

Águas passadas não movem moinho!



Foi uma semana de trabalho bastante dura, mas finalmente chega a sexta-feira. Gaspar chama a amiga Maristela e os novos amigos, Roberto e Cristiana, para jantar em sua casa.

Alberta, que gosta de receber amigos, preparou uma boa refeição. Carne assada com batatas, um verdadeiro quitute.

Às oito horas chegam os convidados, todos juntos: Maristela, Cristiana e Roberto, que deixaram Ernesto com a mãe de Roberto.

Gaspar recebeu os convidados, que logo lhe deram uma má notícia.

– O pneu do seu carro está vazio! – disse Roberto. Gaspar ficou bastante chateado, pois pretendia sair bem cedo para a praia no dia seguinte.

Maristela deu a solução:

– Vamos até o posto de gasolina no carro de Roberto e consertamos o pneu. Afinal, o jantar não está pronto!

Alberta concordou na hora, pois também queria sair cedo no dia seguinte. E foram os três até o posto de gasolina.

Lá, o borracheiro rapidamente achou o furo e selou o pneu. Mas havia um problema: a bomba de ar comprimido estava quebrada e ele só tinha uma bomba manual, parecida com as de encher pneus de bicicleta.

Sem outro jeito, o borracheiro começou a bombear ar, manualmente, para dentro do pneu do carro.

Depois de cinco minutos já estava cansado, obrigando Gaspar, Roberto e Maristela a fazer um rodízio para bombear o ar para dentro do pneu.

Quando chegou a vez de Roberto, ele fez uma observação:

– Nossa! Como a bomba de ar está quente! Parece que foi colocada no fogo!

Nesse momento Gaspar e Maristela olharam um para o outro, como se tivessem tido o mesmo pensamento.

– Santo gás! – gritou Maristela, seguida pelo grito de Gaspar: – É o trabalho!

Roberto e o borracheiro ficaram paralisados: não estavam entendendo nada. Maristela pegou seu caderninho e começou a anotar algumas idéias.



A energia interna de um gás

Já estudamos que o aumento da temperatura de um gás está associado ao aumento da velocidade média de suas moléculas, ou seja, ao aumento da energia cinética média das moléculas.

Mas, para saber a **energia total** desse gás, não basta levar em consideração a energia cinética de translação das moléculas: é preciso considerar as outras formas de energia que as moléculas possuem. Além de ir de um lado para o outro (translação), as moléculas podem girar. Nesse caso, elas têm uma energia cinética **de rotação**. Também se deve levar em conta a energia de ligação entre os átomos que formam as moléculas. A soma de todas essas energias recebe o nome de **energia interna** do gás (**U**).

Levando sempre em consideração a energia interna do gás não precisamos mais nos preocupar com cada um dos tipos de energia das moléculas, pois a energia interna representa a soma de todos os tipos de energia que as moléculas podem ter.

Então, se a energia interna inclui a energia cinética, ao variar a temperatura do gás, varia também sua energia interna. Observe o quadro abaixo:

RELAÇÃO ENTRE T_1 E T_2	VARIAÇÃO DE TEMPERATURA	VARIAÇÃO DE ENERGIA INTERNA	ENERGIA INTERNA
$T_2 > T_1$	$\Delta T > 0$	$\Delta U > 0$	AUMENTA
$T_2 < T_1$	$\Delta T < 0$	$\Delta U < 0$	AUMENTA
$T_2 = T_1$	$\Delta T = 0$	$\Delta U > 0$	NÃO VARIA

