

ABC da Física II:

TERMODINÂMICA

LEONARDO DIEGO LINS
(AUTOR)



E-BOOK



LEONARDO DIEGO LINS
(AUTOR)

ABC da Física II:

Termodinâmica

E-BOOK

Paulo Afonso - BA

2020

Diagramação e Capa:

Rubervânio Lima

(editoraoxetine@gmail.com)

Revisão:

Rubervânio Lima

Fotos da capa cedidas por:

Lenilson de Oliveira Silva (Pataxó)

Impressão:

Editora Oxente

Realização:

SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECOLOGIA HUMANA



E-mail: editora.sabeh@gmail.com

CONTRIBUIÇÕES:

Carlos Alberto Batista dos Santos

Lenilson de Oliveira Silva (Pataxó)

Maíra Cavalcanti Coelho

Maísa Cavalcanti Coelho

Nahíma Costa Castro Silva (Pataxó)

Sandra Valéria Silva Lins

Stefane Amorim Melo

Uilian Conceição de Souza Rodrigues (Pataxó)

Catálogo na publicação (CIP)

Ficha Catalográfica

L759a Lins, Leonardo Diego, autor,
ABC da Física 2 - Termodinâmica /Leonardo Diego Lins (autor) - Carlos Alberto Batista dos Santos, Lenilson de Oliveira Silva, Maíra Cavalcanti Coelho, Maísa Cavalcanti Coelho, Nahíma Costa Castro Silva Sandra Valéria Silva Lins, Stefane Amorim Melo, Uilian Conceição de Souza Rodrigues, organizadores.
Paulo Afonso/BA: SABEH, 2020.

112 p.; il.

ISBN: 978-65-5732-002-0

1. Física - Termodinâmica
2. Material didático
3. Física – Estudo e ensino - I. Título

CDD: 530.07

E-BOOK

CONSELHO EDITORIAL DA SABEH

Brasil:

- Dr. Juracy Marques (UNEB/PPGECOH)
Dr. Alfredo Wagner Berno de Almeida (UFAM/PPGAS);
Dr. João Pacheco de Oliveira (UFRJ/Museu Nacional);
Dra. Maria Cleonice de Souza Vergne (CAAPA/PPGEcoH/UNEB);
Dra. Eliane Maria de Souza Nogueira (NECTAS/PPGEcoH/UNEB);
Dr. Fábio Pedro Souza de F. Bandeira (UEFS/PPGEcoH);
Dr. José Geraldo Wanderley Marques (UNICAMP/UEFS/PPGEcoH);
Dr. Júlio Cesar de Sá Rocha (PPGEcoH/UNEB);
Dra. Flavia de Barros Prado Moura (UFAL);
Dr. Sérgio Malta de Azevedo (PPGEcoH/UFC);
Dr. Ricardo Amorim (PPGEcoH/UNEB);
Dr. Ronaldo Gomes Alvim (Centro Universitário Tiradentes–AL);
Dr. Artur Dias Lima (UNEB/PPGECOH);
Dra. Adriana Cunha – (UNEB/PPGECOH);
Dra. Alpina Begossi (UNICAMP);
Dr. Anderson da Costa Armstrong (UNIVASF);
Dr. Luciano Sérgio Ventin Bomfim (PPGEcoH/UNEB);
Dr. Ernani M. F. Lins Neto (UNIVASF);
Dr. Gustavo Hees de Negreiros (UNIVASF/SABEH);
Dr. Carlos Alberto Batista Santos (PPGEcoH/UNEB);
Draª Maria do Socorro Pereira de Almeida (UFRPE)

Internacional:

- Dr. Ajibula Isau Badiru – NIGÉRIA (UNIT);
Dr. Martín Boada Jucá – ESPANHA (UAB);
Dra. Iva Miranda Pires – PORTUGAL (FCSH);
Dr. Paulo Magalhães – PORTUGAL (QUERCUS);
Dr. Amado Insfrán Ortiz – PARAGUAI (UNA);
Dra. María José Aparicio Meza – PARAGUAI (UNA);
Dr. Luca Valera - CHILE (PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE).

COMITÊ CIENTÍFICO

- Lutiane Queiroz de Almeida (DG/UFRN)
Oswaldo Girão da Silva (DCG/UFPE)
Valéria Raquel Porto de Lima (DG/UEPB)
Saulo Roberto de Oliveira Vital (CERES/UFRN)

APRESENTAÇÃO

Este livro didático complementar é a tentativa de buscar uma nova percepção para o aluno do Ensino Médio e Pré-vestibular no que diz respeito ao ensino e aprendizagem de Física na Escola indígena. O texto, embora se apresente com uma linguagem um pouco rebuscada, não chega a ser excessivamente formal, pois foi construído com a ajuda permanente dos professores indígenas, buscando alternativas de inclusão da interculturalidade no conteúdo apresentado em sala de aula.

No capítulo I são apresentadas noções básicas de temperatura e equilíbrio térmico. Acreditamos que é o melhor tratamento para iniciar os conteúdos relacionados a Termologia. Em seguida apresentamos as escalas termométricas usuais no cotidiano escolar e científico, como também, as relações entre elas. O conteúdo é essencial para compreensão da Termologia como também outras partes da Física, como a Calorimetria e Termodinâmica.

No capítulo II são desenvolvidas as noções básicas de Dilatação dos Sólidos no cotidiano do aluno e além dele. É importante destacar que os conceitos estudados nesse capítulo serão fundamentais para o estudo do próximo capítulo. Por isso, o aluno deverá inicialmente conhecer os diferentes tipos de dilatação dos sólidos associados a dimensões de dilatação de um corpo, ou seja, em uma única dimensão a dilatação linear, em duas dimensões a dilatação superficial e por fim em três dimensões a volumétrica. Em seguida, no capítulo III é apresentado o conceito de dilatação dos líquidos, sendo importante abordar que geralmente os líquidos dilatam-se mais que os sólidos. É fundamental destacar nesse capítulo o comportamento anômalo da água ao aluno, trazendo para sala de aula vários exemplos associados ao cotidiano do aluno.

