



FÍSICA PARA O ENSINO MÉDIO

25071COL22

Fuke
Kazuhito

Editora Saraiva

Seminário Livros Didáticos Propostas e Projetos 2º sem 2013

Profa Anne Scarinci

Aline Liu
Fabíola Almeida
Julia Coles
Samuel Paiva

FÍSICA EM CONTEXTOS – PESSOAL – SOCIAL – HISTÓRICO

25069COL22

Alexander Pogibin
Maurício Pietrocola
Renata de Andrade
Talita Raquel Romero

Editora FTD



FÍSICA PARA O ENSINO MÉDIO



ASSUNTOS

Cinemática Escalar
Cinemática Vetorial
Dinâmica
Gravitação
Estática



Termologia
Óptica Geométrica
Ondulatória



Eletrostática
Eletrodinâmica
Eletromagnetismo
Teoria Quântica

FÍSICA PARA O ENSINO MÉDIO

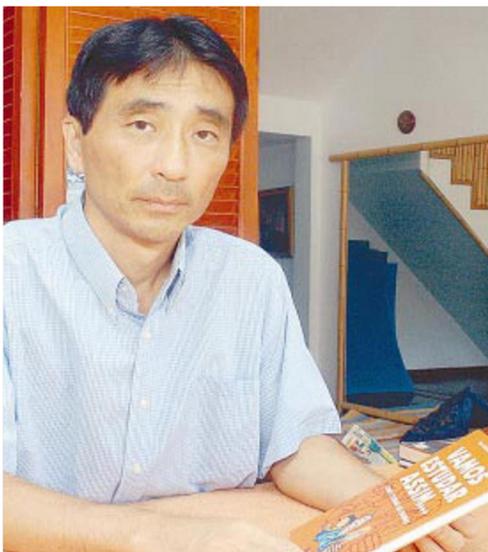


OS AUTORES



LUIZ FELIPE FUKÉ

Licenciado em Física pela FFLCH-USP.
Professor Colégio Agostiniano Mendel.



KAZUHIRO YAMAMOTO

Licenciado em Física pela FFLCH-USP.
Pós-graduado em comportamento e gestão.
Autor e palestrante.

FÍSICA PARA O ENSINO MÉDIO



EPISTEMOLOGIA

Apresenta a ciência como um construto humano.

APRESENTAÇÃO

A Física é uma ciência que trata da interação entre matéria e energia. É um constructo humano cujo objetivo é levar à compreensão do mundo; como outras ciências ditas "exatas", a Física ajuda no avanço de tecnologias e se desenvolve seguindo as premissas do método científico. Física é ciência experimental, pois envolve observação, organização de dados, pesquisa, capacidade de abstração e formulação de hipóteses, e trabalho colaborativo.



FÍSICA PARA O ENSINO MÉDIO

EPISTEMOLOGIA

Apresenta a ciência como um construto humano.

SOBRE MODELOS: ACERCANDO-NOS DO REAL

Em ocasiões anteriores, na tentativa de explicar determinados fenômenos físicos, lançamos mão do recurso de enxergá-los através de uma representação simplificada, geralmente mais limitada e mais concreta. Levamos essa simplificação de encontro à situação considerada e verificamos quando razoavelmente a explicação se adapta a determinados fatos colaterais, dentro de certos limites. Quando a descrição simplificada corresponde de fato ao que ocorre na situação real, essa representação simplificada recebe o nome de modelo.

A essa altura, você já deve ter lidado com vários modelos de átomo e matéria. Desde a concepção dos elementos formadores do Universo até a descoberta da estrutura atômica, passando pelo modelo planetário de Rutherford e Bohr, até chegar ao modelo quântico.

Qual deles é o melhor ou está mais correto? Isso depende do que você deseja enfatizar. Se a intenção é explicar a emissão de luz de uma substância quando a aquecemos, temos de lançar mão do modelo de Bohr, mas se desejamos explicar a agitação térmica, o modelo de Dalton é suficiente. Não existem modelos definitivos.

Você pode perguntar: por que motivo temos de trabalhar com modelos, em vez de abordar a realidade diretamente? A resposta é simples: a realidade é inatingível! Houve um tempo em que as investigações filosóficas e experimentais objetivavam chegar à verdade absoluta ou ao conhecimento definitivo e irrefutável. Na época de Isaac Newton, imaginava-se que a Ciência poderia explicar a realidade completamente. Acreditava-se que, conhecendo

consequentemente as dimensões, um indivíduo...



FÍSICA PARA O ENSINO MÉDIO

ORGANIZAÇÃO

TEXTO DE ABERTURA

OUTRAS PALAVRAS

ATIVIDADE PRÁTICA

A FÍSICA NA HISTÓRIA

A FÍSICA NO COTIDIANO

PARA SABER MAIS

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

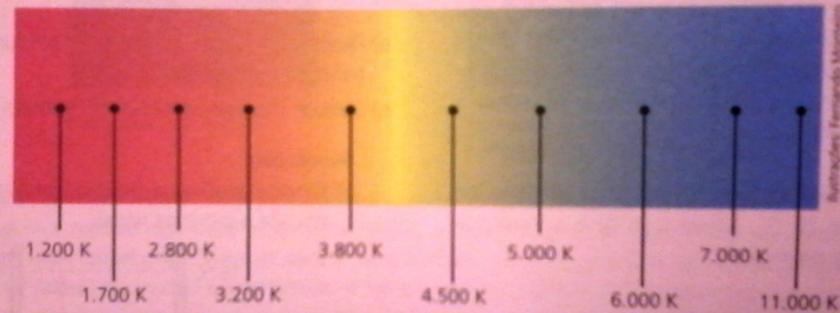
FÍSICA PARA O ENSINO MÉDIO

TRATAMENTO CONCEITUAL



OUTRAS TEMPERATURAS ENCONTRADAS NO UNIVERSO

Você sabia que a cor dos objetos aquecidos dá uma ideia da sua temperatura? Quanto mais eles forem esquentados, tanto mais sua cor se aproximará da tonalidade azul. Essa associação entre cor e temperatura é mostrada na tabela a seguir:



OBSERVE AS CORES DE UMA CHAMA

Observe a chama acesa da boca do fogão ou a chama de uma vela. Verifique se são diferentes.

As cores da chama estão relacionadas às respectivas temperaturas dessas regiões. Teste qual região é a mais quente?



Veja as temperaturas que encontramos no Universo:

superfície solar: 5.000 K:

FÍSICA PARA O ENSINO MÉDIO



APRESENTAÇÃO VISUAL

TERMODINÂMICA 6

A Física está fundamentada em princípios de conservação. Até aqui, você conheceu as leis de conservação da massa, da quantidade de movimento, da energia, e alguns de nossos atos são em parte justificados por esse conhecimento, muitas vezes obtidos de modo informal.

Nossos antepassados já obtinham fogo atirando dois pedaços de madeira seca, hoje sabemos que o trabalho executado pela força dos braços move os gravetos, e parte dessa energia se converte em calor por atrito, que eleva a temperatura até o ponto de ignição da madeira. A energia mecânica é transformada em calor, e até aqui nossa explicação atende ao princípio de conservação da energia.

Da mesma forma, se lançamos um bloco, fazendo-o deslizar sobre um piso horizontal, ele para após ter cumprido certo deslocamento, por efeito do atrito; nesse caso, toda a energia cinética do lançamento foi convertida em calor — uma investigação cuidadosa dessa evidente que o bloco, o piso e o ar se aquecem. Observe que, em nenhum desses processos, entrou em discussão o que ocorreu com a fração da energia que se converteu em calor.

Mas o ser humano, ao esfregar e deslizar o bloco, também se converte em energia mecânica, como trabalho. Você já notou que o vapor d'água de dentro da panela de pressão faz levantar seu pino de segurança?

Qual é a diferença entre os dois primeiros processos e este último? Uma delas é o sentido da transformação — a primeira converte energia mecânica em calor, e a segunda faz o processo inverso. A outra diferença, não tão evidente mas muito importante, é o fato de que sempre podemos converter toda a energia mecânica de um processo em calor, mas o contrário nunca é possível.

Esses fatos chamam a atenção de entusiastas como Benjamin Thompson, Sadi Carnot, Robert Mayer, Rudolf Clausius e James Joule, envolvidos com o estudo das características dos gases nos séculos XVIII e XIX, e interessados em melhorar o desempenho das máquinas a vapor, como as

A relação entre essas unidades é: 1 cal = 4,186 J. Ela resulta de um experimento em que James Prescott Joule (1818-1889) descobriu como o trabalho mecânico pode ser convertido em calor.

Este conjunto consta basicamente de uma câmara contendo água. Uma roda gira dentro e um eixo o qual, por sua vez, está acoplado a um peso que, quando em movimento, desce com velocidade constante, fazendo o eixo girar.

A medida que desce, o peso ganha energia potencial e faz as pás girarem no interior da câmara, agitando a água e promovendo o seu aquecimento. Tais condições que a diminuição de energia potencial é proporcional à variação de temperatura da água. Mais precisamente, foi demonstrado que o calor necessário para elevar em 1 °C a temperatura de 1 lb (0,454 kg) de água (453,59 g) é equivalente ao trabalho realizado na queda de um objeto de 772 lb, a partir de uma altura de 1 pul (30,48 cm). É importante notar que esta correspondência foi possível fundamentar o cuidado de que as trocas de calor se dessem apenas no interior da câmara, transformações em que não há perdas de calor nem o mesmo de substâncias.

Faça-se muito sobre calorias, porém não um enfoque nutricional. A energia que vem dos alimentos está relacionada com as ligações químicas das moléculas que compõem os nutrientes: carboidratos, gorduras, proteínas.

Depois que ingerimos alimentos — para obter as substâncias necessárias ao nosso organismo —, eles são digeridos ("queimados") e transformados em glicose e outros compostos.

A energia química das moléculas digeridas não é usada imediatamente, mas fica armazenada sob a forma de trifosfato de adenosina (ATP). Adenosina trifosfato, que é o mediador de todas as atividades biológicas que requerem energia. É desta maneira que diversos compostos e ácidos que os alimentos possuem como a quantidade de energia que é armazenada em ATP, veja a quantidade de energia liberada por alguns nutrientes:

- 1 g de proteína oferece 4,1 kcal
- 1 g de gordura oferece 9,3 kcal
- 1 g de carboidrato oferece 4,1 kcal
- 1 g de álcool oferece 7,1 kcal

Entenda que, nessa lista, todos os energias são dadas em kcal (100 cal = 1 kcal). Os "cal" contidos nos rótulos dos alimentos são na unidade, substancial, uma lista de informações que saber a informação nutricional "200 calorias" oferece 200 quilocalorias em termos de energia.

A expressão matemática do calor latente é o produto

$$Q_L = m \cdot L$$

processo endotérmico a substância recebe calor

processo exotérmico a substância perde calor

Exercícios Resolvidos

Ex. Qual é a quantidade de calor latente necessária para fundir 1 kg de gelo, a 0 °C? O calor latente de fusão do gelo é de 80 cal/g.

Resolução: Assim como o gelo deve ser aquecido até 0 °C, o processo de fusão é feito a 0 °C.

Resolução: A quantidade de calor latente necessária para fundir 1,000 kg de gelo é:

$$Q_L = m \cdot L_{\text{fusão}} = 1,000 \cdot 80 = 80,000 \text{ cal}$$

Para fundir o mesmo volume de transformação absorver energia a solidificação de 1 kg de água pode ser escrito $Q_{\text{solidificação}} = -80,000 \text{ cal}$ e $Q_{\text{calor}} = -80,000 \text{ cal}$.

Ex. Qual é a quantidade de calor necessária para fundir 100 g de gelo, inicialmente a -10 °C? O calor específico do gelo é igual a 0,5 cal/g °C, e o calor latente de fusão do gelo é de 80 cal/g.

Resolução: Assim como o gelo deve ser aquecido até 0 °C, o processo de fusão é feito a 0 °C.

Resolução: A quantidade de calor latente necessária para fundir 100 g de gelo é:

$$Q_L = m \cdot L_{\text{fusão}} = 100 \cdot 80 = 8,000 \text{ cal}$$

A quantidade total de calor é:

$$Q_{\text{total}} = Q_1 + Q_2 = 300 + 8,000 = 8,300 \text{ cal}$$

Troca de calor entre corpos e sua lei geral

Vamos partir de uma situação cotidiana simples: o que acontece quando colocamos um pedaço de gelo dentro de um copo a temperatura ambiente, de 25 °C, sob pressão de 1 atm? Com o passar do tempo, o que acontece, não é mesmo?

A condensação é o processo de mudança de estado de uma substância de vapor para líquido, com liberação de calor.

Assim como a condensação ocorre em pontos de ebulição, a temperatura elevada de uma sala de aula ou de uma panela de cozimento.

Assim como a condensação ocorre em pontos de ebulição, a temperatura elevada de uma sala de aula ou de uma panela de cozimento.

A VAPORIZAÇÃO É UM FENÔMENO

termodinâmico e modo de partícula de matéria. Como está sempre presente como um conjunto de muitas partículas individuais em movimento constante e caótico, realizadas a grandes velocidades. As condições termodinâmicas e a energia mecânica média e que determina a temperatura do gás. Por esse motivo, o estado que a temperatura e uma grandeza macroscópica associada à média de energia de um número enorme de partículas e menos que depende da quantidade de partículas.

A distribuição de energia das partículas de um gás, e consequentemente, de sua velocidade, é estabelecida pela distribuição de Boltzmann.

Observe a distribuição de velocidades de Boltzmann, e possível encontrar partículas bastante energéticas em gases a qualquer temperatura, assim, processos físicos possíveis, como a vaporização e escape térmico, podem acontecer, baseando para isso que uma partícula do gás recebe a energia cinética suficiente. Por esse motivo, pode-se dizer que a vaporização é um fenômeno probabilístico, a possibilidade de uma partícula escapar do estado de vapor aumenta à medida que o sistema se aproxima do ponto de ebulição da substância.

FÍSICA PARA O ENSINO MÉDIO

O MANUAL DO PROFESSOR



APRESENTAÇÃO

O livro didático é o material mais relevante ao processo educacional porque encerra uma base dos conteúdos disciplinares com os quais os alunos entram em contato direto por meio de textos, exercícios e atividades. Entretanto ele não resume o curso oferecido pelo professor, sendo um recurso que deve ser integrado a outros disponíveis tanto de forma parcial como integral.

Assim, a presente coleção e este Manual têm por objetivo auxiliar a prática pedagógica do(a) professor(a). Ela é composta de três volumes estruturados em unidades e no interior delas estão os capítulos que abordam uma seleção do conteúdo da Física. Os capítulos são formados por textos que desenvolvem os conceitos, as leis e as teorias físicas, por exercícios que objetivam desenvolver os conceitos, além de apresentar atividades práticas e textos da mídia impressa ou da internet que veiculam aspectos da Física e elementos da história da Ciência e do cotidiano.

