

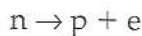
Felizmente foram encontrados outros modos de analisar os movimentos, sem depender da aplicação direta das leis de Newton, os quais apresentaremos ao longo do curso. Neste capítulo vamos analisar um desses modos, baseado na aplicação do *Princípio da Conservação da Energia*. A palavra *conservação* é aqui usada no sentido de “permanecer constante”. Quando os físicos dizem que “alguma coisa” se conserva, eles querem dizer que essa “coisa” permanece constante.

De acordo com esse princípio, há uma grandeza denominada *energia* que se conserva, isto é, o total de energia do Universo é sempre o mesmo. Como iremos ver, na realidade há várias formas de energia, sendo possível que uma forma se transforme em outra, mas o total permanece constante.

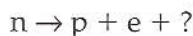
Com o passar do tempo os físicos foram percebendo que o Princípio da Conservação da Energia é muito mais útil do que parecia a princípio.

Ele não nos deu apenas um modo mais fácil de resolver problemas; ele enriqueceu bastante a nossa compreensão do Universo. Muitas vezes através de um simples cálculo de energia sabemos se determinado fenômeno é possível ou não. Além disso, ele se revelou válido mesmo nos casos em que a Mecânica Newtoniana não vale! No século XX, descobriu-se que as leis de Newton não são adequadas para descrever o comportamento do átomo e das partículas elementares (elétron, próton, etc.). Para descrever o comportamento desses objetos foi criada outra mecânica, a *Mecânica Quântica*, da qual falaremos um pouco no volume 3 e da qual você terá algumas noções nas aulas de Química (números quânticos, spin, etc.); no entanto, a experiência mostra que o Princípio da Conservação da Energia continua valendo também no nível atômico!

O Princípio da Conservação da Energia revelou-se útil também na descoberta de novos fatos. Há uma história interessante, envolvendo alguns dos maiores físicos do século XX, que vale a pena ser contada, pois revela um dos caminhos seguidos pelos físicos em suas pesquisas. Por volta de 1930 começou-se a estudar em laboratório um fenômeno chamado *decaimento beta*, que consiste numa desintegração de um nêutron, dando origem a um próton e um elétron:



Como o elétron era conhecido pelo nome de partícula β (a letra grega *beta*), o processo foi chamado “decaimento β ”. Ao fazerem o cálculo das energias, os físicos descobriram que a energia total após a desintegração era menor que a energia antes da desintegração; aparentemente, uma parte da energia havia desaparecido. A experiência foi repetida várias vezes, em vários laboratórios do mundo todo, e o resultado era sempre o mesmo: uma parte da energia desaparecia. Vários físicos famosos chegaram a sugerir que o Princípio da Conservação da Energia poderia não ser válido; talvez em alguns processos a energia não se conservasse. No entanto, a fé no “princípio” fez com que o físico austríaco Wolfgang Pauli, em 1933, lançasse a hipótese de que talvez se produzisse uma terceira partícula, além do próton e do elétron, como resultado da desintegração do nêutron:



Pauli sugeriu que essa terceira partícula seria muito menor que o elétron e , assim, os aparelhos disponíveis na época não seriam suficientemente sensíveis para percebê-la. O físico italiano Enrico Fermi gostou da idéia e batizou a hipotética partícula com o nome de *neutrino* (diminutivo de *nêutron* em italiano), pois, se essa partícula realmente existisse, os dados experimentais indicavam que ela seria neutra, isto é, não teria carga elétrica. Durante mais de vinte anos a dúvida permaneceu. Apenas em 1956, com o uso de reatores nucleares (que não existiam na década de 1930), foi possível demonstrar a existência do neutrino, que transportava a energia aparentemente perdida no decaimento beta. Dessa forma salvou-se o Princípio da Conservação da Energia.



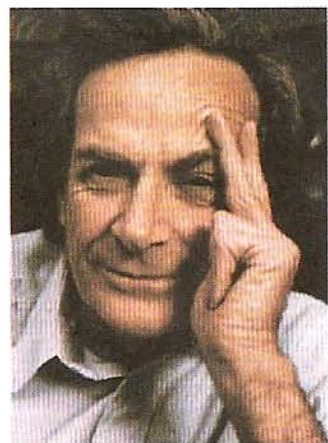
Figura 2. Wolfgang Pauli (1900-1958), físico austríaco, ganhador do prêmio Nobel em 1945 pela descoberta do Princípio da Exclusão.