O trabalho de um gás

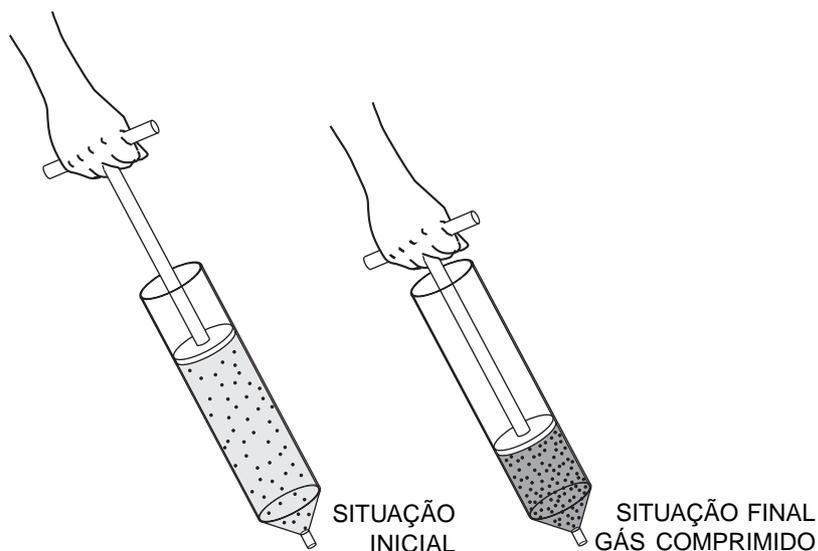
Gaspar passou a semana fazendo a si mesmo uma pergunta: “Como o gás realiza trabalho?” Desde o jogo de futebol da semana anterior ele andava com isso na cabeça. Estava aprendendo com Maristela e já tinha seu próprio caderninho, no qual fazia anotações.

Lembrando do que aconteceu à bomba de ar, teve uma idéia de como o gás produz trabalho.

Escreveu a equação de estado dos gases perfeitos e percebeu que, quando um gás com um número de moles constante recebe calor, sua tendência é de expandir-se. Assim, variam seu volume, sua pressão e sua temperatura, segundo a relação:

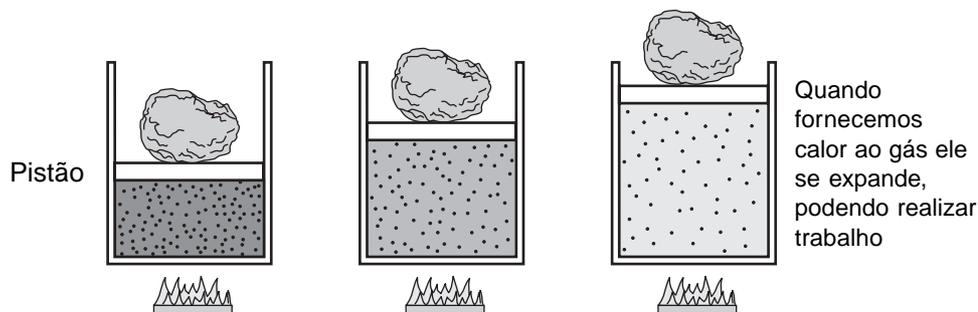
$$\frac{P_i V_i}{T_i} = \frac{P_f V_f}{T_f}$$

Gaspar fez um desenho simplificado do pistão da bomba de ar do borracheiro.



“Se o gás, quando recebe calor, se expande, ele pode realizar um trabalho”, pensou Gaspar, já fazendo outro desenho.

O gás recebe calor que é transmitido às suas moléculas. Com isso a velocidade das moléculas aumenta, de modo que elas buscarão mais espaço para se movimentar (lembre-se da dilatação, Aula 22). Para conseguir isso, o gás terá de empurrar o pistão, aplicando uma força sobre o mesmo! Logo, o gás é capaz de realizar trabalho!



– Claro! – gritou Gaspar. – Se cedemos calor para o gás, sua energia interna aumenta, assim como sua temperatura, sua pressão e seu volume! E o trabalho realizado poderá ser o de levantar um objeto, como por exemplo o pistão, uma pedra, ou mesmo a válvula de segurança da panela de pressão!

– Mas o que está acontecendo com a bomba de encher pneu é exatamente o contrário! – concluiu. – Roberto está realizando um trabalho sobre o gás, comprimindo-o. Esse trabalho está aumentando a energia interna do gás; com isso, sua temperatura também está aumentando! É fácil perceber o aumento da temperatura, pois a bomba ficou quente!

Mas isso tudo era demais para Gaspar. Ele sentou num pneu que estava no chão e, com os olhos arregalados, perguntou a Maristela:

– Trabalho pode virar calor, calor pode virar trabalho. Isso quer dizer que calor e trabalho são a mesma coisa?

Primeira lei da termodinâmica

– É, amigo Gaspar, você realmente está se tornando um perguntador de primeira! – disse Maristela.

André, o borracheiro, tinha se apresentado para Roberto. Os dois haviam desistido de esperar Gaspar e Maristela, sentaram no bar ao lado do posto e decidiram tomar uma cerveja enquanto a discussão se prolongava.