Na sequência, no capítulo IV traz o conceito de Transmissão de Calor (condução, convecção e radiação), abordando os conceitos de energia térmica e calor, concluindo que energia

térmica em trânsito é calor. Já no capítulo V, acredito é um dos mais importantes para o entendimento da termologia, pois aponta os conceitos de calor, capacidade térmica, calor sensível e a equação fundamental da calorimetria. Posteriormente, no capítulo VI é apresentado os conceitos do princípio da conservação de calor, mudança de fase que caracteriza o conceito de calor latente. É importante que após a apresentação desses dois capítulos o aluno seja capaz de diferenciar o calor sensível e latente no seu cotidiano.

O capítulo VII traz uma revisão sobre gases, reforçando os principais conceitos, tipos de transformações e equações características. Como o modelo macroscópico de um gás perfeito, suas variáveis (pressão, temperatura e volume) e as leis de Boyle, Charles e Gay-Lussac e Lei de Charles. Tais conteúdos serão de muita relevância para o entendimento do Capítulo VIII, que é abordado o conteúdo de Trabalho Gasoso.

Por fim, no capítulo IX trago os conceitos norteadores da Termodinâmica. Abordando a Primeira Lei da Termodinâmica, envolvendo as transformações termodinâmicas características (isotérmica, isobárica, isovolumétrica e adiabática). Em seguida a Segunda Lei da Termodinâmica e o ciclo de Carnot, destacando que a máquina térmica de Carnot é idealizada e apresenta maior rendimento térmico. Nesse capítulo, trazemos o conceito de entropia, como grau de desorganização molecular de um sistema físico.

Vale ressaltar que ao final de cada capítulo propomos desenvolver atividades dos principais vestibulares do país com o intuito de complementar e fortalecer a compreensão dos assuntos abordados em sala de aula.

PREFÁCIO

Ao me defrontar com *ABC DA FÍSICA II: TERMODINÂMICA*, duas sensações me invadiram a alma e, para poder falar/escrever sobre esses sentimentos, tão opostos quanto complementares, preciso dividi-los assim: o primeiro diz respeito à obra em si, em sua preocupação com a técnica, com os conceitos e, principalmente, com a aprendizagem; o segundo sentimento, mais amplo, relaciona a obra dentro do contexto da Educação Escolar Indígena e Intercultural, Específica e Diferenciada, como deve ser, mas promovida pelo Sistema Público de Ensino em nível Nacional. Segmento da educação que até pouco tempo atrás, nem existia. Pelo menos, para grande parte da população brasileira, em especial, para os professores e professoras da educação básica, que não fazem parte da EEI, e aos próprios profissionais da EEI, que, por muitos anos, tiveram que adaptar suas práticas acadêmicas (e porque não dizer *de vidas?*) ao sistema de ensino vigente e majoritário brasileiro.

Então, a felicidade me vem através desses dois sentimentos: o de que não sei muito sobre Física e, por isso, preciso perceber que sempre podemos aprender um pouco mais sobre qualquer coisa, técnica e especificamente sobre determinados assuntos, até porque, parafraseando a escritora Clarice Lispector (1920-1977), somos sempre incompletude. Há sempre algo que nos escapa, estamos sempre aprendendo. E, ainda que soubéssemos de tudo, tudo muda muito rapidamente.

Mas, o outro sentimento que me motiva – o de que a EEI está vibrante na produção e utilização de material para uso nas escolas indígenas – mostra-nos muito mais sobre o mundo: o quanto os professores indígenas, pesquisadores e estudantes, unidos a outros pesquisadores, constroem material didático de qualidade e com responsabilidade étnico-social. Esta segunda felicidade, muito mais sociocultural e humana, está ligada à certeza de que a Educação Escolar Indígena começa a pertencer de fato a quem tem o direito a ela. Ou seja, os indígenas e, sem conflitos, pelo contrário, na busca do bem-comum, do desenvolvimento das ciências e, conseqüentemente, da sociedade,

estão de braços dados aos pesquisadores, responsáveis e éticos, envolvidos na área, produzindo material de estudo e desenvolvendo pesquisas. Ou seja, sistematizando o saber científico aliado ao saber popular, tradicional e étnico.

Porém, nem sempre foi assim. Desde a chegada dos invasores europeus, com objetivos exclusivos de exploração, os povos indígenas das Américas foram subjulgados e expropriados de seus territórios imemoriais. Desde então, promoveu-se uma constante negação do estado de direito, através da escravidão e do extermínio. No entanto, muito dessa violência continuou através de políticas desenvolvimentistas institucionalizadas pelos três poderes da época: império, igreja e elite. Decisões políticas e leis foram implementadas à revelia dos indígenas, inclusive a proibição das línguas autóctones (com a retórica de melhorar a comunicação local) e a imposição da produção extrativista e agropecuária em escala comercial, a fim de maiores lucros à Coroa.

Ainda que a expansão do desenvolvimento econômico impusesse total ascensão e glória dos povos dominadores, era preciso exercer sobre os povos ameríndios uma dominação também sociocultural, até para que a econômica continuasse a render os bons dividendos que fizeram prosperar Espanha, Inglaterra, Portugal e Holanda, entre outros. Então, foram impostos saberes que, ao longo dos 500 anos de imposição/colonização, cristalizaram-se no consciente coletivo, principalmente dos povos latino-americanos: religião, política, vestuário, alimentação, medicina, língua, enfim, todos os elementos que, ao final, constituem uma cultura, um povo.