1. O QUE É ENERGIA

Até hoje ninguém conseguiu dar uma definição satisfatória de energia, porque, como já mencionamos na introdução deste capítulo, há várias formas de energia. Às vezes é possível dar uma definição que serve para alguns casos (como iremos ver mais adiante), mas não serve para todos. Ao longo do curso, você tomará contato com essas várias formas de energia e, em cada caso, aprenderá a calculá-las. O fato de não se ter uma definição geral não aflige os físicos. O importante mesmo é um fato revelado pela *experiência*: o total de energia do Universo é constante; a energia pode se transformar de uma forma em outra, mas, quando calculamos o valor de cada uma delas, o total é sempre o mesmo. A esse respeito vale a pena tomar conhecimento do que escreveu o grande físico norte-americano Richard P. Feynman:

É importante observar que hoje nós não sabemos o que é energia. O que sabemos é que existe uma lei governando todos os fenômenos naturais conhecidos até hoje. Não existe nenhuma exceção conhecida a essa lei, que é conhecida pelo nome de Lei da Conservação da Energia. Ela estabelece que há uma certa quantidade, que nós chamamos *energia*, cujo valor não se altera, nas várias mudanças que ocorrem na natureza. Ela não é a descrição de um mecanismo ou qualquer coisa concreta. É uma lei abstrata porque é um princípio matemático. Ela exprime o fato de que, quando calculamos um certo número (o valor da energia) no início de um processo e no fim do processo, os resultados são iguais.

(R. P. Feynman, R. B. Leighton, M. Sands. *Lectures on Physics*. Massachusetts: Addison-Wesley, 1963. v. 1.)



Reprodução
Figura 3. Richard Feynman (1918-1988), ganhador do prêmio Nobel em 1965 e um dos físicos mais brilhantes do século XX.

Uma definição parcial de energia

Uma definição informal de energia, mas que é adequada para um grande número de fenômenos com que defrontamos no dia-a-dia, é a seguinte:

Consideremos um sistema formado por um ou mais corpos. Diremos que esse sistema possui energia se, de alguma forma, puder movimentar “coisas”, fazer com que as “coisas” funcionem.

Tomemos por exemplo o caso de um automóvel. Para que ele se movimente é necessário que seja abastecido com combustível (gasolina ou álcool, por exemplo). O vapor do combustível é misturado com ar dentro de um cilindro (fig. 4) onde há um pistão móvel. Uma faísca elétrica produzida por um sistema elétrico provoca uma reação química denominada *combustão* que causa uma pequena explosão do gás, que se expande, empurrando o pistão. O movimento do pistão é, então, transmitido às rodas do automóvel, fazendo-o se movimentar.

Analisando esse processo, dizemos que a gasolina possui energia, na forma de *energia química*, a qual está armazenada nas ligações químicas dos átomos da gasolina. Durante a combustão