Tendo consciência de que o livro não resume o fazer docente, nem o discente, o Ma-

O livro didático é o material mais relevante ao processo educacional porque encerra uma base dos conteúdos disciplinares com os quais os alunos entram em contato direto por meio de textos, exercícios e atividades. Entretanto ele não resume o curso oferecido pelo professor, sendo um recurso que deve ser integrado a outros disponíveis tanto de forma parcial como integral.

Portanto, o livro foi concebido com a finalidade de oferecer uma base de conceitos, exercícios e atividades relacionados à Física, além de sua história e sua relação com a sociedade, enquanto o Manual oferece possíveis abordagens e atividades articuladas ao livro, de modo que se desenvolva uma prática pedagógica coerente com o aluno que se pretende formar.



FÍSICA PARA O ENSINO MÉDIO

O MANUAL DO PROFESSOR

Objetivos formativos

Conceitos refletidos na obra

Materiais suplementares

Referências

Orientações por unidade

FÍSICA PARA O ENSINO MÉDIO



O MANUAL DO PROFESSOR

Objetivos formativos	
Estatuto da Criança e do Adolescente (ECA)	4
Lei de Diretrizes e Bases da Educação (LDB)	5
Plano de Desenvolvimento da Educação (PDE).....	5
Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (DCNEM).....	6
Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) — Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias — Conhecimentos de Física.....	7
Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+) — Física	9
Orientações Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (OCN).....	15
Programa Ensino Médio Inovador.....	15
Sistema Nacional de Avaliação da Educação Básica (Saeb): O Exame Nacional do Ensino Médio (Enem).....	16
Programa Internacional de Avaliação de Estudantes (Pisa).....	18
Projeto Político-Pedagógico da escola (PPP).....	19
Planejamento das aulas	20
Síntese	20

FÍSICA PARA O ENSINO MÉDIO



O MANUAL DO PROFESSOR

Conceitos refletidos na obra.....	20
A escola	20
O aluno.....	21
O professor	21
A sala de aula	22
Abordagens.....	22
A avaliação.....	23
O conteúdo da Física.....	24
	25

FÍSICA PARA O ENSINO MÉDIO

O MANUAL DO PROFESSOR



Materiais indicados para suplementar a formação	25
Periódicos	25
Encontros.....	26
Sites	26
Livros.....	27
Produções cinematográficas.....	29
Referências bibliográficas	30
Orientações por unidade	

ASSUNTOS

FÍSICA EM CONTEXTOS – PESSOAL – SOCIAL – HISTÓRICO



1 Bases do conhecimento
Cinemática
Dinâmica
Astronomia

25069COL22

*Alexander Pogibin
Maurício Pietrocola
Renata de Andrade
Talita Raquel Romero*

Editora FTD



2 Energia
Calor
Imagem e Som



3 Eletricidade e Magnetismo
Ondas eletromagnéticas
Radiação e matéria

FÍSICA EM CONTEXTOS – PESSOAL – SOCIAL – HISTÓRICO

O AUTORES



MAURÍCIO PIETROCOLA

Licenciado em Física pela USP.
professor de Física em Escolas de nível
médio (1984-1988).

25069COL22

Alexander Pogibin
Maurício Pietrocola
Renata de Andrade
Talita Raquel Romero

Editora FTD



FÍSICA EM CONTEXTOS – PESSOAL – SOCIAL – HISTÓRICO

ORGANIZAÇÃO



A FÍSICA NO TEMPO E NA HISTÓRIA

EXPLORANDO O ASSUNTO

EXERCÍCIO RESOLVIDO

POR DENTRO DO CONCEITO

O CIENTISTA NO TEMPO E NA HISTÓRIA

LEMBRETE

EXPLORANDO A SITUAÇÃO

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

TÉCNICA E TECNOLOGIA

ORDEM DE GRANDEZA

EXERCÍCIOS PROPOSTOS (PENSE UM

POUCO MAIS)

EXPERIMENTO: INVESTIGUE VOCÊ MESMO

PESQUISE, PROPONHA E DEBATA

FOI ASSIM... INVESTIGUE COM O

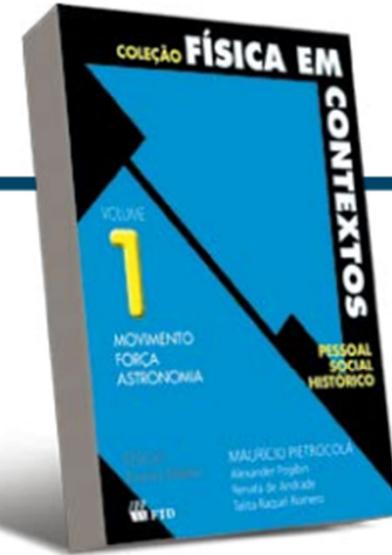
PESQUISADOR

PROBLEMAS ABERTOS

NA ESTANTE PARA LER E ASSISTIR

FÍSICA EM CONTEXTOS – PESSOAL – SOCIAL – HISTÓRICO

APRESENTAÇÃO VISUAL



Capítulo 6. Calor como energia

Na superfície do mar, o mergulhador está sujeito a uma pressão atmosférica de 1 atm ou 760 mmHg. Nessas condições, ao realizar uma respiração profunda, cerca de 1 L de O₂ entra em seus pulmões. Quando mergulha, como a densidade do meio líquido é maior do que a do ar, ele sofre os efeitos de uma pressão cada vez maior. Com isso, a densidade do ar no organismo do mergulhador aumenta, uma vez que o volume do gás é inversamente proporcional à pressão, temos que a 10 m de profundidade a pressão aumenta duas vezes e o volume diminui duas vezes. Se o volume diminui, a densidade aumenta. Assim, a quantidade de moléculas de ar inspiradas por um mergulhador a 2 atm é o dobro das inspiradas na superfície. O resultado disso é que um mergulhador usa o ar da garrafa mais rapidamente com a profundidade e precisa aprender a controlar sua respiração e pressão arterial, para não somente evitar problemas quando está descendo como também quando está subindo, ou seja, quando a pressão diminui e o volume do ar aumenta.

Transformação isobárica

Outra possível transformação gasosa que pode ser feita é a compressão ou expansão a pressão constante, chamada isobárica. Nessa transformação, o volume e a temperatura do gás variam enquanto se mantém a pressão do gás (pressão sobre o êmbolo) inalterada. A relação empírica dessa transformação foi proposta pela primeira vez pelo físico francês Jacques Charles em 1787, ou seja, 125 anos depois do trabalho de Boyle. De maneira independente, outro cientista francês, o químico Joseph Gay-Lussac, obtive a mesma expressão. Uma das nomenclaturas que essa relação pode receber é lei de **Charles e Gay-Lussac**.

Essa lei estabelece que, mantendo a pressão constante, o volume é diretamente proporcional à temperatura.

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

A expressão reflete o fato de que, ao aumentarmos uma destas variáveis, a outra aumenta na mesma proporção.

Entre dois estados quaisquer, podemos escrever que:

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

Quando a pressão é determinada massa gasosa se mantém constante, medimos o volume V correspondente à variação da temperatura T . Ao traçarmos o gráfico do volume em função da temperatura em abscissa, obtemos um gráfico indicando que essas grandezas são proporcionais.

Exercício resolvido

Um gás ocupa um volume de 10 L a 300 K. Qual será o seu volume a 400 K, mantendo a pressão constante?

Exercícios propostos

1) Um gás ocupa um volume de 20 L a 300 K. Qual será o seu volume a 400 K, mantendo a pressão constante?

2) Um gás ocupa um volume de 10 L a 300 K. Qual será o seu volume a 400 K, mantendo a pressão constante?

3.1 Transformações gasosas

Transformações são alterações no estado de um sistema. Nesse sentido, entendemos por estado as características nas quais o sistema se encontra, que podem ser definidas em termos da pressão, do volume e da temperatura. As transformações sofridas por um sistema são mais simples de serem descritas e serão nosso objeto de estudo a partir de agora.

Por exemplo, se pegarmos uma seringa, puxarmos seu êmbolo e, com um dedo, taparmos sua ponta para então sentarmos empurrando novamente, sentiremos o aumento da pressão provocada pela diminuição do volume do ar misturado gasoso dentro da seringa no êmbolo. Ou, então, se empurrarmos o êmbolo da seringa, taparmos sua ponta novamente e tentarmos puxar o êmbolo, poderemos sentir a diminuição da pressão resultante do aumento do volume ocupado pelo ar.

Note que neste exemplo, de acordo com o que vimos acima, realizamos uma transformação gasosa e levamos a mistura gasosa de um estado A, definido pelas variáveis p_A, V_A, T_A , para outro estado B, definido por p_B, V_B, T_B .

Para entendermos qualitativamente o que acontece no nível molecular, imagine um sistema completamente isolado, em equilíbrio e composto de um cilindro com êmbolo móvel contendo determinada massa gasosa a 100 °C e pressão de 0,5 atm.

Ao empurrarmos lentamente o êmbolo para baixo, o volume do gás diminui gradativamente assim como diminui a distância média entre as moléculas do gás, no processo, a pressão aumenta à medida que elas passam a chocar-se mais umas com as outras e com a parede de nosso cilindro.

Capítulo 6. Calor como energia

Exercício resolvido

Um gás ocupa um volume de 10 L a 300 K. Qual será o seu volume a 400 K, mantendo a pressão constante?

Exercícios propostos

1) Um gás ocupa um volume de 20 L a 300 K. Qual será o seu volume a 400 K, mantendo a pressão constante?

2) Um gás ocupa um volume de 10 L a 300 K. Qual será o seu volume a 400 K, mantendo a pressão constante?

Exercício resolvido

Um gás ocupa um volume de 10 L a 300 K. Qual será o seu volume a 400 K, mantendo a pressão constante?

Exercícios propostos

1) Um gás ocupa um volume de 20 L a 300 K. Qual será o seu volume a 400 K, mantendo a pressão constante?

2) Um gás ocupa um volume de 10 L a 300 K. Qual será o seu volume a 400 K, mantendo a pressão constante?

3. Modelo cinético dos gases

Estudamos algumas implicações físicas do modelo microscópico para a variação de temperatura, pressão e volume em sólidos e líquidos. Para tanto, desenvolvemos uma analogia entre as atrações sofridas pelas moléculas que constituem um corpo ou uma substância nesses estados físicos e as patinadoras. No caso das patinadoras, a intensidade de seus movimentos é conduzida pela frequência da música; essa transferência, ela representa a quantidade de energia em forma de calor recebida ou transferida pelas moléculas. A variação desse movimento resulta em variações de temperatura, pressão e volume que podem ocupar (quando não confinadas).

E, para um gás, a analogia continua apropriada? As patinadoras podem representar um modelo físico que se aplique a moléculas de um gás? Sim, elas continuam válidas, mas ainda podemos construir modelos mais sofisticados que permitam melhores previsões.

Construir um modelo que explique a constituição da matéria, como ela se comporta e suas implicações microscópicas exige uma imagem de sua organização molecular, de seus constituintes e de fatores que geram alteração em seu comportamento (como a pressão, a temperatura e o volume dos gases). Tais fatores são conhecidos como **variáveis de estado**.

O modelo teórico dos gases ideais (também denominado **gás perfeito**) é uma idealização de um gás real no limite da rarefação (diminuição da densidade). Esse modelo faz as seguintes considerações:

- as partículas (moléculas ou átomos) do gás têm dimensões desprezíveis;
- as partículas não interagem entre si e não se chocam durante os choques, isto é, desprezamos a interação gravitacional e elétrica;
- os choques entre as partículas e entre estas e as paredes do recipiente são perfeitamente elásticos;
- as partículas possuem movimento desordenado, em qualquer direção.

Como um gás ocupa todo o volume do recipiente que o contém, consideramos o **volume** do gás o volume do próprio recipiente.

Capítulo 6. Calor como energia

Exercício resolvido

Um gás ocupa um volume de 10 L a 300 K. Qual será o seu volume a 400 K, mantendo a pressão constante?

Exercícios propostos

1) Um gás ocupa um volume de 20 L a 300 K. Qual será o seu volume a 400 K, mantendo a pressão constante?

2) Um gás ocupa um volume de 10 L a 300 K. Qual será o seu volume a 400 K, mantendo a pressão constante?

Exercício resolvido

Um gás ocupa um volume de 10 L a 300 K. Qual será o seu volume a 400 K, mantendo a pressão constante?

Exercícios propostos

1) Um gás ocupa um volume de 20 L a 300 K. Qual será o seu volume a 400 K, mantendo a pressão constante?

2) Um gás ocupa um volume de 10 L a 300 K. Qual será o seu volume a 400 K, mantendo a pressão constante?

3. Modelo cinético dos gases

Estudamos algumas implicações físicas do modelo microscópico para a variação de temperatura, pressão e volume em sólidos e líquidos. Para tanto, desenvolvemos uma analogia entre as atrações sofridas pelas moléculas que constituem um corpo ou uma substância nesses estados físicos e as patinadoras. No caso das patinadoras, a intensidade de seus movimentos é conduzida pela frequência da música; essa transferência, ela representa a quantidade de energia em forma de calor recebida ou transferida pelas moléculas. A variação desse movimento resulta em variações de temperatura, pressão e volume que podem ocupar (quando não confinadas).

E, para um gás, a analogia continua apropriada? As patinadoras podem representar um modelo físico que se aplique a moléculas de um gás? Sim, elas continuam válidas, mas ainda podemos construir modelos mais sofisticados que permitam melhores previsões.

Construir um modelo que explique a constituição da matéria, como ela se comporta e suas implicações microscópicas exige uma imagem de sua organização molecular, de seus constituintes e de fatores que geram alteração em seu comportamento (como a pressão, a temperatura e o volume dos gases). Tais fatores são conhecidos como **variáveis de estado**.

O modelo teórico dos gases ideais (também denominado **gás perfeito**) é uma idealização de um gás real no limite da rarefação (diminuição da densidade). Esse modelo faz as seguintes considerações:

- as partículas (moléculas ou átomos) do gás têm dimensões desprezíveis;
- as partículas não interagem entre si e não se chocam durante os choques, isto é, desprezamos a interação gravitacional e elétrica;
- os choques entre as partículas e entre estas e as paredes do recipiente são perfeitamente elásticos;
- as partículas possuem movimento desordenado, em qualquer direção.

Como um gás ocupa todo o volume do recipiente que o contém, consideramos o **volume** do gás o volume do próprio recipiente.

Terminologia: uma descrição estatística II

Os gases, diferentemente dos sólidos e dos líquidos, não possuem volume definido. Podem expandir até ocupar todo o recipiente que os contém ou escapar e dispersar em todas as direções. Com suas partículas distantes umas das outras – movendo-se rápida, desordenada e livremente – a densidade de um gás é cerca de 1000 vezes menor do que a densidade dos líquidos e dos sólidos. Por isso, conforme estudamos anteriormente, o modelo proposto para estudo dos gases também faz previsões relativas a **velocidade média** de velocidade, ou da energia cinética, ou da distância das partículas. Ou seja, as medidas feitas para esta quantidade de gás são traduzidas por um valor médio do efeito da resultante de milhões e milhões de partículas.

