

Energia, trabalho e calor

Luis Passoni

AULA

10

Meta da aula

Apresentar conceitos fundamentais, como energia, trabalho e calor, visando discutir as transformações da energia.

objetivos

Esperamos que, ao final desta aula, você seja capaz de:

1. calcular a energia cinética de um objeto;
2. calcular a energia potencial de um sistema;
3. aplicar o princípio da conservação de energia;
4. calcular o trabalho envolvido num processo;
5. calcular o calor envolvido num processo;
6. calcular a variação de energia interna de um sistema.

INTRODUÇÃO

Não pense que mudamos de assunto. Continuamos a estudar como os fenômenos macroscópicos podem ser interpretados segundo as teorias e modelos de estrutura atômica e ligação química. Desta vez, vamos focar o conceito de energia – palavra da moda e centro das atenções no desenvolvimento de processos sustentáveis – e a transformação da energia em trabalho e/ou calor. Entender o que é energia, como armazená-la e como transformá-la em trabalho ou calor foi fundamental para o desenvolvimento da sociedade. A descoberta do fogo, tendo a lenha como fonte de energia, foi o primeiro grande salto tecnológico da humanidade, e permitiu ao homem ampliar sua dieta, incluindo em sua alimentação grãos cozidos, além de aumentar o tempo de conservação dos alimentos e a segurança do bando, com fogueiras para afugentar os predadores.

Em seguida, o homem deixou de ser caçador-coletor e passou a praticar a agricultura, utilizando a energia solar, por meio da fotossíntese, para produzir alimentos.



Josep Altarriba

Fonte: <http://www.sxc.hu/photo/776849>



Fonte: <http://www.sxc.hu/photo/1307758>

Com o decorrer dos anos, o homem cada vez mais domina a tecnologia de conversão de energia, fazendo uso de combustíveis fósseis e biocombustíveis, usinas hidroelétricas, e, finalmente, usinas nucleares, obtendo energia nuclear por meio da fissão do núcleo do átomo de urânio 237 (^{237}U).

Atualmente, a consciência de que os recursos do planeta são finitos, bem como do impacto negativo da poluição na qualidade de vida das pessoas, tem levado ao desenvolvimento de fontes alternativas para obtenção de energia limpa e renovável. Exemplos dessa energia são os biocombustíveis, a energia eólica, células a combustível, células fotovoltaicas e, a mais desafiadora de todas, fusão nuclear, que promete criar um pequeno sol artificial.

Chamamos de termodinâmica o estudo das transformações da energia. A termodinâmica é irmã da revolução industrial e constitui o arcabouço teórico sobre o qual se aprimoraram as máquinas a vapor. Vamos estudar termodinâmica nas próximas aulas. Nesta aula, vamos estabelecer o significado dos termos energia, calor e trabalho.

ENERGIA

O termo *energia* é muito familiar. Porém, defini-lo precisamente não é tarefa fácil, uma vez que a energia não é algo material, que tenha forma, massa, cor, cheiro ou qualquer outra característica sensorial. Energia é algo mais difuso. Não observamos a energia em si, mas sim suas manifestações – calor e trabalho –, que serão definidas mais adiante, ainda nesta aula.

Em Química, a energia é diferenciada em dois tipos: cinética e potencial. Alguns autores sugerem um terceiro tipo: a energia da radiação eletromagnética, como a que está contida na luz, nos raios X e nas micro-ondas (essas dos fornos domésticos). Porém, a maioria dos autores inclui este último tipo na definição de energia cinética. Então, a definição de energia se dividiu em duas: energia cinética (E_c) e energia potencial (E_p). Assim, a energia, ou energia total, agora é $E_t = E_c + E_p$.

Energia cinética

A energia cinética é aquela envolvida nos movimentos. Todo corpo em movimento possui energia cinética. Quanto maior a velocidade (v) ou a massa (m) de um corpo, maior será a sua energia cinética (E_c). Por exemplo, no caso de um carro e um caminhão, ambos viajando a 60 km/h, a energia cinética do caminhão será maior que a energia cinética do carro, uma vez que sua massa é maior. Por outro lado, no caso de dois carros idênticos, um viajando a 40 km/h e o outro a 80 km/h, o carro a 80 km/h possui energia cinética maior que o carro a 40 km/h.



sanja gjenero

Fonte: <http://www.sxc.hu/photo/1183538>

Mas isso nós já sabemos, não é mesmo? Imagine, então, que o carro e o caminhão, ambos viajando a 60 km/h, se choquem contra um muro. Qual dos dois causará maior estrago? Obviamente, o de maior energia cinética. O mesmo ocorre no caso dos dois carros idênticos viajando a 40 km/h e 80 km/h. No choque contra um muro, o maior estrago, novamente, ficará por conta do veículo com maior energia cinética. A energia cinética pode ser quantificada como:

$$E_c = (mv^2)/2$$

onde:

E_c – Energia cinética em Joule (J);

m – massa de um objeto em quilograma (Kg);

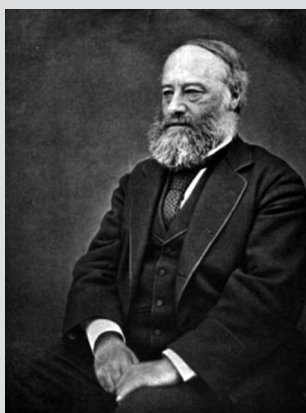
v – velocidade de um objeto em metros por segundo (m/s).

No exemplo anterior, a energia cinética do carro de 1,2 t viajando a 40 km/h seria:

$$E_c = (1.200 \text{ kg} \times (11 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1})^2)/2 = 72.600 \text{ kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-2} = 72.600 \text{ J} = 72,6 \text{ kJ}$$

Para poder calcular a energia cinética segundo a equação $E_c = (mv^2)/2$, precisamos adequar as unidades: a massa do veículo de 1,2 toneladas foi convertida para quilograma (1.200 kg), e a velocidade de 40 km/h foi convertida para 11 m/s, dado que 40 km equivalem a 40.000 m e 1 hora equivale a 3.600 segundos. O resultado aparece com a unidade $\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-2}$. Essa unidade foi apelidada de Joule (J), sendo que 1.000 J equivalem a 1kJ. Assim, dividindo-se 72.600 J por 1.000, temos 72,6 kJ.