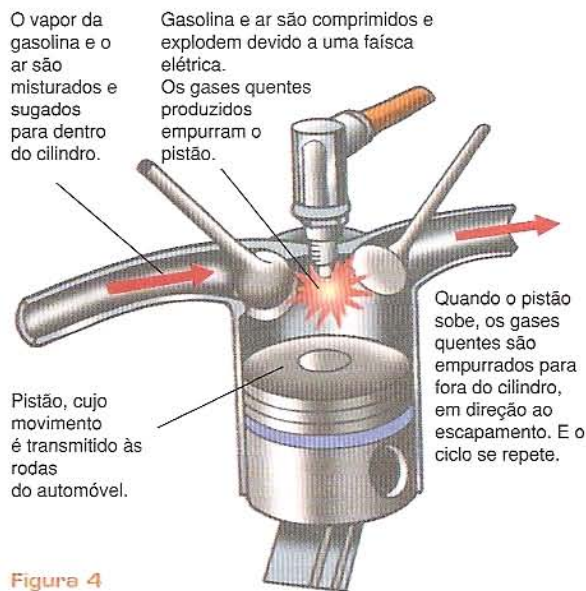


Figura 4

essa energia é liberada, produzindo-se o movimento do automóvel. Por outro lado, se esse automóvel bater em um objeto qualquer, como, por exemplo, uma lata de lixo caída no meio da rua (fig. 5), provocará o movimento da lata. Assim, podemos dizer que o automóvel, pelo simples fato de estar em movimento, possui energia, já que ele é capaz de movimentar objetos ao bater neles; a essa energia de movimento damos o nome de *energia cinética* (do grego *kineticos*, que significa “movimento”). Portanto, houve transformação de energia química em energia cinética. Porém, nem toda a energia química liberada na explosão é transformada em energia cinética. Uma parte serve para movimentar um aparelho chamado *dinamo* (ou alternador), que produz a *energia elétrica* necessária para executar várias tarefas, como, por exemplo, acender os faróis, movimentar os limpadores de pára-brisa, fazer funcionar o rádio e recarregar a bateria. Essa recarga da bateria é necessária pelo motivo a seguir. A bateria também tem energia química. Por meio de reações químicas (que você estudará nas aulas de Química), essa energia química é liberada, transformando-se em energia elétrica. Enquanto o motor não está funcionando, a energia da bateria pode ser usada para acender os faróis, ligar o rádio, etc. No entanto, a principal utilidade da bateria é dar a partida ao motor, isto é, fazer com que o motor comece a funcionar no momento em que giramos a chave. Depois que o motor começa a funcionar, a energia elétrica necessária para as várias tarefas é suprida pelo dinamo, que faz também com que a bateria recupere a energia perdida durante a partida do motor. Temos aqui um exemplo de transformação de energia elétrica (fornecida pelo dinamo) em energia química (armazenada na bateria).

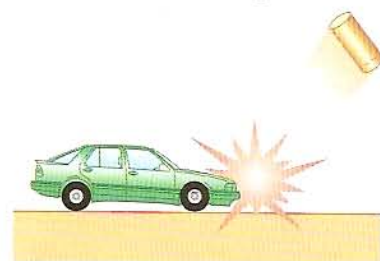


Figura 5

O calor também é energia

Você já deve ter observado que o motor do automóvel se aquece durante o funcionamento. Isso significa que uma outra parte da energia química da gasolina transformou-se em calor. Mas será que o calor também é uma forma de energia? Ele é capaz de mover “coisas”? A resposta é sim. Um primeiro exemplo você conhece das aulas de Geografia: o calor do Sol aquece as águas dos rios e dos oceanos, fazendo com que o vapor de água *suba*, transformando-se em nuvens.



Figura 6

Um outro exemplo simples é o de uma chaleira com água, colocada sobre a chama de um fogão. O calor faz com que a água ferva, produzindo o vapor que pode, por exemplo, movimentar um cata-vento, como ilustra a figura 6; eventualmente, se a tampa não estiver bem fixada, poderá ser empurrada pela força do vapor, caindo da chaleira.

Essa força do vapor é a base de funcionamento das máquinas a vapor, que começaram a ser construídas em 1698 e tiveram grande importância na Revolução Industrial, ocorrida aproximadamente entre 1760 e 1860. Na figura 7, temos uma foto da primeira máquina a vapor realmente eficiente, construída por James Watt em 1769.

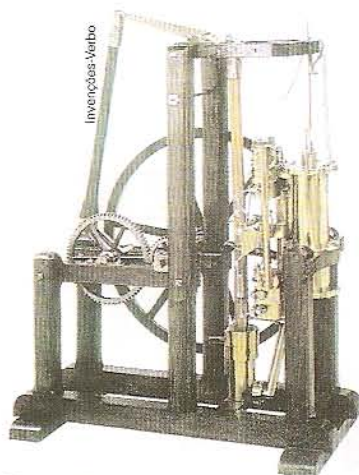


Figura 7



Figura 8. Locomotiva a vapor.

Queimando-se o carvão, obtinha-se o calor necessário para ferver a água contida em uma caldeira. O vapor, então, entrava em um cilindro (semelhante ao do automóvel) produzindo seu movimento, o qual era transmitido a uma roda que, por sua vez, era utilizada para mover “coisas”.

As primeiras máquinas a vapor foram utilizadas para movimentar as bombas que retiravam a água acumulada no fundo das minas mais profundas (a água que brotava do subsolo atrapalhava o trabalho dos mineiros). Com os aperfeiçoamentos introduzidos por James Watt, elas começaram também a ser usadas na indústria, contribuindo bastante para a Revolução Industrial. Logo a seguir começaram a ser usadas também para mover as locomotivas e navios.