As partículas de um gás têm velocidades de diferentes valores, movem-se em todas as direções e mudam de direção e velocidade por causa dos choques que sofrem, o que pode nos fazer pensar ser pouco provável que todas as partículas tenham a mesma velocidade. Mas, conforme sugeriu James Clerk Maxwell, em 1859, as representações feitas de um gás em **equilíbrio térmico** permitem a compreensão de como o modelo microscópico está conectado com as propriedades macroscópicas e da distribuição de velocidades das partículas de certo sistema.

James Clerk Maxwell (1831-1879) nasceu em Edinburgh, na Escócia. Cursou matemática e física na Universidade de Cambridge e depois na Universidade de Londres. Foi um dos maiores físicos da física estatística e da termodinâmica.

Podemos entender a distribuição das velocidades das partículas que compõem um gás por meio de uma analogia. Nas figuras a seguir, observamos vários lançamentos de dados, anotados para um alvo, com alguns atingindo o centro e outros atingindo pontos mais ou menos afastados. Quando organizamos esses lançamentos em um gráfico em função da distância ao centro, observamos uma distribuição dos impactos que, mesmo variando aleatoriamente, apresenta um pico correspondente ao valor médio (centro do alvo) e um decaimento suave de cada lado a partir do centro.

O mesmo tipo de gráfico é obtido para a distribuição de velocidades das partículas de um gás que se movem aleatoriamente dentro de um recipiente. Mesmo que algumas partículas tenham velocidades muito maiores e outras, muito menores, a maior parte tem velocidade média. A velocidade das diferentes partículas se distribui de acordo com uma função de distribuição de probabilidade denominada distribuição de Maxwell, que permite obter uma série de propriedades macroscópicas de todo o sistema de partículas do gás, tais como pressão e temperatura.

FÍSICA EM CONTEXTOS –
PESSOAL – SOCIAL –
HISTÓRICO

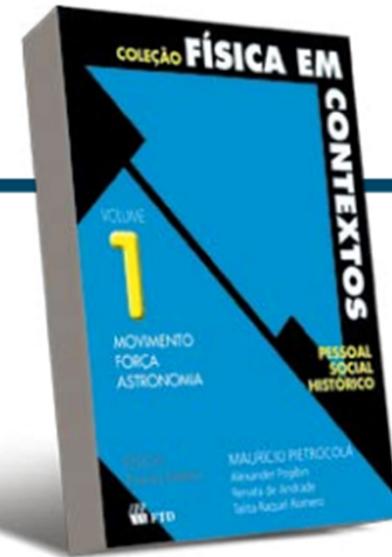
CADERNO DE ORIENTAÇÕES PARA O
PROFESSOR



Objetivo do caderno

- Apresentar “possibilidades de trabalho e a melhor implementação do material para as propostas curriculares e/ou projeto pedagógico desenvolvidos em sua escola.”

FÍSICA EM CONTEXTOS – PESSOAL – SOCIAL – HISTÓRICO



Como cumprir o objetivo?

- Discussão do porquê ensinar Física
 - Conhecer a natureza por meio da Física;
 - Física na atualidade e na formação básica do cidadão;
- Conteúdos selecionados;
- Atividades para avaliação;
- Explicação da metodologia adequada;
- Orientações;
- Resolução de todos os exercícios;

FÍSICA EM CONTEXTOS – PESSOAL – SOCIAL – HISTÓRICO

METODOLOGIA E CONCEPÇÃO DA OBRA



- **Objetivo da obra:**
- “sujeito epistêmico”
- **Ênfase:** estrutura da Ciência → Uso da história da ciência.
- **Visão de Ciência:** ciência como construto humano

FÍSICA EM CONTEXTOS – PESSOAL – SOCIAL – HISTÓRICO

CONCEPÇÃO DA OBRA



- **Ideia geral:**

Tratar ensino-aprendizagem em nos contextos pessoal, social e histórico:

- Pessoal
- Social
- Histórico

FÍSICA EM CONTEXTOS – PESSOAL – SOCIAL – HISTÓRICO



CONSEQUÊNCIAS DESSA CONCEPÇÃO

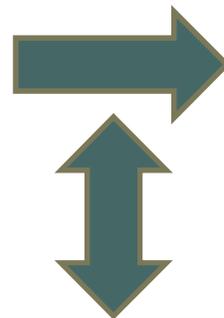
- Dos conteúdos
- Da avaliação

FÍSICA EM CONTEXTOS – PESSOAL – SOCIAL – HISTÓRICO

DOS CONTEÚDOS



Conteúdos
conceituais
como fim da
aprendizagem

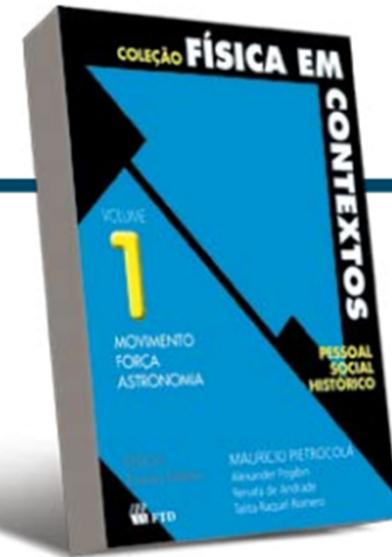


Conteúdos conceituais
como “ferramentas
intelectuais para
serem
operacionáveis”

Desenvolvimento
conjunto dos
conceitos com as
habilidade e
competências

FÍSICA EM CONTEXTOS – PESSOAL – SOCIAL – HISTÓRICO

DA AVALIAÇÃO



- Deve levar em conta todas as dimensões do conhecimento, entre elas:
 - dimensão histórica
 - aplicações da física no entendimento da tecnologia
 - papel da física na sociedade atual
- Para atingir isso, baseia-se na metodologia da problematização e resolução de problemas

Problematização inicial



Organização do Conhecimento



Aplicação do Conhecimento

- Apresentar situações vivenciadas no cotidiano para que alunos compreendam a situação gerada e se envolvam nela
- **Requisito:** gerar interesse em adquirir novo conhecimento

- Aparecimento das concepções prévias
- Nessa coleção, aparece como problema e Aluno ainda não possui a orientação do professor de: • Exemplos
 - Leitura Exercícios resolvidos e propostos
 - Reconhecimento experimental e reflexão
 - Tomada de medidas

Nessa coleção, aparece como:

- Questões extraídas do ENEM
- Atividades coletivas
- Atividades históricas que contemplam os conhecimentos físicos em muitos contextos de construção do conhecimento, etc.
- Problemas abertos
- Pesquisas e debates

Teoria Cinética dos Gases



FUKE

PIETROCOLA



Teoria Cinética dos Gases



FUKE



PIETROCOLA

ORGANIZAÇÃO DO CONTEÚDO

Teoria Cinética dos Gases

SUMÁRIO

8 UNIDADE 1		
TERMOLÓGIA		
CAPÍTULO 1		
10 Termometria		
10 Temperatura		
14 Termômetros e escalas termométricas		
18 Função termométrica		
CAPÍTULO 2		
24 Dilatação de sólidos e líquidos		
24 Dilatação térmica dos sólidos		
33 Outras dilatações térmicas		
CAPÍTULO 3		
38 Calorimetria		
38 O calor		
40 A propagação do calor		
41 Condução térmica		
43 Convecção térmica		
45 Irradiação térmica		
47 Fluxo de calor por condução		
49 Radiações térmicas e a lei de Stefan-Boltzmann		
50 Efeitos do calor		
51 Calor sensível e calor latente		
54 Quantidade de calor latente		
55 Troca de calor entre corpos e sua lei geral		
CAPÍTULO 4		
66 Mudanças de estado		
68 Vaporização e condensação		
72 Fusão e solidificação		
75 Isotermas de Andrews		
77 Diagrama de fases		
79 Higrometria		
CAPÍTULO 5		
84 Estudo dos gases		
85 Variáveis de estado		
87 Transformações gasosas		
91 A Hipótese de Avogadro e o conceito de mol		
	94 Teoria cinética dos gases	
	96 Mistura de gases	
	CAPÍTULO 6	
	99 Termodinâmica	
	102 Trabalho envolvido na transformação do gás	
	105 Primeira Lei da Termodinâmica	
	108 A Primeira Lei e as transformações gasosas	
	119 A Segunda Lei da Termodinâmica	
	122 Máquinas térmicas	
	125 Ciclo de Carnot	
	UNIDADE 2	
	132 ÓPTICA GEOMÉTRICA	
	CAPÍTULO 7	
	134 Princípios da óptica geométrica	
	135 Luz	
	139 Princípios da óptica geométrica	
	140 Aplicações da propagação retilínea da luz	
	147 Cores e velocidades da luz	
	CAPÍTULO 8	
	154 As leis da reflexão e os espelhos planos	
	155 Leis da reflexão	
	156 Imagem de um ponto objeto	
	157 Imagem de um corpo extenso	
	159 Deslocamento e velocidade da imagem	
	160 Campo visual de um espelho plano	
	161 Associação de dois espelhos planos	
	162 Rotação de um espelho plano	
	CAPÍTULO 9	
	168 As leis da reflexão e os espelhos esféricos	
	169 Elementos de um espelho esférico	
	169 Leis da reflexão	
	170 Condições de nitidez de Gauss	
	171 Focos de um espelho esférico	

Unidade 2

Calor 161	
Capítulo 6	
Calor como energia 162	
1 • A história da natureza do calor 162	
2 • Um modelo para calor e matéria 166	
3 • Modelo cinético dos gases 179	
Outras atividades	
• Experimento – Investigue você mesmo – Construindo um termômetro 191	
• Foi assim... – Investigue com o pesquisador – O debate sobre a natureza do calor 192	
Capítulo 7	
Calor e dilatação 195	
1 • Dilatação 195	
2 • Dilatação linear • Um olhar para a dilatação nos corpos “finos” 196	
3 • Dilatação superficial • E as chapas, elas se dilatam como os fios? 201	
4 • Dilatação volumétrica • E o que dizer dos objetos em que as três dimensões são significativas? 204	
5 • Dilatação dos líquidos 206	
Outras atividades	
• Experimento – Investigue você mesmo – Construindo sensores térmicos 214	
• Experimento – Investigue você mesmo – Dilatação linear e volumétrica 215	
Capítulo 8	
Trocas de calor 216	
1 • Calor e temperatura nas substâncias 216	
2 • Cálculo das quantidades de calor 222	
3 • Trocas de calor em sistemas térmicos 230	
4 • Por que as substâncias mudam de estado? 232	
5 • Transmissão de calor: doando e recebendo calor 247	
Outras atividades	
• Experimento – Investigue você mesmo – Avaliando o calor específico 256	
• Experimento – Investigue você mesmo – Condução de calor 257	
• Pesquise, proponha e debata – A energia dos alimentos III 258	
• Pesquise, proponha e debata – Elementos climáticos I 259	
Capítulo 9	
Máquinas térmicas 260	
1 • Máquinas na História 260	
2 • Transformações em máquinas térmicas 264	
3 • Calor, energia e trabalho 277	
4 • Entropia e a dissipação da energia 290	
Outras atividades	
• Pesquise, proponha e debata – As máquinas de movimento perpétuo 302	
• Pesquise, proponha e debata – Entrevista com um técnico em refrigeração 304	
• Problema aberto – Miniestação meteorológica 304	
• Na internet – Brasil em ação 306	
Imagem	
Capítulo 10	
Luz e imagem	
1 • A visão: um fenômeno moderno 310	
2 • Câmara escura 312	
3 • A velocidade da luz 314	
4 • Reflexão • A reflexão da luz 316	
5 • Refração • A refração da luz 320	
Outras atividades	
• Experimento – Investigue você mesmo – Construindo um espectro de luz 324	
• Experimento – Investigue você mesmo – Construindo um espectro de luz 324	
• Experimento – Investigue você mesmo – Construindo um espectro de luz 324	
• Problema aberto – A luz e a vida 324	
Capítulo 11	
Espelhos e instrumentos	
1 • Espelhos esféricos 326	
2 • Lentes esféricas 330	
3 • Instrumentos ópticos 334	
4 • O olho humano 338	
Outras atividades	
• Experimento – Investigue você mesmo – Construindo um espectro de luz 324	
• Experimento – Investigue você mesmo – Construindo um espectro de luz 324	
• Experimento – Investigue você mesmo – Construindo um espectro de luz 324	
• Pesquise, proponha e debata – A luz e a vida 324	
Capítulo 12	
Som 406	
1 • Vibrações e ondas 406	
2 • O que torna um som agradável? 410	
3 • A orelha: esse órgão incrível 414	
4 • Música ou ruído? 418	
5 • Outros fenômenos 422	
Outras atividades	
• Experimento – Investigue você mesmo – Condução de calor 257	
• Experimento – Investigue você mesmo – Condução de calor 257	
• Experimento – Investigue você mesmo – Condução de calor 257	
• Pesquise, proponha e debata – A energia dos alimentos III 258	
• Pesquise, proponha e debata – Elementos climáticos I 259	
Capítulo 13	
Sons e instrumentos	
1 • A produção de som 424	
2 • Características do som 428	
3 • As ondas sonoras 432	
Outras atividades	
• Experimento – Investigue você mesmo – Construindo um espectro de luz 324	
• Experimento – Investigue você mesmo – Construindo um espectro de luz 324	
• Experimento – Investigue você mesmo – Construindo um espectro de luz 324	
• Pesquise, proponha e debata – A luz e a vida 324	

Teoria Cinética dos Gases



FUKE



PIETROCOLA

Abordagem

TEORIA CINÉTICA DOS GASES

- Pressão exercida
- Energia Cinética Média
- Energia Cinética Média por Partícula

MODELO CINÉTICO DOS GASES

- Variáveis de estado
- Transformações
- Lei geral dos gases e lei de Clapeyron

Teoria Cinética dos Gases



FUKE

Abordagem

TEORIA CINÉTICA DOS GASES

- Variáveis de estado

Discussão sobre temperatura e escalas termométricas no capítulo 1 e define pressão em variáveis de estado no capítulo 5.



PIETROCOLA

MODELO CINÉTICO DOS GASES

- Variáveis de estado

Define antes temperatura e pressão e depois retoma como sendo variáveis de estado.



FUCE

Estudo dos Gases

5 ESTUDO DOS GASES

Vimos no capítulo anterior que o diagrama de fases de qualquer substância apresenta um ponto sobre a curva de vaporização/condensação denominado ponto crítico.

Com pressão e temperatura próprias, o ponto crítico determina as condições de separação da substância em vapor e em gás — como gás, a substância está além do ponto crítico e não se condensa por compressão.