A unidade J é uma homenagem a James Prescott Joule (1818-1889), químico inglês que demonstrou que trabalho e calor são manifestações de energia e podem ser interconvertidos. Não por acaso, o período de vida e a nacionalidade do Joule coincidem com a Revolução Industrial. O mesmo acontece com outros nomes famosos da termodinâmica, como James Watt (1736-1819), que emprestou o seu nome para a unidade de potência usada, por exemplo, para lâmpadas.



No mundo microscópico, o mundo dos átomos e moléculas, a energia cinética é a energia do movimento dos átomos, moléculas e das partículas subatômicas, como os elétrons. Quando os elétrons se movimentam por um fio metálico, chamamos a energia cinética dos elétrons de energia elétrica, ou eletricidade.

Os átomos e moléculas que compõem um corpo estão em constante movimento. Mesmo em um sólido existem movimentos de rotação e vibração, que são energia cinética. A energia cinética de um corpo se manifesta pela temperatura. Quanto maior a energia cinética, maior a temperatura. Quando aquecemos um pedaço de metal, como o chumbo, por exemplo, estamos aumentando a energia cinética de vibração e rotação dos átomos de chumbo que compõem o corpo de prova (o pedaço de chumbo). Quando a energia cinética dos átomos de chumbo se torna maior que a energia que mantém os átomos unidos no sólido, o chumbo sólido torna-se líquido. Essa energia cinética corresponde ao ponto de fusão, ou seja, à temperatura na qual o sólido se liquefaz.

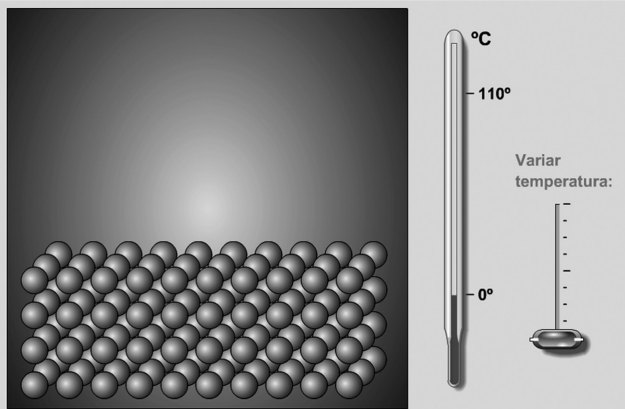
O mesmo pode ser observado quando aquecemos a água. No líquido, além da vibração e rotação, a energia cinética se manifesta também como velocidade de deslocamento das moléculas. Quando aquecemos a água, aumentamos sua energia cinética até o ponto em que essa energia das moléculas vence a energia envolvida nas pontes de hidrogênio, que mantém as moléculas de água próximas umas das outras. Esse é o ponto de ebulição da água.



Fonte: <http://www.sxc.hu/photo/1129874>



Existe um site na internet onde é possível encontrar uma animação interativa que exemplifica a relação entre a energia cinética das moléculas e a temperatura dos objetos. Está em espanhol, mas é fácil de entender. O endereço é <http://concurso.cnice.mec.es/cnice2005/93_iniciacion_interactiva_materia/curso/materiales/estados/estados1.htm>



Fonte: http://concurso.cnice.mec.es/cnice2005/93_iniciacion_interactiva_materia/curso/materiales/estados/solido.htm

É importante perceber que a velocidade com que uma molécula se movimenta nada tem a ver com a velocidade que observamos no mundo macroscópico. No ar, por exemplo, uma molécula de N_2 se movimenta a cerca de 600 m/s ou 210 km/h, mas os ventos dificilmente passam de 40 km/h. O motivo é que o movimento de cada molécula é aleatório e muda constantemente de direção devido aos choques com outras moléculas. Em uma lufada de vento, ou no curso de um rio, por exemplo, o conjunto de todas as moléculas se desloca, a certa velocidade, em uma determinada direção, mas cada molécula individualmente se movimenta, para qualquer lado, a mais de 200 km/h, inclusive para o lado oposto ao do vento, ou mesmo rio acima.

ATIVIDADE



Atende ao Objetivo 1

1. A bola oficial da Copa do Mundo de 2010, Jabulani, pesa 433 g. Com um chute bem dado em uma cobrança de falta, um jogador profissional pode fazer uma bola chegar a 120 km/h. Imagine que um jogador acerte o chute numa cobrança de falta. Qual seria a energia cinética da bola? E qual seria a chance de o goleiro pegá-la?



Michal Zacharzewski

Fonte: <http://www.sxc.hu/photo/1155826>

RESPOSTA COMENTADA

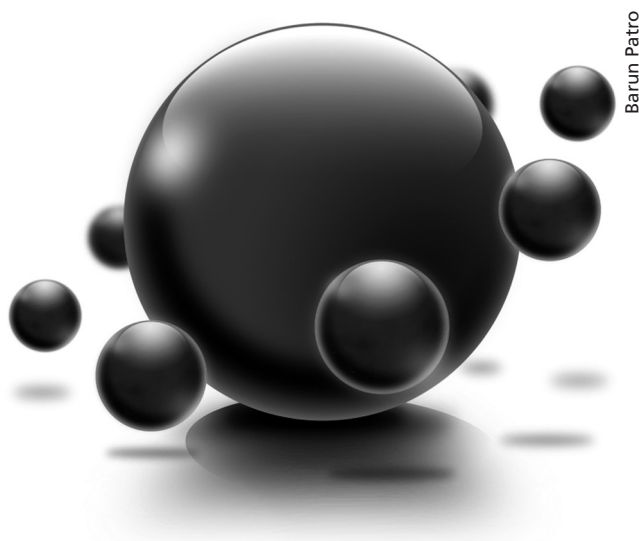
A energia cinética é $E_c = 1/2(m \cdot v^2)$. A massa tem que ser dada em quilogramas e a velocidade em m/s. Então:

$$E_c = [0,433 \text{ kg} \times (33,33 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1})^2] / 2 = (0,433 \text{ kg} \times 1111 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}) / 2 = 240,5 \text{ Kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \text{ ou } E_c = 240,5 \text{ J.}$$