Entre as décadas de 1940 a 1970, a reboque de um nacionalismo impulsionado pela economia em ascensão, o Estado Brasileiro ensaiou grandes investidas na tentativa de (re)conhecer e integrar os povos indígenas. No entanto, promovido por imposições linguísticas, culturais e comerciais, o que ocorreu foi um grande processo de aculturação que fez desaparecer saberes, línguas, povos. Culturas foram sepultadas em nome de um nacionalismo imposto e da ideologia de uma única identidade.

À essas imposições, que Clatress⁷ (1980; 2004) caracterizou como um etnocídio – extermínio de uma cultura – e mais cruel do que o próprio genocídio, juntou-se incursões desastrosas que promoveram o distanciamento entre os povos indígenas e a sociedade brasileira em formação, ladeada pelos ditames da religião, do Estado e da classe dominante.

Para Mignolo⁸ (2003), a expansão ocidental após o século XVI não foi somente econômica e religiosa, mas também das formas hegemônicas de conhecimento, do conceito de representação do conhecimento e cognição, impondo-se como hegemonia epistêmica, política e historiográfica, estabelecendo, assim, a *colonialidade* do saber e, por isso, uma feroz crítica à *colonialidade*, contemplada pelo pensamento do sociólogo peruano Aníbal Quijano⁹ (2007), ao dizer que se trata de um dos elementos constitutivos e específicos do padrão mundial do capitalismo, cujo tema máximo de suas análises se transformou no conceito de “colonialismo do poder”, que enfatiza a difícil tarefa de se desvencilhar do estigma de dominação e assumir de fato a postura de protagonista. Admitindo aqui um conceito clássico de que *saber é poder*.

Somente a partir da metade da década de 1970, vê-se no Brasil, acontecerem processos de mobilização indígena significativos: retomadas de terra, protestos inflamados e até o surgimento de guerras deflagradas em diversos estados brasileiros, em que os povos indígenas, de antagonistas, passaram a ter a simpatia de ambientalistas, artistas e pesquisadores. Oliveira¹⁰ (2014) afirma que só aí as políticas públicas passaram a contribuir de fato para a manutenção e o fortalecimento das culturas indígenas. E, a partir dos textos da Constituição Federal de 1988, percebe-se significativos avanços nas diretrizes para a Educação, que construíram a LDB (Lei 9.396/1996) e, ao fim, propuseram outras

7. CLASTRES, Pierre (1980). *Arqueologia da violência: pesquisas de antropologia política*. São Paulo: Cosac Naify, 2004.

8. MIGNOLO, Walter. *Histórias Globais/Projetos Locais*. Colonialidade, saberes subalternos e pensamento liminar. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2003.

9. QUIJANO, Aníbal. *Colonialidad del poder y clasificación social*. In: CASTROGÓMEZ, S.; GROSFOGUEL, R. (Org.). *El giro decolonial*. Reflexiones para una diversidad epistémica más allá del capitalismo global. Bogotá: Instituto Siglo del Hombre Editores, 2007.

10. OLIVEIRA, João Pacheco. *Os primeiros brasileiros*. Rio de Janeiro: FAPERJ-UFRJ, 2014.

boas tentativas e êxitos na promulgação da EEI, incluindo a Lei do Ensino Bilíngue nas comunidades, por exemplo (Lei 11.645/2008).

A guerra não está vencida, mas grandes bandeiras foram fncadas e, entre elas, de extrema importância para a ressignificação sociocultural das nações indígenas brasileiras, está a Educação Escolar Indígena, aquela de fato preocupada com a verdadeira manutenção étnico-cultural dos povos, atribuindo à educação, ainda que formal, o caráter de diferenciada, inclusiva e intercultural, como se propõe na obra aqui apresentada.

Por isso, acredito que o livro *ABC DA FÍSICA II: TERMODINÂMICA*, do professor Leonardo Diego Lins, pesquisador indigenista, possa contribuir com/para a formação dos estudantes indígenas e, entre os motivos para eu esperar isso, estão: saber que a produção teve como base o protagonismo indígena; perceber as diversas inserções dos saberes tradicionais e a presença do exercício da interculturalidade; e, principalmente, por ver a possibilidade de aprofundamentos do saber universalizado, na busca pela descolonização do saber como sentido para praticar o novo, o inovador, o outro, o diferente.

Por fim, agradeço ao autor pelo convite de escrever este prefácio, mas, mais ainda, agradeço pela responsabilidade que ele demonstra ao lidar de forma emancipatória e dialógica com os representantes dos povos indígenas da região, no desenvolvimento dos estudos que culminaram com a produção de tão rico material didático e de grande relevância não só para as comunidades indígenas, mas para toda a sociedade do século XXI, que se pretende equânime, igualitária e harmonizada com todos e com o meio.