Energia potencial

Na figura 9 representamos uma situação em que uma pessoa segura uma pedra a uma certa altura do solo. A pedra está inicialmente em repouso, mas, se a pessoa soltá-la, a força da gravidade (peso) fará com que a pedra ganhe velocidade à medida que cai. Em outras palavras, à medida que cai, a pedra vai ganhando energia cinética que poderá ser usada para movimentar “coisas”, como, por exemplo, fincar a estaca da figura 9 ou movimentar a menina da figura 10. Interpretamos essa situação dizendo que, quando a pedra estava no ponto de altura h , ela possuía *energia potencial gravitacional*. A palavra *potencial* é aqui usada num sentido parecido com o da linguagem cotidiana. Considere, por exemplo, as seguintes frases:

“O jogador Neto, do Esportivo Futebol Clube, ainda não mostrou todo o seu *potencial*. Assim que ele se soltar, seu talento aparecerá”.

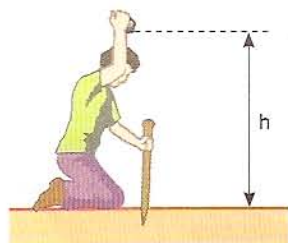


Figura 9



Figura 10

No texto acima, a palavra *potencial* tem o significado de alguma coisa que alguém garante que existe, mas ainda não apareceu: o talento do jogador. Se houver condições, o talento *potencial* se transformará em talento *real*.

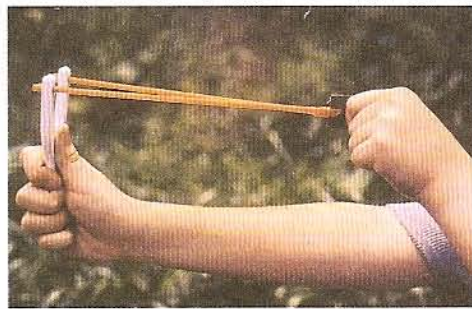
Voltando ao exemplo da pedra, quando ela estava na mão da pessoa, não possuía energia cinética. Mas, soltando-a, essa energia cinética aparecerá, e irá aumentando à medida que a pedra cai. Podemos dizer então que, enquanto estava na mão da pessoa, a pedra tinha *energia potencial* e, à medida que a pedra cai, essa energia potencial vai se transformando em energia cinética.

Uma outra forma de energia potencial é a *energia potencial elástica*, relacionada com uma força do tipo elástico. Quando esticamos um arco (fig. 11a) ou um estilingue (fig. 11b), esses objetos têm energia potencial. Se esses objetos forem soltos, a energia potencial se transformará em energia cinética da flecha ou da pedra do estilingue.



Figura 11

(a)



(b)

Na realidade todas as energias *armazenadas* são potenciais. Por exemplo, a energia química de uma bateria é uma energia potencial armazenada nas ligações químicas dos átomos. Quando são feitas as ligações convenientes, essa energia potencial química se transforma em energia elétrica.

A energia potencial gravitacional já era usada há pelo menos 2 000 anos, para fazer funcionar os moinhos (aparelhos que moem os grãos, produzindo farinha).

Na figura 12 vemos a ilustração de um moinho usado pelos gregos no século I a.C. acionado pela energia potencial da água. À medida que a água cai, sua energia potencial vai se transformando em cinética. Essa energia cinética é transferida para a roda horizontal que movimentava o moedor de grãos.

