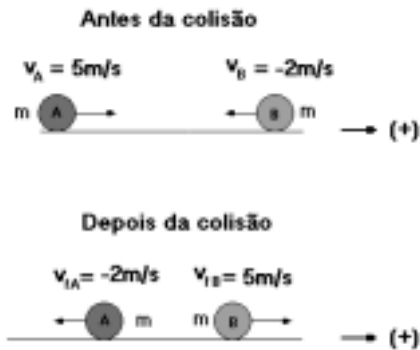
Choque em apenas uma direção (unidimensional). Quando isso ocorrer, não há necessidade de se tratar o problema com vetores, uma vez que a direção se mantém constante. Basta adotar uma orientação: corpos que vão para a direita têm velocidades positivas e os que vão para esquerda têm velocidades negativas.

Colisão perfeitamente elástica

Os corpos saem com velocidades diferentes após o choque. Neste tipo de choque, não há dissipação e a energia é conservada (a energia cinética final do sistema é igual a inicial).

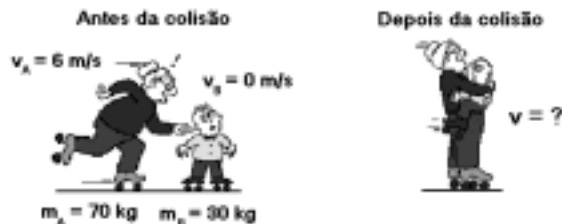
IMPORTANTE

Dois corpos de *mesma massa*, em *choque frontal perfeitamente elástico*, trocam de velocidades entre si. Veja o exemplo a seguir:



Colisão inelástica

Os corpos saem unidos após o choque (ambos têm mesma velocidade final). Neste tipo de choque, a dissipação de energia é máxima e a energia cinética final do sistema é menor que a inicial.



Sistema isolado:

$$Q_{i \text{ sistema}} = Q_{f \text{ sistema}}$$

$$m_A \cdot v_{iA} + m_B \cdot v_{iB} = m_A \cdot v_{fA} + m_B \cdot v_{fB}$$

$$70 \cdot (6) + 30 \cdot (0) = (70+30) \cdot v$$

$$v = 4,2 \text{ m/s}$$

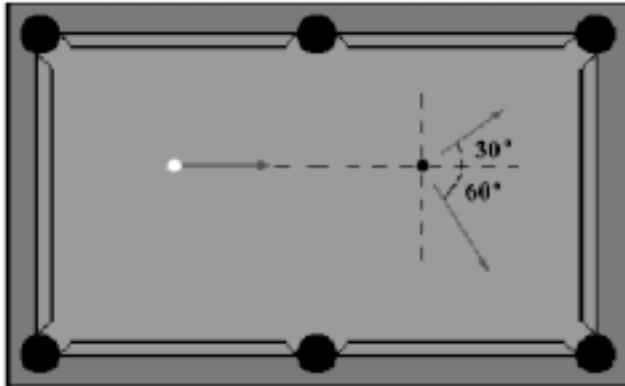
Colisão oblíqua

O movimento se dá no plano (bidimensional). Quando isso ocorrer, nem todas as velocidades estarão na mesma linha reta, e a natureza vetorial da

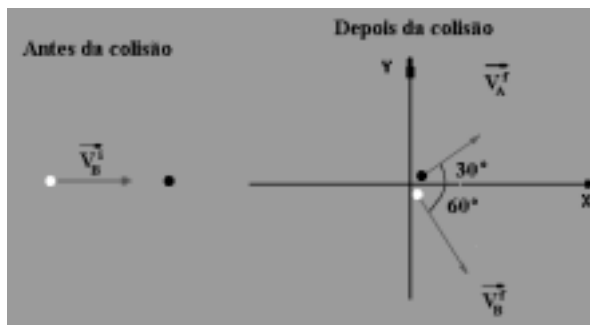
quantidade de movimento tem que ser utilizada. Para resolver o problema, proceda da seguinte maneira:

1. Obtenha as componentes da quantidade de movimento nas direções x e y;
2. plique o princípio de conservação: a soma das componentes da quantidade de movimento na direção x, antes da colisão, deve ser igual àquela após a colisão; analogamente, vale o mesmo para as componentes na direção y. Veja o exercício resolvido abaixo:

1. (UFSC - adaptado) Em uma partida de sinuca, resta apenas a bola oito a ser colocada na caçapa. O jogador da vez percebe que, com a disposição em que estão as bolas na mesa, para ganhar a partida ele deve desviar a bola oito de 30 graus, e a bola branca de pelo menos 60 graus, para que a mesma não entre na caçapa oposta, invalidando sua jogada. Então, ele impulsiona a bola branca, que colide elasticamente com a bola oito, com uma velocidade de 5 m/s, conseguindo realizar a jogada com sucesso, como previra, vencendo a partida. A situação está esquematizada na figura a seguir. Considere as massas das bolas como sendo iguais e despreze qualquer atrito. Calcule a velocidade da bola branca e da bola oito, após a colisão.



