

Física

Transformações de energia

Organizadores

Maurício Pietrocola

Nobuko Ueta

Elaboradores

João Freita da Silva

Luis Augusto Alves

Vera Bohomoletz Henriques

2

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*

Coordenadora Pedagógica: *Helena Coharik Chamlian*

Coordenadores de Área

Biologia:

Paulo Takeo Sano – Lyria 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 L. 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, 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 pencil in the center. The text is centered over the pencil.

***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 que poderão, 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-visitar 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

Talvez você nunca tenha pensado nisso, mas é o mesmo calor que move os carros e os ventos. A maior parte da tecnologia ao nosso redor parece ser movida a eletricidade. Mas não é verdade: ainda há muita coisa movida com energia térmica. Ao mesmo tempo, o homem simplificou (e também complicou!) muito sua vida com a invenção de máquinas desde as puramente mecânicas, como a alavanca ou a roldana, até as térmicas, passando, ainda mais tarde pelas elétricas e eletrônicas. Muitas vezes, em seu caminho de invenções, inspirou-se na natureza. O ciclo hidrológico, os ventos e as correntes marítimas, os vulcões e os tufões, são todos “movidos” a calor e podem ser considerados máquinas térmicas naturais, se entendemos máquinas como instrumentos de produzir ou transformar movimento a partir do fluxo de calor. Por trás de todas essas máquinas, naturais ou não, reinam a energia e a entropia. A energia, transformando-se continuamente, e a entropia, comandando as formas possíveis dessas transformações.

Unidade 1

Calor e temperatura

ESTÁ CALOR OU ESTÁ QUENTE?

Um copo de água da geladeira deixado sobre a mesa acaba se aquecendo e, depois de algum tempo, não muda mais. Da mesma forma, a água que ferveu na chaleira para o café se resfria e depois de algum tempo fica “estável”. Note que, nos dois casos, durante algum tempo ocorre mudança da água e depois essa mudança cessa. Chamamos de **equilíbrio térmico** a situação em que não há mais mudança: a água nem esquentava, nem esfria.

Mas o que provoca a mudança? No primeiro caso, a água da geladeira estava mais fria que o ambiente e esquentou. No segundo caso, a água da chaleira estava mais quente que o ambiente e esfriou. É necessário haver uma diferença de **temperatura** entre a água e o meio para que haja mudança. Quando a diferença desaparece, as duas temperaturas, da água e do meio, igualaram-se, e a água pára de “mudar”.

E no que consiste essa mudança? Há duas coisas acontecendo simultaneamente: se olhamos só para o copo, vemos que a água está sofrendo variação de temperatura. Mas se olhamos “em volta”, percebemos que essa variação de temperatura é decorrência da troca de energia com o meio: o ar, mais quente, cede um pouco de sua energia para a água do copo.

Mas que tipo de energia é esta? Chamamos essa energia de **energia térmica** ou **calor**. É um pouco parecido com a energia potencial gravitacional. Em uma bola parada no topo de um barranco, não se “vê” energia gravitacional, mas se colocarmos a bola na beira do barranco, essa energia logo “aparece” no movimento barranco abaixo. Da mesma forma, não “vemos” a energia do ambiente (em um dia ameno, sem muito calor nem vento), mas se tiramos um copo de água da geladeira, essa energia logo “aparece”, esquentando a água do copo.

Em resumo, a **temperatura** é uma propriedade **do** corpo, enquanto o **calor** está associado a uma **troca entre** dois corpos. Na linguagem cotidiana dizemos que está calor quando o ambiente está quente. Na linguagem da física, diríamos que a temperatura está alta. Mas como percebemos se está quente ou frio?

Na verdade, é o nosso corpo que nos diz se está quente ou frio. Claro que em um dia quente, as trocas de calor são diferentes das trocas de calor de um dia frio. A uma temperatura de 30° C, nosso corpo está a uma temperatura muito mais próxima da temperatura ambiente, enquanto que a uma temperatura de 15° C, a diferença é muito maior. Nosso corpo percebe a diferença das trocas de calor, nos dois casos.

Organizadores

Maurício
Pietrocola

Nobuko Ueta

Elaboradores

Vera Bohomoletz
Henriques

Questão

Um motor em funcionamento esquenta tanto que pode derreter. Por isso, é necessário resfriá-lo. Os motores mais antigos podiam ser resfriados a ar, os de hoje, mais potentes, são resfriados a água. Considere o processo de resfriamento de um motor de carro e discuta-o em termos de temperatura e de troca de calor.

Experimente

Prepare três copos d'água, um mais quente, outro morno e o terceiro frio. Mergulhe um dedo no copo de água quente e outro no copo de água fria durante alguns minutos. Depois, mergulhe os dois no copo de água morna. O que você sente? Seu dedo percebe a temperatura ou a troca de calor?

O CALOR NO “MICROSCÓPIO”

Quando o calor vai de um corpo para outro, o que acontece com os átomos? Você já deve ter percebido que o calor, ou a presença de energia térmica, é capaz de produzir movimento: o leite que “levanta fervura”, as bolhas da água em ebulição, a válvula da panela de pressão não tirar os d’s. Pois é, o calor pode às vezes provocar movimento “visível”, que nossos olhos detectam, mas **sempre**, sempre mesmo, provoca movimento invisível aos nossos olhos. Os átomos de qualquer corpo nunca estão parados, brincam numa dança permanente e se empurram uns aos outros. E quanto mais alta a temperatura, mais rápido dançam. Então, se no copo de água da geladeira os átomos dançam mais lentamente, como em uma valsa, na água da chaleira os átomos balançam como em um frevo “lascado”. Quando os dois corpos – as duas águas – se encontram, o movimento mais rápido do frevo vai “passando” para os átomos mais lentos, até que o ritmo fique parecido para todos os átomos. Na verdade, os átomos não dançam todos no mesmo ritmo, é como em uma discoteca, onde cada um faz o seu movimento, mas o ritmo geral pode ser mais rápido ou mais lento.

ESFRIA OU CONGELA?

Se colocarmos uma vasilha com água na geladeira, o líquido pode apenas esfriar, colocando-se na parte de baixo, mas, se a vasilha for colocada no congelador, transforma-se em gelo, torna-se sólido. Qual a diferença entre essas duas situações?

Ocorre que os materiais podem ser encontrados em diferentes fases, ou estados, que correspondem a diferentes graus de ordem do arranjo molecular. No

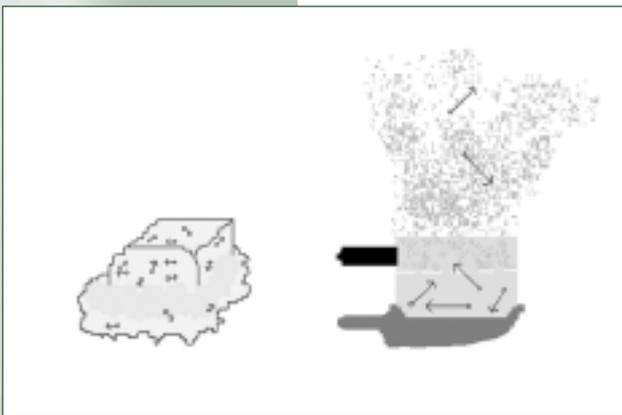


Figura 1

sólido, as moléculas que compõem o material estão muito bem organizadas, em posições bem definidas. Podemos notar a perfeição desse arranjo nas faces lisas dos cristais. No estado líquido, as moléculas encontram-se bem “apertadas” ainda, mas já possuem bastante movimento, o que pode ser notado pela característica de fluir dos líquidos. Já no estado gasoso, as moléculas encontram-se muito mais afastadas umas das outras, e passeiam passeando rapidamente pelo ambiente inteiro. Acontece assim com o no ar, em que rapidamente nos chega ao olfato o perfume de um vidro aberto do outro lado da sala (Figura 1).

Como é que uma substância (a água, de novo, por exemplo) passa de uma fase para outra? É preciso que as moléculas ganhem energia para se “libertarem” umas das outras (tanto na passagem sólido–líquido, quanto na passagem líquido–gás). Então, quando aquecemos a água, por exemplo, o calor produz aumento da “dança” molecular, ou seja, de sua temperatura. As moléculas de água só vão começar a se “soltar” umas das outras, quanto atingirem um certo ritmo de “dança”, ou seja, quando a água atingir uma certa temperatura. Quando atingir esse ponto, toda energia térmica fornecida às moléculas (a chama do fogão, por exemplo manter o d) passa a ser utilizada, não para aumentar o ritmo da dança, mas para que elas se soltem umas das outras. E, se encontrarmos um jeito de continuar a fornecer calor ao vapor, somente quando todas se soltarem (ou seja, toda a água tiver fervido) é que o ritmo continua a aumentar.

O gráfico ao lado (Figura 2) ilustra o que acabamos de descrever: durante o aquecimento e vaporização de um litro de água levado ao fogo em um grande caldeirão com tampa, nos primeiros minutos, a água permanece líquida, apenas esquentando. Ao atingir a temperatura de 100° C, a água passa a evaporar, sem que a temperatura se altere. Finalmente, terminada a ebulição, o vapor de água passa a se aquecer. Cuidado! Não espere muito que a tampa pode voar!

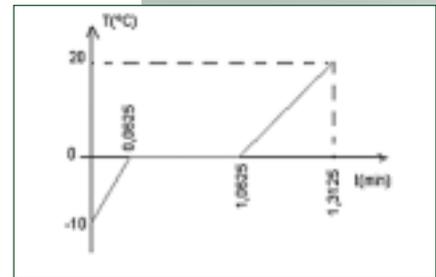


Figura 2

Podemos agora responder à pergunta inicial sobre a água colocada na geladeira ou no congelador: ao colocarmos a água na geladeira, suas moléculas, que já dançam bem juntinhas, perdem um pouco mais de seu movimento. Mas se colocarmos no congelador, elas vão perdendo seu movimento até o ponto certo, no qual começam a se prender umas às outras de um jeito muito especial, em que seu movimento fica bem mais restrito.

Assim, há **dois efeitos** diferentes que o calor pode produzir nos materiais: seu **aquecimento** ou sua **mudança de fase**. Esses dois efeitos nunca acontecem ao mesmo tempo: ou ocorre um ou o outro. A mudança de fase só pode acontecer numa temperatura específica. O aquecimento pode ocorrer em qualquer temperatura, exceto na temperatura de transição de fase.

TEMPERATURA E TERMÔMETRO

Como identificar a temperatura de um material? O que é um termômetro?

O aumento da energia térmica de um corpo significa um aumento da agitação de suas moléculas. Quase sempre, com algumas exceções, o aumento de movimento acarreta um afastamento das moléculas, como se o movimento maior requeresse mais espaço (no vapor, as moléculas ficam quase mil vezes mais distantes entre si do que na água). Chamamos a esse aumento da distância entre as moléculas de **dilatação**.

Os termômetros comuns, para medir a temperatura corporal (35° C a 40° C) utilizam como material de dilatação o mercúrio. Termômetros para medir a temperatura ambiente, que varia numa escala maior (0° C a 50° C) normalmente utilizam álcool. Isso porque também na dilatação materiais diferentes se comportam de maneira diferente.

A dilatação não é o único efeito causado pela temperatura. Várias outras propriedades se modificam, como a viscosidade (óleo aquecido), a capacidade de emitir luz (filamento da lâmpada). No entanto, a variação de volume é fácil de se ver e, assim, a forma que o homem inventou de medir temperatura baseou-se na dilatação. Portanto, as unidades de temperatura são diretamente proporcionais à variação de volume. Mas diferentes materiais têm diferentes dilatações: de novo, os vilões da história são os átomos – dependendo do arranjo se afastam mais (como é o caso do ar) ou se afastam menos (como é o caso da água), sob o mesmo aumento de temperatura. Para diferenciar os materiais quanto a essa propriedade de dilatação, utilizamos o **coeficiente de dilatação térmica**.

Matematicamente, escrevemos:

Sob aquecimento, quanto **maior** o aumento de **volume**, **maior** o aumento de **temperatura**, ou, na linguagem matemática:

Varição de volume = coeficiente de dilatação térmica x volume x variação de temperatura ou

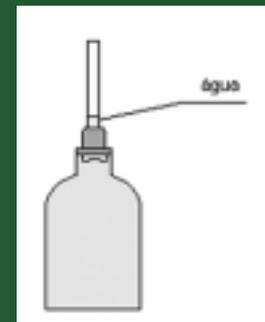
$$\Delta V = \alpha \cdot V \cdot \Delta t$$

Atividade

Consulte uma tabela de temperaturas de fusão e represente gráficos esquemáticos de temperatura em função do tempo para pelo menos três dos materiais da tabela.

Experimente

Arranje um vidro de “rinosoro”. Corte a ponta da borracha do conta-gotas e atravesse o tubinho. Encha o vidrinho de água e coloque sobre uma vela (você pode usar um alicate ou um trançado de arame para segurar o vidro sem se queimar). Espere alguns minutos e observe a dilatação da água.



A TEMPERATURA NO MUNDO

Nos nossos carros brasileiros, a velocidade é medida em quilômetros por hora. Na Inglaterra, a velocidade do carro é medida em milhas por hora, porque lá há uma preferência, que vem da sua história, de medir a distância em milhas e não em quilômetros. Da mesma forma, por aqui medimos a temperatura em graus Celsius. Já nos Estados Unidos, mede-se a temperatura em graus Fahrenheit. Às vezes, para que possamos entender uma notícia, por exemplo, precisamos saber qual a “tradução” de uma unidade em outra.

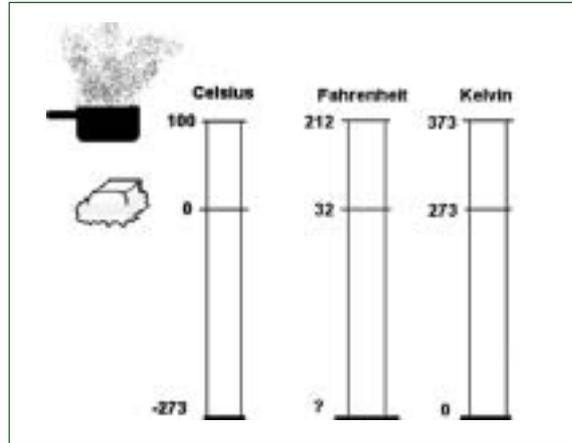


Figura 3

ATIVIDADE

A figura ilustra as três escalas mais utilizadas no planeta. A escala Kelvin é a escala mais importante na Física, como você verá na próxima unidade. Uma das características dessa escala é que ela não possui valores negativos de temperatura. Não existem na natureza temperaturas abaixo de 0 Kelvin. Observe a figura e faça a “tradução” de grau Fahrenheit para grau Celsius; de grau Kelvin em grau Celsius. Falta uma temperatura na escala Fahrenheit, complete-a.