Roberto Remígio Florêncio

betoremigio@yahoo.com.br / blog: etnolinguagens.webnode.br

Doutorando em Educação – UFBA /Mestre em

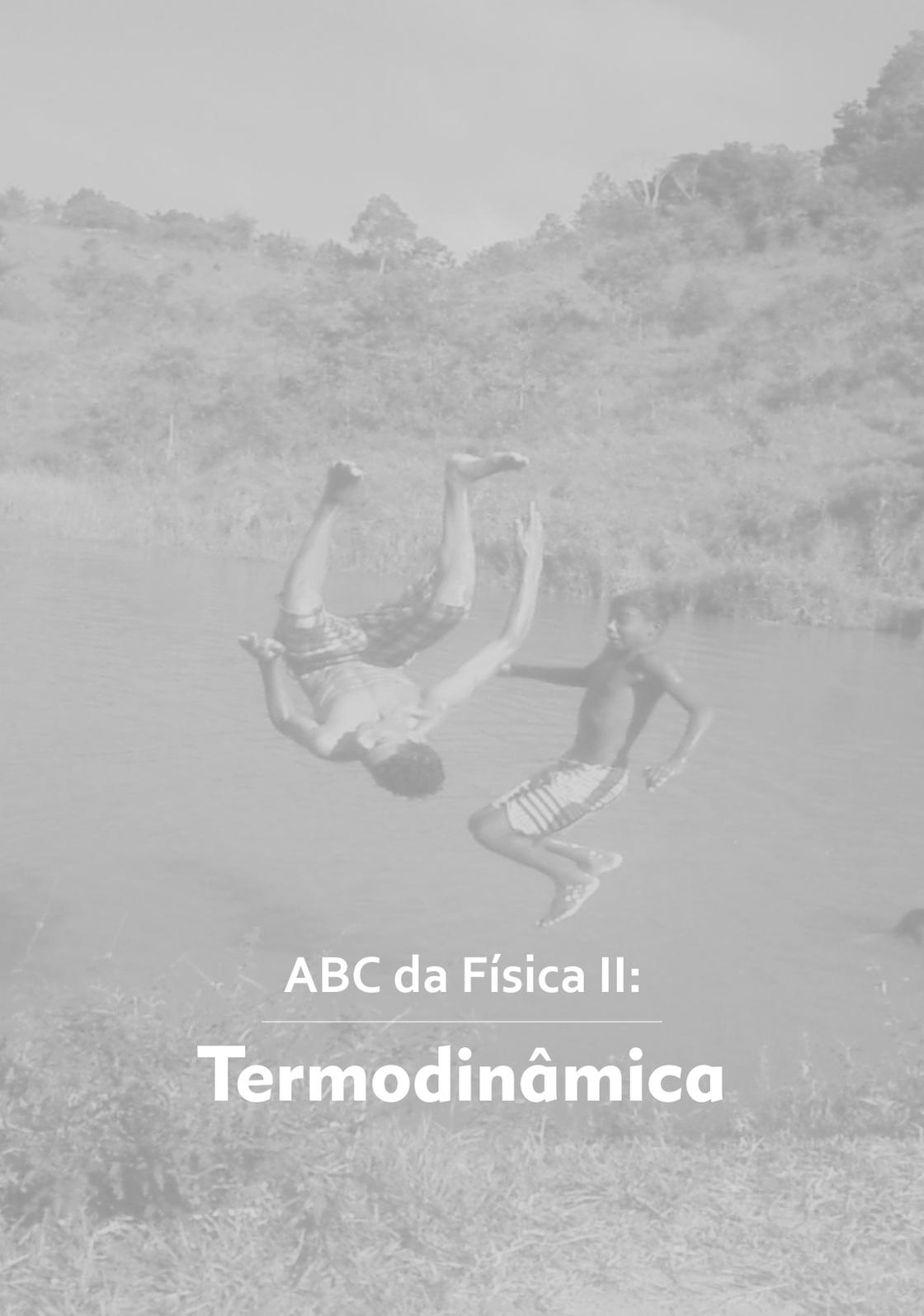
Educação e Cultura – UNEB

Professor de Língua Portuguesa do IF

Sertão – PE *campus* Petrolina Zona Rural

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	06
PREFÁCIO	08
CAPÍTULO 1 - TEMPERATURA	15
CAPÍTULO 2 - DILATAÇÃO TÉRMICA	22
CAPÍTULO 3 - DILATAÇÃO DOS LÍQUIDOS	33
CAPÍTULO 4 - PROCESSOS DE TRANSMISSÃO DE CALOR	41
CAPÍTULO 5 - CALORIMETRIA I	52
CAPÍTULO 6 - CALORIMETRIA II	61
CAPÍTULO 7 - GASES	71
CAPÍTULO 8 - TRABALHO GASOSO	87
CAPÍTULO 9 - TERMODINÂMICA	98
POSFÁCIO	110



ABC da Física II:

Termodinâmica

CAPÍTULO 1

TEMPERATURA



A primeira noção de temperatura nos é fornecida através do tato. Com efeito, tocando-se em um corpo sente-se à sensação de "quente" ou "frio". Todavia, esse processo não é confiável, pois um mesmo corpo poderá, dependendo do estado anterior do observador, provocar sensações diferentes. É conhecida a seguinte experiência clássica: coloca-se uma das mãos em um recipiente com água "quente" e a outra, em um recipiente com água "fria", depois de um certo tempo, colocam-se ambas as mãos num recipiente com água morna, verifica-se que cada uma das mãos terá uma sensação diferente numa mesma água.

De acordo com a Teoria Cinética, sabemos que as partículas que constituem o corpo qualquer se encontram em constante movimento, denominado de agitação térmica. Denominamos de energia térmica a soma das energias cinéticas das partículas de um corpo, a temperatura é definida como se segue:

A temperatura é uma grandeza que nos dá uma medida da energia térmica por partícula de um corpo.

A partir do conceito acima, quanto maior o estado de agitação dessas partículas, tanto maior será a temperatura do corpo.

MEDIDA DA TEMPERATURA

O instrumento usado para medir a temperatura de um corpo é o termômetro. Para medir a temperatura de um corpo utilizamos a variação de qualquer grandeza macroscópica que depende da temperatura. A essa grandeza denominamos grandeza termométrica e pode ser, por exemplo, a pressão de um gás mantido a volume constante, o comprimento de uma coluna líquida no termômetro de mercúrio. Para fazer a graduação de um termômetro são usados dois estados térmicos com temperaturas bem definidas, os chamados pontos fixos, qualquer outra temperatura é obtida por proporção direta. Normalmente, adotam-se como pontos fixos:

Ponto de gelo – corresponde à temperatura de fusão do gelo sob pressão normal de 1 atm.

Ponto de vapor – corresponde à temperatura de ebulição da água sob uma pressão de 1 atm.