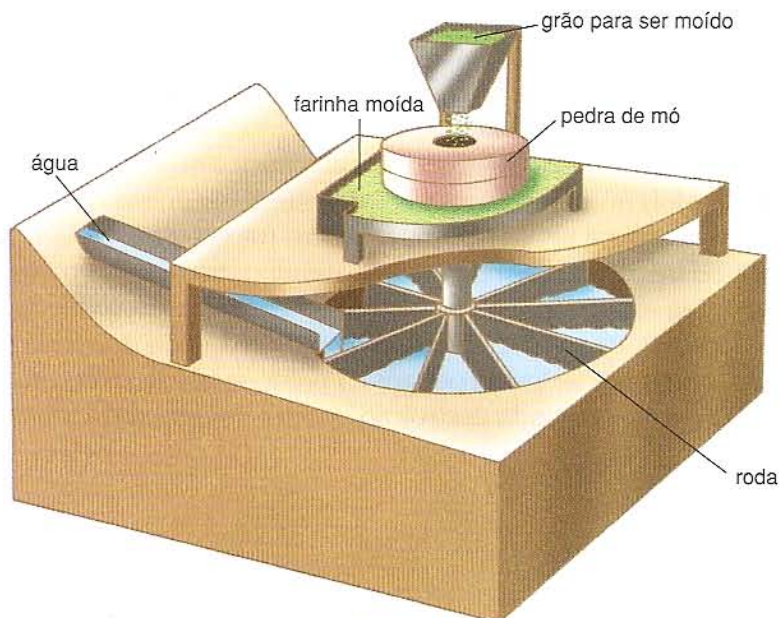


Figura 12

Energia radiante

A luz é um caso particular de *onda eletromagnética*. Além da luz, há outras das quais você já deve ter ouvido falar, como, por exemplo, raios X, ondas de rádio, ondas de TV, microondas (usadas nos fornos), raios infravermelhos, raios ultravioleta, raios gama, etc. Dessas ondas todas, só podemos enxergar a luz; as outras são invisíveis. As ondas eletromagnéticas transportam uma forma de energia, denominada *energia radiante*. De acordo com a Mecânica Quântica, essa energia é transportada na forma de pequenos “pacotes” de energia, denominados *fótons*. Quando uma onda eletromagnética incide sobre um corpo qualquer, sua energia pode ser absorvida e transformada em outra forma de energia. A energia radiante que recebemos do Sol pode, por exemplo, transformar-se em calor. Uma outra utilização importante é na *fotossíntese*, que você estudará nas aulas de Biologia. A fotossíntese é uma reação química em que, a partir da água e do gás carbônico, as plantas produzem glicose, substância que armazena energia. Porém, para que essa reação ocorra é necessária a presença da luz. Na fotossíntese, a energia da luz é armazenada como energia potencial química nas moléculas de glicose.



Figura 13

É a fotossíntese que garante os alimentos de todos os animais (incluindo o homem). Mesmo a carne que consumimos tem por origem os vegetais; tanto a galinha como a vaca, por exemplo, alimentam-se de vegetais. Ao ingerirmos os alimentos, o nosso organismo executa algumas reações químicas, liberando a energia de que precisamos para nos movimentar e movimentar o nosso próprio organismo: coração, pulmão, etc.

Muitos organismos que viveram há milhões de anos transformaram-se em petróleo, carvão e gás natural. Assim, a energia da gasolina que usamos hoje tem como origem a energia radiante do Sol, armazenada por meio da fotossíntese, há milhões de anos.

Energia nuclear

Os núcleos dos átomos armazenam uma energia, denominada *energia potencial nuclear*, que pode ser liberada de várias formas. Um caso que ficou famoso (por motivos que explicaremos mais adiante) é o bombardeamento de um núcleo de urânio ${}_{92}^{235}\text{U}$ (92 prótons e 143 nêutrons) por um nêutron.

Na figura 14a temos um nêutron que é lançado contra o núcleo do urânio. Como resultado, o núcleo do urânio se divide em dois núcleos menores, com a emissão de dois ou três nêutrons e uma liberação de energia na forma de calor e ondas eletromagnéticas (representadas pelas flechas onduladas na figura 14b). Esses dois ou três nêutrons liberados vão atingir outros dois ou três núcleos de urânio e desse modo o processo vai se ampliando, produzindo-se a chamada *reação em cadeia*. Em aparelhos denominados reatores nucleares, esse processo pode ser controlado, não deixando que a energia liberada seja grande demais, a ponto de se tornar perigosa. Porém, se não houver controle, a quantidade de energia pode aumentar muito, causando destruição, como acontece com a *bomba atômica*.