CALOR ESPECÍFICO OU CAPACIDADE TÉRMICA

Com a mesma quantidade de calor não conseguimos provocar a mesma variação de temperatura em qualquer corpo. Um pedaço de metal é aquecido rapidamente se colocado no fogo (por isso as panelas não possuem cabos metálicos), já a água se aquece muito mais lentamente. Só podemos comparar, é claro, se utilizarmos o mesmo processo de aquecimento (por exemplo, a chama do fogão).

ATIVIDADE

Faça uma caixinha de papel sulfite e leve à chama de uma vela. Repita com a caixinha cheia de água. Por que a diferença de comportamento?

Para caracterizar os materiais em termos dessa propriedade de resistência ao aquecimento, utilizamos uma grandeza que chamamos de **calor específico**. Para aquecer 100 gramas de água, gasta-se 100 calorias. Para aquecer 100 gramas de cobre, gasta-se 9 calorias. Dizemos que o calor específico da água é de 1 caloria/grama/ grau Celsius e que o calor específico do cobre é de 0,09 calorias//grama/grau Celsius. O calor específico é definido da seguinte maneira:

quanto **maior o calor** necessário para aquecer **1 grama** de um material, de **1º C**, tanto **maior seu calor específico** ou, matematicamente,

Calor = massa x calor específico x diferença de temperatura ou

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t$$

Na expressão matemática, o calor **Q** é normalmente expresso em calorias, a massa **m** em gramas e a temperatura **t** em graus Celsius.

ATIVIDADE

Quando aquecemos a água para o chá, isso é feito com o calor fornecido pela chama durante algum tempo. Isso quer dizer que o calor não passa para a água de uma vez só, mas vai passando aos poucos, durante um certo tempo. Para levar à temperatura de fervura 1 litro de água da torneira a 20°C, em São Paulo, precisamos de aproximadamente 77.000 calorias (você saberia justificar este número? Ou você acha que seriam 80.000 calorias? Ver a seção *Saiba mais: transições de fase e pressão*). Se a chama fornece energia a uma taxa de 200 calorias por segundo, qual o tempo necessário para que a água comece a ferver?

Qual a razão da diferença de comportamento dos diversos materiais? Novamente, a questão está na organização microscópica dos átomos. Dependendo do arranjo dos átomos, e de como estão interligados no material, o aumento de temperatura requer maior ou menor energia, pois o aquecimento significa aumentar o movimento dos átomos no material.

CALOR LATENTE E TEMPERATURA DE TRANSIÇÃO

Derreter uma pedra de gelo ou um bloco de cobre de mesmo volume requer quantidades diferentes de calor. Novamente, a explicação está nas diferentes organizações e energias das moléculas da água e do cobre. Para derreter 100 gramas de chumbo precisamos atingir a temperatura de 327° C e de 597 calorias de energia térmica; já para derreter 100 gramas de gelo, são necessárias 7.980 calorias. A quantidade de calor necessária para derreter um grama de determinado material é chamada de **calor latente de fusão**. Analogamente, a quantidade de calor necessária para colocar em ebulição um grama de determinado material é chamada de **calor latente de ebulição ou vaporização**.

Escrevemos na forma matemática:

Calor = massa x calor latente, ou

$$Q = m \cdot L$$

ATIVIDADE

Volte ao gráfico e calcule as quantidades de calor necessárias para efetuar as três transformações (dois aquecimentos e uma transição de fases) nele apresentadas.

(Fuvest 2000) Em um copo grande, termicamente isolado, contendo água à temperatura ambiente (25° C), são colocados 2 cubos de gelo a 0° C. A temperatura da água passa a ser, aproximadamente, de 1° C. Nas mesmas condições, se em vez de 2, fossem colocados 4 cubos de gelo iguais aos anteriores, ao ser atingido o equilíbrio, haveria no copo

- a) apenas água acima de 0°C ;
- b) apenas água a 0°C ;
- c) gelo a 0°C e água acima de 0°C ;
- d) gelo e água a 0°C ;
- e) apenas gelo a 0°C .

SAIBA MAIS E EXPERIMENTE

Pressão e transição de fase

A transição de fase líquido-gás ou líquido-sólido ocorre com a conversão de energia cinética em energia potencial: o movimento molecular faz com que as moléculas se soltem e se afastem umas das outras (o acréscimo de energia potencial é semelhante ao de quando jogamos uma bola para o alto contra a força gravitacional). Mas a energia necessária para quebrar as amarras depende da pressão local: no nível do mar, onde a pressão atmosférica é mais alta, a água realmente ferve a 100°C , mas em São Paulo, a 800 metros acima do nível do mar, a pressão é menor e a água ferve em torno de 97°C ! Por que? Onde a pressão do ar é maior, suas moléculas estão mais juntas e ajudam a empurrar as moléculas de água umas contra as outras, soltando-se estas com mais dificuldade!

Arranje uma seringa de plástico e encha-a até a metade com água em torno de 50°C . Tampe a ponta com o dedo e puxe o êmbolo. Você verá a água ferver! Explique.

O TEMPO E O FLUXO DE CALOR OU DE MATÉRIA

Na construção de máquinas que utilizam calor – como fogões, aquecedores e refrigeradores –, nos processos industriais que utilizam motores – ou que fazem a esterilização de alimentos, ou ainda, nas usinas termoelétricas –, ou mesmo em nossa máquina corporal é muito importante, além de considerar propriedades como a do calor específico dos materiais ou seu coeficiente de dilatação, levar em conta o tempo que leva o aquecimento ou resfriamento. Não há o menor interesse em um fogão que seja capaz de levar um litro de água à fervura em cinco horas! Assim, a potência, isto é, a taxa na qual a energia é fornecida por unidade de tempo, é fundamental.

Calor nem sempre foi entendido como uma forma de energia. Por isso, até hoje utilizamos duas unidades diferentes para energia, o Joule (J) e a caloria (cal). No caso da energia térmica, como também da energia química, é frequente a preferência pela caloria.

$$1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$$

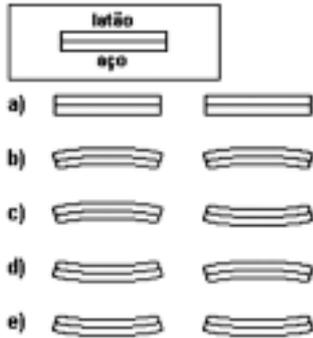
(Fuvest 1998) Num forno de microondas, é colocado um vasilhame contendo 3 Kg d'água a 10°C . Após manter o forno ligado por 14 minutos, verifica-se que a água atinge a temperatura de 50°C . O forno é então desligado e dentro do vasilhame d'água é colocado um corpo de massa 1 Kg e calor específico $c = 0,2 \text{ cal/g}\cdot\text{C}$, à temperatura inicial de 0°C . Despreze o calor necessário para aquecer o vasilhame e considere que a potência fornecida pelo forno é continuamente absorvida pelos corpos dentro dele. O tempo a mais que será necessário manter o forno ligado na mesma potência, para que a temperatura de equilíbrio final do conjunto retorne a 50°C é:

- a) 56 s; b) 60 s; c) 70 s; d) 280 s; e) 350 s.

Questões de vestibulares

Dilatação

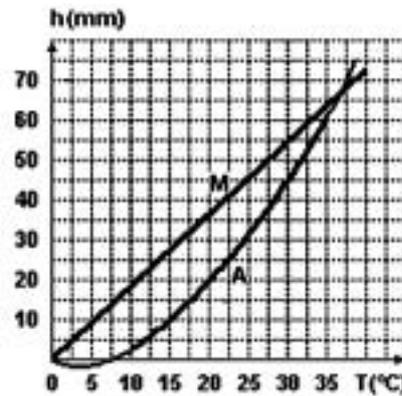
1. (Unesp 2002) Duas lâminas metálicas, a primeira de latão e a segunda de aço, de mesmo comprimento à temperatura ambiente, são soldadas rigidamente uma à outra, formando uma lâmina bimetálica, conforme a figura a seguir.



O coeficiente de dilatação térmica linear do latão é maior que o do aço. A lâmina bimetálica é aquecida a uma temperatura acima da ambiente e depois resfriada até uma temperatura abaixo da ambiente. A figura que melhor representa as formas assumidas pela lâmina bimetálica, quando aquecida (forma à esquerda) e quando resfriada (forma à direita), é

2. (Fuvest 97) Dois termômetros de vidro idênticos, um contendo mercúrio (M) e outro água (A), foram calibrados em 0°C e 37°C , obtendo-se as curvas M e A, da altura da coluna do líquido em função da temperatura. A dilatação do vidro pode ser desprezada. Considere as seguintes afirmações:

- I - O coeficiente de dilatação do mercúrio é aproximadamente constante entre 0°C e 37°C .
- II - Se as alturas das duas colunas forem iguais a 10mm, o valor da temperatura indicada pelo termômetro de água vale o dobro da indicada pelo de mercúrio.
- III - No entorno de 18°C o coeficiente de dilatação do mercúrio e o da água são praticamente iguais.



Podemos afirmar que só são corretas as afirmações

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

Escalas termométricas

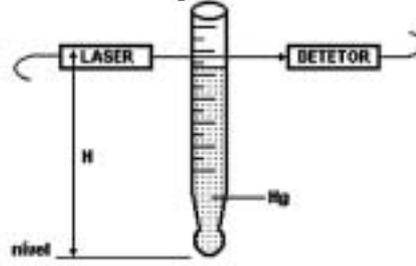
3. (Fatec 2000) Construiu-se um alarme de temperatura baseado em uma coluna de mercúrio e em um sensor de passagem, como sugere a figura ao lado.

A altura do sensor óptico (par laser/detector) em relação ao nível, H, pode ser regulada de modo que, à temperatura desejada, o mercúrio, subindo pela coluna, impeça a chegada de luz ao detector, disparando o alarme. Calibrou-se o termômetro usando os pontos principais da água e um termômetro auxiliar, graduado na escala centígrada, de modo que a 0°C a altura da coluna de

mercúrio é igual a 8cm, enquanto a 100°C a altura é de 28cm. A temperatura do ambiente monitorado não deve exceder 60°C.

O sensor óptico (par laser/detetor) deve, portanto estar a uma altura de

- a) $H = 20$ cm;
- b) $H = 10$ cm;
- c) $H = 12$ cm;
- d) $H = 6$ cm;
- e) $H = 4$ cm.



4. (Unifesp 2003) O texto a seguir foi extraído de uma matéria sobre congelamento de cadáveres para sua preservação por muitos anos, publicada no jornal “O Estado de S.Paulo” de 21.07.2002.

Após a morte clínica, o corpo é resfriado com gelo. Uma injeção de anticoagulantes é aplicada e um fluido especial é bombeado para o coração, espalhando-se pelo corpo e empurrando para fora os fluidos naturais. O corpo é colocado numa câmara com gás nitrogênio, onde os fluidos endurecem em vez de congelar. Assim que atinge a temperatura de -321° , o corpo é levado para um tanque de nitrogênio líquido, onde fica de cabeça para baixo.

Na matéria, não consta a unidade de temperatura usada. Considerando que o valor indicado de -321° esteja correto e que pertença a uma das escalas, Kelvin, Celsius ou Fahrenheit, pode-se concluir que foi usada a escala

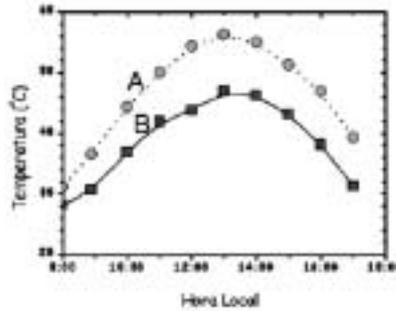
- a) Kelvin, pois trata-se de um trabalho científico e esta é a unidade adotada pelo Sistema Internacional.
- b) Fahrenheit, por ser um valor inferior ao zero absoluto e, portanto, só pode ser medido nessa escala.
- c) Fahrenheit, pois as escalas Celsius e Kelvin não admitem esse valor numérico de temperatura.
- d) Celsius, pois só ela tem valores numéricos negativos para a indicação de temperaturas.
- e) Celsius, por tratar-se de uma matéria publicada em língua portuguesa e essa ser a unidade adotada oficialmente no Brasil.

CALOR ESPECÍFICO

5. (Unicamp 2004) As temperaturas nas grandes cidades são mais altas do que nas regiões vizinhas não povoadas, formando “ilhas urbanas de calor”. Uma das causas desse efeito é o calor absorvido pelas superfícies escuras, como as ruas asfaltadas e as coberturas de prédios. A substituição de materiais escuros por materiais alternativos claros reduziria esse efeito. A figura mostra a temperatura do pavimento de dois estacionamentos, um recoberto com asfalto e o outro com um material alternativo, ao longo de um dia ensolarado.

- a) Qual curva corresponde ao asfalto?
- b) Qual é a diferença máxima de temperatura entre os dois pavimentos durante o período apresentado?
- c) O asfalto aumenta de temperatura entre 8h00 e 13h00.

Em um pavimento asfaltado de 10.000 m^2 e com uma espessura de $0,1 \text{ m}$, qual a quantidade de calor necessária para aquecer o asfalto nesse período? Despreze as perdas de calor. A densidade do asfalto é 2.300 kg/m^3 e seu calor específico é $C = 0,75 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$.



6. (Fuvest 2002) Uma caixa d'água C, com capacidade de 100 litros, é alimentada, através do registro R_1 , com água fria a 15°C , tendo uma vazão regulada para manter sempre constante o nível de água na caixa. Uma bomba B retira 3l/min de água da caixa e os faz passar por um aquecedor elétrico A (inicialmente desligado). Ao ligar-se o aquecedor, a água é fornecida, à razão de 2l/min , através do registro R_2 , para uso externo, enquanto o restante da água aquecida retorna à caixa para não desperdiçar energia.