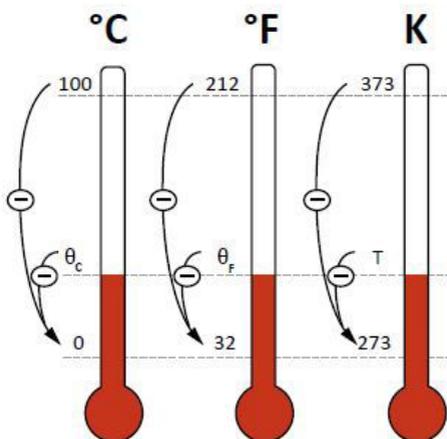
ESCALAS TERMOMÉTRICAS

Denominamos escala termométrica à relação entre os valores da grandeza termométrica e os valores da temperatura. As escalas mais usuais são:

- a) Escala Celsius – adota os valores 0°C no ponto de gelo e 100°C no ponto vapor.
- b) Escala Fahrenheit - adota os valores 32°F no ponto de gelo e 212°F no ponto vapor.
- c) Escala Kelvin (ou absoluta) - adota os valores 273K no ponto de gelo e 373K no ponto vapor.

RELAÇÃO ENTRE ESCALAS

A temperatura de um corpo pode ser convertida de uma escala para outra através das expressões deduzidas a seguir:



$$\frac{T_c - 0}{100 - 0} = \frac{T_f - 32}{212 - 32} = \frac{T_k - 273}{373 - 273}$$

$$\frac{T_c}{5} = \frac{T_f - 32}{9} = \frac{T_k - 273}{5}$$

EQUAÇÃO TERMOMÉTRICA

$$\frac{T_c}{5} = \frac{T_f - 32}{9} = \frac{T_k - 273}{5}$$

Obs: O raciocínio acima pode ser usado para fazer a conversão entre duas escalas quaisquer.

ATENÇÃO

É comum questões que façam a correspondência com variação de temperatura ou diferença de temperatura, dessa forma utilizaremos a seguinte relação:

VARIAÇÃO TERMOMÉTRICA

$$\frac{\Delta T_C}{5} = \frac{\Delta T_F}{9} = \frac{\Delta T_K}{5}$$

FUNÇÃO TERMOMÉTRICA

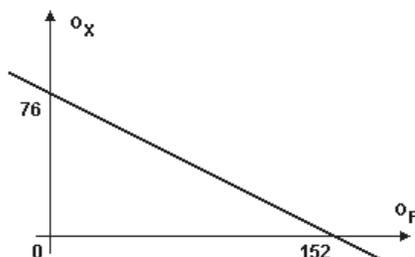
Denominamos função termométrica à expressão matemática que relaciona a grandeza termométrica com a indicação da temperatura em cada escala.

ZERO ABSOLUTO

O físico inglês Lord Kelvin verificou que ao ser resfriado de 0°C a -1°C , a volume constante, a pressão de um gás diminuía de $1/273$ do valor inicial. Sendo a pressão de um gás uma consequência da agitação das moléculas, Kelvin concluiu que se o gás fosse resfriado até -273°C , a pressão se anularia cessando toda a agitação molecular. Adotou, então, o valor -273°C como origem da chamada escala absoluta. É o zero Kelvin ou zero absoluto. Teoricamente, é a temperatura mais baixa que se poderia atingir no mundo físico. Na realidade é inatingível.

EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM

(01) Uma escala termométrica arbitrária X está relacionada com a escala Fahrenheit F, de acordo com o gráfico a seguir.



As temperaturas de fusão do gelo e ebulição da água, sob pressão normal, na escala X valem, respectivamente,

- a) 0 e 76
- b) 0 e 152
- c) 60 e -30
- d) 76 e 152
- e) 152 e -30

(02) Para medir a febre de pacientes, um estudante de medicina criou sua própria escala linear de temperaturas. Nessa nova escala, os valores de 0 (zero) e 10 (dez) correspondem respectivamente a 37°C e 40°C . A temperatura de mesmo valor numérico em ambas escalas é aproximadamente,

- a) $52,9^{\circ}\text{C}$.
- b) $28,5^{\circ}\text{C}$.
- c) $74,3^{\circ}\text{C}$.
- d) $-8,5^{\circ}\text{C}$.
- e) $-28,5^{\circ}\text{C}$.

(03) O verão de 1994 foi particularmente quente nos Estados Unidos da América. A diferença entre a máxima temperatura do verão e a mínima no inverno anterior foi de 60°C . Qual o valor dessa diferença na escala Fahrenheit?

- a) 108°F
- b) 60°F
- c) 140°F
- d) 33°F
- e) 92°F

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

(01) Aproveitando suas férias, um estudante viaja para uma longínqua cidade do Oriente Médio. Ao descer no aeroporto, observa que o termômetro mede temperaturas numa escala em $^{\circ}\text{Z}$. Quando embarcou no Brasil, o termômetro local registrava a temperatura de 23°C . Considerando que a temperatura de fusão e ebulição da água para o termômetro oriental vale,

respectivamente, 20°Z e 130°Z , a temperatura de embarque, calculada nessa escala, será igual a:

- a) $-10,2^{\circ}\text{Z}$
- b) $15,0^{\circ}\text{Z}$
- c) $27,4^{\circ}\text{Z}$
- d) $45,3^{\circ}\text{Z}$
- e) $51,2^{\circ}\text{Z}$

(02) Considerando a relação entre as escalas de temperatura Fahrenheit (medida em $^{\circ}\text{F}$) e Celsius (medida em $^{\circ}\text{C}$), qual é o valor de temperatura em que a indicação na escala Fahrenheit supera em 48 unidades a indicação na escala Celsius?