Avaliar a chance de o goleiro pegar a bola é mais complicado. Precisamos combinar o aproveitamento do jogador na cobrança de faltas com o desempenho do goleiro em cobranças de faltas. Mas os dados disponíveis, do último campeonato, talvez não sejam mais válidos para o jogo atual: o goleiro pode ter melhorado e o jogador também. Além disso, a posição do sol pode influenciar o desempenho de ambos. Por isso se diz que o futebol é uma "caixinha de surpresas". Melhor continuar na Química, que é mais, digamos assim, exata.

Energia potencial

A energia potencial (E_p) é a energia armazenada que tem “potencial” de ser liberada. Ela surge quando há a ação de uma força sobre um corpo. A força mais famosa atuando sobre os objetos é a força da gravidade, que atrai todos os corpos para o centro da Terra. Embora não saibamos exatamente a natureza da força da gravidade, sabemos que essa força atrai os corpos para o chão com uma aceleração constante no vácuo de $g = 9,8 \text{ ms}^{-2}$. Isso significa que um corpo caindo no vácuo, sem atrito com o ar, aumenta sua velocidade em $9,8 \text{ m/s}$ a cada segundo. Esse valor varia um pouco conforme a localização do objeto no planeta.



Fonte: <http://www.sxc.hu/photo/1000068>

A energia potencial devida à força da gravidade pode ser expressa como:

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

onde:

E_p – Energia potencial em Joule (J);

m – massa de um objeto em quilograma (Kg);

g – constante gravitacional dada em metros por segundo ($9,8 \text{ m/s}^2$);

h – distância relativa do objeto em metros (m).

A distância relativa do objeto é a distância que o corpo pode percorrer durante a queda até encontrar um obstáculo intransponível. Como a força da gravidade depende da massa do objeto, ela tem efeito considerável sobre objetos macroscópicos, mas tem efeito muito pequeno no mundo microscópico, pois a massa de um átomo ou molécula isolada é muito pequena.

Outra forma menos óbvia de energia potencial é a atração de cargas carregadas eletricamente, a atração eletrostática. Cargas que se atraem, ou mesmo que se repelem, mantidas a certa distância umas das outras, encerram uma quantidade de energia devido à ação da força eletrostática sobre elas, em função da distância entre as cargas.

A energia potencial, devido à força eletrostática, pode ser quantificada como:

$$E_p = (kQ_1Q_2)/d$$

onde:

E_p – Energia potencial em Joule (J);

K – constante de proporcionalidade ($8,99 \times 10^9 \text{ J}\cdot\text{m}\cdot\text{C}^{-2}$);

Q_1 e Q_2 – cargas dos objetos em Coulomb (C);

d – distância entre as duas cargas em metros (m).

As cargas Q , no caso dos elétrons ou prótons, valem $1,60 \times 10^{-19}$ C. Note que no caso da energia potencial, devido à força eletrostática, não importa a massa do objeto, mas sim as cargas elétricas. Também não importa a velocidade, pois os objetos são mantidos a certa distância fixa um do outro. A distância entre os objetos, por outro lado, assume papel relevante na avaliação da energia potencial devido à força eletrostática. Como o termo “ d ” aparece no denominador, temos que: quanto maior a distância, menor a energia potencial; e quanto menor a distância, maior a energia potencial.

No mundo microscópico, a energia potencial, devido à força eletrostática, é muito mais importante que a gravitacional. Isso ocorre devido à massa de uma partícula individual (átomo ou molécula) ser muito pequena, o que reduz a importância da força gravitacional. Por outro lado, a distância entre dois átomos em uma molécula, ou entre o núcleo de um átomo e seus elétrons é absurdamente pequena, o que aumenta a importância da força eletrostática.

É a energia potencial, devido à força eletrostática, que encerra a energia química; a energia que pode ser liberada em uma reação química, como a combustão, por exemplo.

Também a energia das bombas atômicas, ou usinas nucleares, é energia potencial, devido à ação da força eletrostática sobre os prótons do núcleo do átomo. A energia nuclear é tão gigantesca porque a distância entre dois prótons no núcleo de um átomo é quase zero, muito menor que a distância entre dois átomos em uma ligação química.



ATIVIDADE

Atende ao Objetivo 2

2. Qual a energia potencial do sistema núcleo-elétron no átomo de hidrogênio?

RESPOSTA COMENTADA

No núcleo do átomo de hidrogênio existe apenas um próton. A carga do próton é a mesma do elétron, porém, com sinal trocado. A distância do elétron para o núcleo no hidrogênio vale $d = 5,2917 \times 10^{-11} \text{ m}$ (essa distância é tabelada).

$$E_p = (kQ_1Q_2)/d$$

$$E_p = (8,99 \times 10^9 \text{ J}\cdot\text{m}\cdot\text{C}^{-2} \times 1,60 \times 10^{-19} \text{ C} \times -1,60 \times 10^{-19} \text{ C})/5,2917 \times 10^{-11} \text{ m}$$

$$E_p = - 4,35 \times 10^{-18} \text{ J}$$

Parece pouco, mas é para apenas um átomo de hidrogênio. 1 g de gás hidrogênio possui $3,01 \times 10^{23}$ átomos, que daria uma energia potencial de 1.313.443 J ou 1.313,4 kJ. O sinal negativo indica apenas que é uma força de atração. Mas há um problema: esse cálculo oferece um resultado parcial, pois pressupõe que tanto o núcleo quanto os elétrons são partículas, e estão parados. Na verdade, sabemos do comportamento ondulatório de ambos.