Resposta:



Chamando de B a bola branca e A a bola oito, aplicando o princípio da conservação da quantidade de movimento temos:

Direção x

$$Q_{ix} = Q_{fx}$$

$$m_A \cdot v_{iAx} = m_A \cdot v_{fAx} + m_B \cdot v_{fBx}$$

$$m_A \cdot v_{iAx} = m_A \cdot v_{fA} \cos 30^\circ + m_B \cdot v_{fB} \cos 60^\circ$$

$$m \cdot 5 = m \cdot v_{fA} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} + m \cdot v_{fB} \cdot 1/2$$

$$5 = v_{fA} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} + v_{fB} \cdot 1/2 \text{ (equação 1)}$$

Direção y

$$Q_{iy} = Q_{fy}$$

$$0 = m_A v_{fAy} - m_B v_{fBy}$$

$$0 = m_A v_{fA} \sin 30^\circ - m_B v_{fB} \sin 60^\circ$$

$$0 = m \cdot v_{fA} \cdot 1/2 - m \cdot v_{fB} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$m \cdot v_{fA} \cdot 1/2 = m \cdot v_{fB} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$v_{fA} = v_{fB} \cdot \sqrt{3}$$

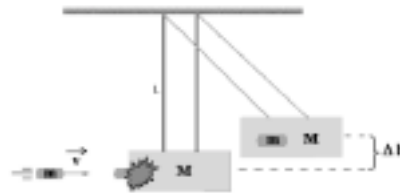
substituindo na equação 1 temos:

$$5 = v_{fB} \cdot \sqrt{3} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} + v_{fB} \cdot 1/2$$

Portanto

$$v_{fB} = 2,5 \text{ m/s (bola branca)} \quad \text{e} \quad v_{fA} = 2,5\sqrt{3} \text{ m/s (bola oito)}$$

PÊNDULO BALÍSTICO



Os princípios de conservação são muito importantes na Física. Por meio destes princípios, é possível estudar e prever a evolução no tempo de muitos sistemas. No caso específico da mecânica, são de grande importância os princípios de conservação de energia e conservação da quantidade de movimento.

Utilizaremos estes dois princípios para estudar o funcionamento do pêndulo balístico.

Um pêndulo balístico é um dispositivo utilizado para determinação de velocidade de projéteis por meio de colisões perfeitamente inelásticas, com um corpo de massa muito maior. O pêndulo consiste num grande bloco de madeira de massa M , pendurado por duas cordas.

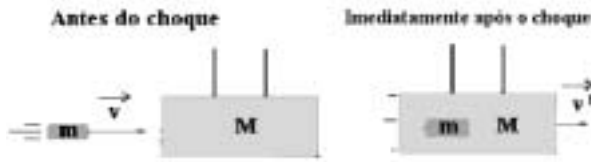
Dispara-se horizontalmente uma bala contra o bloco. O projétil penetra no bloco ficando incrustado nele, fazendo o pêndulo balístico (bloco + projétil) se elevar uma certa altura Dh , que pode ser medida.

FUNDAMENTOS FÍSICOS

Podemos estudar o pêndulo balístico em duas fases distintas:

1. Colisão entre a bala e o bloco de madeira (há conservação da quantidade de movimento do sistema mas não há conservação da energia pois o choque é inelástico):