Vimos também que as partículas dos gases estão livres e em constante movimento desordenado, porque a distância estabelecida entre elas faz com que as forças de repulsão superem as de agregação. Devido a isso, os gases têm como propriedades principais a compressibilidade e a expansibilidade.

Estamos lidando com essas propriedades quando calibramos periodicamente os pneus do carro. O ar escapa pelo bico ou pelas paredes dos pneus após certo tempo; assim como eles parecem mais cheios nos dias quentes do que nos frios.

As partículas que constituem um gás deslocam-se sempre em altas velocidades; por isso, sua tendência é ocupar todo o espaço disponível, propriedade conhecida como difusão. Por exemplo, caso ocorra um vazamento de gás de cozinha, em poucos instantes ele se espalha pela casa toda — sabemos disso por causa do seu “cheiro característico” (o gás de cozinha é inodoro, assim o cheiro que sentimos é o do mercaptano, um composto orgânico que contém enxofre e é misturado nele).

O estudo sistemático dos gases começou no século XVII, com Robert Boyle (1627-1691), químico e físico britânico. Conhecendo as experiências de Otto von Guericke (1602-1686) com o vácuo e seguindo o método científico de Francis Bacon (1561-1626), Boyle investigou várias características dos gases com a bomba de vácuo então recém-inventada por Robert Hooke, derivando daí a lei que recebeu seu nome.

Nos séculos XVIII e XIX, as investigações sobre o comportamento dos gases receberam grande incremento com o advento das teorias atomistas e mais os trabalhos de Jacques Alexandre Cesar Charles (1746-1823) e Joseph Louis Gay-Lussac (1778-1850), cientistas que estudaram o balonismo, atividade que depende desse conhecimento.

Para saber se há algum vazamento, faça uma mistura de água com detergente e passe uma esponja umedecida com o líquido sobre o local suspeito, fazendo bastante espuma. Se houver a formação de bolhas é porque o gás está vazando. Nesse caso, feche a chave do gás, mantenha a casa bem ventilada e chame um especialista para consertar o vazamento.

Neste capítulo o modelo mecânico ajuda muito na compreensão do comportamento dos gases quando eles sofrem transformações de estado. Use-o sempre que for discutir a relação entre as variáveis de estado.



A calibragem periódica aumenta a vida útil do pneu, permite a economia de combustível e mantém a segurança e a estabilidade do veículo.

O fabricante recomenda que a calibragem seja feita preferencialmente com os pneus frios. Você sabe o motivo? Não se deve proceder a calibragem com pneus quentes porque, quando esfriarem, a pressão no seu interior diminuirá e rodarão murchos, o que é uma falha de segurança.



Capítulo 5 - Estudo dos gases

85

Mais tarde, no século XIX, o sucesso da Revolução Industrial — deflagrada na Inglaterra e depois disseminada por todo o mundo — foi garantido pelo embasamento teórico produzido pelos trabalhos sobre gases e máquinas térmicas desses cientistas e precursores da Termodinâmica, como Sadi Carnot, ratificando a credibilidade da máquina a vapor.

Neste capítulo, veremos como as variáveis que caracterizam a quantidade de partículas e sua energia interna — características a que daremos o nome de **estado do gás** — estão relacionadas com o modelo de partículas da matéria. Além disso, mostraremos como esse modelo mecânico pode evoluir para um modelo cinético, envolvendo inúmeras partículas, cujo tratamento é estatístico e não mais mecânico.

Variáveis de estado

Variáveis de estado são as grandezas que servem para caracterizar certa quantidade de gás no que tange à sua quantidade e energia interna. São três as variáveis de estado: pressão, volume e temperatura.

UNIDADES DE PRESSÃO E VOLUME

A unidade de pressão no SI, como sabemos, é o pascal (1 Pa = 1 N/m²). Em algumas oportunidades, usaremos 1 bar = 10⁵ Pa, além de outras unidades usuais (atm, mmHg).

O valor 1 atm (lê-se “uma atmosfera”) denota a pressão devida à coluna de ar em certo local. Ao nível do mar, 1 atm é da ordem de 10⁵ Pa.

A unidade mmHg (lê-se “milímetro de mercúrio”) está relacionada com a pressão exercida por uma coluna de mercúrio. Ao nível do mar, a pressão atmosférica é de aproximadamente 760 mmHg.

No SI, a unidade de volume é o metro cúbico (m³), mas também são usados o centímetro cúbico (cm³) e o litro (L).

As conversões são: 1 m³ = 10³ L = 10⁶ cm³.

Outro sistema de unidades ainda em uso em algumas situações é o sistema britânico, em que a pressão é medida em libra-força por polegada quadrada, ou psi (lê-se “pound per square inch”), e o volume é medido em galões, entre outras unidades.

o Pressão (p): é a grandeza que mede indiretamente a quantidade de colisões das partículas contra as paredes do recipiente que contém o gás. Lembrando que pressão é a relação entre a força aplicada e a área sobre a qual ela é aplicada, as partículas que colidem com as paredes do recipiente trocam forças com elas. A grande quantidade de colisões produz uma força praticamente constante e, portanto, uma pressão constante. Quanto maior o número de colisões, mais intensa é a pressão exercida pelo gás no interior do recipiente.

o Volume (V): é a medida da capacidade oferecida pelo recipiente que contém o gás.

o Temperatura (T): é a medida indireta da energia cinética média das partículas, e por isso podemos dizer que ela é uma indicação do grau de agitação dessas partículas. Quanto maior é o grau de agitação, mais elevada é a temperatura do gás. No SI, a unidade de medida na escala absoluta é o kelvin (K). O zero absoluto é uma temperatura inatingível na prática, pois caracteriza um estado em que as partículas deixariam de ter qualquer tipo de agitação. Na escala Celsius, esse valor corresponde a -273,15 °C.

Por que são necessárias três grandezas, e não apenas uma, como no caso dos líquidos ou sólidos, para caracterizar determinada quantidade de gás? É possível provar que em um litro de água existe sempre a mesma quantidade de moléculas, o mesmo ocorrendo com um objeto de 10 cm³ de ouro ou de cobre, mas o mesmo não se verifica com um gás.

O que acontece com o ar de um salão de festas se ele for solto em uma sala com volume de 100 m³? Ele se distribui por todo o volume da sala, 100 m³. No entanto, as condições desse ar na sala não serão as mesmas do interior do salão: você pode constatar, por exemplo, que a pressão do gás sobre a borracha será maior do que contra as paredes da sala. Então, o volume do gás está relacionado com a pressão. Uma investigação análoga vai mostrar que o volume do salão pode variar se alterarmos a temperatura do ambiente (lembre-se dos pneus do carro).



FUKE

Estudo dos Gases

Condições Normais de Temperatura e Pressão

As Condições Normais de Temperatura e Pressão (CNTP) foram estabelecidas pela União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC) para padronizar as circunstâncias em que se investigam os processos químicos, permitindo que sejam feitas comparações nos mais diversos contextos.

Assim, em 1997, adotaram-se como padrão os seguintes valores:

- o Temperatura: $0\text{ }^{\circ}\text{C} \equiv 273,15\text{ K}$;
- o Pressão: $101.325\text{ Pa} \equiv 1\text{ atm}$ (pressão atmosférica ao nível do mar).

Condição normal é o mesmo que condição-padrão?

Na verdade, não. As condições-padrão estabelecem pressão de $10^5\text{ Pa} \equiv 1\text{ bar}$ e temperatura de $273,15\text{ K}$. Como os valores da pressão são muito próximos, os textos didáticos muitas vezes usam as duas condições indiscriminadamente sob a denominação CNTP. Apenas a IUPAC aconselha descontinuar o uso da unidade "atm".

Para os propósitos desta obra, utilizaremos os seguintes valores aproximados para as CNTP:

- o Temperatura: $0\text{ }^{\circ}\text{C} \equiv 273\text{ K}$;
- o Pressão $1\text{ atm} \equiv 10^5\text{ Pa}$ (pressão atmosférica ao nível do mar).



FUKE

Estudo dos Gases

PARA SABER MAIS

REVISTA

O uso da terminologia Normal e Padrão
Química Nova na Escola, n. 25, maio de 2007. Disponível também em: <<http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc25/ccd01.pdf>>.

Temperatura, pressão e volume molar
Química Nova na Escola, n. 2, novembro de 1995. Disponível também em: <<http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc02/atual2.pdf>>.

Artigos publicados na revista *Química Nova na Escola* descrevem condições de temperatura e pressão segundo critérios distintos, mostrando que as divergências entre os valores da pressão-padrão e mesmo da pressão atmosférica transcendem o ambiente escolar, e que um sistema depende de escolhas convenientes e da exata declaração desses critérios.

química nova NA ESCOLA n. 25 MAIO 2007

Sociedade Brasileira de Química

- 3 Estratégias para ensinar sobre os gases: a abordagem de A. J. Van der Vliet e J. S. B. de Sá
- 8 O uso da terminologia Normal e Padrão em Química e das Unidades
- 10 Sobre os conceitos de pressão atmosférica e pressão-padrão
- 14 A clara distinção entre pressão de vapor e pressão total
- 17 Química para todos os tempos
- 20 Uma história de gás: hoje não são mais considerados "gases nobres" os gases de Xenônio e Césio de volume molar 131,3 g/mol
- 24 Abordagem de um dos aspectos da termodinâmica: o trabalho em expansão de um gás
- 28 Substituição de unidades de medida em Física e Química
- 30 Substituição de unidades de medida em Física e Química
- 32 Substituição de unidades de medida em Física e Química
- 34 Substituição de unidades de medida em Física e Química
- 36 Substituição de unidades de medida em Física e Química
- 38 Substituição de unidades de medida em Física e Química
- 40 Substituição de unidades de medida em Física e Química

Limite dos modelos e nomenclaturas



FUKE

Estudo dos Gases

88

TECNOLOGIA - UNIDADE 1

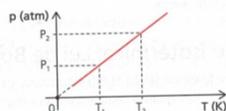
Transformação isométrica: Lei de Charles

A transformação gasosa que acontece sem alteração de volume é chamada de transformação isométrica, isocórica ou isovolumétrica.

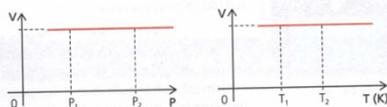
O francês Jacques Alexandre Cesar Charles concluiu que, em uma transformação de determinada massa gasosa a volume constante, as variações da pressão e da temperatura absoluta são diretamente proporcionais:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} = k_{\text{isométrica}}$$

O recipiente tem paredes rígidas, ou seja, seu volume é constante. Em termos do modelo de partículas, é possível justificar a transformação isométrica com o seguinte argumento: o aumento do número de colisões das partículas contra as paredes do recipiente só pode estar relacionada ao aumento de suas velocidades. Assim, elevando-se a pressão, a temperatura deverá elevar-se.



A curva do diagrama $p \times T$ é uma reta com inclinação positiva, pois a pressão varia linearmente com a modificação da temperatura absoluta, em proporção direta — e vice-versa. Próximo à origem, o trecho pontilhado do diagrama evidencia a impossibilidade de se atingir o zero absoluto.

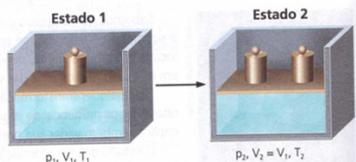


Estes diagramas também representam a transformação isométrica. Por quê? Porque em ambos os diagramas verificamos alterações na temperatura e na pressão sem que haja modificação de volume.

Transformação isobárica: Lei de Charles e Gay-Lussac

Transformação isobárica é aquela em que a pressão do gás no interior de um recipiente se mantém constante, alterando-se, portanto, o volume e a temperatura. Cesar Charles (1746-1823) e Joseph Louis Gay-Lussac (1778-1850) enunciaram a lei dessa transformação, em que o volume ocupado pelo gás e a temperatura absoluta são diretamente proporcionais:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = k_{\text{isobárica}}$$



Retrato de Jacques Alexandre Cesar Charles, óleo sobre tela de Joseph Boze, c. de 1800.



Retrato de Joseph Louis Gay-Lussac, litogravura de François-Séraphin Delpech, c. de 1800.



Retrato de Amedeo Avogadro (1776-1856), de Icilio Guareschi.

O *Gold Book* da IUPAC recomenda o uso do termo "constante de Avogadro", em substituição a "número de Avogadro".

Creator (Artista): Sentier, C. Edgar Allan Smith collection

Fatos históricos e citações de personas históricas breves

A Hipótese de Avogadro e o conceito de mol

O final do século XVIII e o início do século seguinte presenciaram o esforço da comunidade científica em determinar a constituição da matéria e explicar sua natureza corpuscular.

Os experimentos de Antoine de Lavoisier (1743-1794), Joseph Louis Proust (1754-1826) e John Dalton (1766-1844) levaram às teorias atomistas, baseadas em postulados que explicavam a matéria como sendo constituída de partículas indivisíveis, que se conservariam em quantidade e massa, e que se combinariam em proporções de números inteiros.

Essas teorias apoiavam-se nos resultados obtidos em experimentos de combinações de gases. Mas os volumes de gases de algumas dessas reações não estavam de acordo com o previsto nas transformações gasosas já conhecidas, o que indicava uma dificuldade na distinção entre átomos e moléculas.

Essa dificuldade foi superada pelo físico italiano Amedeo Avogadro, ao afirmar que iguais volumes de todos os gases, nas mesmas condições físicas, contêm o mesmo número de partículas (e não necessariamente de átomos). Essa hipótese, mais as ideias de Stanislao Cannizzaro (1826-1910) sobre massas atômicas e moleculares, levaram à determinação da constante de Avogadro — constante física fundamental que representa o número de entidades elementares (átomos, moléculas, íons, elétrons e outras partículas ou grupos dessas partículas) contidas em um mol.

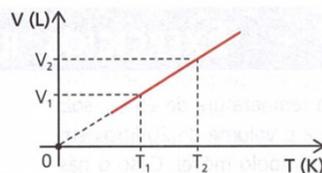
$$N_A = 6,023 \cdot 10^{23} \text{ partículas/mol}$$



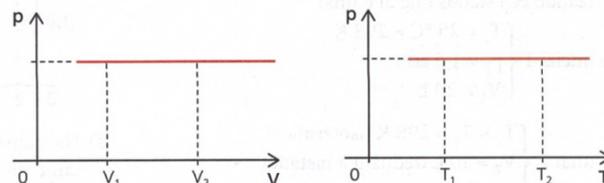
FUKE

Estudo dos Gases

Queremos que a amostra de partículas realize, em dado intervalo de tempo, o mesmo número de colisões nas paredes do recipiente, independentemente das variações de temperatura ou volume. Aumentar o volume significa fazer avançar a fronteira do gás sobre a vizinhança, e para manter o número de colisões constante, a velocidade das partículas deve crescer. Em termos macroscópicos, ampliando o volume temos uma elevação na temperatura do gás. Peça aos alunos que justifiquem a redução do volume por diminuição da temperatura.