- a) 68°C
- b) 54°F
- c) 40°C
- d) 28°F
- e) 20°C

(03) Aquecer um determinado corpo de 45 K a 180 K (temperaturas medidas na escala Kelvin) equivale, na escala Celsius, a provocar nesse corpo uma variação de temperatura igual a:

- a) 273°C
- b) 228°C
- c) 135°C
- d) 93°C
- e) 75°C

(04) Durante a aula de termometria, o professor apresenta aos alunos um termômetro de mercúrio, graduado na escala Kelvin que, sob pressão constante, registra as temperaturas de um corpo em função do seu volume V conforme relação ($T_k = mV + 80$) Sabendo que m é uma constante e que à temperatura de 100 K o volume do corpo é 5 cm^3 , os alunos podem afirmar que, ao volume $V = 10\text{ cm}^3$ a temperatura do corpo será, em kelvin, igual a:

- a) 200.
- b) 120.

- c) 100.
- d) 80.
- e) 50.

(05) Uma escala arbitrária X atribui a temperatura de 30°X para o gelo fundente e 180°X para a água em ebulição no nível do mar. Assim, se num termômetro graduado na escala Celsius a distância entre as marcas de 20°C e 21°C é de 1 mm, no termômetro graduado na escala X a distância, em mm, entre as marcas de 50°X e 51°X será:

- a) 0,3.
- b) 0,5.
- c) 1,0.
- d) 1,5.
- e) 1,8.

CAPÍTULO 2

DILATAÇÃO TÉRMICA



Quando aquecemos um corpo, as suas partículas passam a apresentar um aumento no grau de vibração. Com as partículas mais agitadas, ocorre um distanciamento maior entre elas. A esse aumento na distância média entre as partículas de um corpo, devido ao aumento de temperatura, damos o nome de dilatação térmica.

Esta dilatação térmica ocorre sempre em relação ao volume do corpo, esteja ele no estado sólido, líquido ou gasoso. De uma maneira geral, podemos dizer que o poder de dilatação dos gases é maior do que o dos líquidos, que por sua vez é maior que o dos sólidos.

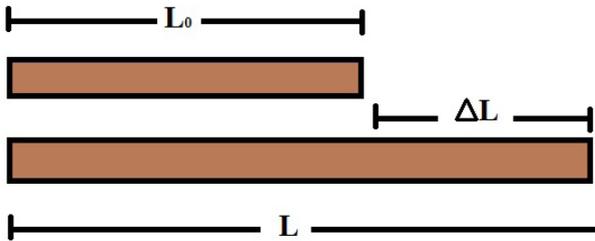
Dilatação dos Sólidos

Apesar de a dilatação térmica dos sólidos ser sempre volumétrica, em várias situações estaremos nos referindo à dilatação apenas no comprimento ou na área deste corpo. Acompanhe os itens a seguir.

Dilatação Linear



Aplica-se apenas para os corpos em estado sólido, e consiste na variação considerável de apenas uma dimensão. Como, por exemplo, em barras, cabos e fios. Ao considerarmos uma barra homogênea, por exemplo, de comprimento L_0 a uma temperatura inicial θ_0 . Quando esta temperatura é aumentada até uma $\theta > \theta_0$, observa-se que esta barra passa a ter um comprimento $L > L_0$.



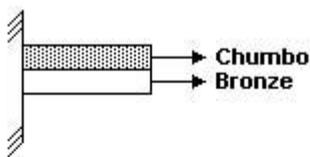
Com isso é possível concluir que a dilatação linear ocorre de maneira proporcional à variação de temperatura e ao comprimento inicial L_0 . Mas ao serem analisadas barras de dimensões iguais, mas feitas de um material diferente, sua variação de comprimento seria diferente, isto porque a dilatação também leva em consideração as propriedades do material com que o objeto é feito, este é a constante de proporcionalidade da expressão, chamada de coeficiente de dilatação linear (α). Assim podemos expressar:

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta \theta$$

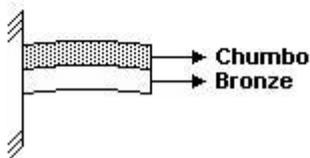
A unidade usada para α é o inverso da unidade de temperatura, como: $^{\circ}\text{C}^{-1}$.

Lâmina bimetálica

Uma das aplicações da dilatação linear mais utilizadas no cotidiano é para a construção de lâminas bimetálicas, que consistem em duas placas de materiais diferentes, e portanto, coeficientes de dilatação linear diferentes, soldadas. Ao serem aquecidas, as placas aumentam seu comprimento de forma desigual, fazendo com que esta lâmina soldada entorte.



Ao ser aquecida até uma temperatura $T > T_0$, a lâmina bimetálica apresenta a curvatura abaixo:

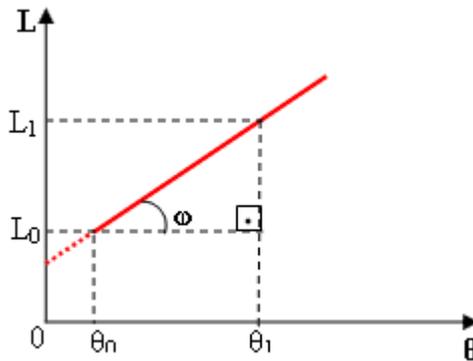


As lâminas bimetálicas são encontradas principalmente em dispositivos elétricos e eletrônicos, já que a corrente elétrica causa aquecimento dos condutores, que não podem sofrer um aquecimento maior do que foram construídos para suportar.

Quando é curvada a lâmina tem o objetivo de interromper a corrente elétrica, após um tempo em repouso a temperatura do condutor diminui, fazendo com que a lâmina volte ao seu formato inicial e reabilitando a passagem de eletricidade.