Como o tempo de colisão é muito pequeno se comparado ao tempo de oscilação do pêndulo, as cordas ficarão praticamente verticais durante a colisão. Logo, não haverá forças externas horizontais aplicadas ao sistema durante o choque, e a quantidade de movimento é conservada:



$$Q_{i\text{sistema}} = Q_{f\text{sistema}} \text{ (sistema isolado)}$$

$$Q_{iA} + Q_{iB} = Q_{fA} + Q_{fB}$$

$$m_A \cdot v_{iA} + m_B \cdot v_{iB} = m_A \cdot v_{fA} + m_B \cdot v_{fB}$$

$$m \cdot v_i + M \cdot (0) = (m + M) \cdot v_f$$

$$m \cdot v_i = (m + M) \cdot v_f$$

$$(m + M) \cdot v_f$$

$$v_i = \frac{(m + M) \cdot v_f}{m} \text{ (equação 1)}$$

2. Subida do conjunto bloco + bala (há conservação da energia mecânica, mas não há conservação da quantidade de movimento):

O pêndulo oscilará para a direita, se elevando de uma altura Δh , até que sua energia cinética seja transformada em energia potencial gravitacional. Como os atritos podem ser desprezados, o sistema será conservativo e poderemos aplicar o princípio da conservação de energia mecânica ao sistema formado por bloco + projétil para obter a velocidade desse conjunto imediatamente após a colisão:

$$E_{i\text{mec}} = E_{f\text{mec}}$$

$$\frac{1}{2} (m+M) \cdot v_f^2 = (m+M) \cdot g \cdot \Delta h$$

Então

$$v_f = \sqrt{2g\Delta h}$$

Substituindo na equação 1 obtemos v:

$$v = \frac{(m + M) \cdot \sqrt{2g\Delta h}}{m}$$

que é a velocidade inicial de disparo do projétil.

É importante lembrar que a energia não é conservada na colisão (em geral, mais de 99% da energia é dissipada nessa colisão).

Apesar do pêndulo balístico já estar superado por outros aparelhos, ele ainda continua a ser um equipamento importante no laboratório para ilustrar os conceitos de conservação da quantidade de movimento e energia.

Exercícios

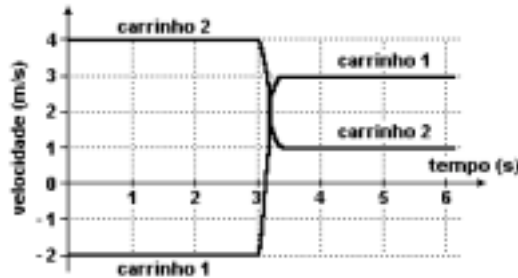
1. (Fuvest) Dois patinadores de mesma massa deslocam-se numa mesma trajetória retilínea, com velocidades respectivamente iguais a 1,5 m/s e 3,5 m/s. O patinador mais rápido persegue o outro. Ao alcançá-lo, salta verticalmente e agarra-se às suas costas, passando os dois a deslocar-se com velocidade v . Desprezando o atrito, calcule o valor de v .

- a) 1,5 m/s. b) 2,0 m/s. c) 2,5 m/s. d) 3,5 m/s. e) 5,0 m/s.

2. (Unesp) A figura mostra o gráfico das velocidades de dois carrinhos que se movem sem atrito sobre um mesmo par de trilhos horizontais e retilíneos. Em torno do instante 3 segundos, os carrinhos colidem.

Se as massas dos carrinhos 1 e 2 são, respectivamente, m_1 e m_2 , então

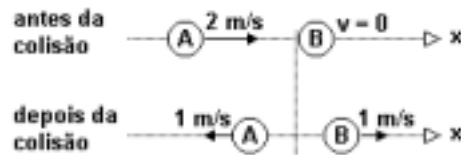
- a) $m_1 = 3m_2$
 b) $3m_1 = m_2$
 c) $3m_1 = 5m_2$
 d) $3m_1 = 7m_2$
 e) $5m_1 = 3m_2$



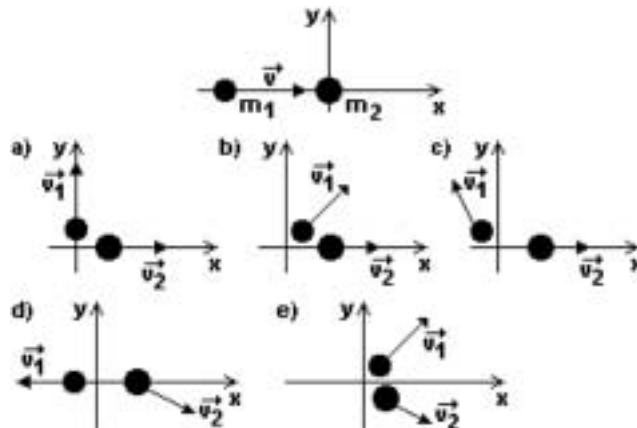
3. (Unesp) Uma esfera, A, de massa m_A , movendo-se com velocidade de 2,0 m/s ao longo de uma direção x , colide frontalmente com outra esfera B, de massa m_B , em repouso, livres da ação de quaisquer forças externas. Depois da colisão, cada uma das esferas passa a se deslocar com velocidade de 1,0 m/s na direção do eixo x , nos sentidos indicados na figura.