A curva do diagrama $V \times T$ também é uma reta positivamente inclinada, pois o volume varia linearmente com a temperatura absoluta, em proporção direta. Da mesma forma que no diagrama $p \times T$, a curva possui uma parte pontilhada próxima da temperatura 0 K.



Observe os diagramas e explique como se realiza uma expansão isobárica. Levando o gás de (p, V_1, T_1) para (p, V_2, T_2) , com $V_2 > V_1$ ou com $T_2 > T_1$.

Gás perfeito e gás real

Um gás que se comporta segundo o que se discutiu nas transformações anteriores é chamado de gás perfeito ou ideal, o que, como o próprio nome sugere, não passa de uma abstração.

O que existe são os gases reais, que em determinadas condições se comportam como se fossem perfeitos: pressão baixa, temperatura alta e sem sofrer liquefação com variações de pressão. O gás hélio sob essas condições é o que mais se aproxima do gás ideal.

Nos casos reais, as partículas em movimento nos gases não são necessariamente todas iguais, pois um gás também pode ser constituído de uma mistura; para temperaturas suficientemente baixas, começa a haver atração entre elas, e, como é de se esperar, o volume não tende a zero por mais que ela seja diminuída.

Pergunte à classe o que deve ocorrer quando um gás real chega perto do zero absoluto. Leve-os a concluir que, nessa condição, o volume do material se reduz ao volume real das moléculas isoladas; portanto, com um volume não nulo e uma densidade extrema.

Comentários dos autores ao professor são raros e geralmente se referem a limites da teoria ou auxiliam em alguma reflexão além



FUKE

Estudo dos Gases

88 **Transformação isométrica: Lei de Charles**

A transformação gasosa que acontece sem alteração de volume é chamada de transformação isométrica, isocórica ou isovolumétrica.

O francês Jacques Alexandre Cesar Charles concluiu que, em uma transformação de determinada massa gasosa a volume constante, as variações da pressão e da temperatura absoluta são diretamente proporcionais:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} = k_{\text{isométrica}}$$

O recipiente tem paredes rígidas, ou seja, seu volume é constante. Em termos do modelo de partículas, é possível justificar a transformação isométrica com o seguinte argumento: o aumento do número de colisões das partículas contra as paredes do recipiente só pode estar relacionada ao aumento de suas velocidades. Assim, elevando-se a pressão, a temperatura deverá elevar-se.

Retrato de Jacques Alexandre Cesar Charles, óleo sobre tela de Joseph Boze, c. de 1800.

A curva do diagrama $p \times T$ é uma reta com inclinação positiva, pois a pressão varia linearmente com a modificação da temperatura absoluta, em proporção direta — e vice-versa. Próximo à origem, o trecho pontilhado do diagrama evidencia a impossibilidade de se atingir o zero absoluto.

Estes diagramas também representam a transformação isométrica. Por quê? Porque em ambos os diagramas verificamos alterações na temperatura e na pressão sem que haja modificação de volume.

Transformação isobárica: Lei de Charles e Gay-Lussac

Transformação isobárica é aquela em que a pressão do gás no interior de um recipiente se mantém constante, alterando-se, portanto, o volume e a temperatura. Cesar Charles (1746-1823) e Joseph Louis Gay-Lussac (1778-1850) enunciaram a lei dessa transformação, em que o volume ocupado pelo gás e a temperatura absoluta são diretamente proporcionais:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = k_{\text{isobárica}}$$

Retrato de Joseph Louis Gay-Lussac, litogravura de François-Séraphin Delpech, c. de 1800.

Matematização com auxílio de gravuras e gráficos, com algumas demonstrações indicadas ao professor

Lei geral dos gases perfeitos

Considere certa massa gasosa passando por uma transformação gasosa de um estado inicial 1, de pressão p_1 , volume V_1 e temperatura absoluta T_1 , para um estado final 2, de pressão p_2 , volume V_2 e temperatura absoluta T_2 .

A lei geral dos gases perfeitos resume os resultados das três transformações gasosas particulares, sendo representada pela expressão: *Mostre que essa equação é o caso geral das três expressões anteriores.*

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} = k \text{ (constante)}$$

Observe: escrevendo essa expressão de outra maneira, também é verdade que $\frac{p \cdot V}{T} = R \text{ (constante)}$, formato que será bastante útil, como veremos mais adiante.



FUKE

Estudo dos Gases

Capítulo 5. Estudo dos gases

Atividade introdutória: Teoria cinética dos gases

Apresentação

Trata-se de uma simulação disponível no site PhET, da Universidade do Colorado, que objetiva discutir as relações e os conceitos de pressão, temperatura, volume e quantidade de matéria de um gás. O simulador permite fazer alterações na quantidade de matéria, pressão, temperatura e volume; também possibilita que você mantenha uma das variáveis de estado constante. Além de as alterações serem perceptíveis visualmente, no termômetro e no barômetro, o simulador oferece réguas para que seja medido o tamanho do recipiente no qual o gás está contido, dimensiona a velocidade dos constituintes e mostra histogramas de energia: <<http://phet.colorado.edu/en/simulation/gas-properties>>. Acesso em: 16 nov. 2010.

Preparação e aplicação

Caso a escola possua computadores, permita que os alunos manipulem a simulação antes do encaminhamento da atividade; se houver um computador acoplado a um projetor, o professor pode manipular a simulação, encaminhando a atividade. A sugestão a seguir utilizará o simulador para discutir as variáveis de estado de um gás. O professor pode, primeiro, sugerir que os alunos imaginem respostas hipotéticas às questões e só depois passar ao simulador.

Inicialmente, injete um pouco de gás no interior do recipiente, utilizando a bomba que fica do lado direito, e anote a quantidade de partículas injetadas. Efetuada a injeção, os marcadores de temperatura e de pressão indicarão os valores correspondentes.

1) Volume constante. Mantenha o volume constante no *Constant Parameter* e aumente a temperatura (no *Heat Control*, em *Add*). O que acontece com o movimento do gás e com a pressão?

Resposta: Aumento na velocidade quadrática média das partículas e na pressão.

2) Temperatura constante. Mantenha a temperatura constante no *Constant Parameter* e diminua o volume. O que acontece com o movimento do gás e a pressão?

Resposta: Aumento da pressão e a velocidade média permanece constante.

3) Pressão constante. Mantenha a pressão constante no *Constant Parameter* e diminua a temperatura. O que acontece com o movimento do gás e com o volume?

Resposta: Diminuição do volume e da velocidade quadrática média das partículas.

4) Mantenha o volume constante e injete mais partículas no recipiente. O que acontece com a pressão e a temperatura?

Resposta: A pressão aumenta e a temperatura não varia.

5) Mantenha a pressão constante e retire partículas do recipiente. O que acontece com o volume e a temperatura?

Resposta: Ambos diminuem.

Resolução dos exercícios propostos

EP1. Dados: $p_1 = 2,2 \text{ atm}$; $V_1 = 4,0 \text{ cm}^3$; $p_2 = 1,0 \text{ atm}$;

$T_1 = T_2$ (transformação isotérmica).

Sendo a transformação isotérmica, temos:

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

$$2,2 \cdot 4,0 = 1,0 \cdot V_2 \Rightarrow V_2 = 8,8 \text{ cm}^3.$$

EP2. Inicialmente o gás está nas CNPT, isto é:

$$p_1 = 1,0 \text{ atm e } T_1 = 0^\circ\text{C} = 273 \text{ K}.$$

a) Para determinar a pressão p_2 quando a temperatura atinge $T_2 = 491,4^\circ\text{C} = 764,4 \text{ K}$, vale para a transformação isométrica a relação:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \Rightarrow \frac{1,0}{273} = \frac{p_2}{764,4} \Rightarrow p_2 = 2,8 \text{ atm}.$$



FUKE

Estudo dos Gases

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

ER1. Certo gás perfeito à temperatura de 25 °C, sob pressão de 1,6 atm, ocupa o volume de 20 litros em um recipiente provido de êmbolo móvel. Caso o gás sofra uma compressão isotérmica e o seu volume se reduza à metade, qual será a nova pressão no interior do recipiente?

Resolução:

Caracterizando os estados inicial e final:

$$\text{Estado inicial 1} \begin{cases} T_1 = 25 \text{ °C} = 298 \text{ K} \\ p_1 = 1,6 \text{ atm} \\ V_1 = 20 \text{ L} \end{cases}$$

$$\text{Estado final 2} \begin{cases} T_2 = T_1 = 298 \text{ K (isotérmica)} \\ V_2 = 10 \text{ L (reduziu à metade)} \\ p_2 = ? \end{cases}$$

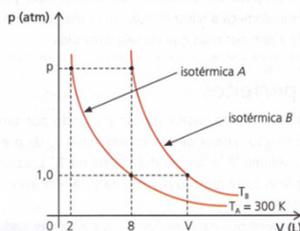
Na transformação isotérmica, temos:

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

$$1,6 \cdot 20 = p_2 \cdot 10 \Rightarrow p_2 = 3,2 \text{ atm}$$

Na transformação isotérmica, alterações de pressão e volume são inversamente proporcionais: se o volume inicial se reduz à metade, a pressão final dobra.

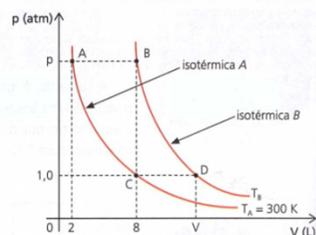
ER2. O diagrama abaixo (fora de escala) mostra duas isotérmicas, A e B, de uma mesma massa de um gás perfeito. Levando-se em conta os dados do diagrama, determine:



- a) a pressão p ;
- b) a temperatura absoluta T_B ;
- c) o volume V .

Resolução:

Colocando-se os pontos A e C na linha isotérmica de temperatura $T_A = 300 \text{ K}$ e os pontos B e D na linha isotérmica de temperatura T_B , temos:



- a) Na transformação isotérmica (temperatura constante de 300 K), indo do estado inicial A para o final C, de acordo com a Lei de Boyle-Mariotte, podemos escrever:

$$p_A \cdot V_A = p_C \cdot V_C, \text{ em que } \begin{cases} p_A = p = ? \\ V_A = 2 \text{ L} \\ p_C = 1,0 \text{ atm} \\ V_C = 8 \text{ L} \end{cases}$$

$$p \cdot 2 = 1,0 \cdot 8 \Rightarrow p = 4,0 \text{ atm}$$

- b) Na transformação isobárica (pressão constante de 4,0 atm) do estado inicial A até o final B, de acordo com a Lei de Charles e Gay-Lussac, temos:

$$\frac{V_A}{T_A} = \frac{V_B}{T_B}, \text{ em que } \begin{cases} V_A = 2 \text{ L} \\ T_A = 300 \text{ K} \\ V_B = 8 \text{ L} \\ T_B = ? \end{cases}$$

$$\frac{2}{300} = \frac{8}{T_B} \Rightarrow T_B = 1.200 \text{ K}$$

- c) Na transformação isotérmica (temperatura constante de 1.200 K), indo do estado inicial B para o final D, de acordo com a Lei de Boyle-Mariotte, podemos escrever:

$$p_B \cdot V_B = p_D \cdot V_D, \text{ em que } \begin{cases} p_B = 4,0 \text{ atm} \\ V_B = 8 \text{ L} \\ p_D = 1,0 \text{ atm} \\ V_D = V = ? \end{cases}$$

$$4,0 \cdot 8 = 1,0 \cdot V \Rightarrow V = 32 \text{ L}$$

ER3. Certa massa gasosa, contida em um recipiente rígido de volume variável, inicialmente nas CNTP, ocupa um volume de 5 L. Fornecendo calor ao gás, sua temperatura sobe "isobaricamente" para 409,5 °C.

- a) Calcular o novo volume ocupado pelo gás.
- b) Traçar o diagrama do volume em função da temperatura, na escala Celsius.

Exercícios resolvidos, que se utilizam apenas das equações dadas no texto



FUKE

Estudo dos Gases

EXERCÍCIO RESOLVIDO

ER8. Na figura, o balão A contém certa quantidade de gás perfeito A sob pressão de 2 atm, e o balão B, outra quantidade de gás perfeito B sob pressão de 3 atm, ambos na mesma temperatura.

Sabendo que o balão A possui o triplo da capacidade do balão B, calcule a pressão da mistura pouco depois de aberta a torneira que separa os dois gases, supondo que não houve variação na temperatura.

Resolução:

Gás A $\begin{cases} P_A = 2 \text{ atm} \\ T_A = T \\ V_A = 3V \end{cases}$ Gás B $\begin{cases} P_B = 3 \text{ atm} \\ T_B = T \\ V_B = V \end{cases}$

Mistura $\begin{cases} P_m = ? \\ T_m = T \\ V_m = 3V + V = 4V \end{cases}$

Substituindo os dados na expressão:

$$\frac{P_m \cdot V_m}{T_m} = \frac{P_A \cdot V_A}{T_A} + \frac{P_B \cdot V_B}{T_B}, \text{ temos}$$

$$\frac{P_m \cdot 4V}{T} = \frac{2 \cdot 3V}{T} + \frac{3 \cdot V}{T} \Rightarrow 4 \cdot P_m = 6 + 3 = 9$$

Portanto: $P_m = \frac{9}{4} \Rightarrow P_m = 2,25 \text{ atm}$

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

EP1. No fundo de um lago, onde a pressão é de 2,2 atm, forma-se uma bolha de ar com volume de 4,0 cm³. Calcule o volume da bolha depois de ela subir à tona, onde a pressão atmosférica mede 1,0 atm. Admita que nessa transformação a massa do gás no interior da bolha e a temperatura permaneceram constantes. 8,8 cm³

EP2. O diagrama representa uma transformação isométrica de certa massa de gás ideal, inicialmente nas condições normais de temperatura e pressão (CNTP).

Determine:

- a pressão do gás quando a temperatura do sistema atinge 491,4 °C. 2,8 atm
- a temperatura, em graus celsius, quando a massa gasosa estiver sob pressão de 0,8 atm. -54,6 °C

EP3. Uma garrafa plástica maleável com capacidade de 2 L, vazia e bem vedada com a tampa de rosca, é colocada no congelador de um refrigerador durante algumas horas. Ao ser retirada, a garrafa provavelmente estará:

- cheia de gelo.
- estourada.
- da mesma forma que foi colocada.
- deformada e murcha. X
- deformada e inchada.

EP4. Um gás, inicialmente sob temperatura de 25 °C e pressão atmosférica normal, teve o seu volume triplicado "isobaricamente". Determine a temperatura em que isso aconteceu. 621 °C

EP5. Certa quantidade de gás carbônico contido em um recipiente de 32 L, sob pressão de 1,0 atm e temperatura de 27 °C, foi transferido integralmente para outro recipiente de capacidade 40 L, sem que a pressão tenha sido alterada. Como ficou a temperatura do gás, em °C, imediatamente após a transferência? A temperatura aumentou para 102 °C.