Representação gráfica

Podemos expressar a dilatação linear de um corpo através de um gráfico de seu comprimento (L) em função da temperatura (θ), desta forma:



O gráfico deve ser um segmento de reta que não passa pela origem, já que o comprimento inicial não é igual a zero. Considerando um ângulo ϕ como a inclinação da reta em relação ao eixo horizontal. Podemos relacioná-lo com:

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta \theta$$

Pois:

$$L_0 \cdot \alpha = \frac{\Delta L}{\Delta \theta}$$

e

$$\tan \varphi = \frac{\Delta L}{\Delta \theta}$$

Logo:

$$\tan \varphi = L_0 \cdot \alpha$$

Dilatação Superficial



Esta forma de dilatação consiste em um caso onde há dilatação linear em duas dimensões. Considere, por exemplo, uma peça de concreto quadrada de lados L_0 que é aquecida uma temperatura $\Delta \theta$, de forma que esta sofra um aumento em suas dimensões, mas como há dilatação igual para os dois sentidos da peça, esta continua quadrada, mas passa a ter lados L . Podemos estabelecer que:

$$A_0 = L_0^2$$

assim como:

$$A = L^2$$

E relacionando com cada lado podemos utilizar:

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta \theta$$

$$L - L_0 = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta \theta$$

$$L = L_0 + L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta \theta$$

$$L = L_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta \theta)$$

Para que possamos analisar as superfícies, podemos elevar toda a expressão ao quadrado, obtendo uma relação com suas áreas:

$$L^2 = L_0^2 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta \theta)^2$$

$$A = A_0 \cdot (1 + 2 \cdot \alpha \cdot \Delta \theta + \alpha^2 \cdot \Delta \theta^2)$$

Mas a ordem de grandeza do coeficiente de dilatação linear (α) é 10^{-5} , o que ao ser elevado ao quadrado passa a ter grandeza 10^{-10} , sendo imensamente menor que α . Como a variação da temperatura ($\Delta \theta$) dificilmente ultrapassa um valor de 10^{30}C para corpos no estado sólido, podemos considerar o termo $\alpha^2 \Delta \theta^2$ desprezível em comparação com $2\alpha \Delta \theta$, o que nos permite ignorá-lo durante o cálculo, assim:

$$A = A_0 \cdot (1 + 2 \cdot \alpha \cdot \Delta \theta)$$

Mas, considerando-se:

$$2\alpha = \beta$$

Onde, β é o coeficiente de dilatação superficial de cada material, têm-se que:

$$A = A_0 \cdot (1 + \beta \cdot \Delta\theta)$$

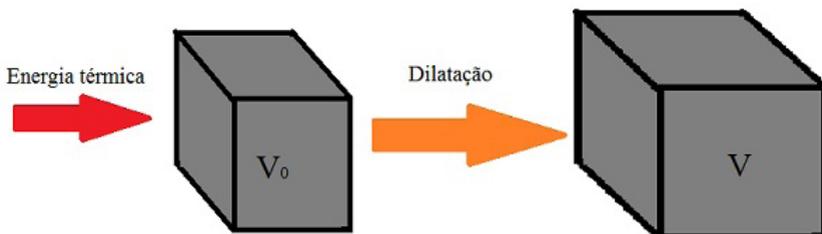
$$A = A_0 + A_0 \cdot \beta \cdot \Delta\theta$$

$$\Delta A = A_0 \cdot \beta \cdot \Delta\theta$$

Observe que esta equação é aplicável para qualquer superfície geométrica, desde que as áreas sejam obtidas através das relações geométricas para cada uma, em particular (circular, retangular, trapezoidal, etc.).

Dilatação Volumétrica

Assim como na dilatação superficial, este é um caso da dilatação linear que acontece em três dimensões, portanto tem dedução análoga à anterior. Consideremos um sólido cúbico de lados L_0 que é aquecido uma temperatura $\Delta\theta$, de forma que este sofra um aumento em suas dimensões, mas como há dilatação em três dimensões o sólido continua com o mesmo formato, passando a ter lados L .



Inicialmente o volume do cubo é dado por:

$$V_0 = L_0^3$$

Após haver aquecimento, este passa a ser:

$$V = L^3$$

Ao relacionarmos com a equação de dilatação linear:

$$\Delta L = L_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta)$$

$$L^3 = L_0^3 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\theta)^3$$

$$V = V_0 (1 + \alpha \cdot \Delta\theta)^3$$

$$V = V_0 \cdot (1 + 3 \cdot \alpha \cdot \Delta\theta + 3\alpha^2 \cdot \Delta\theta^2 + \alpha^3 \cdot \Delta\theta^3)$$

Pelos mesmos motivos do caso da dilatação superficial, podemos desprezar $3\alpha^2\Delta\theta^2$ e $\alpha^3\Delta\theta^3$ quando comparados a $3\alpha\Delta\theta$. Assim a relação pode ser dada por:

$$V = V_0 (1 + 3 \cdot \alpha \cdot \Delta\theta)$$

Podemos estabelecer que o coeficiente de dilatação volumétrica ou cúbica é dado por:

$$\gamma = 3 \cdot \alpha$$

Assim:

$$V = V_0 (1 + \gamma \cdot \Delta\theta)$$

$$V = V_0 + V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta\theta$$

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta\theta$$

Assim como para a dilatação superficial, esta equação pode ser utilizada para qualquer sólido, determinando seu volume conforme sua geometria.