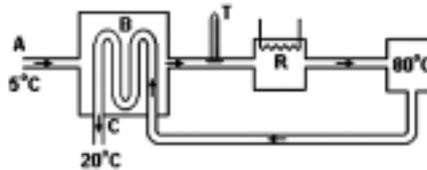
No momento em que o aquecedor, que fornece uma potência constante, começa a funcionar, a água, que entra nele a 15°C , sai a 25°C . A partir desse momento, a temperatura da água na caixa passa então a aumentar, estabilizando-se depois de algumas horas. Desprezando perdas térmicas, determine, após o sistema passar a ter temperaturas estáveis na caixa e na saída para o usuário externo:

Dado: $1 \text{ cal} = 4 \text{ J}$

- A quantidade de calor Q , em J, fornecida a cada minuto pelo aquecedor.
- A temperatura final T_2 , em $^\circ\text{C}$, da água que sai pelo registro R, para uso externo.
- A temperatura final T_C , em $^\circ\text{C}$, da água na caixa.

7. (Fuvest 2001) O processo de pasteurização do leite consiste em aquecê-lo a altas temperaturas, por alguns segundos, e resfriá-lo em seguida. Para isso, o leite percorre um sistema, em fluxo constante, passando por três etapas:

I) O leite entra no sistema (através de A), a 5°C , sendo aquecido (no trocador de calor B) pelo leite que já foi pasteurizado e está saindo do sistema.



II) Em seguida, completa-se o aquecimento do leite, através da resistência R, até que ele atinja 80°C .

Com essa temperatura, o leite retorna a B.

III) Novamente, em B, o leite quente é resfriado pelo leite frio que entra por A, saindo do sistema (através de C), a 20°C .

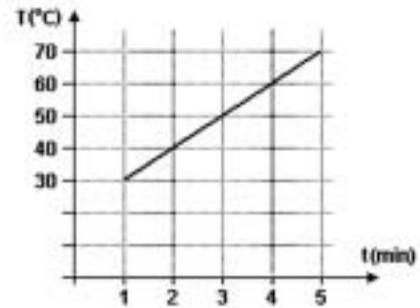
Em condições de funcionamento estáveis, e supondo que o sistema seja bem isolado termicamente, pode-se afirmar que a temperatura indicada pelo termômetro T, que monitora a temperatura do leite na saída de B, é aproximadamente de

- 20°C ;
- 25°C ;
- 60°C ;
- 65°C ;
- 75°C .

8. (Fuvest 2001) Em uma panela aberta, aquece-se água, observando-se uma variação da temperatura da água com o tempo, como indica o gráfico.

Desprezando-se a evaporação antes da fervura, em quanto tempo, a partir do começo da ebulição, toda a água terá se esgotado? (Considere que o calor de vaporização da água é cerca de 540cal/g)

- a) 18 minutos
- b) 27 minutos
- c) 36 minutos
- d) 45 minutos
- e) 54 minutos

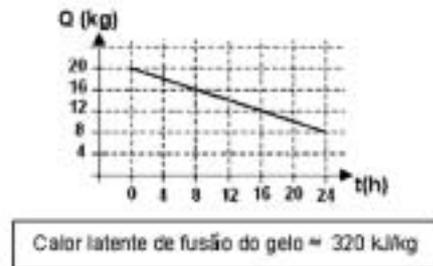


TRANSIÇÃO DE FASE

9. (Fuvest 2004) Um recipiente de isopor, que é um bom isolante térmico, tem em seu interior água e gelo em equilíbrio térmico. Num dia quente, a passagem de calor por suas paredes pode ser estimada, medindo-se a massa de gelo Q presente no interior do isopor, ao longo de algumas horas, como representado no gráfico.

Esses dados permitem estimar a transferência de calor pelo isopor, como sendo, aproximadamente, de

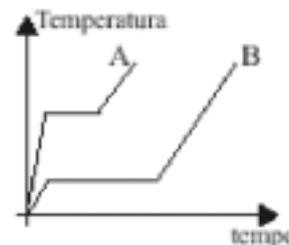
- a) 0,5 KJ/h
- b) 5 KJ/h
- c) 120 KJ/h
- d) 160 KJ/h
- e) 320 KJ/h



10. (Unesp 2004) A figura mostra os gráficos das temperaturas em função do tempo de aquecimento, em dois experimentos separados, de dois sólidos, A e B, de massas iguais, que se liqüefazem durante o processo. A taxa com que o calor é transferido no aquecimento é constante e igual nos dois casos.

Se T_A e T_B forem as temperaturas de fusão e L_A e L_B os calores latentes de fusão de A e B, respectivamente, então

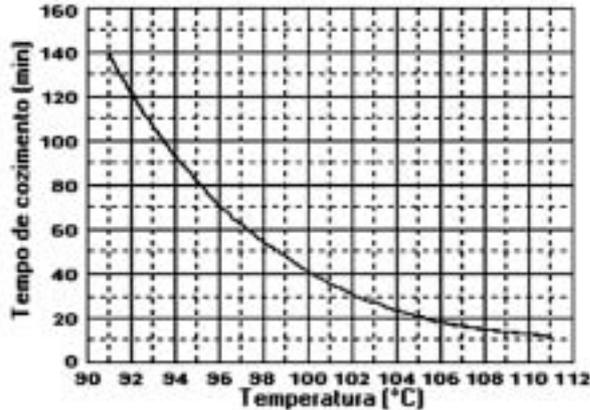
- a) $T_A > T_B$ e $L_A > L_B$.
- b) $T_A > T_B$ e $L_A = L_B$.
- c) $T_A > T_B$ e $L_A < L_B$.
- d) $T_A < T_B$ e $L_A > L_B$.
- e) $T_A < T_B$ e $L_A = L_B$.



11. (Unicamp 96) No Rio de Janeiro (ao nível do mar), uma certa quantidade de feijão demora 40 minutos em água fervente para ficar pronta. A tabela adiante fornece o valor da temperatura da fervura da água em função da pressão atmosférica, enquanto a gráfico fornece o tempo de cozimento dessa quantidade de feijão em função da temperatura. A pressão atmosférica ao nível do mar vale 760 mm de mercúrio e ela diminui 10 mm de mercúrio para cada 100 m de altitude.

Temperatura de fervura da água em função da pressão

Pressão (mmHg)	Temperatura (°C)
600	94
640	95
680	97
720	98
760	100
800	102
840	103
880	105
920	106
960	108
1000	109
1040	110



- Se o feijão fosse colocado em uma panela de pressão a 880 mm de mercúrio, em quanto tempo ele ficaria pronto?
- Em uma panela aberta, em quanto tempo o feijão ficará pronto na cidade de Gramado (RS) na altitude de 800 m ?
- Em que altitude o tempo de cozimento do feijão (em uma panela aberta) será o dobro do tempo de cozimento ao nível do mar?

12. (Unesp 98) A respeito da informação “O calor específico de uma substância pode ser considerado constante e vale $3\text{J}/(\text{g}^\circ\text{C})$ ”.

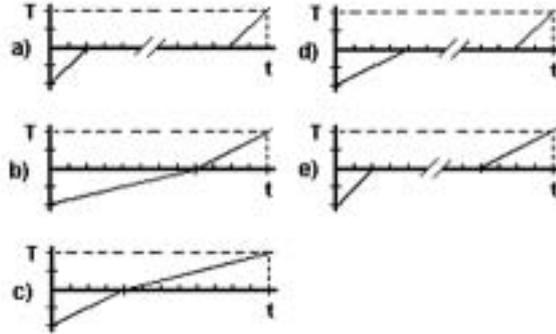
Três estudantes, I, II e III, forneceram as explicações seguintes.

- Se não ocorrer mudança de estado, a transferência de 3 joules de energia para 1 grama dessa substância provoca elevação de 1 grau Celsius na sua temperatura.
- Qualquer massa em gramas de um corpo construído com essa substância necessita de 3 joules de energia térmica para que sua temperatura se eleve de 1 grau Celsius.
- Se não ocorrer mudança de estado, a transferência de 1 joule de energia térmica para 3 gramas dessa substância provoca elevação de 1 grau Celsius na sua temperatura.

Dentre as explicações apresentadas,

- apenas I está correta;
- apenas II está correta;
- apenas III está correta;
- apenas I e II estão corretas;
- apenas II e III estão corretas.

13. (Fuvest 95) Um bloco de gelo que inicialmente está a uma temperatura inferior a 0°C recebe energia a uma razão constante, distribuída uniformemente por toda sua massa. Sabe-se que o valor específico do gelo vale aproximadamente metade do calor específico da água. Dentre as alternativas a seguir o gráfico que melhor representa a variação de temperatura T (em $^{\circ}\text{C}$) do sistema em função do tempo T (em s) é:



14. (Fuvest 2000) Em um copo grande, termicamente isolado, contendo água à temperatura ambiente (25°C), são colocados 2 cubos de gelo a 0°C . A temperatura da água passa a ser, aproximadamente, de 1°C . Nas mesmas condições se, em vez de 2, fossem colocados 4 cubos de gelo iguais aos anteriores, ao ser atingido o equilíbrio, haveria no copo

- apenas água acima de 0°C ;
- apenas água a 0°C ;
- gelo a 0°C e água acima de 0°C ;
- gelo e água a 0°C ;
- apenas gelo a 0°C .

Síntese

O calor produz aquecimento (aumento de temperatura), dilatação e mudança de fase. A quantidade de calor necessária para produzir esses efeitos em uma certa quantidade de massa depende das propriedades do material: calor específico, coeficiente de dilatação térmica e calor latente da transição.

Do ponto de vista microscópico, a temperatura é proporcional à energia cinética das moléculas, ao passo que calor é o fluxo dessa energia, das regiões quentes para as regiões frias. Um aumento de energia cinética promove o afastamento das moléculas e dilatação, ou, se suficientemente grande, seu desligamento e a transição de fase.

Unidade 2

A energia se conserva e se transforma (as máquinas térmicas)

O estudo das propriedades dos gases, por um lado, e o do calor, por outro, nos séculos XVII e XVIII, possibilitou o desenvolvimento da máquina térmica, isto é, da máquina que transforma calor em movimento a partir da queima de combustível e de seu efeito sobre os gases. Em meio ao desenvolvimento científico e tecnológico da época, emergiram dois grandes princípios da física, o da conservação de energia, ampliado para incluir o calor, e o do crescimento perene da entropia (a ser tratado na unidade final).

OS GASES E A PRESSÃO

Já vimos que o aumento da energia térmica, ou da temperatura, produz dilatação, ou seja, aumento do volume. No caso dos gases, variações grandes de volume podem ser obtidas também com o aumento da pressão, o que não ocorre com líquidos e sólidos. Por isso, e por sua importância na operação das máquinas térmicas, vamos estudar as propriedades dos gases e suas transformações em termos de **temperatura, volume e pressão**.

Lembre-se que o volume do gás é todo o espaço disponível. A temperatura, como vimos, está relacionada com a agitação térmica das moléculas da matéria. Mas o que é a **pressão**?

Quando enchemos uma bexiga, uma bola ou um pneu, o ar da atmosfera é comprimido dentro da bexiga, bola ou pneu e exerce uma resistência cada vez maior à tentativa de colocarmos mais ar. Essa resistência está relacionada com a pressão do ar. Definimos a pressão P como a força F aplicada em uma unidade de área A ($P = F/A$). A unidade de pressão é dada em newtons (N) por metro quadrado (m^2), que pode ser representado pela unidade Pascal (Pa).

Do ponto de vista microscópico, a pressão resulta das colisões das moléculas do gás nas paredes do recipiente onde se encontram. As moléculas de um gás estão em movimento desordenado e, ao baterem numa das paredes do vasilhame, retornam para bater em outra. A pressão depende, portanto, da **velocidade de suas moléculas**, pois, quanto mais velozes, maior será a **intensidade** das colisões com as paredes do recipiente; depende, também, do tamanho do **espaço** onde se encontram, pois, com menos espaço (menor volume), maior será a **frequência** das colisões.

OS ESTADOS DE UM GÁS E SUAS TRANSFORMAÇÕES

Definimos o **estado** de um gás através dos valores das grandezas físicas que o caracterizam: pressão, volume e temperatura. Quando um gás recebe

Organizadores

Maurício
Pietrocola

Nobuko Ueta

Elaboradores

João Freitas da
Silva

calor, ou é comprimido, ou ainda quando cede calor ou sofre uma expansão e ocorre alteração de algum desses valores, dizemos que ele sofreu uma **transformação** ou **mudança de estado** (sem deixar de estar no estado gasoso). As transformações mais conhecidas são as que seguem:

Transformação isotérmica

É aquela que ocorre a uma mesma temperatura.

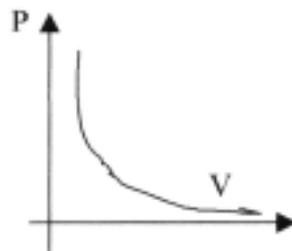
Para um gás de determinada massa, com temperatura constante, seu volume e sua pressão variam inversamente.

Para um gás de determinada massa, com temperatura constante, seu volume e sua pressão variam inversamente.

Consideremos por exemplo uma seringa de injeção em temperatura ambiente, com seu bico obstruído, com um certo volume V de ar e à pressão P . Se o volume for triplicado, teremos a pressão reduzida três vezes também. Se aumentamos o volume e a velocidade das moléculas continua a mesma (pois a temperatura é constante), a frequência de choques diminui proporcionalmente, pois a distância entre elas e a parede será maior. Já que a pressão está relacionada com os choques das moléculas do ar com as paredes da seringa, a pressão diminui.

$$P_1 \cdot V_1 = \frac{P_1}{3} \cdot 3V_1 \Rightarrow P_1 \cdot V = P_2 \cdot V_2 = \text{constante}$$

Em um diagrama cartesiano, a dependência entre pressão e volume, na transformação isotérmica, é representada por uma curva (hipérbole equilátera) denominada isoterma do gás.



$$P \cdot V = \text{constante}$$

Com o aumento da temperatura, o produto $P \cdot V$ torna-se mais alto e a isoterma se afasta da origem dos eixos:

UNIDADES

Nas transformações de gases, para **temperatura** deve-se utilizar apenas a **escala Kelvin**. Já a **pressão** pode ser dada em Pascal (N/m^2) ou em atmosferas (1 atm corresponde a aproximadamente $10 \text{ N}/\text{m}^2$). Quanto ao **volume**, pode-se usar o litro ou qualquer unidade do sistema métrico decimal (m^3 , cm^3 , etc). É importante lembrar que as unidades de pressão e volume podem ser arbitrárias, mas uma vez adotada uma escolha, esta tem que ser mantida nas relações matemáticas.

APLICAÇÃO

Balões meteorológicos

Levam um pequeno aparelho que transmite informações sobre umidade relativa do ar, temperatura e altitude. Numa altitude de aproximadamente 30 km, eles explodem e o aparelho cai com auxílio de um pára-quedas com as informações obtidas. Entre 10 e 20 km acima da superfície, a temperatura é praticamente constante. A explosão ocorre, pois a pressão do ar em volta do balão diminui, com a altitude e seu volume aumenta. Como você denominaria a transformação que ocorre no gás?