– Gaspar, você chegou ao ponto central do que chamamos de **termodinâmica**, que é o estudo de como os corpos trocam calor entre si. Essa pergunta que você está fazendo é a mesma que vários cientistas do século passado fizeram, ou seja: **qual é a equivalência entre calor e trabalho?**

– Foi um inglês chamado James Prescott Joule quem respondeu a essa pergunta, fazendo uma experiência que ficou muito famosa. É a chamada **experiência de Joule**. Ele mediu a energia necessária para aumentar 1°C a temperatura de um grama de água.

– Já sei. 4,18 joules!

– Exatamente – respondeu Maristela. – Uma versão moderna da experiência de Joule seria esquentar o café num liquidificador. É óbvio que ele não tinha liquidificador, mas tinha um aparelho com o qual podia medir o trabalho realizado por pás que giravam dentro d’água. Joule relacionou o valor desse

trabalho com o calor cedido, medindo a variação de temperatura da água e obtendo o valor que você acabou de dizer, 4,18 joules!

Na verdade, essa equivalência representa uma forma de expressar a **conservação de energia**, ou seja: a energia cedida pelas pás à água se transforma em energia interna da água! Quando as pás se movem, realizam um trabalho sobre o líquido. Isso provoca o aumento da energia interna do líquido. Ou seja, observamos que o trabalho se transforma em energia interna, da mesma forma que o calor cedido a um gás provoca sua expansão, podendo então se transformar em trabalho!

Gaspar ficou pensativo.

– Podemos, então, usar o calor para realizar um trabalho, ou seja, basta uma pequena quantidade de calor para realizar muito trabalho!

– Calma, você já está exagerando! Veja, não é possível usar toda a energia térmica cedida, pois parte dela é usada para aumentar a energia interna do gás. A outra parte é utilizada para realizar trabalho! – respondeu Maristela, escrevendo no seu caderninho:

$$\Delta Q = \Delta U + \tau$$

– Essa equação expressa a **primeira lei da termodinâmica**. Ela mostra que o calor cedido a um gás (ΔQ) é usado em parte para aumentar a energia interna desse gás (ΔU). Outra parte é usada para realizar um trabalho (τ).“

– Isso quer dizer que **nem todo calor pode se transformar em trabalho**, ou seja, **existe um limite na transformação de calor em trabalho?** – perguntou Gaspar.

– Gaspar, meu caro! Isso que você disse, em forma de pergunta, é a **segunda lei da termodinâmica!**

Segunda lei da termodinâmica

Gaspar estava satisfeito com sua conclusão. Maristela então disse que muitos já haviam feito a mesma observação, sem dar a ela o nome de segunda lei da termodinâmica.

– Essa lei tem o seguinte significado: **há um limite na transformação de calor em trabalho. É possível transformar todo trabalho em calor, mas não é possível transformar todo calor em trabalho!**

– Você quer dizer que, quando usamos calor para gerar trabalho, nem sempre aproveitamos totalmente a energia térmica?

– Exatamente! Parte dessa energia se transforma em energia inutilizável, que acaba dispersa no ambiente. Lembre-se do exemplo do automóvel. A energia química que o combustível possui só é utilizada **em parte** para movimentar o automóvel. O resto se perde em energia térmica ou sonora, que são irrecuperáveis!!

Outra forma de expressar a segunda lei é dizer que **o calor só se transfere espontaneamente de corpos de maior temperatura para os de menor temperatura**. Isso significa que o frio que sai de nossa geladeira, quando está aberta, não vai retornar espontaneamente para dentro dela. O mesmo ocorre num dia frio: quando deixamos a janela aberta, dificilmente o calor que estiver fora da casa vai entrar espontaneamente para nos aquecer!

– Maristela, o que você está querendo me dizer é que essas transformações são **irreversíveis**?

Ovo frito não gera galinha!

Foi um cientista chamado R. Clausius quem, pela primeira, vez deu forma matemática à segunda lei da termodinâmica. Para isso ele criou uma nova grandeza, um novo conceito que pudesse expressar esse limite da transformação de calor em trabalho. Clausius deu a essa grandeza o nome de **entropia**, cuja variação pode ser expressa matematicamente como:

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$$

Vê-se que a unidade da entropia é Joule dividido por Kelvin (J/K).

A entropia é uma forma de calcular, no caso de sistemas gasosos, se a transformação que ocorreu com o gás é reversível ou não.