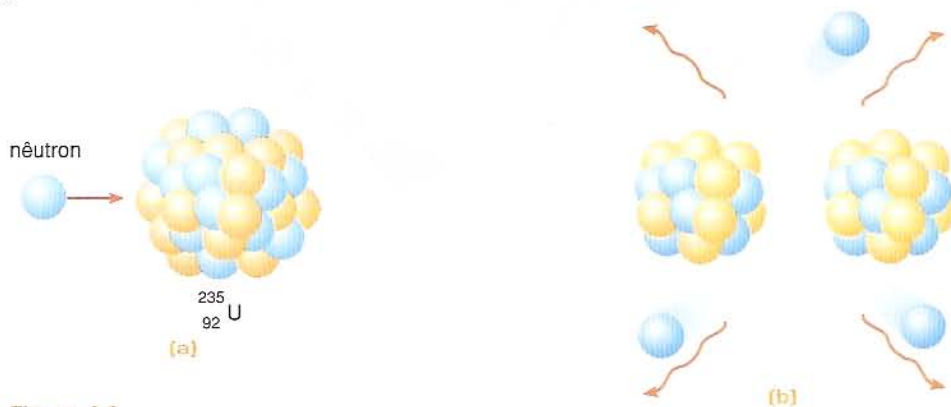


Figura 14

Usinas elétricas

Nas usinas que fornecem energia elétrica para as indústrias e residências, existem aparelhos chamados geradores, semelhantes ao dínamo do automóvel. A movimentação desses aparelhos ocasiona a produção de energia elétrica de um modo que analisaremos no volume 3, ao estudarmos a eletricidade.



Figura 15

Nas grandes usinas o movimento do gerador é obtido pelas quedas-d'água (usinas hidrelétricas) ou pela força do vapor d'água (usinas termelétricas).

Numa usina hidrelétrica a água é armazenada numa represa. Durante a queda da água, a energia potencial gravitacional transforma-se em energia cinética, que movimentará o gerador, produzindo a corrente elétrica (fig. 16).

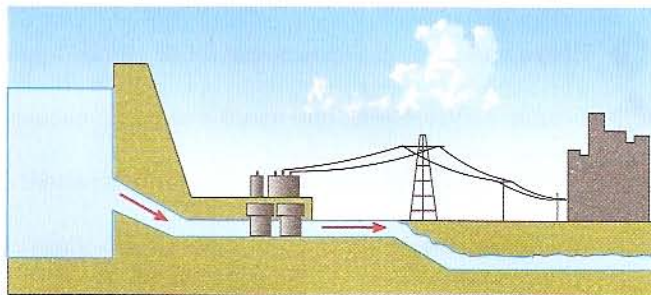


Figura 16

Nas usinas termelétricas usa-se uma caldeira com água. Aquecendo-se a água, há a formação de vapor, cuja força irá movimentar o gerador. O calor para aquecer a água pode ser obtido pela queima de combustíveis (óleo, carvão) ou por reações nucleares, como a do bombardeamento do urânio por nêutrons. A central elétrica de Angra dos Reis é uma usina termelétrica, sendo o calor gerado por liberação de energia nuclear.

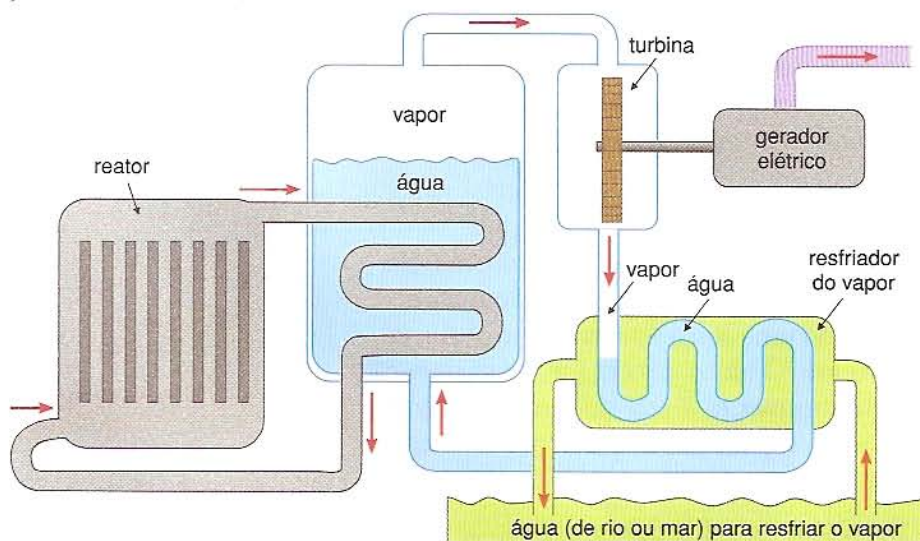
A energia do Sol

De tudo o que falamos até agora, podemos concluir que a nossa *principal* fonte de energia é o Sol. Em primeiro lugar ele mantém a Terra aquecida. Em seguida, por meio da fotossíntese ele nos propicia os alimentos e os combustíveis orgânicos: lenha, petróleo, carvão, gás natural. Ele é também responsável pela evaporação da água dos rios e dos oceanos, que vai formar as nuvens e possibilitar a chuva, a qual irá alimentar os rios, que por sua vez tornarão possível a construção de usinas hidrelétricas.