Transformação Isobárica

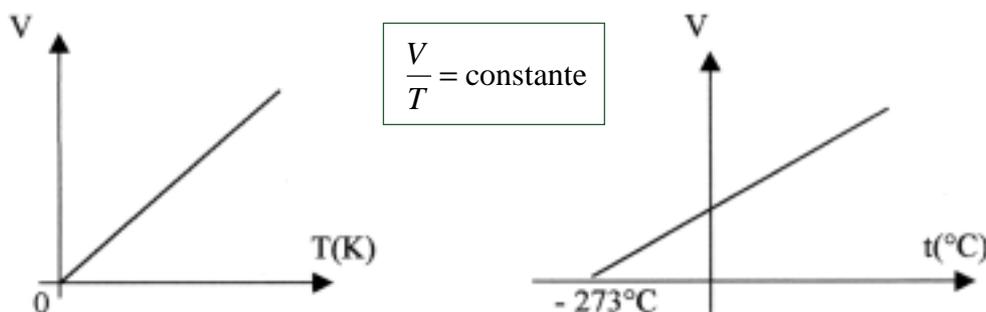
É aquela que ocorre a uma mesma pressão.

Se mantivermos a pressão de uma massa de gás constante, seu volume varia diretamente com a temperatura.

Quando elevamos a temperatura de um gás, a velocidade média de suas moléculas aumenta, aumentando assim a intensidade das colisões com as paredes, ocasionando um acréscimo da pressão interna. Com a diminuição da temperatura, ocorre o contrário. Para mantermos a pressão constante, se a temperatura aumentar, devemos aumentar também o volume do recipiente, pois dessa forma as moléculas terão mais espaço para percorrer, o que diminuirá a frequência das colisões na parede, podendo ser compensado o efeito do aumento de agitação das moléculas sobre a pressão. Experimentalmente, verifica-se a existência da seguinte relação matemática:

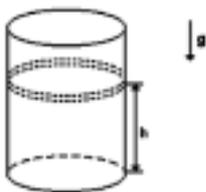
$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \text{constante}$$

Em um diagrama cartesiano, a relação entre V e T é representada por uma reta.



(Fuvest 1995) O cilindro da figura a seguir é fechado por um êmbolo que pode deslizar sem atrito e está preenchido por uma certa quantidade de um gás que pode ser considerado como ideal. À temperatura de 30° C, a altura h na qual o êmbolo se encontra em equilíbrio é de 20 cm (ver figura; h refere-se à superfície inferior do êmbolo). Se mantidas as demais características do sistema, a temperatura passar a ser 60° C, o valor de h variará de aproximadamente:

- a) 5%;
- b) 10%;
- c) 20%;
- d) 50%;
- e) 100%.



Transformação isocórica, isométrica, ou isovolumétrica

É aquela que ocorre com o volume constante.

Saiba mais

A temperatura absoluta e a escala Kelvin

Observe que na escala Kelvin o volume de um gás seria nulo à temperatura de 0 K. É claro que nesta temperatura, em pressão atmosférica, não teríamos um gás. Mas esta é a origem da escala Kelvin! Ela tornou-se ainda mais importante desde o desenvolvimento da teoria molecular do gás, pois a energia cinética das moléculas é diretamente proporcional à temperatura na escala Kelvin, também chamada, por esta razão, de temperatura absoluta. A 0K a velocidade das moléculas seria nula e elas ficariam todas juntas: o volume seria decorrência apenas do movimento das moléculas! Nesse caso, a pressão também iria a zero! Isso se este gás existisse, claro.

Aplicações

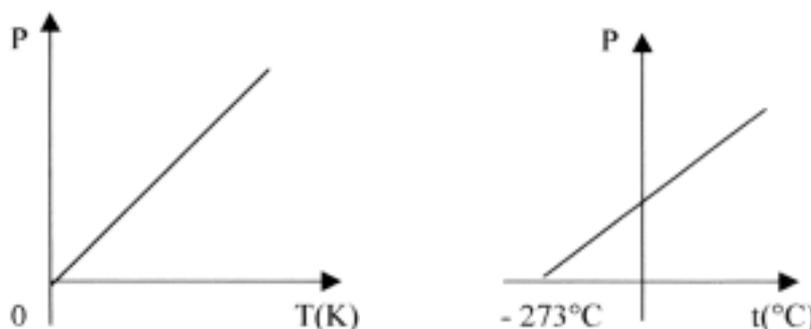
Na panela de pressão, os gases da parte interna são aquecidos e isso faz com que suas moléculas se agitem mais, aumentando a temperatura e também a intensidade e a frequência das colisões com a parede, ou seja, a pressão do gás...

Em toda transformação isométrica, a pressão do gás varia linearmente com a sua temperatura.

Se aumentamos a temperatura de um gás, aumentam tanto o número de colisões de suas moléculas com as paredes internas do recipiente quanto a intensidade dessas colisões, portanto, a pressão aumenta se não variamos o volume. Se diminuirmos a temperatura, o número e a intensidade das colisões diminuem e também a pressão. Experimentalmente, verifica-se a seguinte relação matemática entre pressão e temperatura se o volume é mantido constante:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} = \text{constante}$$

Em um diagrama cartesiano, a relação entre P e T também é representada por uma reta.



Lei geral dos gases

Como descrever a situação em que as três quantidades, volume, temperatura e pressão, variam simultaneamente? Por exemplo, se colocamos um balão de aniversário na geladeira, todas as três grandezas diminuem. As três relações que estudamos podem ser combinadas em uma só, expressa da seguinte forma:

$$\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2} = \text{constante}$$

(Fuvest 2001) Um gás contido em um cilindro, à pressão atmosférica, ocupa um volume V_0 à temperatura ambiente T_0 (em Kelvin). O cilindro contém um pistão, de massa desprezível, que pode mover-se sem atrito e que pode até, em seu limite máximo, duplicar o volume inicial do gás. Esse gás é aquecido, fazendo com que o pistão seja empurrado ao máximo e também com que a temperatura do gás atinja quatro vezes T_0 . Na situação final, a pressão do gás no cilindro deverá ser

- metade da pressão atmosférica;
- igual à pressão atmosférica;
- duas vezes a pressão atmosférica;
- três vezes a pressão atmosférica;
- quatro vezes a pressão atmosférica.



Para uma quantidade fixa de gás, temos que $P \cdot V/T = \text{constante}$. Para um **mol**, que é a quantidade de gás correspondente a sua massa molecular em gramas, esta constante é chamada de **constante dos gases** e é representada pela letra **R**, isto é, $P \cdot V_1/T = R$. Se dobramos o número de mols, temos, se não forem alteradas a pressão e a temperatura, um volume V_2 que será o dobro de V_1 , pois há o dobro de moléculas. A constante será duas vezes maior e podemos escrever: $P \cdot V_2/T = 2 \cdot R$. Para um número n de mols, teremos n vezes o número de moléculas de um mol, o volume será n vezes maior, portanto, $P \cdot V_n/T = n \cdot R \Rightarrow P \cdot V_n = n \cdot R \cdot T$, ou simplesmente,

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T,$$

equação conhecida como **Lei geral dos gases perfeitos** ou **Lei de Clapeyron**

SAIBA MAIS

Como o número de moléculas em qualquer objeto visível é muito grande, a unidade que utilizamos para medir quantidades de átomos é o mol, que corresponde a 6×10^{23} moléculas. Na realidade este é o número de moléculas que vamos encontrar, se tomamos a massa molecular de **qualquer** substância em gramas.

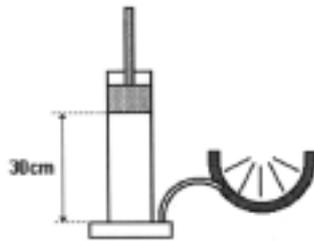
A quantos mols correspondem 96 gramas de gás carbônico (CO_2)? Nas chamadas condições normais de temperatura e pressão (CNTP), nas quais $P = 1 \text{ atm}$ e $T = 273 \text{ K}$, 1 mol de moléculas de qualquer gás ocupa o volume de 22,4L. A partir desses números podemos determinar o valor da constante universal R:

$$\frac{P \cdot V}{n \cdot T} = \frac{1 \text{ atm} \cdot 22,4 \text{ L}}{1 \text{ mol} \cdot 273 \text{ K}} = 0,082 \text{ atm} \cdot \text{L/mol} \cdot \text{K}$$

Como fica a constante R em unidades de Pascal. $\text{m}^3/\text{K} \cdot \text{mol}$? O que se alteraria nessa dedução do valor de R, se fosse aplicada aos 96 gramas de gás carbônico?

(Fuvest 1999) A figura mostra uma bomba de encher pneu de bicicleta. Quando o êmbolo está todo puxado, a uma distância de 30cm da base, a pressão dentro da bomba é igual à pressão atmosférica normal. A área da seção transversal do pistão da bomba é de 24 cm^2 . Um ciclista quer encher ainda mais o pneu da bicicleta, o qual tem volume de 2,4 litros e já está com uma pressão interna de 3 atm. Ele empurra o êmbolo da bomba até o final de seu curso. Suponha que o volume do pneu permaneça constante, que o processo possa ser considerado isotérmico e que o volume do tubo que liga a bomba ao pneu seja desprezível. A pressão final do pneu será, então, de aproximadamente:

- 1,0 atm;
- 3,0 atm;
- 3,3 atm;
- 3,9 atm;
- 4,0 atm.



Transformações de energia: o trabalho

Uma máquina térmica é um sistema que converte calor em movimento. Devido à grande expansão dos gases, sob a ação do calor, este é o efeito

Saiba mais

O gás cujos volume, temperatura e pressão obedecem a equação de Clapeyron recebe o nome de gás perfeito ou ideal. O estudo experimental do hidrogênio, do hélio, do oxigênio, do nitrogênio e do ar, em pressões mais baixas e temperaturas mais altas apresentam este comportamento. Em temperaturas mais baixas e pressões mais altas, o comportamento é mais complexo, ocorrendo inclusive a condensação.

Criou-se o conceito de **gás ideal**, um gás teórico que obedece a essas relações simples em qualquer condição de pressão e temperatura, e que possibilitou o desenvolvimento dos estudos relacionados às máquinas térmicas e a definição da escala absoluta de temperaturas.

Trabalho positivo e negativo

Quando um gás é aquecido (recebe calor), suas moléculas vão se agitar mais e, assim, ocupar um volume maior, ou seja, o gás sofre uma expansão. Na expressão

$$W = P \cdot \Delta V,$$

teremos o volume final maior que o inicial, portanto, a variação de volume será positiva e o trabalho realizado pelo gás também; neste caso **o gás realiza trabalho sobre o meio e W é positivo**. Quando um gás é resfriado (dizemos que cede calor), suas moléculas vão se agitar menos e o gás sofre uma compressão, pois a pressão externa se torna maior que a interna. Logo o volume final será menor que o inicial e a variação de volume será negativa. O **trabalho realizado pelo gás será negativo**, pois é o meio que realiza trabalho sobre o gás.

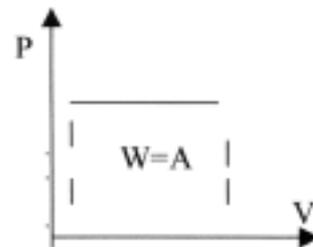
utilizado para obter o movimento das peças da máquina. A conversão é feita de forma cíclica, ou seja, o estado inicial do gás sempre se repete após uma sucessão de transformações (como ocorre no movimento do pistão do motor do carro). Durante sua expansão, dizemos que o gás efetua um trabalho. Mas o que vem a ser **trabalho**?

Podemos definir trabalho como a força aplicada em um determinado corpo multiplicada pelo deslocamento deste na direção da força. O trabalho será máximo para uma dada força se esta for paralela ao deslocamento do corpo, e será nula se esta força for perpendicular ao deslocamento. Matematicamente, podemos expressar o trabalho da seguinte forma: $W = F \cdot \Delta S$, onde W representa trabalho, F a força aplicada sobre o corpo, e ΔS o deslocamento que o corpo realiza em função dessa força.

Na panela fechada com água a ferver, o vapor levanta a tampa da panela: a força aplicada pelo vapor resulta num deslocamento da tampa, portanto, temos a realização de um trabalho. Neste caso, o trabalho resulta também em uma variação de volume do vapor, ΔV . Podemos então relacionar trabalho com variação de volume e para isso basta lembrarmos que a força que aplicamos em uma área unitária é chamada de pressão. Na expressão $W = F \cdot \Delta S$ podemos substituir F por $P \cdot A$ (que vem de $P = F/A$), onde A é a área da tampa. Então $W = P \cdot A \cdot \Delta S$, e como área vezes deslocamento (comprimento) é igual a volume, temos $W = P \cdot \Delta V$, isto é, o trabalho como função da pressão e do volume.

Quando a pressão é constante (isobárica), teremos o seguinte gráfico no espaço pressão-volume:

O trabalho é numericamente igual a área sob a curva de pressão no diagrama $p \times V$. Essa relação é válida também para casos em que a pressão não é constante, ou seja, basta calcular a área sob a curva do gráfico.



Transformações de energia: a energia interna

Qual a relação entre calor e trabalho? Já vimos que as moléculas de gás estão em permanente movimento, tanto maior quanto maior a temperatura. Isso quer dizer que em um litro de ar (dentro de uma garrafa “vazia”) há energia cinética (invisível aos nossos sentidos), a essa energia chamamos **energia interna**, que designaremos pela letra U . Voltemos ao pneu da bicicleta, ao enchermos o pneu, o trabalho que realizamos sobre o gás requer um dispêndio de energia. Gastamos energia enquanto o ar esquenta. Há, portanto, aumento da energia interna do gás às custas da energia que dispendemos ao comprimir o ar no interior do pneu, realizando um trabalho sobre o ar. Podemos dizer que: **trabalho realizado sobre o gás implica no aumento de energia interna**.

Por outro lado, se levamos a bicicleta para muito perto de uma fogueira (talvez não seja uma boa idéia!), o ar do pneu se aquecerá também devido ao calor recebido da fogueira. Portanto, **calor recebido pelo gás implica no aumento da energia interna**.

Reunindo as duas relações para a energia interna de um gás em uma só, temos que:

variação da energia interna = calor recebido pelo gás-trabalho realizado pelo gás.

O gás aumenta sua energia se receber calor ou quando é realizado trabalho sobre ele, porém perde energia ao realizar trabalho ou quando cede calor.