CONSERVAÇÃO DA ENERGIA

Energia não pode ser criada nem destruída, apenas convertida. Podemos converter energia cinética em potencial, ou energia potencial em cinética, mas não *criamos* energia.

Observe o caso do etanol, celebrado como o mais provável substituto do petróleo como fonte de energia para as atividades humanas. Podemos usar o etanol como combustível em um carro. A energia potencial encerrada nas ligações químicas da molécula de etanol pode ser liberada na combustão e convertida à energia cinética, que movimenta o veículo. O etanol, por sua vez, surge como excremento de leveduras que consomem açúcar, aproveitando parte da energia potencial do açúcar para suas funções vitais. O açúcar é produzido pela planta cana-de-açúcar (além da cana, todas as frutas também produzem açúcar), que transforma a energia cinética da radiação eletromagnética (luz) do sol em energia potencial nas ligações químicas do açúcar. A energia luminosa do sol surge a partir da energia potencial dos átomos de hidrogênio liberada na reação de fusão nuclear que ocorre no sol, convertendo dois átomos de hidrogênio em um átomo de hélio. Já a energia potencial do hidrogênio...

Segundo pesquisadores da área de cosmologia, há bilhões de anos houve uma grande explosão (conhecida como *big bang*), na qual uma grande quantidade de energia, na verdade toda a energia do universo, que estava concentrada em um único ponto, explodiu. Essa explosão teria dado origem a toda a energia disponível no universo até hoje e aos elementos que conhecemos e que compõem todas as coisas.

Em suma, o princípio da conservação de energia prevê que existe certa quantidade de energia por aí, no universo, e que essa energia não pode ser destruída ou diminuída, nem tampouco pode ser criada ou aumentada. Apenas podemos converter a energia de uma de suas formas para outra, inclusive sólida! Isso mesmo, energia pode ser convertida em matéria, e vice-versa. A relação fundamental na interconversão de matéria e energia é a famosa equação:

$$E = m \cdot c^2$$

onde:

E – Energia em Joules (J);

m – massa em quilograma (Kg);

c – velocidade da luz no vácuo (3×10^8 m/s).



Se você quiser ler mais sobre a conversão de energia em matéria e vice-versa, pode acessar o documento denominado "Pode energia virar matéria? Sim!!!" Acesse o site: <http://www.qmc.ufsc.br/qmcweb/docs/materia.doc>. Vale a pena conferir!

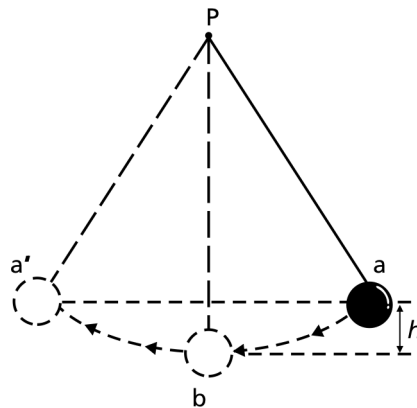


Figura 10.1: Representação de um pêndulo.

O pêndulo da Figura 10.1 move-se do ponto (a) para o ponto (a'), passando pelo ponto (b). Quando chega ao ponto (a'), o pêndulo para por um instante e retorna ao ponto (a), e assim sucessivamente. Tanto no ponto (a) quanto no ponto (a'), a energia cinética do pêndulo é zero, pois a velocidade é zero. Indo do ponto (a) até o ponto (b) o pêndulo está sendo acelerado pela força da gravidade, pois nesse percurso está caindo de uma altura h . Ao passar pelo ponto (b), o pêndulo começa a subir contra a força da gravidade e perde aceleração até parar no ponto (a') e recomeçar o movimento. No instante exato em que está passando pelo ponto (b) a velocidade do pêndulo é máxima, e máxima será sua energia cinética. O valor para este máximo depende da massa do pêndulo e do tempo que levou para ir de (a) até (b).

Por outro lado, o ponto (b) está posicionado a uma distância h abaixo dos pontos (a) e (a'). O ponto b é o ponto mais baixo, mais próximo ao centro da Terra, por onde o pêndulo passa, enquanto os pontos (a) e (a') estão à máxima altitude para o pêndulo em questão. Como a energia potencial varia com a expressão $E_p = m \cdot g \cdot h$, a energia potencial do pêndulo será máxima em (a) e (a'), pois, nesses dois pontos, h é máximo. No ponto (b) a altura h vale zero, pois esse é o ponto mais

baixo possível para o pêndulo, de modo que a energia potencial também valerá zero. Em um pêndulo ideal, para o qual não haja transferência de energia para o ar ou para o ponto (P), o movimento do pêndulo seria eterno, e sua energia total $E_t = E_c + E_p$ teria um valor constante, pois quando E_c aumenta, E_p diminui, e vice-versa.

A conservação da energia é a *Lei Zero da Termodinâmica*.

ATIVIDADE



Atende ao Objetivo 3

3. Em última análise, toda a energia disponível na Terra veio do Sol. Demonstre que as cafeteiras elétricas comuns em escritórios são movidas a energia solar. Se achar necessário, pesquise artigos que descrevam como a eletricidade é produzida no Brasil.

RESPOSTA COMENTADA

A cafeteira é acionada por eletricidade, a energia cinética dos elétrons é transferida para a água pela resistência (o "rabo-quente"), as moléculas da água ganham energia cinética e aumentam sua temperatura. A energia cinética dos elétrons veio da energia cinética de uma queda d'água, o movimento da água em queda gira um eixo que faz um ímã se movimentar dentro de uma bobina, provocando o movimento dos elétrons. A energia cinética da água veio pela conversão de sua energia potencial, devido ao fato de a água estar em um lugar alto. A água chegou até esse lugar alto como chuva. A chuva foi formada pela água evaporada, principalmente, do oceano. Para evaporar do oceano, a água ganhou energia cinética da luz do Sol.