EP6. Um cilindro com êmbolo móvel contém 24 L de gás nitrogênio, sob pressão de 15 atm e temperatura de 27 °C. Qual será o novo volume do gás à temperatura de 127 °C e pressão de 30 atm? 16 L

EP7. Em um recipiente de capacidade de 15,5 L são colocados 110 g de CO₂ (M = 44 g), à temperatura de 37 °C. Sendo dada a constante universal dos gases perfeitos R = 0,082 · atm · L/mol · K, determine:

- o número de mol do gás carbônico. 2,5 mol
- a pressão do gás no interior do recipiente. 4,1 atm

Raramente citam vestibulares, imaginamos que por não conterem referência tenham sido criados pelos autores



FUKE

Estudo dos Gases

90

TERMOLOGIA - UNIDADE 1

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

ER1. Certo gás perfeito à temperatura de 25 °C, sob pressão de 1,6 atm, ocupa o volume de 20 litros em um recipiente provido de êmbolo móvel. Caso o gás sofra uma compressão isotérmica e o seu volume se reduza à metade, qual será a nova pressão no interior do recipiente?

Resolução:

Caracterizando os estados inicial e final:

$$\text{Estado inicial 1} \begin{cases} T_1 = 25 \text{ °C} = 298 \text{ K} \\ p_1 = 1,6 \text{ atm} \\ V_1 = 20 \text{ L} \end{cases}$$

$$\text{Estado final 2} \begin{cases} T_2 = T_1 = 298 \text{ K (isotérmica)} \\ V_2 = 10 \text{ L (reduziu à metade)} \\ p_2 = ? \end{cases}$$

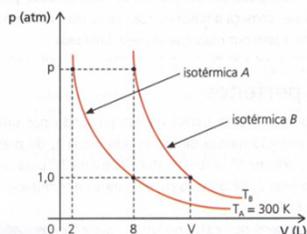
Na transformação isotérmica, temos:

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

$$1,6 \cdot 20 = p_2 \cdot 10 \Rightarrow p_2 = 3,2 \text{ atm}$$

Na transformação isotérmica, alterações de pressão e volume são inversamente proporcionais: se o volume inicial se reduz à metade, a pressão final dobra.

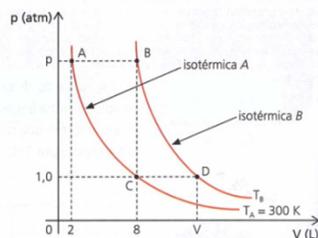
ER2. O diagrama abaixo (fora de escala) mostra duas isotérmicas, A e B, de uma mesma massa de um gás perfeito. Levando-se em conta os dados do diagrama, determine:



- a pressão p ;
- a temperatura absoluta T_B ;
- o volume V .

Resolução:

Colocando-se os pontos A e C na linha isotérmica de temperatura $T_A = 300 \text{ K}$ e os pontos B e D na linha isotérmica de temperatura T_B , temos:



- Na transformação isotérmica (temperatura constante de 300 K), indo do estado inicial A para o final C, de acordo com a Lei de Boyle-Mariotte, podemos escrever:

$$p_A \cdot V_A = p_C \cdot V_C, \text{ em que } \begin{cases} p_A = p = ? \\ V_A = 2 \text{ L} \\ p_C = 1,0 \text{ atm} \\ V_C = 8 \text{ L} \end{cases}$$

$$p \cdot 2 = 1,0 \cdot 8 \Rightarrow p = 4,0 \text{ atm}$$

- Na transformação isobárica (pressão constante de 4,0 atm) do estado inicial A até o final B, de acordo com a Lei de Charles e Gay-Lussac, temos:

$$\frac{V_A}{T_A} = \frac{V_B}{T_B}, \text{ em que } \begin{cases} V_A = 2 \text{ L} \\ T_A = 300 \text{ K} \\ V_B = 8 \text{ L} \\ T_B = ? \end{cases}$$

$$\frac{2}{300} = \frac{8}{T_B} \Rightarrow T_B = 1.200 \text{ K}$$

- Na transformação isotérmica (temperatura constante de 1.200 K), indo do estado inicial B para o final D, de acordo com a Lei de Boyle-Mariotte, podemos escrever:

$$p_B \cdot V_B = p_D \cdot V_D, \text{ em que } \begin{cases} p_B = 4,0 \text{ atm} \\ V_B = 8 \text{ L} \\ p_D = 1,0 \text{ atm} \\ V_D = V = ? \end{cases}$$

$$4,0 \cdot 8 = 1,0 \cdot V \Rightarrow V = 32 \text{ L}$$

ER3. Certa massa gasosa, contida em um recipiente rígido de volume variável, inicialmente nas CNTP, ocupa um volume de 5 L. Fornecendo calor ao gás, sua temperatura sobe "isobaricamente" para 409,5 °C.

- Calcular o novo volume ocupado pelo gás.
- Traçar o diagrama do volume em função da temperatura, na escala Celsius.

Exercícios resolvidos, que se utilizam apenas das equações dadas no texto



FUKE

Estudo dos Gases

EXERCÍCIO RESOLVIDO

Na figura, o balão A contém certa quantidade de gás perfeito A sob pressão de 2 atm, e o balão B, outra quantidade de gás perfeito B sob pressão de 3 atm, ambos na mesma temperatura.

Sabendo que o balão A possui o triplo da capacidade do balão B, calcule a pressão da mistura pouco depois de aberta a torneira que separa os dois gases, supondo que não houve variação na temperatura.

Resolução:

Gás A $\begin{cases} p_A = 2 \text{ atm} \\ T_A = T \\ V_A = 3V \end{cases}$ Gás B $\begin{cases} p_B = 3 \text{ atm} \\ T_B = T \\ V_B = V \end{cases}$

Mistura $\begin{cases} p_m = ? \\ T_m = T \\ V_m = 3V + V = 4V \end{cases}$

Substituindo os dados na expressão:

$$\frac{p_m \cdot V_m}{T_m} = p_A \cdot \frac{V_A}{T_A} + p_B \cdot \frac{V_B}{T_B}, \text{ temos}$$

$$\frac{p_m \cdot 4V}{T} = \frac{2 \cdot 3V}{T} + \frac{3 \cdot V}{T} \Rightarrow 4 \cdot p_m = 6 + 3 = 9$$

Portanto: $p_m = \frac{9}{4} \Rightarrow p_m = 2,25 \text{ atm}$

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

EP1. No fundo de um lago, onde a pressão é de 2,2 atm, forma-se uma bolha de ar com volume de 4,0 cm³. Calcule o volume da bolha depois de ela subir à tona, onde a pressão atmosférica mede 1,0 atm. Admita que nessa transformação a massa do gás no interior da bolha e a temperatura permaneceram constantes. 8,8 cm³

EP2. O diagrama representa uma transformação isométrica de certa massa de gás ideal, inicialmente nas condições normais de temperatura e pressão (CNTP).

Determine:

- a pressão do gás quando a temperatura do sistema atinge 491,4 °C. 2,8 atm
- a temperatura, em graus celsius, quando a massa gasosa estiver sob pressão de 0,8 atm. -54,6 °C

EP3. Uma garrafa plástica maleável com capacidade de 2 L, vazia e bem vedada com a tampa de rosca, é colocada no congelador de um refrigerador durante algumas horas. Ao ser retirada, a garrafa provavelmente estará:

- cheia de gelo.
- estourada.
- da mesma forma que foi colocada.
- deformada e murcha. x
- deformada e inchada.

EP4. Um gás, inicialmente sob temperatura de 25 °C e pressão atmosférica normal, teve o seu volume triplicado "isobaricamente". Determine a temperatura em que isso aconteceu. 621 °C

EP5. Certa quantidade de gás carbônico contido em um recipiente de 32 L, sob pressão de 1,0 atm e temperatura de 27 °C, foi transferido integralmente para outro recipiente de capacidade 40 L, sem que a pressão tenha sido alterada. Como ficou a temperatura do gás, em °C, imediatamente após a transferência? A temperatura aumentou para 102 °C.

EP6. Um cilindro com êmbolo móvel contém 24 L de gás nitrogênio, sob pressão de 15 atm e temperatura de 27 °C. Qual será o novo volume do gás à temperatura de 127 °C e pressão de 30 atm? 16 L

EP7. Em um recipiente de capacidade de 15,5 L são colocados 110 g de CO₂ (M = 44 g), à temperatura de 37 °C. Sendo dada a constante universal dos gases perfeitos R = 0,082 · atm · L/mol · K, determine:

- o número de mol do gás carbônico. 2,5 mol
- a pressão do gás no interior do recipiente. 4,1 atm

Raramente citam vestibulares, imaginamos que por não conterem referência tenham sido criados pelos autores

Termodinâmica

PIETROCOLA



- Discussões conceituais com analogias ao cotidiano
- Discussões e personagens históricos
- Exercícios resolvidos e propostos - *É Fácil*
- Exercícios *Pense um pouco mais*
- Atividades Extras

Termodinâmica

PIETROCOLA



**DISCUSSÕES CONCEITUAIS COM ANALOGIAS AO
COTIDIANO**

Termodinâmica

PIETROCOLA



Termodinâmica

PIETROCOLA



Calor é a energia na forma térmica que **se transfere** de um corpo para outro, ou, em outras palavras, a energia térmica em trânsito.

Lembrete

Uma metáfora possível para representar um **líquido** – por exemplo, o copo de água da página 163 – seria imaginar as moléculas comportando-se como frenéticas patinadoras que, além de se deslocarem na pista, agitam os braços e uma das pernas em movimentos circulares. Conforme essas patinadoras se “aquecem”, são tomadas de emoção e adquirem uma energia extraordinária: seus movimentos tornam-se mais vibrantes e emocionantes. O “calor” da plateia é fundamental para isso!

O movimento de vibração mais intenso das moléculas exige maior espaço entre elas, provocando um aumento de volume da substância. É isso o que acontece quando um líquido é aquecido: a água, por exemplo, aumenta de volume quando sua temperatura aumenta (em determinados intervalos).

Retomando nossa metáfora, observe que o mesmo aconteceria com um grupo de patinadoras que ocupasse determinado espaço no palco, apenas mexendo os quadris. Se iniciassem pequenas corridas, com abertura de braços e pernas, logo ocupariam maior espaço.

Aumentar a temperatura de uma substância significa intensificar o grau de agitação de suas moléculas. A essa energia da agitação das partículas damos o nome de **energia térmica**.

No caso de um **sólido**, por exemplo um pedaço de metal à temperatura ambiente, a situação é um pouco diferente. As moléculas desse metal não poderão deslizar umas sobre as outras; apenas vibrarão em torno de um ponto fixo. Quanto maior a quantidade de calor cedida ao metal, mais energia é assimilada pelas moléculas, aumentando assim as amplitudes de vibração. Por isso, o metal aquecido ocupará um espaço maior. A dilatação dos metais é, em geral, muito menor do que a dos líquidos.

Ilustrações: Mario Piza

Representação das patinadoras com pouca e muita vibração. Nessa metáfora, as patinadoras representam as moléculas de um líquido.

Representação das patinadoras com pouca e muita vibração. Nessa metáfora, as patinadoras representam as partículas (átomos ou ions) de um sólido.

Com base no que vimos, descreva como seria o movimento do corpo de baile das patinadoras da metáfora acima?