Matematicamente,

$$\Delta U = Q - W$$

Observe cuidadosamente os **sinais adotados** para **calor** e **trabalho**. Essa relação, que representa uma generalização do princípio de conservação de energia, pois inclui o calor como energia em trânsito, ficou conhecida como a Primeira lei da termodinâmica.

Analisando de um ponto de vista microscópico, dizemos que, ao comprimir o ar, estamos “empurrando” as moléculas, que assim têm sua energia cinética aumentada. Em contato com um meio de temperatura mais alta, recebem parte da energia cinética das moléculas do meio (através de pequenos “empurrões” desordenados).

Transformações do gás sob a ótica das trocas de energia

Na **transformação isotérmica**, como a temperatura não muda, a energia interna não varia ($\Delta U = 0$). Temos $Q - W = 0$, ou seja, todo calor que o gás absorve durante uma expansão ($Q > 0$) é igual ao trabalho que ele realiza ($W > 0$), ou então, todo o calor que ele cede ($Q < 0$) numa compressão é igual ao trabalho realizado sobre ele ($W < 0$).

Na **transformação isobárica**, parte do calor recebido ($Q > 0$) aumenta a energia interna ($\Delta U > 0$) e a outra parte é utilizada pelo gás para realizar trabalho ($W > 0$) numa expansão. Na compressão, como a temperatura diminui junto com o volume, a energia interna diminui ($\Delta U < 0$). Embora o trabalho seja realizado sobre o gás ($W < 0$), pois seu volume diminui, ele deve perder calor ($Q < 0$) em maior proporção.

Na **transformação isométrica**, como não há variação de volume não há realização de trabalho. $W = P \cdot \Delta V = 0$, portanto, $Q = \Delta U$, ou seja, o calor recebido ($Q > 0$) aumenta a energia interna do sistema ($\Delta U > 0$). Se o gás perde calor ($Q < 0$), sua energia interna diminui ($\Delta U < 0$).

Além dessas transformações, definidas em termos das variáveis do gás (temperatura, pressão e volume) e do ponto de vista das trocas de energia, é importante a transformação que ocorre **sem** trânsito de energia entre o gás e o meio onde se encontra. Essa transformação recebe o nome de **adiabática**.

Na **transformação adiabática**, o gás passa de um estado para o outro sem troca de calor com o meio exterior, $Q = 0$, logo $0 = W + \Delta U$ e $W = -\Delta U$. O trabalho é realizado pelo gás ($W > 0$) às custas de uma perda de energia interna ($\Delta U < 0$). Ou, se o gás é comprimido ($W < 0$), sua energia interna aumenta ($\Delta U > 0$).

(Unesp 2003) Um gás que se comporta como gás ideal sofre expansão sem alteração de temperatura quando recebe uma quantidade de calor $Q = 6 \text{ J}$.

- Determine o valor ΔU da variação da energia interna do gás.
- Determine o valor do trabalho W realizado pelo gás durante esse processo.

Aplicações

Um exemplo de transformação adiabática é o que ocorre com a bomba de encher pneu de bicicleta. A compressão e descompressão do ar são tão rápidas, que não há tempo para a bomba trocar calor com o ambiente, porém, notamos que ela esquenta muito! De onde veio essa energia térmica? Do trabalho realizado sobre o gás, pois, nesse caso, o trabalho produziu aumento de energia interna.

Do ponto de vista das moléculas, estas vão ganhando energia interna enquanto o volume ocupado diminui e enquanto são empurradas às custas do trabalho realizado sobre o ar.

Discuta essas variações no caso da expansão do gás.

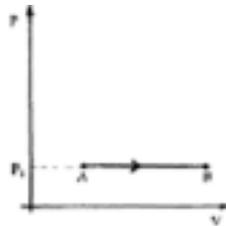
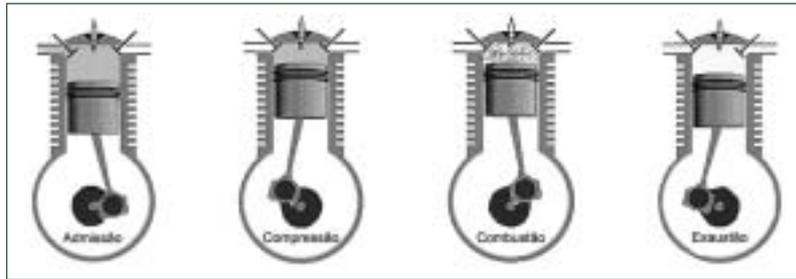
Duas máquinas térmicas do cotidiano: o motor e a geladeira

A expansão do gás sob o efeito do calor é o que produz o movimento nas máquinas térmicas. A conversão é feita de uma forma cíclica, ou seja, o estado inicial do gás sempre se repete após uma sucessão de transformações (como ocorre no movimento do pistão do motor do carro).

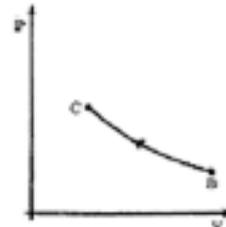
O motor

O motor é o que faz um veículo se movimentar. Nessa época, de constantes avanços tecnológicos, os motores estão ficando cada vez mais complexos e exigem que a sua manipulação seja feita por profissionais especializados com instrumentos específicos, pois apresentam cada vez mais componentes eletrônicos. Porém, os conceitos básicos e os princípios de funcionamento são os mesmos.

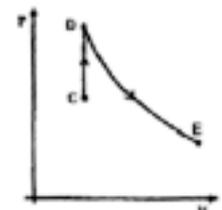
A produção de movimento nesses motores se dá através da queima de combustível em seu interior. A energia liberada por essa combustão movimenta o motor. O motor funciona em ciclos de oscilação do pistão (cujo movimento oscilatório é transmitido ao eixo da roda). O ciclo de um motor a gasolina pode ser dividido aproximadamente em quatro transformações de pressão e volume do gás:



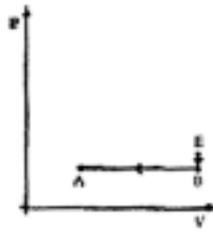
Admissão: a válvula se abre para a entrada de ar e gasolina, o volume aumenta enquanto a pressão (atmosférica) permanece praticamente constante (de A para B). Processo isobárico. Essa etapa é conhecida como primeiro tempo do motor.



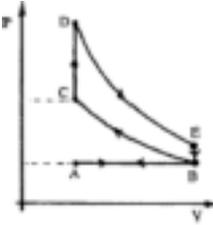
Compressão: o pistão comprime o gás: o volume diminui, a pressão e a temperatura aumentam (primeira transformação: de B para C). É o segundo tempo do motor.



Explosão: a mistura ar-combustível explode, ocorrendo grande aumento de temperatura e pressão (segunda transformação: C para D), com o volume praticamente constante (isométrico); em seguida, o pistão volta, o volume aumenta e a temperatura e a pressão diminuem (terceira transformação: D para E). É o 3º tempo do motor.



Escape: aqui os gases escapam pela válvula de escape. O volume permanece constante (isométrico) e a pressão diminui (quarta transformação: E para B), em seguida, o volume diminui, a pressão praticamente constante (isobárico) (B para A).



A representação das etapas do motor em termos das transformações pressão-volume é idealizada e esquemática (você pode apontar alguns furos nesta representação?). No entanto, ela é muito útil para que se possa calcular aproximadamente a eficiência da máquina. Podemos representar esse ciclo num único gráfico, chamado ciclo de Otto (ver figura). Note que a entrada e a saída de ar não fazem propriamente parte do ciclo.

ATIVIDADE

Pesquise em livros, revistas, internet e, se possível, com um mecânico, o funcionamento de um motor a diesel e descreva seu ciclo. Pesquise também o funcionamento de uma turbina a vapor. Compare com o funcionamento do motor a gasolina.

SAIBA MAIS

Motor a gasolina ou a diesel

De forma geral, os motores trabalham com vários cilindros articulados a um eixo de manivelas, ou virabrequim, que são acionadas pelo movimento dos pistões o qual é provocado pela explosão dos gases. Como pedalam um mesmo eixo, enquanto está ocorrendo a explosão do combustível e sua expansão em um dos pistões, outro pode estar expelindo a mistura queimada, outro recebendo o combustível, e outro sendo comprimido. No caso do motor a gasolina, o que de fato ocorre é: na admissão, o pistão baixa, puxando para dentro do cilindro a mistura ar-combustível por uma válvula de admissão que se abre; na compressão, o pistão sobe e comprime a mistura na chamada câmara do cabeçote, no topo do cilindro; na explosão, a mistura ar-combustível comprimida recebe uma centelha elétrica proveniente da vela de ignição, e explode instantaneamente, de forma que os gases quentes se expandem, forçando o pistão a baixar, realizando trabalho; finalmente, na exaustão, os gases da explosão são eliminados através do pistão que sobe e são expelidos pela válvula de exaustão, que se abre no momento adequado, e o ciclo recomeça. A mistura ar-combustível na proporção correta é feita, nos carros antigos, pelo carburador, e nos mais modernos, pela injeção eletrônica.

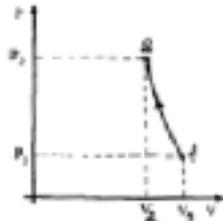
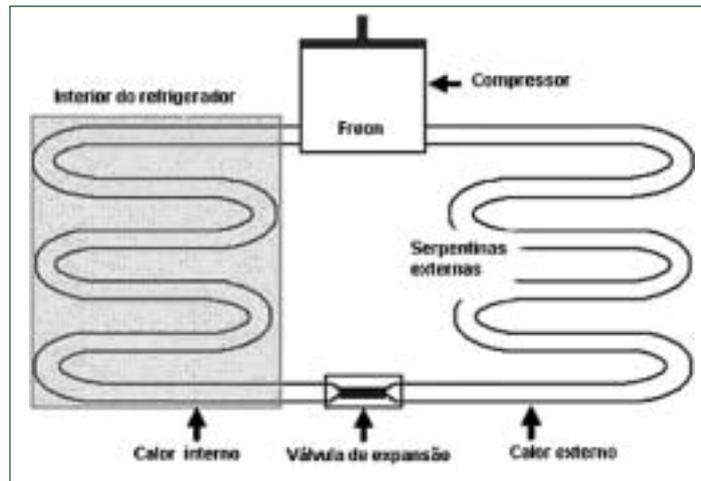
No caso do motor a diesel, não se utiliza uma vela de ignição, mas uma bomba e agulhas injetoras. No ciclo de admissão, o diesel aspira ar filtrado, que é fortemente comprimido até ficar incandescente, e o óleo diesel, quando injetado, vai explodindo espontaneamente, dando início à expansão.

A geladeira

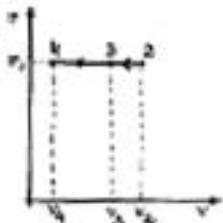
Podemos considerá-la uma máquina térmica? Sim, mas opera em sentido contrário, ou seja, usa trabalho (do motor elétrico), em vez de produzi-lo e o fluxo de calor é de um meio de baixa temperatura (interior da geladeira) para outro de maior temperatura (meio ambiente onde se encontra). Você pode perguntar: -Mas não foi dito que o trânsito de calor ocorre sempre do corpo de

maior temperatura (fonte quente) para o de menor temperatura (fonte fria)? E a resposta é sim, espontaneamente, mas nesse caso, para termos o trânsito no sentido oposto precisamos do refrigerador. Utiliza-se uma substância que se vaporiza a baixa pressão e que tem alto calor latente de vaporização (como o freon). O freon líquido chega ao congelador através de serpentinas internas, de onde ele retira calor de tudo que se encontra em contato com ele para se evaporar. Após a evaporação, é comprimido por um motor compressor, tornando-se muito quente. Passa em seguida pela serpentina do radiador (externa), onde cede calor para o meio ambiente, esfriando-se e condensando-se parcialmente. Após passar pela válvula de descompressão, torna-se completamente líquido e é direcionado para o evaporador no congelador, reiniciando o ciclo. Devemos observar que o calor fornecido ao ambiente é maior que o retirado do interior da geladeira, graças à parte do calor fornecido pelo motor que também é dissipada no ambiente.

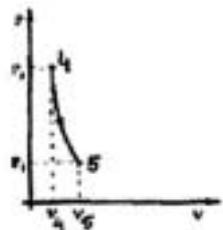
Questão: analise os sinais do calor Q , trabalho W e variação de energia interna U para o freon nas quatro etapas descritas acima.



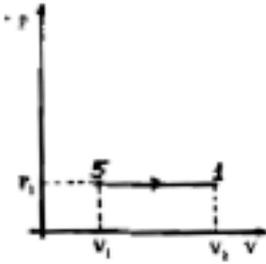
Compressor: aqui o gás é comprimido muito rapidamente (adiabática) e a temperatura e a pressão se elevam. Não temos trocas de calor e o trabalho realizado pelo compressor é igual à variação de energia interna (1 para 2):



Radiador: aqui temos a temperatura diminuindo à pressão constante (2 para 3) e depois uma diminuição do volume com temperatura constante (isotérmica) e pressão também constante (isobárica) (3 para 4). A troca de calor é dada pelo calor de esfriamento e de condensação.



Válvula descompressora: aqui temos a descompressão do gás que ocorre muito rápido (adiabática) e a pressão diminui e o volume aumenta (4 para 5):



Congelador: aqui o freon recebe calor do interior da geladeira com pressão e temperatura constantes, aumentando o volume à medida que se vaporiza (5 para 1):

ATIVIDADE

Pesquise o funcionamento de um congelador e do ar condicionado em livros, revistas, internet e com técnicos de manutenção. Tente identificar na geladeira de sua casa as partes indicadas no funcionamento da geladeira.

RENDIMENTO DAS MÁQUINAS TÉRMICAS

Vamos agora pensar na seguinte questão: todo calor (da caldeira, ou da combustão) pode ser transformado em trabalho numa máquina térmica? Já vimos que isso ocorre em uma transformação isotérmica, em que todo calor absorvido é convertido em expansão, mas, considerando o ciclo completo e necessário para o funcionamento de uma máquina, isto é impossível.

Uma máquina dessas seria um sonho, pois teríamos toda a energia térmica produzindo trabalho e operando em ciclos, isto é, retornando ao estado inicial infinitamente. Vamos tentar entender por que isso não ocorre.