TRABALHO

Percebemos a energia não por ela mesma, mas pelas suas manifestações – trabalho e calor –, que são processos de conversão ou transferência de energia.

Por definição, trabalho (w , do inglês *work*) é o movimento, ou deslocamento, exercido contra uma força. Quando erguemos uma pedra, realizamos trabalho, pois deslocamos a pedra contra a força da gravidade. A queima de combustível em um motor a explosão realiza trabalho, pois a expansão dos gases na combustão move o pistão contra as forças de inércia e atrito que tendem a manter o pistão no lugar.

Realizar trabalho não consome energia, mas converte energia. No caso da pedra, o trabalho aumentou sua energia potencial, já no caso do pistão o trabalho realiza o processo de transformação da energia potencial do combustível em energia cinética do veículo.

Voltando à pedra que levantamos no parágrafo anterior, nós realizamos trabalho sobre a pedra, enquanto a pedra sofreu trabalho. Para realizar o trabalho sobre a pedra, convertemos a energia potencial do alimento que comemos em energia cinética dos músculos. Até aqui, zero a zero, já entendemos essa parte.

Apresentamos, agora, um novo conceito: a energia interna (U). Todas as coisas são dotadas de certa quantidade de energia, a energia interna. Não sabemos calcular exatamente quanto de energia interna um corpo possui, mas sabemos calcular a variação da energia interna. No caso da pedra, sua energia interna foi acrescida de uma certa quantidade de energia potencial. Não sabemos o total de energia interna que a pedra continha antes de ser levantada, nem sabemos o total de energia interna que a pedra contém depois de ser levantada, mas sabemos que essa energia variou em certa quantidade, que corresponde ao trabalho sofrido pela pedra. Usando o símbolo Δ para indicar variação, podemos dizer que, para a pedra, $\Delta U = w$.

A unidade de medida do trabalho é Joule e, nesse caso, podemos calcular o trabalho como sendo: $w = m.g.h$; pois o trabalho sofrido pela pedra corresponde à energia potencial que ela ganhou.

A pessoa que levantou a pedra realizou trabalho. Como de praxe, não sabemos o total de energia interna dessa pessoa, nem antes e nem depois de ela levantar a pedra. Mas sabemos que o ato de levantar a pedra

reduziu a energia interna da pessoa da exata quantidade de trabalho que foi realizado no ato de levantar a pedra, logo, para a pessoa, $\Delta U = -w$.

Em termodinâmica, costumamos chamar de “sistema” uma porção do universo separada para estudo. No exemplo anterior, podemos definir a pedra como sendo o sistema. Nesse caso, nosso sistema sofreu trabalho w e sua energia interna foi aumentada. Sempre que um sistema sofre trabalho, o valor do trabalho é positivo na expressão: $\Delta U = w$. Isso indica que a energia interna do sistema foi acrescida de certa quantidade.

A pessoa que realizou o trabalho também é um sistema, e nesse caso, dizemos que o sistema realizou trabalho e que $\Delta U = -w$. Sempre que o sistema realiza trabalho, o valor do trabalho é negativo. Isso indica que a energia interna do sistema foi diminuída de certa quantidade.

Só para tornar a coisa mais divertida, imagine que o “sistema” seja agora a pessoa mais a pedra, nesse caso a variação da energia interna do sistema é zero, $\Delta U = 0$, pois o trabalho realizado pela pessoa foi sofrido pela pedra, mas não saiu do sistema, pois o sistema agora engloba tanto a pedra quanto a pessoa. Sacou?

Um “sistema” é uma porção do universo separada para estudo. Tudo o que não é o sistema é chamado de vizinhança do sistema, de tal forma que: sistema + vizinhança = universo.

Existem três tipos diferentes de sistemas: aberto, fechado ou isolado. Um sistema aberto pode trocar (receber ou dar) calor e matéria com a vizinhança. Uma panela com água é um exemplo de sistema aberto. A partir da vizinhança (no caso, o fogão), podemos fornecer calor para o sistema “panela com água”, a água vai ferver e sair do sistema para a vizinhança (o ar em volta), na forma de vapor.



Sam Kreuzer

Fonte: <http://www.sxc.hu/photo/344130>

Um sistema fechado pode trocar calor com a vizinhança, mas não pode trocar matéria. Uma garrafa de refrigerante tampada é um exemplo de sistema fechado. Uma vez na geladeira, o sistema “garrafa de refrigerante” vai ceder calor para a vizinhança, sua temperatura vai ficar mais baixa, mas a quantidade de refrigerante não será alterada, pelo menos até você abrir a garrafa.



Marcelo Moura

Fonte: <http://www.sxc.hu/photo/484271>

Um sistema isolado é um sistema que não pode trocar nem calor nem matéria com a vizinhança. Esse sistema não existe na prática, é apenas uma idealização. O mais próximo que chegamos de um sistema isolado é uma garrafa térmica, que mantém a temperatura do seu conteúdo por mais tempo. Em laboratório, conseguimos fazer “garrafas térmicas” bem melhores que as de café que temos em casa, mas sempre há alguma troca de calor.



ATIVIDADE

Atende ao Objetivo 4

4. Imagine que o sistema pedra, discutido anteriormente, pese 500 g e que foi levantado do chão para uma altura de 82 cm. Responda:
- Qual o trabalho realizado pela pessoa?
 - Qual o trabalho sofrido pela pedra?
 - Qual a variação da energia interna do sistema pedra?
 - Qual a variação da energia interna do sistema pessoa?

RESPOSTA COMENTADA

a) O trabalho envolvido neste processo corresponde à energia potencial que a pedra ganhou: $w = E_p = m \cdot g \cdot h = 0,5 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \times 0,82 \text{ m} = 4,0 \text{ J}$

Assim, o trabalho realizado pela pessoa é $w = 4,0 \text{ J}$

b) O trabalho sofrido pela pedra é $w = 4,0 \text{ J}$

c) O sistema pedra sofreu trabalho, o valor do trabalho é positivo na expressão: $\Delta U = w$. Então, a variação da energia interna do sistema pedra $\Delta U = w = 4,0 \text{ J}$.

d) A pessoa que realizou o trabalho é um sistema e, nesse caso, dizemos que o sistema realizou trabalho, e que $\Delta U = -w$. A variação da energia interna do sistema pessoa é $\Delta U = -w = -4,0 \text{ J}$.