Nestas condições, pode-se afirmar que a razão entre as massas é:

- a) $(m_A/m_B) = 1/3$
 b) $(m_A/m_B) = 1/2$
 c) $(m_A/m_B) = 1$
 d) $(m_A/m_B) = 2$
 e) $(m_A/m_B) = 3$



4. (UFES) Uma partícula de massa m_1 , inicialmente com velocidade horizontal v_1 , choca-se com outra partícula de massa m_2 , inicialmente em repouso, como mostra a figura. Os vetores que podem representar corretamente as velocidades das partículas imediatamente após o choque são:



SUGESTÃO DE FILME

Apollo 13

Durante uma missão espacial da NASA, após três dias no espaço, os astronautas da Apollo XIII – Jim Lovell (Tom Hanks), Fred Haise (Bill Paxton) e Jack Swigert (Kevin Bacon) estavam finalmente chegando ao seu destino: a Lua!

De repente, a força e os sistemas de controle se apagaram e a reserva de oxigênio começou rapidamente a baixar... Não bastando isso, a temperatura no módulo lunar ficou muito baixa e o combustível poderia não ser suficiente para retornar. Os astronautas estavam diante de uma realidade dramática: presos numa cápsula espacial a 300.000 km de distância da Terra com a possibilidade de jamais voltarem!

Assista ao filme... Baseado em fatos verídicos.

Título Original: Apollo 13

Gênero: Drama

Tempo de Duração: 138 minutos

Ano de Lançamento (EUA): 1995

Estúdio: Universal Pictures / Imagine Entertainment

Direção: Ron Howard

Vencedor de dois Oscars.

O que observar no filme:

Como o filme é baseado em fatos verídicos, ele tenta reproduzir não apenas as condições reais do ponto de vista físico, mas também dos fatos. Repare que, em certo momento da missão, após ter ocorrido o acidente, os astronautas não puderam mais jogar no espaço os detritos, pois isso fazia com que o foguete desviasse da sua trajetória. Você consegue explicar isso em termos da conservação da quantidade de movimento?



Curiosidade:

Para gravar as cenas da nave no espaço, o elenco fez uma série de viagens no avião de testes da NASA chamado KC-135. Estas viagens eram para simular a ausência de gravidade: o avião subia até uma certa altitude e depois entrava num “mergulho” de aproximadamente 20 segundos. O efeito aparente para todos os ocupantes do avião é de imponderabilidade (“gravidade zero”), embora, na realidade, tanto o avião quanto seus ocupantes permanecessem em plena queda.

Biografia dos autores

Rogério Vogt Cardoso dos Santos

Licenciado em Física pelo Instituto de Física da Universidade de São Paulo e mestrando em Ensino de Física pela mesma instituição. Trabalhou em projetos de pesquisa vinculados ao Laboratório de Pesquisa em Ensino de Física da Faculdade de Educação da USP e foi professor da rede estadual e particular de ensino. É autor de materiais didáticos e atualmente trabalha em um grande curso pré-vestibular da cidade de São Paulo.

José Alves da Silva

Licenciado em Física e mestre em Ensino de Física pelo Instituto de Física e Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, ex-consultor para o Ensino Médio no Ministério da Educação, ex-diretor da área pedagógica da Secretaria Municipal de Educação de São Paulo, autor de livros didáticos e professor da rede pública paulista.

Maurício Pietrocola

Licenciado em Física pela USP, mestre em ensino de ciências (modalidade Física) pela mesma Universidade e doutor em História e Epistemologia das Ciências da Universidade de Paris 7 – Denis Diderot. Foi professor secundário de Física e professor do Departamento de Física da UFSC. Secretário de Ensino da Sociedade Brasileira de Física nas gestões 1999-2001 e 2001-2003. Membro dos conselhos editoriais do *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* e da *Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência*. É co-autor de livros paradidáticos de Física, da coleção *Física, um outro olhar*, da editora FTD. É atualmente professor doutor da Faculdade de Educação da USP.