Para qualquer máquina térmica funcionar, é necessária uma fonte contínua de energia. Esta vai ser responsável pelo aumento de temperatura e recebe o nome de fonte quente. No entanto, esta máquina está inserida em algum meio (ar ou água) que por sua vez está numa temperatura mais baixa, recebendo o nome de “fonte fria”. Então, uma máquina térmica, além de realizar trabalho, devolve energia térmica ao ambiente onde se encontra. É impossível evitar este efeito, pois quando temos diferença de temperatura entre dois corpos, o calor transita espontaneamente do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura, procurando o equilíbrio térmico. Dessa forma, sempre teremos uma parte de energia térmica que será utilizada para a realização de trabalho útil e outra que será dissipada no ambiente.

Mas se não tivéssemos diferença de temperatura entre as fontes, também não teríamos trânsito de energia (tudo estaria em equilíbrio térmico) e não teríamos movimento algum e, portanto, nenhum trabalho seria realizado!

A idéia de eficiência de uma máquina nos dará a informação de quanto foi aproveitado da energia consumida na realização de trabalho útil. Definimos rendimento η por ciclo:

Rendimento = (trabalho realizado/calor absorvido)_{no ciclo} OU,

$$\eta = \frac{W}{Q_d}$$

Em ciclo completo, a variação de energia interna do gás é nula, pois este volta à temperatura inicial. Se no ciclo é absorvido calor Q_r , devolvido ao meio calor Q_d e realizado um trabalho W , temos:

$$\text{variação de energia interna} = 0, \text{ portanto,} \\ \text{calor recebido} - \text{calor absorvido} - \text{trabalho realizado} = 0 \text{ ou,} \\ Q_r - Q_d - W = 0$$

Então o rendimento do ciclo será dado por:

$$\eta = \frac{W}{Q_r} = \frac{(Q_r - Q_d)}{Q_r} = 1 - \frac{Q_d}{Q_r} < 1$$

Nenhuma máquina, portanto, consegue um aproveitamento de 100%.

Observação: na geladeira, o aproveitamento é definido em termos de eficiência e dada por $e = \text{calor retirado} / \text{trabalho do motor}$ e é normalmente maior do que 1.

SAIBA MAIS

Ciclo de Carnot

A necessidade de melhorar o rendimento das máquinas térmicas reais exigiu a criação de ciclos ideais. Este ciclo foi elaborado por Nicolas L. Sadi Carnot que mostrou que o melhor rendimento poderia ser conseguido se as trocas de calor fossem isotérmicas, garantindo que, nestas etapas, todo calor fosse transformado em trabalho, e as outras duas etapas fossem adiabáticas. Assim, o ciclo se daria através da transição do gás entre apenas duas temperaturas, a da fonte quente e a da fonte fria. O rendimento seria função destas duas temperaturas: $\eta = 1 - \frac{Q_d}{Q_r} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$, onde T_2 é a temperatura abso-

luta da fonte fria e T_1 a temperatura absoluta da fonte quente. O ciclo, na verdade, é apenas teórico, pois uma transformação isotérmica requer que o gás troque calor com a fonte estando na mesma temperatura que ela! Porém, serve como limite teórico para a eficiência real.

(Unicamp 2001) Com a instalação do gasoduto Brasil-Bolívia, a quota de participação do gás natural na geração de energia elétrica no Brasil será significativamente ampliada. Ao se queimar 1,0 kg de gás natural obtém-se $5,0 \times 10^7$ J de calor, parte do qual pode ser convertido em trabalho em uma usina termoelétrica. Considere uma usina queimando 7.200 quilogramas de gás natural por hora, a uma temperatura de 1.227°C . O calor não aproveitado na produção de trabalho é cedido para um rio de vazão 5.000 l/s, cujas águas estão inicialmente a 27°C . A maior eficiência teórica da conversão de calor em trabalho é dada por $h = 1 - (T_{\text{mín.}}/T_{\text{máx.}})$, sendo $T(\text{mín.})$ e $T(\text{máx.})$ as temperaturas absolutas das fontes quente e fria, respectivamente, ambas expressas em Kelvin. Considere o calor específico da água $c = 4000 \text{ J/kg}^\circ \text{C}$.

- Determine a potência gerada por uma usina cuja eficiência é metade da máxima teórica.
- Determine o aumento de temperatura da água do rio ao passar pela usina.

FAÇA VOCÊ MESMO

Faça um furo de aproximadamente 2 mm de diâmetro na tampa de uma lata de leite em pó vazia, (ou alguma outra latinha de metal) em seguida coloque um pouco de água na lata e feche bem com a tampa. A lata pode ser aquecida por uma lamparina ou semelhante. Com o aquecimento a água ferve e o vapor vai sair pelo furo com forte pressão. Construa uma turbina com folha fina de papel alumínio (pode ser com lata de refrigeran-

FAÇA VOCÊ MESMO (CONTINUAÇÃO)

te) recortando-a em forma de círculo e construindo aletas onde o vapor irá colidir (como um cata-vento). O eixo da turbina pode ser feito com arame ou fio de cobre, fixando-o no alumínio com resina epóxi. A lata e a turbina podem ser sustentadas por arame ou fio grosso. Ao sair da lata, o vapor d'água terá pressão suficiente para movimentar a turbina, fazendo-a girar. Se amarrarmos, com uma linha de costura, um pequeno pedaço de algodão na turbina que gira, o movimento desta irá fazer o algodão movimentar-se, sendo arrastado pelo fio. Temos um exemplo de energia térmica produzindo trabalho mecânico.

Questões de vestibulares

LEI DOS GASES

1. (Fuvest 2000) Um bужão de gás de cozinha contém 13kg de gás liquefeito, à alta pressão. Um mol desse gás tem massa de, aproximadamente, 52g. Se todo o conteúdo do bужão fosse utilizado para encher um balão, à pressão atmosférica e à temperatura de 300K, o volume final do balão seria aproximadamente de:

Constante dos gases R

$R = 8,3 \text{ J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$ ou

$R = 0,082 \text{ atm}\cdot\text{l} / (\text{mol}\cdot\text{K})$

$P(\text{atmosférica}) = 1\text{atm} \gg 1 \times 10^5 \text{ Pa}$ ($1\text{Pa} = 1\text{N}/\text{m}^2$)

$1\text{m}^3 = 1000\text{l}$

a) 13 m^3 b) $6,2 \text{ m}^3$ c) $3,1 \text{ m}^3$ d) $0,98 \text{ m}^3$ e) $0,27 \text{ m}^3$

2. (Fuvest 1996) Um congelador doméstico (“freezer”) está regulado para manter a temperatura de seu interior a -18°C . Sendo a temperatura ambiente igual a 27°C (ou seja, 300K), o congelador é aberto e, pouco depois, fechado novamente. Suponha que o “freezer” tenha boa vedação e que tenha ficado aberto o tempo necessário para o ar em seu interior ser trocado por ar ambiente. Quando a temperatura do ar no “freezer” voltar a atingir -18°C , a pressão em seu interior será:

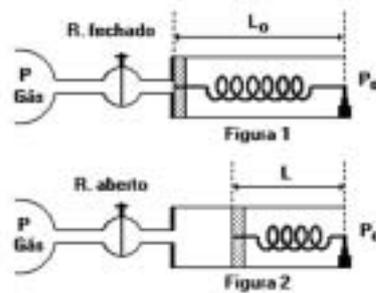
- a) cerca de 150% da pressão atmosférica.
- b) cerca de 118% da pressão atmosférica.
- c) igual a pressão atmosférica.
- d) cerca de 85% da pressão atmosférica.
- e) cerca de 67% da pressão atmosférica.

3. (Fuvest 1998) Deseja-se medir a pressão interna P em um grande tanque de gás. Para isto, utiliza-se como manômetro um sistema formado por um cilindro e um pistão de área A, preso a uma mola de constante elástica k. A mola está no seu estado natural (sem tensão) quando o pistão encosta na base do cilindro, e tem comprimento L_0 (fig 1 - registro R fechado).

Abrindo-se o registro R, o gás empurra o pistão, comprimindo a mola, que fica com comprimento L (fig 2 - registro R aberto).

A pressão ambiente vale P_0 e é aplicada no lado externo do pistão. O sistema é mantido à temperatura ambiente durante todo o processo. O valor da pressão absoluta P no tanque vale:

- a) $k \cdot (L_0 - L) / A + P_0$
- b) $k \cdot (L_0 - L) / A - P_0$
- c) $k \cdot (L_0 - L) / A \cdot A$
- d) $k \cdot L \cdot A + P_0$
- e) $k \cdot L / A - P_0$

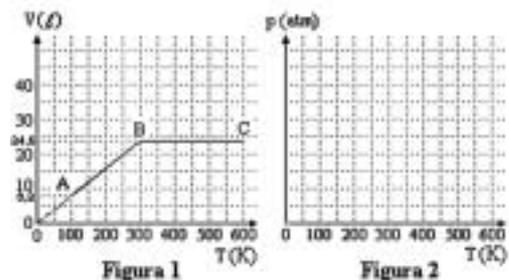


4. (Fuvest 1997) Um mol de gás ideal é levado lentamente do estado inicial A ao estado final C, passando pelo estado intermediário B. A Figura 1 representa a variação do volume, V do gás, em litros (l), em função da temperatura absoluta T , para a transformação em questão.

A constante universal dos gases vale $R=0,082\text{atm}\cdot l/(\text{mol}\cdot\text{K})$.

a) Dentre as grandezas pressão, volume e temperatura, quais permanecem constantes no trecho AB? E no trecho BC?

b) Construa na Figura 2 o gráfico da pressão P em função da temperatura absoluta T . Indique claramente os pontos correspondentes aos estados A, B e C. Marque os valores da escala utilizada no eixo da pressão P .



c) Escreva a função $P(T)$ que representa a pressão P do gás em função da temperatura absoluta T , no intervalo de 300K a 600K, com seus coeficientes dados numericamente.

TRABALHO, ENERGIA, MÁQUINAS

5. (Unesp 2001) Uma bexiga vazia tem volume desprezível; cheia, o seu volume pode atingir $4,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$. O trabalho realizado pelo ar para encher essa bexiga, à temperatura ambiente, realizado contra a pressão atmosférica, num lugar onde o seu valor é constante e vale $1,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$, é no mínimo de

- a) 4 J; b) 40 J; c) 400 J; d) 4000 J; e) 40000 J..

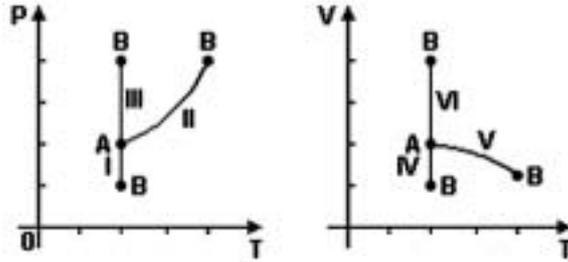
6. (Unesp 2003) A energia interna U de uma certa quantidade de gás, que se comporta como gás ideal, contida em um recipiente, é proporcional à temperatura T , e seu valor pode ser calculado utilizando a expressão $U=12,5T$. A temperatura deve ser expressa em kelvins e a energia, em joules. Se inicialmente o gás está à temperatura $T=300 \text{ K}$ e, em uma transformação a volume constante, recebe $1\ 250 \text{ J}$ de uma fonte de calor, sua temperatura final será

- a) 200 K; b) 300 K; c) 400 K; d) 600 K; e) 800 K.

7. (Fuvest 1997) Uma certa massa de gás ideal sofre uma compressão isotérmica muito lenta passando de um estado A para um estado B. As figuras represen-

tam diagramas TP e TV, sendo T a temperatura absoluta, V o volume e P a pressão do gás. Nesses diagramas, a transformação descrita anteriormente só pode corresponder às curvas

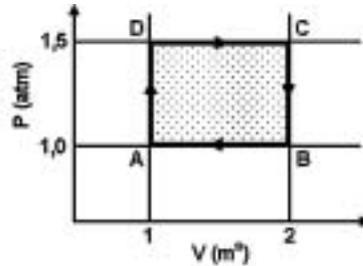
- a) I e IV
- b) II e V
- c) III e IV
- d) I e VI
- e) III e VI



8. (Unicamp 1998) Uma máquina térmica industrial utiliza um gás ideal, cujo ciclo de trabalho é mostrado na figura a seguir. A temperatura no ponto A é 400K.

Utilizando $1\text{atm} = 10^5 \text{ N/m}^2$, responda os itens a e b.

- a) Qual é a temperatura no ponto C?
- b) Calcule a quantidade de calor trocada pelo gás com o ambiente ao longo de um ciclo



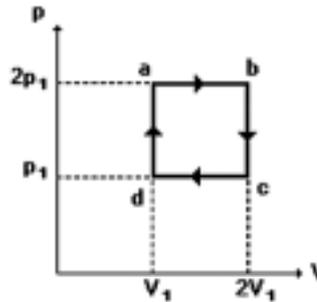
9. (Fuvest 1998) Considere uma máquina térmica em que n moles de um gás ideal executam o ciclo indicado no gráfico pressão P versus volume V.

Sendo T a temperatura do gás, considere as relações:

- I) $T_a = 4T_c$ e $T_b = T_d$
- II) $T_a = T_c$ e $T_b = 4T_d$

Sendo W o trabalho realizado pelo gás no trecho correspondente, considere as relações

- III) $|W_{ab}| = |W_{cd}|$
- IV) $|W_{ab}| > |W_{cd}|$



Estão corretas as relações:

- a) I e III; b) I e IV; c) II e III; d) II e IV; e) somente III.

Síntese

- A mudança de estado de um gás está relacionada com a mudança em uma das três grandezas: pressão, volume ou temperatura.
- São importantes as transformações isotérmica (temperatura constante); isobárica (pressão constante); isocórica, isométrica ou isovolumétrica (com volume constante).
- A relação matemática entre as três grandezas para n mols de gás é $P \cdot V / T = nR$, conhecida como Equação geral dos gases perfeitos ou Equação de Clapeyron.
- Máquina térmica é um sistema que converte calor em movimento de forma cíclica, operando entre uma fonte quente e uma fonte fria.