Nas reações químicas, é muito comum existir a realização de trabalho pela expansão do sistema. Imagine uma reação que produza algum gás. Esse gás vai fazer com que o sistema se expanda contra uma força externa, que é, na maioria das vezes, a pressão atmosférica. Esse caso é muito recorrente, e é chamado de trabalho de expansão contra pressão constante, que pode ser representado por:

$$w = P \cdot \Delta V$$

onde:

w – trabalho de expansão contra pressão constante em atmosfera por litro (atm·L);

P – pressão em atmosfera (atm);

ΔV – variação de volume em litros (L).

Quando P for dada em atm e o volume em litros, o resultado será o trabalho w em unidades de atm·L. Para converter o trabalho de atm·L para Joules, multiplicamos pelo fator $101,325 \text{ J} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{atm}^{-1}$.

ATIVIDADE



Atende ao Objetivo 4

5. Uma reação química ocorreu dentro de uma seringa de 100 mL. Observou-se que o êmbolo da seringa deslocou-se da marca de 20 para 80 mL. Qual o trabalho realizado pela reação? Desconsidere o atrito do êmbolo com a seringa.



Tijmen van dobbenburgh

Fonte: <http://www.sxc.hu/photo/468493>

RESPOSTA COMENTADA

Começamos com $w = P \cdot \Delta V$. Porém, alguns detalhes devem ser observados: o enunciado do problema não diz a pressão, e sempre que a pressão ou a temperatura são omitidas, devemos considerar as "Condições Normais de Temperatura e Pressão". Nesse caso, 1 atm. Outro detalhe é que o volume é dado em mL. Precisamos do volume em litros para podermos usar nosso fator de conversão de atm·L para J.

Então, temos:

$$w = P \cdot \Delta V = 1 \text{ atm} \times (0,08 \text{ L} - 0,02 \text{ L}) = 1 \text{ atm} \times 0,06 \text{ L}$$

$$w = 0,06 \text{ atm} \cdot \text{L};$$

Para converter em Joules, usamos o fator $101,325 \text{ J} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{atm}^{-1}$

$$w = 0,06 \text{ atm} \cdot \text{L} \times 101,325 \text{ J} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{atm}^{-1}$$

$$w = 6,0795 \text{ J}.$$

Lembrando que o sistema realizou trabalho ao empurrar o êmbolo, temos então que $w = -6,08 \text{ J}$.

CALOR

Calor é a transferência de energia de um corpo mais quente para um corpo mais frio. Chamamos esse calor de q , não me pergunte por quê.

A compreensão do significado exato de calor exige atenção. No nosso dia a dia usamos a palavra calor com um significado diferente daquele usado em termodinâmica. Quando dizemos: "Hoje está fazendo calor", na verdade, queremos dizer que "hoje a temperatura está alta". Na linguagem coloquial, calor e temperatura se confundem. Em ciência, temperatura é uma medida da energia cinética das moléculas de um corpo, e calor é o processo de transferência da energia cinética das moléculas de um corpo que se encontra em temperatura mais elevada para outro em temperatura menor.

Por definição, calor é a transferência de energia cinética de um corpo com maior temperatura para outro com temperatura menor. Nosso corpo é climatizado a 36°C , nosso sistema biológico mantém essa temperatura a todo custo. Se a temperatura ambiente for menor que 36°C , e é assim a maior parte do ano, somos nós que estamos "fazendo calor", pois o calor flui do nosso corpo para o ambiente.

Nos primórdios do estudo do calor, usava-se a unidade caloria, cal, ainda muito usada por nutricionistas. Uma caloria foi definida como sendo a quantidade de energia necessária para aumentar a temperatura de 1 g de água em 1°C , mais precisamente, de $14,5^{\circ}\text{C}$ para $15,5^{\circ}\text{C}$. É que a quantidade de energia necessária nesse processo varia em função da temperatura. Quanto maior a temperatura, mais calor é necessário para aumentar a temperatura em 1°C . E tem que ser para a água, pois outras substâncias vão precisar de quantidades diferentes de calor para mudar a sua temperatura de $14,5^{\circ}\text{C}$ para $15,5^{\circ}\text{C}$. A unidade moderna de medida de calor é o Joule, e $1 \text{ cal} = 4,184 \text{ J}$.

Vamos imaginar um processo de transferência de calor. Para tal, vamos utilizar um sistema que seja um copo com água e outro sistema que seja um cubo de gelo dentro de um saquinho. É importante que o cubo de gelo esteja dentro do saquinho, caso contrário, quando derreter, a água do gelo vai misturar com a água do copo e bagunçar nosso expe-

rimento. O gelo dentro do saquinho é um sistema fechado, pois não pode trocar matéria com a vizinhança, só calor. Pois bem, todo mundo sabe o que vai acontecer quando o sistema “gelo no saquinho” for colocado em contato com o sistema “copo de água”, não é mesmo? A única diferença é que, normalmente, a gente diria que o gelo esfriou a água, porém, o rigor termodinâmico nos obriga a dizer que a água esquentou o gelo. É que definimos calor como sendo a transferência de energia do corpo com temperatura mais elevada para o corpo de menor temperatura. De fato, as moléculas de água no copo possuem maior energia cinética que as moléculas de água no gelo, então a energia flui da água para o gelo. Como perdeu energia cinética na forma de calor, a energia cinética das moléculas de água no sistema copo de água foi diminuída, diminuindo, assim, sua temperatura. O contrário aconteceu com o sistema gelo no saquinho, que ganhou energia cinética na forma de calor e aumentou sua temperatura.