Aplicação



- 1 Na figura a seguir temos um esquema simplificado de uma usina nuclear. No reator ocorre a fragmentação (fissão) do núcleo de urânio.



Identifique as transformações de energias ocorridas:

- a) do reator para a água;
- b) da água para o vapor;
- c) do vapor para a turbina;
- d) da turbina para o gerador.

- 2 Das energias a seguir, quais podem ser classificadas como energias potenciais?
 a) gravitacional b) cinética c) química d) nuclear
- 3 Houve uma inovação técnica que foi de grande importância para a Revolução Industrial. Qual foi ela?
- 4 Durante a fotossíntese, que transformação de energia ocorre?
- 5 Que tipo de energia há numa bateria de automóvel?
- 6 Que transformação de energia ocorre no funcionamento de um dínamo?
- 7 A energia elétrica que sai de uma hidrelétrica é o final de uma série de transformações de energia. Procure estabelecer essa seqüência.

2. TRABALHO E ENERGIA CINÉTICA

Nas páginas anteriores apresentamos exemplos de formas de energia e suas transformações. O próximo passo é mostrar como se calculam essas energias. Neste livro veremos como calcular as energias *cinética*, *potencial gravitacional* e *potencial elástica*. No volume 2 estudaremos o *calor* e no volume 3 a energia *elétrica*.

O conceito de energia teve uma gestação lenta. Ele começou a ser esboçado no final do século XVII, mas só apresentou um contorno mais definido em meados do século XIX, quando foi reconhecido o Princípio da Conservação da Energia.

Na formação do conceito de energia, as primeiras máquinas a vapor desempenharam um importante papel. Como já mencionamos, a primeira aplicação dessas máquinas foi a retirada da água que se acumulava no fundo das minas. Portanto, a *tarefa* dessas máquinas era “suspender” a água. Mas, para fazer isso, era necessário aplicar uma *força*, a qual produzia um *deslocamento*. Veio então a idéia de medir a *tarefa* realizada a partir do produto da força pelo deslocamento:

$$\text{tarefa} = (\text{força}) \cdot (\text{deslocamento})$$

Logo se percebeu que essa era uma boa maneira de medir a tarefa, pois a experiência mostrava que a tarefa realizada era proporcional à quantidade de carvão usada: quanto maior a tarefa, maior a quantidade de carvão necessária. Desse modo o valor da tarefa podia servir como medida da energia gasta para suspender a água ou como medida da energia transferida para a água.

Os físicos passaram a utilizar a palavra *trabalho* no lugar da palavra *tarefa*. Assim, quando uma força produz o deslocamento de um corpo, ela realiza trabalho; o valor desse trabalho é igual à energia gasta para realizá-lo, energia essa que foi transferida ao corpo.

Definição inicial de trabalho

Consideremos um bloco inicialmente em repouso sobre uma superfície horizontal sem atrito. A partir do instante $t = 0$ aplicamos ao corpo uma força \vec{F} , constante e horizontal, como mostra a figura. O bloco deverá mover-se para a direita e após um deslocamento \vec{d} sua velocidade será \vec{v} . Apenas para fixar idéias, suponhamos que a massa do corpo seja $m = 4,0 \text{ kg}$ e que:

$$F = 24 \text{ N} \quad \text{e} \quad d = 3,0 \text{ m}$$

A força resultante sobre o bloco é a força \vec{F} . As forças \vec{P} e \vec{F}_N , pelo fato de serem *perpendiculares ao deslocamento*, não contribuem para o movimento, isto é, não têm componente ao longo do movimento e portanto não contribuem para a aceleração.

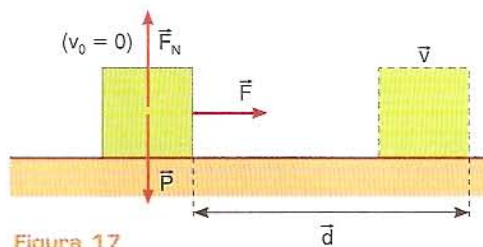


Figura 17