- A Primeira lei da termodinâmica, baseada no princípio da conservação de energia, diz que a variação da energia interna é igual ao calor fornecido ao gás menos o trabalho realizado pelo mesmo ($\Delta U = Q - W$).
- Numa máquina (operando em ciclos) uma parte da energia fornecida ao sistema (pela fonte quente) realiza trabalho e outra é dissipada para o ambiente (fonte fria).
- O rendimento de uma máquina térmica nos dá a informação de quanto realmente foi aproveitado da energia da fonte quente para realização de trabalho e pode ser calculado por:

$$\eta = 1 - \frac{Q_d}{Q_r}$$

Unidade 3

A entropia e as máquinas naturais

Organizadores

Maurício
Pietrocola

Nobuko Ueta

Elaboradores

Luis Augusto Alves

A conservação da energia não impede que o calor seja integralmente transformado em trabalho mecânico. Mas isso não ocorre. Será esta uma limitação tecnológica? Algum dia poderemos obter uma máquina que converta integralmente calor em trabalho? A resposta é não! Embora não haja qualquer impedimento por parte da conservação da energia, isso não ocorre devido a uma tendência da energia em se transformar, desordenando-se a cada transformação. Não se trata, portanto, de uma limitação técnica, mas de um comportamento natural das transformações de energia. Parte da energia fornecida a uma máquina térmica aquece a máquina e o ambiente, incorporando-se ao grande ciclo da máquina térmica natural, que é a Terra como um todo. Mas o que é esse processo de desorganização da energia?

O MUNDO NÃO É ASSIM!

Imagine que você presenciasse as seguintes situações:

- Uma pessoa deixa cair um copo no chão, quebrando-se, em seguida, cada uma de suas partes recobra a posição original e o copo regressa às mãos da pessoa.
- Um jogador abre um baralho novo e embaralha as cartas que antes encontravam-se devidamente ordenadas. O jogador volta a embaralhar o conjunto de cartas desordenadas, sem qualquer critério, e o conjunto retoma a ordem original.
- Você coloca gelo em uma bebida, o gelo se resfria mais ainda, enquanto a bebida se aquece.

Certamente isso não ocorreria nem em nossos sonhos. Mas por que não ocorre? Qual é o grande impedimento? Do ponto de vista da conservação da energia, não há qualquer impedimento para que o copo recobre sua integridade. Mas o fato é que isso não ocorre. Também é altamente improvável que, depois de se embaralhar as cartas ao acaso, o conjunto retome a configuração inicial se apenas continuarmos a embaralhar ao acaso. Também não vemos o fluxo de calor ocorrer do frio (menor temperatura) para o quente (maior temperatura), como no caso do gelo e da bebida.

O quebrar do ovo, o embaralhar das cartas e o fluxo de calor do quente para o frio são exemplos de **processos irreversíveis**. Eles acontecem muito

naturalmente, mas nem o mais engenhoso dos artefatos poderá desfazer um processo natural sem gasto de energia! Mas como explicamos a irreversibilidade de todos esses processos? A resposta está na entropia!

ENTROPIA

Entropia é a medida da “quantidade de desordem” de um sistema. Muita desordem implica uma entropia elevada, ao passo que a ordem implica uma baixa entropia. Dizemos que a entropia de uma substância no estado gasoso é superior à entropia da mesma substância no estado líquido, que é maior que no estado sólido... As moléculas estão mais ordenadas no estado sólido e mais desorganizadas no estado gasoso, sendo o estado líquido um estado intermediário.

Do mesmo modo, o ovo quebrado e espalhado pelo chão tem entropia superior à do ovo inteiro sobre a mesa. Ou as cartas arrumadinhas no baralho novo recém-aberto possuem uma entropia menor do que quando embaralhadas ao acaso. Esta é a associação entropia/desordem.

Em processos naturais, a entropia tende a aumentar. É o que diz o **Segundo princípio da termodinâmica...**

SEGUNDO PRINCÍPIO DA TERMODINÂMICA

Este princípio diz precisamente que um sistema isolado termicamente tende a evoluir no sentido de aumentar sua entropia. Esta é a explicação para o fato de as coisas acontecerem de um jeito e não ao contrário. É que a entropia do universo aumenta sempre, e os acontecimentos inversos implicariam a diminuição de entropia!

Mas o que eu estou dizendo? Se a entropia nunca diminui, como é possível a formação de gelo? A entropia da água diminui quando ela passa para o estado sólido! Será esta uma incompatibilidade da teoria?

A chave aqui é a palavra “universo”. A entropia pode diminuir em algumas coisas, se aumentar em outras. Assim se explica a formação de gelo! Se se colocar água a 20° C no congelador, cuja temperatura está a -5°C, o calor flui da água para o congelador. Para manter a temperatura do congelador é necessária a adição de energia elétrica no compressor, o qual, ao funcionar, produz uma quantidade ainda maior de calor, aquecendo todos os componentes da máquina e do ambiente. Ou seja, para se obter uma diminuição da entropia na água, é necessário aumentar a entropia do sistema de refrigeração e, na verdade, a entropia total do universo aumenta. Se a formação do gelo em um sistema fechado fosse um processo natural, o Segundo princípio da termodinâmica seria violado.

E na formação de gelo em ambientes abertos, como é comum ocorrer no sul do Brasil nas geadas? Em primeiro lugar, vamos lembrar que é necessário que a água perca calor para que esta passe do estado líquido para o sólido: em uma noite fria, a energia que está na água do sereno que molha as superfícies, é cedida ao ambiente quando o sereno “gela”. A energia torna-se ainda mais desordenada ao se espalhar pelo meio ambiente, a entropia do universo assim é maior, apesar da ordem local criada no ordenamento das moléculas no gelo. A Segunda lei está a salvo!

Quando usamos uma bomba manual para encher um pneu de bicicleta ou uma bola, deslocamos o ar de uma região em que ele está relativamente “es-

palhada” para um local onde é muito mais denso. Isso representa uma diminuição de entropia, porém, tal como no frigorífico, este processo não acontece sozinho: implica um trabalho de sua parte. E esse trabalho exige consumo de energia. O produto total desse processo é o aquecimento que acaba por aumentar a entropia do universo (aumentando sua temperatura e a da bomba).

O Segundo princípio da termodinâmica não impede que a entropia não possa diminuir num determinado local, ela tem de aumentar em outro! Esta é uma boa explicação para quem se desleixa na arrumação do quarto! De acordo com a lei da entropia, a diminuição da entropia num espaço equivale, no mínimo, a um aumento igual da entropia na pessoa que gasta energia ao arrumar o quarto! (Ufa!! Isso cansa, mas é necessário).

Interessante, não? A energia e a matéria estão sempre se desorganizando. Como vimos anteriormente, sempre que ocorre uma transformação irreversível ocorre um aumento da entropia do universo, mas por outro lado perdemos a oportunidade de obter energia sob forma utilizável. A energia convertida em trabalho para que o processo se desenrole, embora não tenha sido “destruída”, encontra-se transformada em formas que não podem mais ser utilizadas para obtermos trabalho útil! Essas formas aquecem as máquinas e o ambiente, incorporando-se ao grande ciclo de energia do planeta. É o mesmo ciclo que move os geradores eólicos, quando transformamos a energia do vento em energia elétrica.

O CALOR EM TRÂNSITO: RADIAÇÃO, CONDUÇÃO E CONVECÇÃO

Todos os ciclos de energia no planeta envolvem o fluxo de calor e de matéria. A propagação do calor ocorre sob três formas distintas: radiação, condução e convecção.

A radiação: fluxo de calor na ausência de átomos

A radiação é a propagação de calor na forma de ondas de energia eletromagnética, como ocorre com a luz. Dispensa a necessidade de um meio condutor de energia radiante, pois não precisa de matéria para ocorrer. Todo corpo irradia calor na forma de ondas eletromagnéticas. O aquecimento em um forno elétrico, ou de um coletor solar, ocorre predominantemente por radiação de calor.

Da mesma forma que uma onda de rádio se propaga, e ao interagir com as cargas elétricas livres de uma antena põem estas a oscilar; existem muitas outras ondas eletromagnéticas que se distinguem entre si por sua frequência (número de oscilações por segundo): a luz visível, as microondas, os raios ultravioleta e os raios X. As ondas de calor ficam numa faixa de frequências a que chamamos infravermelho (radiação térmica). Assim como as ondas de rádio, o calor também promove a oscilação das cargas constituintes da matéria, e dessa forma toda molécula irradiada tem sua energia cinética aumentada..

QUESTÃO

Recentemente, os jornais anunciaram a utilização de caixas de leite (*tetra-pak*) abertas sob o telhado das casas para melhor conforto térmico. Você saberia explicar por que?

Saiba mais

Calor no corpo humano

As formas de perda do calor corporal são a

condução térmica, a **convecção** e a **radiação térmica**, mas a mais importante de todas é a **evaporação-sudação**. A evaporação é a forma mais eficiente que o corpo humano tem de perder calor para o meio ambiente: quando a água evapora através da pele e elimina calor (facilitada pelo vento e dificultada pela alta umidade relativa do ar), o corpo humano pode eliminar a cada 1 g de suor, aproximadamente, uma quantidade de energia de 0,6 kcal (quilocalorias).

Atividade

Procure uma tabela de condutividade e compare as condutividades dos metais e do concreto, de gases e líquidos.

A condução e a convecção: fluxo de calor na presença de átomos

A condução e a convecção ocorrem na presença de matéria. Na condução, a energia viaja sem deslocamento global das moléculas, enquanto que na convecção a energia e as moléculas viajam juntos.

Na **condução**, as moléculas com movimento mais rápido vão transmitindo seu movimento às suas vizinhas mais lentas através de choques (tanto em sólidos, cujas moléculas não podem se afastar muito de seu lugar, quanto em gases ou líquidos). Assim, a energia cinética molecular, mais concentrada do lado quente, vai se redistribuindo, tornando-se maior no lado inicialmente frio e menor no lado inicialmente quente.

A **convecção** é uma forma de transmissão de calor que só ocorre em líquidos e gases, pois acompanha o movimento da matéria, o que não ocorre em sólidos, uma vez que os átomos estão “presos” a posições fixas, em torno das quais podem apenas oscilar. Nessa modalidade, o fluxo de calor se dá concomitantemente com o fluxo de matéria.

A convecção: o papel da gravidade

Quando aquecemos água para fazer café, fornecemos calor à caneca. Esse calor alcança primeiro a camada em contato com o fundo da caneca. O aquecimento aumenta a agitação das moléculas, promovendo um aumento de seu distanciamento médio, ou seja, ocorre dilatação. Assim, a densidade da camada aquecida é menor que a densidade das camadas não aquecidas, que estão mais acima. Na camada mais quente, cada unidade de volume de água tem um número menor de partículas, se comparado a um volume igual na camada de menor temperatura. O volume unitário de gás aquecido tem menos partículas (massa menor) e é, portanto, menos denso que o volume unitário não aquecido (massa maior), mais denso. Com a diferença de densidade, a camada mais fria desce ao fundo da caneca pela ação gravitacional, e a camada aquecida sobe. Esse ciclo se repete, enquanto mais calor é adicionado ao sistema.

Se não houvesse a ação gravitacional, os movimentos convectivos não ocorreriam e a transmissão de calor em líquidos e gases se daria apenas por condução.

(PUC-SP 2002) Analise as afirmações referentes à condução térmica

I - Para que um pedaço de carne cozinhe mais rapidamente, pode-se introduzir nele um espeto metálico. Isso se justifica pelo fato de o metal ser um bom condutor de calor.

II - Os agasalhos de lã dificultam a perda de energia (na forma de calor) do corpo humano para o ambiente, devido ao fato de o ar aprisionado entre suas fibras ser um bom isolante térmico.

III - Devido à condução térmica, uma barra de metal mantém-se a uma temperatura inferior à de uma barra de madeira colocada no mesmo ambiente.

Podemos afirmar que:

- | | |
|--------------------------------|----------------------------------|
| a) I, II e III estão corretas; | d) Apenas II está correta; |
| b) I, II e III estão erradas; | e) Apenas I e II estão corretas. |
| c) Apenas I está correta; | |

A difusão: o fluxo de massa

Quando colocamos um gás em um recipiente, esse gás se espalha para ocupar o maior volume possível (todo o volume do recipiente). Essa dispersão espontânea de uma substância é chamada difusão. Pode-se constatar facilmente a ocorrência de difusão se abirmos um vidro de perfume em uma sala, pois logo se percebe o cheiro do perfume em qualquer ponto da sala, mostrando que ele se espalhou por todo o aposento.

Quando o ar escapa de uma câmara de ar de automóvel, move-se de uma região de maior pressão e densidade para outra de menor pressão e densidade. Assim como a diferença de temperatura determina a direção do fluxo de calor, a diferença de pressão determina a direção do fluxo de massa. A matéria tende a se mover de um lugar onde está submetida a uma pressão mais elevada, e mais densa, para um lugar de menor pressão, e também menos denso, a não ser que algo a impeça de fazê-lo.

As MÁQUINAS NATURAIS

As máquinas naturais, como os ciclos do ar e da água, têm como fonte quente principal o Sol. As regiões por ele aquecidas funcionam como fontes quentes, enquanto que as não aquecidas funcionam como fontes frias. É conhecido que cerca de 30% da energia radiante que provém do Sol é refletida de volta ao espaço, e os 70% restantes promovem o aquecimento do planeta (crosta, águas e atmosfera). Isso ocorre durante o dia, claro! Durante a noite, essa energia é devolvida ao espaço, caso contrário, a Terra estaria cada dia mais quente!

Ciclo do ar

Nosso planeta recebe o calor do sol, que viaja pelo espaço vazio até o topo da atmosfera, no qual se inicia a absorção de calor pelos gases que a compõem. (Figuras 1 e 2)



Figura 1



Figura 2

Ao tocar a superfície da Terra, o calor solar é absorvido pela crosta terrestre (sólida), aumentando a vibração das partículas que a constituem e, como uma partícula transmite à outra parte do calor absorvido, ocorre transporte de calor por **condução** na própria superfície sólida. Devido ao contato entre a atmosfera gasosa e a superfície sólida, o calor é transmitido às partículas gasosas que estão em contato direto com a superfície por **condução**, aumentando assim sua agitação. Dessa forma, as partículas do gás atmosférico adqui-

Saiba mais

Fontes alternativas de energia limpa

- *Turbinas Eólicas* são enormes cata-ventos: convertem energia dos ventos em energia elétrica.

- *Painéis solares* são células fotoelétricas que convertem luz solar em energia elétrica.

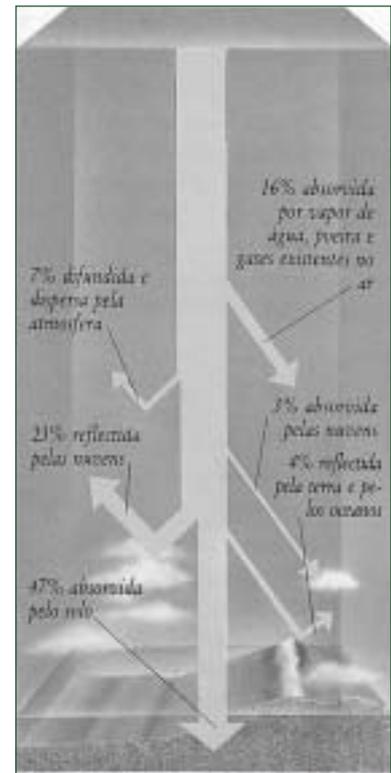
- *Geradores flutuantes* são movidos pelas ondas e convertem a energia dos mares em elétrica.