Fonte: <http://www.sxc.hu/photo/821543>

Já estamos conformados em não saber exatamente a energia interna total de um sistema, mas sabemos que o sistema copo de água teve sua energia interna diminuída da exata medida do calor cedido para o sistema gelo no saquinho, logo: $\Delta U = -q$.

Por outro lado, o sistema “gelo no saquinho” teve sua energia interna aumentada na exata medida do calor recebido, e $\Delta U = q$. Sempre que um sistema perde calor, q é negativo, e sempre que um sistema ganha calor, q é positivo. Podemos calcular o calor envolvido nesse processo pela expressão:

$$q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

onde:

m – massa do sistema em quilograma (kg);

c – a capacidade calorífica do sistema; para a água, $c = 4,184 \text{ J}\cdot\text{°C}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$;

ΔT – variação na temperatura do sistema em °C .

Em termodinâmica, gostamos muito de usar a escala Kelvin (K) de temperatura, sendo que $\text{K} = \text{°C} + 273,15$. Por outro lado, a quantidade de matéria pode ser dada em mol. Se esse fosse o caso, teríamos $q = n \cdot c \cdot \Delta T$, onde n seria o número de moles de água e $c = 75 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$. ΔT continua sendo a variação da temperatura, só que medida em Kelvin (note que não se fala grau Kelvin, apenas Kelvin).

ATIVIDADE



Atende ao Objetivo 5

6. Durante um banho de chuveiro, uma pessoa gasta cerca de 100 L de água. Supondo que o chuveiro aqueça a água de 20°C para 27°C , calcule:

- a) a quantidade de energia usada para aquecer a água do banho (considere a densidade da água como sendo 1 g/mL);
- b) a que altura a pedra da Atividade 4 poderia ser alçada se a mesma energia usada para aquecer a água fosse usada para realizar trabalho.



Fonte: <http://www.sxc.hu/photo/825093>

RESPOSTA COMENTADA

a) A energia foi utilizada na forma de calor $q = mc\Delta T$. A massa de água gasta no banho pode ser encontrada a partir da densidade da água, aproximadamente 1 g/mL.

Seguindo a transformação, 100 L são 100.000 mL, que equivalem a 100.000 g ou 100 kg.

A variação de temperatura foi de 7°C (27°C – 20°C), então:

$$q = 100 \text{ kg} \times 4,184 \text{ J}\cdot\text{°C}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1} \times 7\text{°C} = 2928,8 \text{ J ou } 2,9 \text{ KJ.}$$

b) A pedra pesava 0,5 Kg, g vale $9,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ e $w = m\cdot g\cdot h$, só que, agora, sabemos w , que foi emprestado do item (a), e queremos saber a altura. Então: $h = w \div m\cdot g$. Substituindo os valores temos:

$$h = 2928,8 \text{ Kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-2} \div (0,5 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2)$$

$$h = 597,7 \text{ m.}$$

É mais ou menos como fazer a pedra subir o corcovado.

INTERCONVERSÃO DE CALOR E TRABALHO

Pela maneira como os tópicos foram apresentados, está claro que calor e trabalho são manifestações da mesma coisa, energia. Mas isso nem sempre foi assim. Houve uma época em que as pessoas acreditavam que calor era um fluido, chamado de calórico, que fazia parte das coisas.

A teoria do calórico tem uma lógica interessante. Quando você queima um pedaço de madeira, a madeira libera calor e, ao final do processo, sobram apenas as cinzas. As cinzas que sobram são muito mais leves que a madeira que queimou. Logo, a madeira, uma matéria rica em calórico, quando libera o calórico diminui sua massa, pois a maior parte da massa da madeira é feita de calórico.

Por outro lado, quando um pedaço de ferro é aquecido, sua massa aumenta, porque, segundo a teoria do calórico, ganhou calórico. O problema é que os pesquisadores daquela época não se preocupavam com os gases! Eles não mediam a quantidade de gás que saía ou entrava no sistema. O ferro aumenta sua massa ao ser aquecido, pois reage mais facilmente com o oxigênio do ar, formando óxido de ferro e aumentando a massa. A massa da madeira diminui, pois todo o seu carbono foi perdido na forma de CO_2 .

Hoje, há um consenso de que calor e trabalho são formas de energia, mas por volta dos anos 1700 não era assim. Todo mundo naquela época aceitava que trabalho era energia, mas calor não, calor era um fluido. A teoria do calórico foi contestada por muita gente da época, inclusive Lavoisier, considerado o pai da Química moderna por seu rigor quantitativo de pesar tudo, inclusive os gases. Mas o experimento mais famoso para demonstrar a possibilidade de conversão de trabalho em calor coube a Joule, aquele do começo da aula. Seu aparato está mostrado na Figura 10.2.

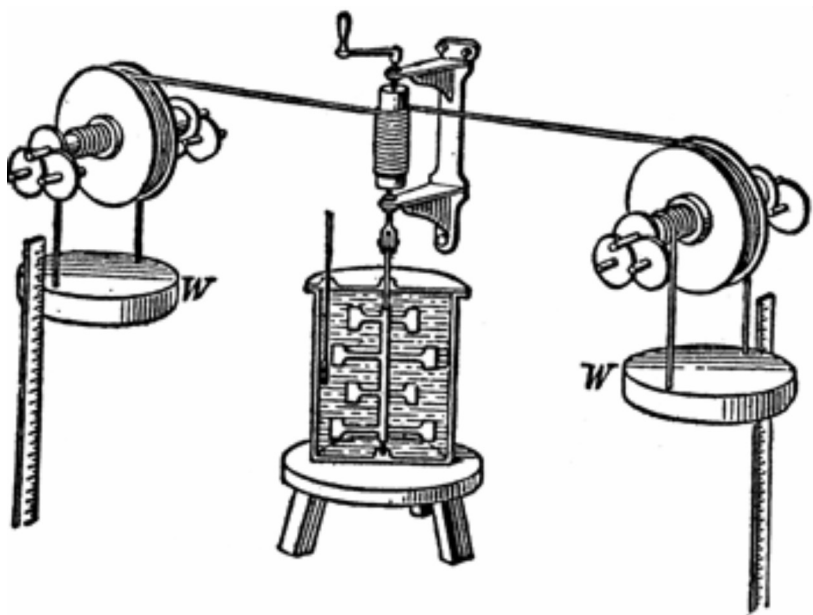


Figura 10.2: Arranjo experimental de James Prescott Joule.