Por exemplo: quando pegamos uma seringa (sem agulha), tapamos o orifício menor e, em seguida, pressionamos o êmbolo de forma muito leve, percebemos que o ar (que é um gás) no interior da seringa sofre uma pequena compressão. Mas, ao soltarmos o êmbolo, ele volta à situação inicial, isto é, o gás volta às mesmas condições de volume, temperatura e pressão. Nessa transformação reversível, dizemos que a variação da entropia do sistema foi nula, pois não houve dissipação de energia. Ou seja: nenhuma parte da energia do sistema se transformou em energia irreversível.

Se apertarmos fortemente o êmbolo, de modo que o gás seja muito comprimido, podemos sentir seu aquecimento. Isso significa que a temperatura do gás aumentou. Como a seringa não é um isolante térmico, parte do calor do gás se perde na atmosfera, conduzido pelas paredes da seringa. Quando soltamos o êmbolo, parte da energia do sistema já se perdeu de forma irreversível, de modo que o gás não volta exatamente às condições iniciais. Dizemos então que **a entropia do sistema aumentou**.

De volta à borracharia

Roberto e o borracheiro André voltaram do bar. Gaspar e Maristela ainda estavam falando sobre transformações gasosas, irreversibilidade e entropia. Roberto, ao ouvir toda aquela discussão, disse:

– Acho que Alberta e Cristiana devem estar num estado irreversível de irritação profunda pela nossa demora. Sei que **não adianta chorar sobre o leite derramado**, ou mesmo que **águas passadas não movem moinho**, mas vamos nos apressar!

Gaspar levou um susto, pois Roberto pegara o espírito da conversa! Olhou o relógio e tomou outro susto, ao perceber que já estavam ali há mais de uma hora. Gaspar e Maristela guardaram seus caderninhos; a conta foi paga e todos se despediram de André.

Ao chegarem ao carro de Roberto, perceberam que os dois pneus da frente estavam furados. Roberto não acreditou! Gaspar e Maristela, empolgados com a discussão, não perderam tempo: foram tomar uma cerveja no bar, enquanto Roberto e André voltavam para consertar os dois pneus.

Foi quando Roberto pensou em voz alta:

– O ar sempre sai do pneu. Por que nunca entra no pneu? Isso facilitaria tanto a vida... Será possível essa transformação?

André não teve dúvidas:

– Tão possível quanto o café que eu tomo pela manhã se separar sozinho do leite!

Nesta aula você aprendeu:

- o conceito de energia interna de um gás (U);
- que um gás pode realizar trabalho (τ);
- que a primeira lei da termodinâmica representa a conservação da energia nas transformações gasosas;
- que existe uma equivalência entre o trabalho mecânico e a energia térmica (calor);
- que há um limite para a transformação de calor em trabalho;
- que esse limite é expresso pela segunda lei da termodinâmica;
- que à segunda lei da termodinâmica está associado o conceito de entropia (S), que determina se uma transformação gasosa é reversível ou irreversível.



Exercício 1

Escreva a primeira lei da termodinâmica para o caso das transformações:

- isotérmica ($\Delta T = 0$);
- isovolumétrica ($\Delta V = 0$);
- adiabática ($\Delta Q = 0$).

Escreva suas conclusões.

Exercício 2

Numa transformação isovolumétrica, um gás recebe uma quantidade de calor igual a 1.000 joules. Qual será a variação da energia interna desse gás e qual será o trabalho por ele realizado?

Exercício 3

Um farmacêutico está fazendo experiências com dois gases. O gás A sofre uma transformação isovolumétrica e o gás B sofre uma transformação isotérmica. Cada um dos gases recebeu uma quantidade de calor ΔQ . Escolha a alternativa que descreve corretamente como se deu a variação da energia interna de cada gás. Explique sua resposta.



ALTERNATIVA	GÁS A TRANSFORMAÇÃO ISOVOLUMÉTRICA	GÁS B TRANSFORMAÇÃO ISOTÉRMICA
a)	$\Delta U > 0$	$\Delta U < 0$
b)	$\Delta U < 0$	$\Delta U > 0$
c)	$\Delta U = 0$	$\Delta U > 0$
d)	$\Delta U > 0$	$\Delta U > 0$
e)	$\Delta U > 0$	$\Delta U = 0$