- *Energia geotérmica* é conduzida às turbinas que geram energia elétrica.

Pesquise sobre os conversores e a geração dessas energias no Brasil e no mundo.

rem maior velocidade média e se afastam mutuamente, diminuindo a densidade atmosférica local. Estabelece-se um gradiente (uma diferença) de temperatura e densidade entre as regiões que recebem maior e menor insolação. A região que recebe mais calor tem maior temperatura e menor densidade, enquanto que a região que recebe menos calor tem menor temperatura e maior densidade.

A diferença de densidade significa uma diferença de pressão, e assim surge um deslocamento de massa de ar da região mais fria e mais densa em direção à região mais quente e menos densa, em um processo de **difusão**. Note que, nesse caso, os fluxos de matéria e de calor ocorrem em direções opostas. Esses deslocamentos de massa de gás atmosférico constituem o que chamamos “vento”. Isso é o que acontece nos ventos alíseos, por exemplo. Além do vento horizontal em relação à superfície da Terra, há o deslocamento vertical: o ar aquecido, menos denso, sobe, levando consigo a energia térmica - nesse caso, massa e calor deslocam-se no mesmo sentido, por **convecção**.



Ciclo da água

A água tem um ciclo muito importante para o equilíbrio dos ecossistemas na Terra, visto que 2/3 do planeta é coberto de água. O calor proveniente do Sol é absorvido pelas moléculas da água (dos varais, plantas, lagos, rios e oceanos) até que elas se soltam, passando para a fase gasosa. A água em fase gasosa, na evaporação, sobe, e ao subir resfria-se e condensa-se, formando pequenas gotículas que, agrupadas, formam neblina, névoa, ou nuvens. Estas, por sua vez, são arrastadas pelos ventos e acabam retomando ao solo na forma líquida (nas chuvas, por exemplo) e se infiltram no solo, retornando às nascentes dos rios, os quais escorrem em direção ao mar e não param de evaporar...

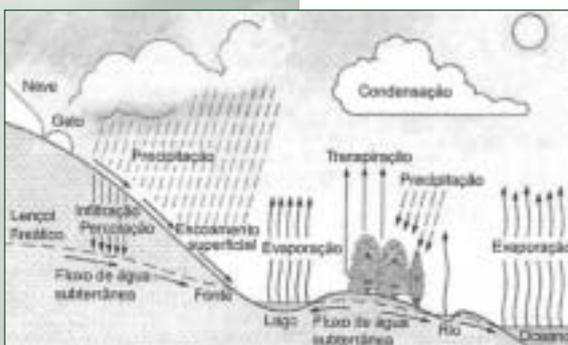


Figura 4

Nessa máquina, a fonte quente, o Sol, e a fonte fria, a Terra, movimentam a água em ciclos que se repetem eternamente, ou pelo menos, no próximo milhão de anos! (Figura 4)

Máquinas naturais e a entropia

Nas máquinas naturais, dois processos sob comando da entropia são fundamentais: o fluxo de calor (ou seja, de energia) e o fluxo de matéria. No fluxo de calor, a energia flui da região de temperatura alta para a região de temperatura baixa. A tendência tanto da matéria quanto da energia é a de se “espalhar”, ocupando todo o espaço. No fluxo de matéria, esta flui da região mais densa para a região menos densa.

Nos dois casos, a entropia, a “desorganização”, está aumentando. Como?

Na região quente, as moléculas estão mais agitadas, há mais energia. Na região fria, há menos energia. O fluxo de calor representa um fluxo de “agitação”, ou de energia. Mas nesse caso, as moléculas “frias” e “quentes”, ou regiões de alta e baixa energia se misturam! É como a mistura das camisas e calças que estavam em gavetas separadas.

Na região densa, as moléculas estão mais “arrumadas”, com menos espaço disponível. Na região menos densa, cada molécula tem muito mais espaço para percorrer. É como na escola, na sala de aula e no pátio. Ao se misturarem com o fluxo de matéria, a desordem aumenta, pois misturou-se a “turma da sala” com a “turma do pátio”.

Assim, as máquinas (naturais ou não) transformam energia de um tipo em outro, mas todas obedecem às ordens da entropia!

Questões de vestibulares

1. (Enem 2000) Uma garrafa de vidro e uma lata de alumínio, cada uma contendo 330mL de refrigerante, são mantidas em um refrigerador pelo mesmo longo período de tempo. Ao retirá-las do refrigerador com as mãos desprotegidas, tem-se a sensação de que a lata está mais fria que a garrafa. É correto afirmar que:

- a) a lata está realmente mais fria, pois a capacidade calorífica da garrafa é maior que a da lata.
- b) a lata está de fato menos fria que a garrafa, pois o vidro possui condutividade menor que o alumínio.
- c) a garrafa e a lata estão à mesma temperatura, possuem a mesma condutividade térmica, e a sensação deve-se à diferença nos calores específicos.
- d) a garrafa e a lata estão à mesma temperatura, e a sensação é devida ao fato de a condutividade térmica do alumínio ser maior que a do vidro.
- e) a garrafa e a lata estão à mesma temperatura, e a sensação é devida ao fato de a condutividade térmica do vidro ser maior que a do alumínio.

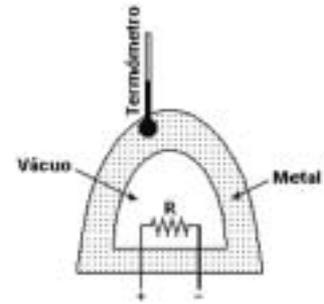
2. (PUC-PR 2003) Para produzir uma panela de cozinha que esquenta rápida e uniformemente, o fabricante deve escolher, como matéria-prima, um metal que tenha:

- a) baixo calor específico e alta condutividade térmica.
- b) alto calor específico e baixa condutividade térmica.
- c) alto calor específico e alta condutividade térmica.
- d) baixo calor específico e baixa condutividade térmica.
- e) a característica desejada não é relacionada ao calor específico e nem à condutividade térmica.

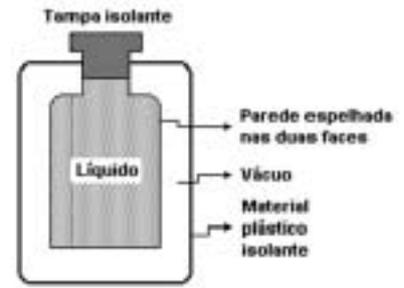
3. (Ufv 2003) Um resistor R é colocado dentro de um recipiente de parede metálica, no qual é feito vácuo e que possui um termômetro incrustado em sua parede externa. Para ligar o resistor a uma fonte externa ao recipiente foi utilizado um fio, com isolamento térmico que impede transferência de calor para as paredes do recipiente. Essa situação encontra-se ilustrada na figura a seguir.

Ligando o resistor, nota-se que a temperatura indicada pelo termômetro aumenta, mostrando que há transferência de calor entre o resistor e o termômetro. Pode-se afirmar que os processos responsáveis por essa transferência de calor, na ordem **correta**, são:

- primeiro convecção e depois radiação.
- primeiro convecção e depois condução.
- primeiro radiação e depois convecção.
- primeiro radiação e depois condução.
- primeiro condução e depois convecção.



4. (Unirio 2000) A figura ao lado representa um corte transversal numa garrafa térmica hermeticamente fechada. Ela é constituída por duas paredes. A parede interna é espelhada em suas duas faces e entre ela e a parede externa existe uma região com vácuo. Como se explica o fato que a temperatura de um fluido no interior da garrafa mantém-se quase que inalterada durante um longo período de tempo?

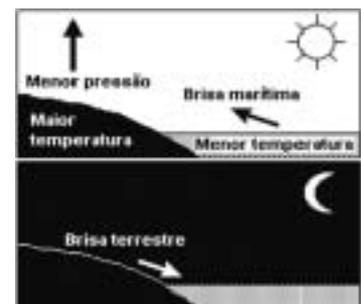


- A temperatura só permanecerá inalterada, se o líquido estiver com uma baixa temperatura.
- As faces espelhadas da parede interna impedem totalmente a propagação do calor por condução.
- Como a parede interna é duplamente espelhada, ela reflete o calor que chega por irradiação, e a região de vácuo evita a propagação do calor através da condução e convecção.
- Devido à existência de vácuo entre as paredes, o líquido não perde calor para o ambiente através de radiação eletromagnética.
- Qualquer material plástico é um isolante térmico perfeito, impedindo, portanto, toda e qualquer propagação de calor através dele.

5. (Enem 2002) Numa área de praia, a brisa marítima é uma consequência da diferença no tempo de aquecimento do solo e da água, apesar de ambos estarem submetidos às mesmas condições de irradiação solar. No local (solo) que se aquece mais rapidamente, o ar fica mais quente e sobe, deixando uma área de baixa pressão, provocando o deslocamento do ar da superfície que está mais fria (mar).

À noite, ocorre um processo inverso ao que se verifica durante o dia.

Como a água leva mais tempo para esquentar (de dia), mas também leva mais tempo para esfriar (à noite), o fenômeno noturno (brisa terrestre) pode ser explicado da seguinte maneira:



- O ar que está sobre a água se aquece mais; ao subir, deixa uma área de baixa pressão, causando um deslocamento de ar do continente para o mar.

- b) O ar mais quente desce e se desloca do continente para a água, a qual não conseguiu reter calor durante o dia.
- c) O ar que está sobre o mar se esfria e dissolve-se na água; forma-se, assim, um centro de baixa pressão, que atrai o ar quente do continente.
- d) O ar que está sobre a água se esfria, criando um centro de alta pressão que atrai massas de ar continental.
- e) O ar sobre o solo, mais quente, é deslocado para o mar, equilibrando a baixa temperatura do ar que está sobre o mar.

Síntese

A energia se transforma, e nessa transformação, se desorganiza. A tendência à desordem, tanto da matéria quanto da energia, são descritas através da entropia. A variação da entropia tem um sentido único, a do aumento, se olhado o universo inteiro. Esta é a Segunda lei da termodinâmica.

Máquinas térmicas operam através do fluxo de calor entre duas fontes. O fluxo de calor pode transcorrer sob diferentes formas - condução, convecção ou radiação. Esses processos governam as máquinas térmicas naturais. Sua natureza, assim como a da difusão de matéria, obedece à lei de crescimento da desordem, ou da tendência à homogeneidade (equilíbrio).

Guia de estudos

- Leia atentamente o texto desta apostila, anote os pontos principais, procurando traduzir para um entendimento próprio. E, principalmente, anote suas dúvidas e não deixe de esclarecê-las, conversando com seu professor e com seus colegas até saber que realmente compreendeu.
- Resolva o maior número de exercícios possível, buscando-os nos livros de Física do ensino médio e nas páginas da internet que citamos na bibliografia.
- Junte-se com amigos e faça um grupo de estudos, pois trocar dúvidas e certezas em um ambiente de amizade poderá otimizar os desempenhos e vencer as dificuldades.
- Quanto à matemática, é importante o conhecimento das funções e gráficos (leitura e construção). Fique atento às unidades, que, neste tema, são bastante variadas.

Bibliografia

- GRAF (Grupo de Reelaboração do Ensino de Física). *Física térmica e óptica. Física 2*. 4. edição. São Paulo: Edusp, 1998.
- AMALDI, Ugo. *Imagens da Física*. Scipione, 1997.
- MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. *Física*. Scipione, 1999. LUIZ, Air Moysés ; GOUVEIA, Sérgio Lins. *Física - elementos da termodinâmica*. Francisco Alves Editora S.A., 1989.
- DAMPIER, William C. *História a ciência* .2. edição. São Paulo: Instituição brasileira de difusão cultural Ltda (Ibrasa).
- Construindo sempre - aperfeiçoamento de professores - PEB II - Física - módulo I - PEC (Programa de Educação Continuada) - 2003.

- CARVALHO, Anna Maria Pessoa de (coord.). *Termodinâmica um ensino por investigação*. Laboratório de Pesquisa em Ensino de Física da Faculdade de Educação da USP.
- QUADROS, Sérgio. *A termodinâmica e a invenção das máquinas térmicas*. 1. edição. São Paulo: Scipione, 2001.
- FIGUEIREDO, Aníbal; PIETROCOLA; Maurício. *Física um outro lado - calor e temperatura*. São Paulo: FTD, 2000.
- FEYNMAN, R. P. *Física em seis lições*. Ediouro, 1999, cap. 1.
- UENO, Paulo T. *Física no cotidiano*. Vol. 2. Editora Didacta. Física - Paraná - Editora Ática.
- PENTEADO, Nicolau; TORRES, Toledo. *Física - Ciência e tecnologia*. São Paulo: Editora Moderna.
- BONJORNO e CLINTON. *Física História e cotidiano*. São Paulo: FTD.
- CARRON, Wilson; GUIMARÃES, Osvaldo. *Física*. São Paulo: Editora Moderna.
- GASPAR, Alberto. *Física*. São Paulo: Editora Ática.

SITES

<http://www.feiradeciencias.com.br>

<http://www.fisicanet.terra.com.br>

<http://www.scite.pro.br>

Sobre os autores

João Freitas da Silva

Licenciado em Física pela USP. Professor efetivo de Física da E. E. Esli Garcia Diniz. Participou do projeto de pesquisa vinculado ao Laboratório de Pesquisa em Ensino de Física da Faculdade de Educação da USP: “Termodinâmica um ensino por investigação” e atualmente participa do projeto “Atualização dos currículos de física no ensino médio das escolas estaduais: a transposição das teorias modernas e contemporâneas para sala de aula”.

Luis Augusto Alves

Licenciado em Física pela USP, mestre em ensino de ciências pela USP. Professor (substituto) na licenciatura em Física do CEFET-SP e professor na rede pública há onze anos, efetivado no cargo de professor de Física em 16/06/04 na E. E. Brigadeiro Gavião Peixoto.

Vera Bohomoletz Henriques

Bacharel em Física pela Universidade de Edimburgo e doutora em Física pela USP. Trabalha em pesquisa básica na área de Física Estatística. Coordenadora do grupo “Experimentando” do Profis (espaço de atividades da licenciatura em Física) do Instituto de Física da USP.