Explorando o assunto

6

Termodinâmica

PIETROCOLA

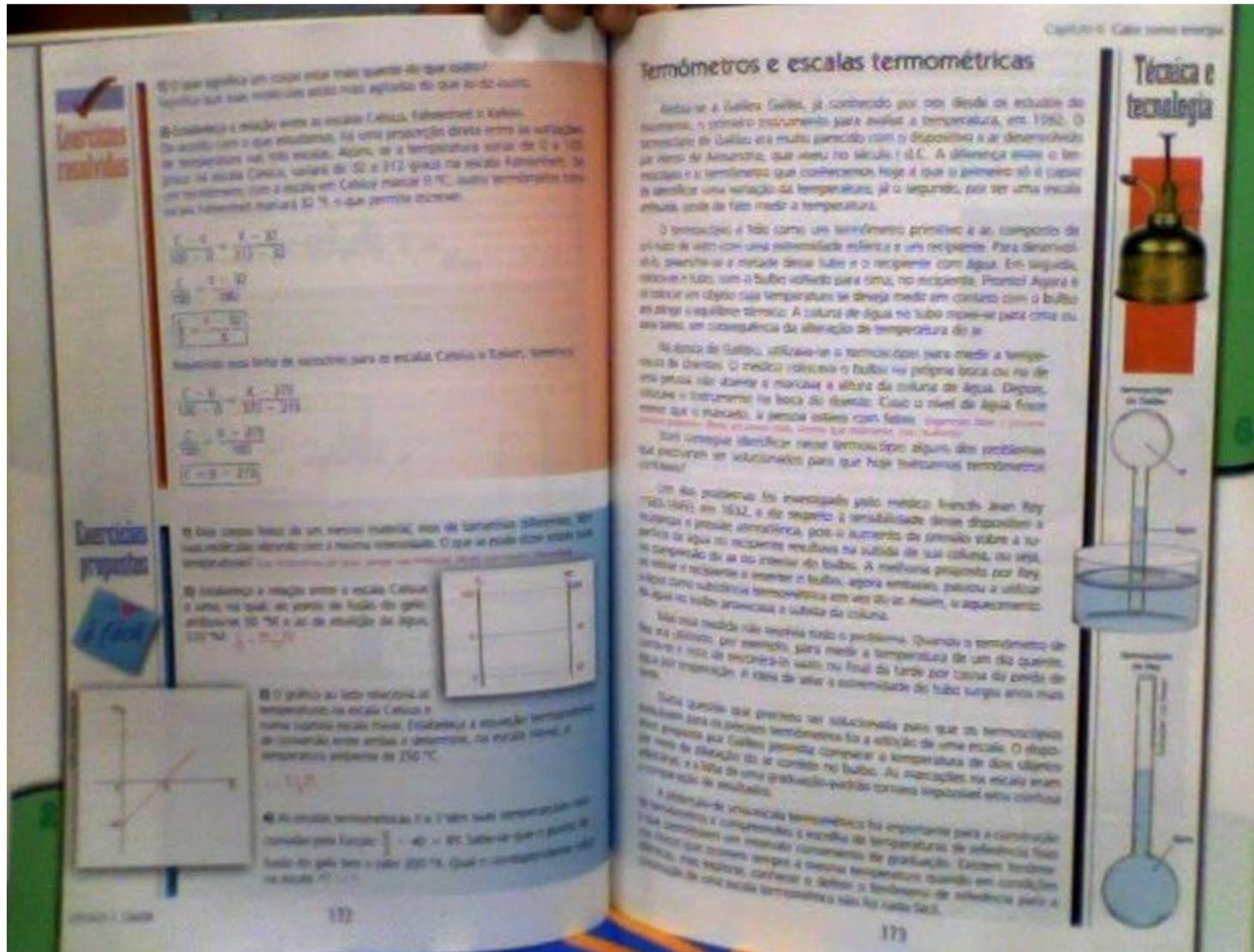


DISCUSSÕES E PERSONAGENS HISTÓRICOS

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS E PROPOSTOS - É FÁCIL

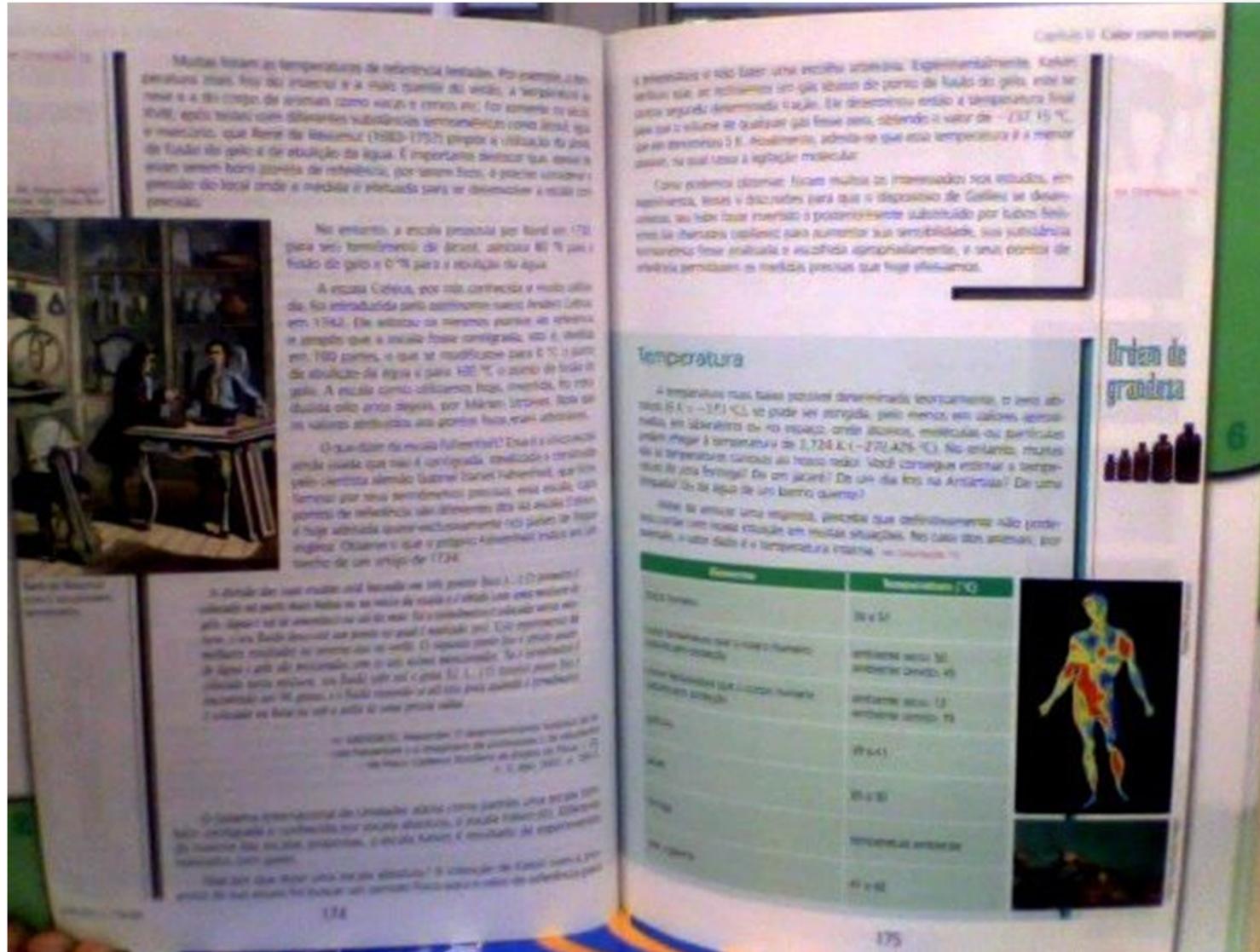
Termodinâmica

PIETROCOLA



Termodinâmica

PIETROCOLA



Termodinâmica

PIETROCOLA



EXERCÍCIOS PENSE UM POUCO MAIS

Termodinâmica

PIETROCOLA



É importante salientar ainda que o número de moléculas influencia nas propriedades físicas do gás. Por exemplo, sabemos que a pressão depende diretamente da massa do gás. Sendo assim, uma expressão ainda mais geral para descrever o estado de um gás deve levar em consideração a sua respectiva massa.

Sabemos que a relação entre pressão, volume e temperatura é sempre constante para qualquer transformação ou em outras palavras:

$$\frac{p_0 V_0}{T_0} = \frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} = \dots = \frac{pV}{T} = \text{constante}$$

A constante em questão é definida por dois termos, o primeiro é a quantidade de gás presente na amostra, caracterizada pela **quantidade de mols n** e o segundo é uma constante determinada experimentalmente, que recebe o nome de **constante universal dos gases R**. Assim:

$$\frac{pV}{T} = nR \text{ ou } pV = nRT$$

Essa relação recebe o nome de equação de Clapeyron.

Comentários

1) O número de mols **n** pode ser calculado a partir do número de moléculas **N** e o número de Avogadro **A**, dado por $6,0 \cdot 10^{23}$ partículas/mol.

$$n = \frac{N}{A}$$

2) A constante universal dos gases é:

$$R = 8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} = 1,986 \frac{\text{cal}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

Lembrete

Assim como em qualquer descrição, mas sobretudo nas transformações de gases, por envolver muitas variáveis, devemos dar atenção particular às unidades de medida. Para **temperatura**, utilizamos apenas a escala Kelvin. A **pressão** é dada em pascal (1 Pa = 1 N/m²) ou em atmosferas (1 atm = 10⁵ N/m). Para o **volume**, usa-se litro ou metro cúbico. As unidades de pressão e volume são arbitrárias, mas, uma vez escolhida a unidade, esta deve ser mantida nas relações matemáticas.

Exercício resolvido

Um gás perfeito está encerrado em um recipiente cilíndrico dotado de êmbolo. Suas variáveis de estado apresentam os seguintes valores: pressão $p = 1,2$ atm, volume $V = 150$ cm³ e temperatura $T = 27$ °C = 300 K. O êmbolo é, então, comprimido para o gás ocupar apenas 100 cm³. Observa-se que sua pressão aumenta para 1,8 atm.

- Determine o número de mols e de moléculas desse gás.
 - Calcule a nova temperatura do gás.
- a) O número de mols pode ser determinado pela lei geral dos gases perfeitos, mas primeiro passaremos os dados para as unidades do SI:
- $$p = 1,2 \text{ atm} = 1,2 \cdot 10^5 \text{ Pa}; V = 150 \text{ cm}^3 = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3; R = 8,3 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$$
- $$n = \frac{pV}{TR} = \frac{1,2 \cdot 10^5 \cdot 1,5 \cdot 10^{-4}}{300 \cdot 8,3} = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$
- $$N = nA = 2,4 \cdot 10^{-3} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 1,44 \cdot 10^{21} \text{ moléculas}$$

b) Relacionando as variáveis de estado nas situações inicial e final do gás, temos:

$$\frac{p_0 V_0}{T_0} = \frac{pV}{T} \Rightarrow \frac{1,2 \cdot 150}{300} = \frac{1,8 \cdot 100}{T} \Rightarrow T = 300 \text{ K}$$

Portanto, a temperatura final é igual à temperatura inicial do gás. É possível que essa transformação tenha sido isotérmica. Mas isso não se pode afirmar com certeza, pois não se sabe se, durante o procedimento de redução do volume, a temperatura se manteve constante ou não.

1) Um gás ideal sofreu uma transformação isobárica, sob pressão de 2,0 atm. Seu volume foi aumentado de 200 cm³ para 500 cm³. Use $R = 8,3 \text{ J}/\text{mol} \cdot \text{K}$. Se a temperatura inicial do gás era de 127 °C:

- determine sua temperatura final; 1000 K
- indique o número de mols contido no interior do recipiente; $1,2 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$
- esboce o gráfico da pressão do gás em função da temperatura. Resposta no final do livro.

2) Um gás ideal ocupa o volume de 1 L no interior de uma garrafa rígida. A temperatura do gás é de 27 °C e sua pressão é de 1,66 atm. O gás é aquecido até sua pressão dobrar.

- Determine sua nova temperatura. 327 °C
- É possível determinar a quantidade de moléculas do gás no interior dessa garrafa? Sim; $1,0 \cdot 10^{24}$ moléculas
- Esboce o gráfico da pressão em função da temperatura. Resposta no final do livro.

3) Um gás perfeito encontra-se encerrado no interior de um frasco de forma cilíndrica dotado de êmbolo. O gás ocupa 50 cm³, a 47 °C, sob pressão de 2,1 atm. Ele é aquecido até 167 °C quando, então, seu volume aumenta para 75 cm³. Use $R = 8,4 \text{ J}/\text{mol} \cdot \text{K}$. Determine:

- o número de mols e de moléculas no interior do recipiente; $3,9 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$; $2,34 \cdot 10^{21}$ moléculas
- sua pressão final. 1,92 atm

4) (Vunesp-SP) Por meio de uma bomba de ar comprimido, um tratorista completa a pressão de um dos pneus do seu trator florestal, elevando-a de 1,1 · 10⁵ Pa (16 lbf/pol²) para 1,3 · 10⁵ Pa (19 lbf/pol²), valor recomendado pelo fabricante. Se durante esse processo a variação do volume do pneu é desprezível, o aumento da pressão no pneu se explica apenas por causa do aumento

- da temperatura do ar, que se eleva em 18% ao entrar no pneu, pois o acréscimo do número de mols de ar pode ser considerado desprezível.
- da temperatura do ar, que se eleva em 36% ao entrar no pneu, pois o acréscimo do número de mols de ar pode ser considerado desprezível.
- do número de mols de ar introduzidos no pneu, que aumenta em 18%, pois o acréscimo de temperatura do ar pode ser considerado desprezível.
- do número de mols de ar introduzidos no pneu, que aumenta em 28%, pois o acréscimo de temperatura do ar pode ser considerado desprezível.
- do número de mols de ar introduzidos no pneu, que aumenta em 36%, pois o acréscimo de temperatura do ar pode ser considerado desprezível.

Exercícios propostos



Termodinâmica

Exercícios propostos

Exercícios correspondentes à introdução e ao modelo físico do calor.

1) Algumas lojas místicas vendem um dispositivo lúdico, composto de duas seções ligadas por um tubo, um líquido e um gás. Segundo esses estabelecimentos, que o chamam de "amuleto do amor", se um casal apoiar as mãos de maneira que o líquido suba e borbulhe bastante, a sintonia entre os dois é máxima e eles são "almas gêmeas". Explique como a Física define o fenômeno observado.



Resposta no final do livro.

2) (FEI-SP) Quando dois corpos de tamanhos diferentes estão em contato e em equilíbrio térmico, e ambos isolados do meio ambiente, pode-se dizer que:

- a) o corpo maior é o mais quente.
- b) o corpo menor é o mais quente.
- x c) não há troca de calor entre os corpos.
- d) o corpo maior cede calor para o corpo menor.
- e) o corpo menor cede calor para o corpo maior.

3) (Vunesp-SP) Quando uma enfermeira coloca um termômetro clínico de mercúrio sob a língua de um paciente, por exemplo, ela sempre aguarda algum tempo antes de fazer a sua leitura. Esse intervalo de tempo é necessário

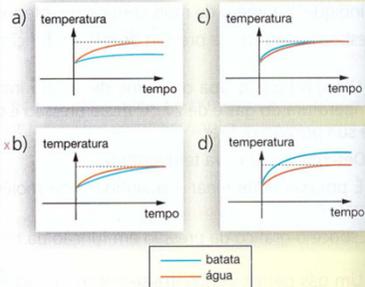
- x a) para que o termômetro entre em equilíbrio térmico com o corpo do paciente.
- b) para que o mercúrio, que é muito pesado, possa subir pelo tubo capilar.
- c) para que o mercúrio passe pelo estrangulamento do tubo capilar.
- d) devido à diferença entre os valores do calor específico do mercúrio e do corpo humano.

Pense um pouco mais!

e) porque o coeficiente de dilatação do vidro é diferente do coeficiente de dilatação do mercúrio.

4) (UFMG) Coloca-se uma batata para cozinhar em uma panela com água, inicialmente à temperatura ambiente.

O gráfico que melhor representa a temperatura da água e a temperatura do interior da batata, em função do tempo, é:



5) (Uni-Rio-RJ) No café da manhã de uma fábrica, é oferecida aos funcionários uma certa quantidade de café com leite, misturados com massas iguais, obtendo-se uma mistura a uma temperatura de 50 °C. Supondo que o café e o leite têm a mesma capacidade de trocar calor, indique qual a temperatura que o café deve ter ao ser adicionado ao leite, caso o leite esteja a uma temperatura inicial de 30 °C.

- a) 40 °C
- b) 50 °C
- c) 60 °C
- x d) 70 °C
- e) 80 °C

Exercícios correspondentes à temperatura e às escalas termométricas.

6) (Vunesp-SP) Um estudante, no laboratório, deveria aquecer uma certa quantidade de água desde 25 °C até 70 °C. Depois de iniciada a experiência ele quebrou o termômetro de escala Celsius e teve de continuá-la com outro de escala Fahrenheit. Em que posição do novo termômetro ele deve ter parado o aquecimento? (Nota: 0 °C e 100 °C correspondem, respectivamente, a 32 °F e 212 °F.)

- a) 102 °F
- b) 38 °F
- c) 126 °F
- x d) 158 °F
- e) 182 °F

PIETROCOLA



Termodinâmica

PIETROCOLA



ATIVIDADES EXTRAS

Termodinâmica

PIETROCOLA



Foi assim...
Investigue
com o
pesquisador

O debate sobre a natureza do calor

Como vimos neste capítulo, já na Antiguidade a questão da natureza do calor era debatida, porém apenas com base na observação dos fenômenos e das especulações filosóficas. Somente a partir do século XVII, com a invenção dos termômetros e das escalas termométricas, foi que surgiram os primeiros estudos quantitativos, originando duas teorias: o calor como vibração das partículas do corpo e o calor como fluido que escoava dos corpos mais quentes para os corpos mais frios.