O experimento é bem simples, dois pesos caindo livremente fazem girar um eixo que move algumas pás dentro de um copo com água e um termômetro. O trabalho realizado pelas pás na água faz aumentar sua temperatura. Pronto, trabalho foi convertido em calor.

Finalmente, chegamos aonde queríamos, a variação da energia interna de um sistema é dada pela quantidade de trabalho realizado ou sofrido pelo sistema mais a quantidade de calor que foi ganho ou perdido pelo sistema:

$$\Delta U = q + w.$$

onde:

ΔU – variação de energia interna em Joules (J);

q – quantidade de calor em J;

w – trabalho em J.

Essa é a *Primeira Lei da Termodinâmica*. Sendo que, sempre que o sistema realiza trabalho, w é negativo; e quando o sistema sofre trabalho, w é positivo. Quando o sistema ganha calor, q é positivo; e sempre que o sistema perde calor, q é negativo.

ATIVIDADE



Atende ao Objetivo 6

7. Um sistema recebeu 20 kJ de calor e realizou 700 J de trabalho. Qual a variação da energia interna do sistema?

RESPOSTA COMENTADA

A relação fundamental é a Primeira Lei da Termodinâmica: $\Delta U = q + w$. No caso, o sistema recebeu calor, então o sinal do calor é positivo na equação. Por outro lado, o sistema realizou trabalho, então o sinal de w é negativo na equação. Atenção às unidades, o calor está em kJ e o trabalho em J, é necessário converter um dos dois, vamos converter o trabalho para 0,7 kJ. Agora, temos:

$\Delta U = 20 \text{ kJ} - 0,7 \text{ kJ} = 19,3 \text{ kJ}$. A energia interna do sistema foi acrescida em 19,3 kJ.

CONCLUSÃO

O princípio básico da termodinâmica, também chamado de Lei Zero, é a conservação de energia: o universo conserva certa quantidade de energia desde o começo dos tempos. A energia total disponível no universo não pode ser criada nem destruída, pode apenas ser convertida de um para outro dos seus dois tipos: cinética ou potencial, ou ainda em matéria. A Primeira Lei da Termodinâmica estabelece que calor e trabalho são formas de manifestação da energia, de tal sorte que $\Delta U = q + w$. Assim como as energias cinética e potencial, calor e trabalho também são interconvertíveis.

ATIVIDADE FINAL

Atende ao Objetivo 3

Proponha uma maneira para converter calor em trabalho e outra para converter energia cinética em calor.

RESPOSTA COMENTADA

Existem várias respostas corretas possíveis, aqui vai apenas uma delas. Se você escreveu algo diferente, consulte o monitor da disciplina.

Converter calor em trabalho é o que se faz em usinas termoelétricas. O calor gerado pela queima de algum combustível (carvão, gás, diesel, lenha, etc.) aquece a água num recipiente fechado; a água ferve e se transforma em vapor sob pressão; a pressão do vapor pode ser usada para empurrar um êmbolo ou girar uma turbina. Pronto, calor virou trabalho.

Para converter energia cinética em calor, podemos nos aproveitar do atrito. Vire a sua bicicleta de ponta-cabeça e faça a roda girar no ar. A roda girando é energia cinética. Agora, encoste alguma coisa na roda e observe que a temperatura dessa coisa aumentou. Se você sente um objeto como quente, é porque esse objeto está irradiando calor.

RESUMO

A energia total (E_t) pode ser classificada em dois tipos: cinética (E_c) e potencial (E_p). De sorte que $E_t = E_c + E_p$.

A energia cinética é aquela relacionada com o movimento, seja o movimento macroscópico dos objetos ou os movimentos de rotação e vibração dos átomos e moléculas. A energia cinética pode ser calculada como $E_c = (mv^2)/2$.

A energia potencial é função das posições relativas dos objetos em um campo de força. As principais formas de energia potencial referem-se às posições dos objetos sob ação da gravidade ou sob ação de forças eletrostáticas, podendo ser calculadas como $E_p = m \cdot g \cdot h$ ou $E_p = (kQ_1Q_2)/d$. Para os objetos macroscópicos (os que podemos ver) a energia potencial gravitacional é mais relevante que a E_p eletrostática. Já para os átomos e moléculas, a energia potencial eletrostática é mais relevante que a gravitacional.

A quantidade total de energia disponível no universo é a mesma desde o começo e, acredita-se, será a mesma até o fim dos tempos. Não podemos criar ou destruir energia, apenas podemos transformá-la de cinética em potencial e vice-versa. Também deve entrar nessa conta a possibilidade de transformar energia em matéria e vice-versa.

Calor e trabalho são as duas formas de manifestação de energia, seja ela cinética ou potencial.

Calor (q) é a transferência de energia de um corpo de temperatura mais elevada para outro em menor temperatura, sendo $q = m \cdot c \cdot \Delta T$.

Trabalho (w) é definido como sendo um movimento realizado contra uma força externa. No caso de um deslocamento contra a força da gravidade, o trabalho pode ser calculado da mesma maneira que a E_p gravitacional. Um tipo de trabalho muito comum em química é o de expansão contra pressão constante, como no caso de reações químicas que liberam gases. O trabalho relativo à expansão contra pressão constante pode ser calculado como $w = P \cdot \Delta V$.

Todas as coisas encerram certa quantidade de energia, denominada energia interna (U). Não podemos calcular o valor de U , mas podemos calcular a variação de energia interna num sistema como $\Delta U = q + w$.

Por "sistema" entendemos uma porção do universo separada para estudo, um sistema pode ser aberto, fechado ou isolado.