A primeira teoria foi desenvolvida por Francis Bacon (1561-1626) em 1620, na obra *Novum Organum*. Um dos seguidores da hipótese do calor como movimento era o filósofo, físico e químico irlandês Robert Boyle (1627-1691), veja algumas de suas palavras ao descrever e analisar um experimento:

[...] Quando, por exemplo, um ferreiro martela vigorosamente um prego, ou um pedaço de ferro parecido, o metal golpeado ficará excessivamente quente, e não há nada que esteja produzindo este efeito, exceto o vigoroso movimento do martelo, que imprime uma impetuosa e variada agitação das pequenas partes do ferro, o qual sendo antes um corpo frio, pela intensa comção de suas pequenas partes, torna-se em diversos sentidos quente: [...] se um grande prego for conduzido por um martelo em uma tábua grossa, ou pedaço de madeira, ele receberá diversos golpes na cabeça antes de se tornar quente; mas quando sua cabeça é forçada, de tal forma que o prego não pode mais avançar, bastam poucos golpes para torná-la consideravelmente quente; por enquanto, a cada pancada do martelo, o prego entra mais e mais na madeira, o movimento, que é produzido, é basicamente progressivo, e é do prego como um todo indo em uma direção; ao passo que, quando o movimento cessa, então o impulso dado pela pancada, sendo incapaz tanto de destruí-lo, deve ser gasto em produzir uma violenta e desordenada comção interna das partes entre si, de tal forma como primeiramente observamos consistir a natureza do calor.

In: GURGEL, Ivã; PIETROCOLA, Maurício. Modelos e realidade: um estudo sobre as explicações acerca do calor no século XVIII. Anais do X Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. Londrina, 2006. p. 4.

A hipótese do calor como substância foi desenvolvida pelo médico e químico alemão Georg Ernest Stahl (1660-1734) e ficou conhecida como teoria do flogisto (ou flogístico). Veja a definição apresentada pelo químico sueco Torbern Bergman (1735-1784):

O flogisto é encontrado disseminado como um elemento em todos os corpos naturais, pelo menos na Terra, com a diferença de que como regra ele preferentemente existe em notável abundância naqueles corpos que são chamados usualmente de orgânicos. Nos fósseis (minerais), a maioria dos quais é conhecida como sendo mais parcimoniosa em flogisto, mas nunca tendo tão pouco que algum possa ser considerado desprovido dele, o flogisto está secretamente oculto, de acordo com todos os critérios, e o flogisto é facilmente percebido nas cores com que se revestem, e que sem dúvida indicam a fonte flogística. Este elemento extremamente

sutil, que exibe tal transparência que só ele escapa de todos os nossos sentidos, não pode ser confinado por nenhum aparelho ou instrumento, e, portanto, furta-se a qualquer investigação química, a não ser que esteja ligado por forte atração a algum outro material, mas de modo desigual e seletivamente, para que possa ser transmitido de um componente para outro.

In: MOCELLIN, Ronel Clécio. Lavoisier e a longa revolução na Química. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2003. p. 65.

Posteriormente essa teoria foi complementada por Antoine Lavoisier (1743-1794) e o termo *flogisto* foi substituído por *calórico*.

Cada teoria tinha um grande número de adeptos, que tentavam explicar os processos termodinâmicos com base na hipótese que defendiam. Veja como Christian Wolff (1679-1754), filósofo, matemático e físico alemão, explicava o aquecimento do metal do ferreiro a partir do calórico:

O ferreiro faz saltar o calórico através dos poros do metal, tal como se tiraria água de uma esponja molhada que foi submetida ao nosso tratamento. Quando se fura o centro (alma) de um canhão com uma broca, os cavacos retirados por esta são quentes; é que os cavacos não podem reter o calórico que neles havia e então este escapa, provocando um aumento de temperatura.

In: GURGEL, Ivã; PIETROCOLA, Maurício. Modelos e realidade: um estudo sobre as explicações acerca do calor no século XVIII. Anais do X Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. Londrina, 2006. p. 6.

Afinal o calor é matéria ou movimento? Como resolver esse dilema? A resposta foi encontrada a partir de experimentos mais sofisticados, feitos pelo oficial norte-americano Benjamin Thompson (1753-1814), o conde de Rumford. Para produzir canhões, enormes cilindros eram moldados em ferro e depois o canal central era escavado com uma broca. Ao investigar a perfuração durante a fabricação dessas armas de guerra, o conde ficou intrigado com a produção inesgotável de calor:

Estando recentemente encarregado da superintendência de perfuração de canhões, numa oficina de arsenal militar em Munique, fiquei impressionado com o considerável grau de calor que uma peça metálica adquire, em pouco tempo, sendo perfurada; e com o calor até mais intenso (maior que o da água fervente como comprovei pela experiência) das lascas metálicas originadas pela perfuração.

In: GURGEL, Ivã; PIETROCOLA, Maurício. Modelos e realidade: um estudo sobre as explicações acerca do calor no século XVIII. Anais do X Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. Londrina, 2006. p. 6.

Durante o processo de manufatura de canhões, verificava-se que enquanto uma broca escavava o canal central, havia o contínuo aquecimento das peças.



Johan Georg Wille. Retrato de Christian Feilher von Wolff. Séc. XVIII. Gravura. Coleção particular. Foto: AKG/Gamergut/Alamy

Christian Wolff (1679-1754).

Séc. XIX. Gravura. Coleção particular. Foto: Bettmann/Corbis/Alamy



Termodinâmica

PIETROCOLA



Outras ATIVIDADES

Construindo um termômetro

Material

- tubo de ensaio de 20 mL
- álcool
- tubo capilar ou canudo muito fino
- conta-gotas
- rolha de borracha furada no centro
- anilina, corante ou tinta guache

Roteiro e questões

Vamos estudar, nesta atividade, o funcionamento de um termoscópio.

Qual o papel da substância termométrica em um termoscópio ou termômetro?

- Encaixe o tubo capilar na rolha de borracha.
- Coloque 10 mL de álcool no tubo de ensaio (metade do volume do tubo).
- Pingue uma gota de anilina, corante ou tinta guache no álcool, para colori-lo.
- Feche o tubo de ensaio com a rolha, deixando uma das extremidades do tubo capilar imersa no álcool.
- Segure o tubo de ensaio. Você verá subir uma coluna de álcool no tubo capilar.

Quando se trata do termômetro clínico, após seu uso, sabemos que basta deixá-lo parado por um tempo para que possamos usá-lo novamente. Ou, se desejamos que esse processo se acelere, movimentamos o termômetro rapidamente. Uma vez que a ideia desta atividade é entender o funcionamento do termômetro, investigue o porquê dessas ações com o termoscópio que construiu. Com seus colegas, acompanhe as questões a seguir e as responda em seu caderno.

- 1) Por que a coluna de álcool no tubo capilar sobe quando o seguramos? Se segurarmos o tubo perto do nível de álcool ou na parte que ainda não há álcool, haverá alguma diferença? Por quê?
- 2) Ao deixarmos de segurar o tubo de ensaio, assim como no termômetro clínico, o álcool volta à posição inicial. Por que isso ocorre?
- 3) Se nosso termômetro fosse graduado em Celsius, qual a temperatura que ele marcaria?
- 4) E se desejarmos que o álcool retorne à posição inicial? O que pode ser feito uma vez que não podemos movimentar nosso termômetro como fazemos com o termômetro clínico?

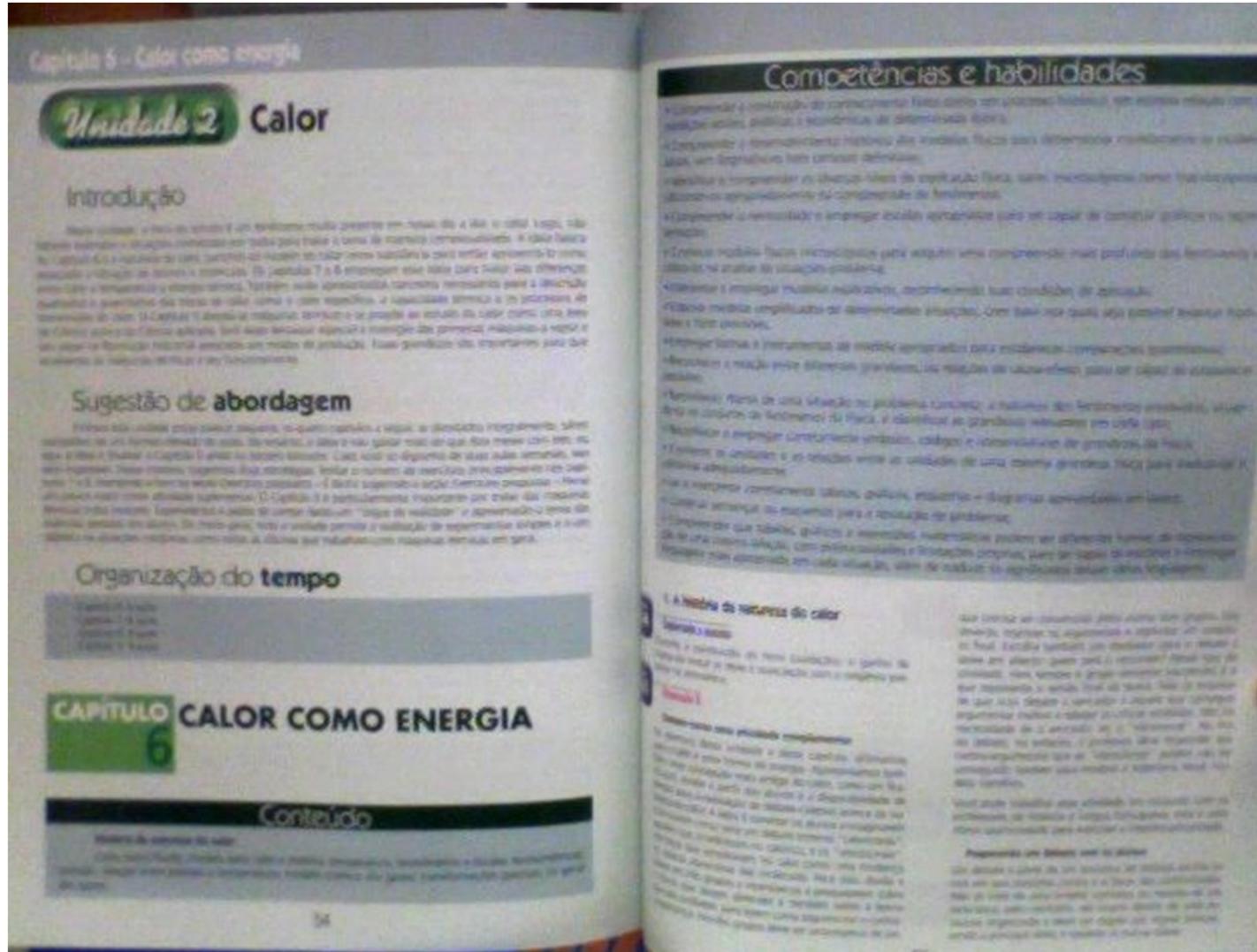
Experimento
Investigue você mesmo

Fotos: Sérgio Dotta Jr/The Next

6

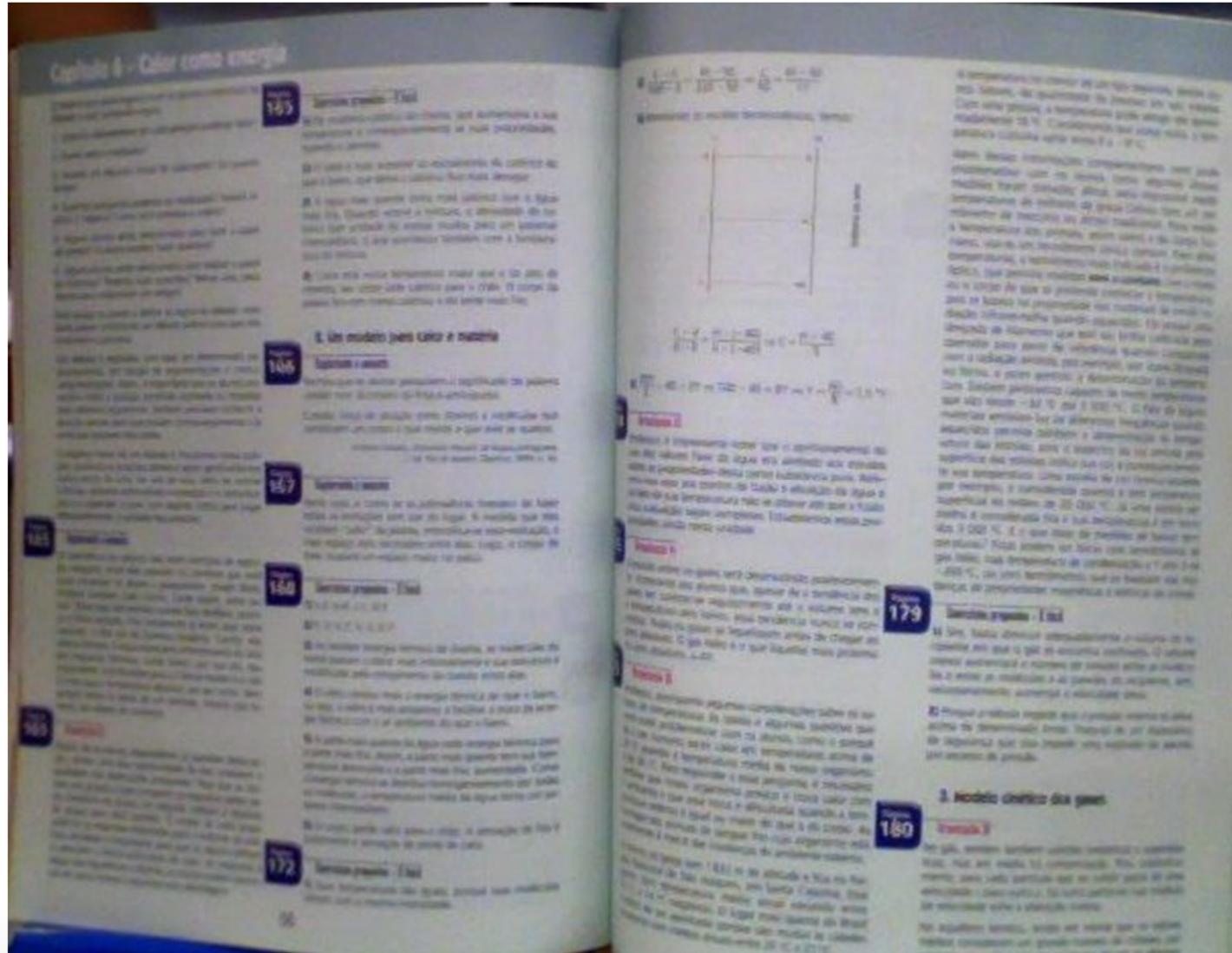
Termodinâmica

PIETROCOLA



Termodinâmica

PIETROCOLA



Comparação



FUKE

- Estudo dos gases
- Situações do Cotidiano
- Trata do limite das teorias
- Raras referências históricas
- Gráficos tanto em exercícios quanto no texto
- Exercícios próprios



PIETROCOLA

- Termodinâmica
- Situações do cotidiano
- Trata do limite das teorias
- Abordagem histórica
- Gráficos tanto em exercícios quanto no texto
- Exercícios conceituais e de vestibulares

Conclusão



FUKE



PIETROCOLA