Sendo $\beta=2\alpha$ e $\gamma=3\alpha$, podemos estabelecer as seguintes relações:

$$\frac{\alpha}{1} = \frac{\beta}{2} = \frac{\gamma}{3}$$

EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM

(01) (UESB) Coloca-se no interior de um forno uma barra de 3,450m, que se encontra inicialmente a 0°C , e seu comprimento passa a ter 4,002m. Considerando-se que o coeficiente de dilatação linear da barra é de $1,6 \cdot 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$, pode-se afirmar que a temperatura do forno é igual, em $^{\circ}\text{C}$, a

- 01) 800
- 02) 900
- 03) 1000
- 04) 1100
- 05) 1200

(02) (UNEB) Uma peça de zinco quadrada é construída a partir de uma chapa quadrada de lado 30cm, da qual é retirado um pedaço de área de 500 cm^2 . Elevando-se de 50°C a temperatura da peça restante, sua área final, em cm^2 , será mais próxima de:

- a) 400
- b) 401
- c) 405
- d) 408
- e) 416

(03) (UESB) Uma placa quadrada de concreto de lado igual a 30,0cm, a $25,0^{\circ}\text{C}$, foi aquecida até $85,0^{\circ}\text{C}$. Sabendo-se que o coeficiente de dilatação linear do concreto é $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, a variação percentual da área foi, aproximadamente, igual a:

- 01) 0,30
- 02) 0,22
- 03) 0,20
- 04) 0,18
- 05) 0,14

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

(01) (UEFS) Considere uma barra de metal que tem comprimento igual a 200,00cm, quando colocada em gelo em fusão, e 200,02cm, quando colocada em presença de água em ebulição. Com base nessa informação, pode-se concluir que o aumento do comprimento da barra, em 10^{-3} cm, quando a temperatura for de 40°C , é igual a:

- a) 10
- b) 8
- c) 6
- d) 4
- e) 2

(02) (UEFS) Um fio metálico constituído de material cujo coeficiente de dilatação linear é igual a $1,0 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, sofre uma variação de temperatura igual a 100°C , sem mudar de estado físico. Nessas condições, esse fio experimenta uma variação de comprimento, expressa em forma percentual, igual a:

- a) 0,01
- b) 0,1
- c) 1
- d) 10
- e) 100

(03) (UESB) Uma placa quadrada de concreto de lado igual a 30,0cm, a $25,0^{\circ}\text{C}$, foi aquecida até $85,0^{\circ}\text{C}$. Sabendo-se que o coeficiente de dilatação linear do concreto é $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, a variação percentual da área foi! aproximadamente, igual a:

- 01) 0,30
- 02) 0,22
- 03) 0,20
- 04) 0,18
- 05) 0,14

(04) (UESB) verifica-se que um arame de aço, de 4,0m de comprimento, a 25°C , dilata-se 32,0cm quando aquecido a 425°C . Nessas condições, o coeficiente de dilatação médio, em $10^{-5}/^{\circ}\text{C}$, é, aproximadamente, igual a

- 01) 0,40
- 02) 0,35
- 03) 0,30
- 04) 0,25
- 05) 0,20

(05) Em uma chapa metálica é feito um orifício circular do mesmo tamanho de uma moeda. O conjunto (chapa com a moeda no orifício), inicialmente a 25°C , é levado a um forno e aquecido até 225°C . Após o aquecimento, verifica-se que o orifício na chapa ficou maior do que a moeda. Dentre as afirmativas abaixo, indique a que está correta:

- a) o coeficiente de dilatação da moeda é maior do que o da chapa metálica.
- b) o coeficiente de dilatação da moeda é menor do que o da chapa metálica.
- c) o coeficiente de dilatação da moeda é igual ao da chapa metálica, mas o orifício se dilatou mais porque a chapa é maior que a moeda.
- d) o coeficiente de dilatação da moeda é igual ao da chapa metálica, mas o orifício se dilatou mais porque o seu interior é vazio.
- e) nada se pode afirmar sobre os coeficientes de dilatação da moeda e da chapa, pois não é dado o tamanho inicial da chapa.

CAPÍTULO 3

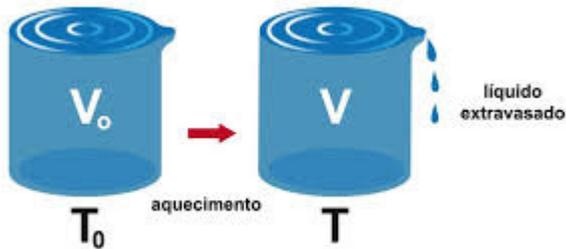
DILATAÇÃO DOS LÍQUIDOS



A dilatação dos líquidos tem algumas diferenças da dilatação dos sólidos, a começar pelos seus coeficientes de dilatação consideravelmente maiores e que para que o volume de um líquido seja medido, é necessário que este esteja no interior de um recipiente. A lei que rege a dilatação de líquidos é fundamentalmente igual à dilatação volumétrica de sólidos, já que estes não podem dilatar-se linearmente e nem superficialmente, então:

$$\Delta V = V_0 \gamma \cdot \Delta \theta$$

Mas como o líquido precisa estar depositado em um recipiente sólido, é necessário que a dilatação deste também seja considerada, já que ocorre simultaneamente. Assim, a dilatação real do líquido é a soma das dilatações aparente ($\Delta V_{\text{APARENTE}}$) e do recipiente ($\Delta V_{\text{RECIPIENTE}}$).



Para medir a dilatação aparente costuma-se utilizar um recipiente cheio até a borda. Ao aquecer este sistema (recipiente + líquido) ambos dilatarão e, como os líquidos costumam dilatar mais que os sólidos, uma quantidade do líquido será derramada, esta quantidade mede a dilatação aparente do líquido. Assim:

$$\Delta V_{\text{REAL}} = \Delta V_{\text{RECIPIENTE}} + \Delta V_{\text{APARENTE}}$$

Utilizando-se a expressão da dilatação volumétrica, $\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta \theta$, e admitindo que os volumes iniciais do recipiente e do líquido são iguais, podemos expressar:

$$V_0 \cdot \gamma_R \cdot \Delta \theta = V_0 \cdot \gamma_{\text{REC}} \cdot \Delta \theta + V_0 \cdot \gamma_{\text{AP}} \cdot \Delta \theta$$

$$\gamma_R = \gamma_{\text{REC}} + \gamma_{\text{AP}}$$

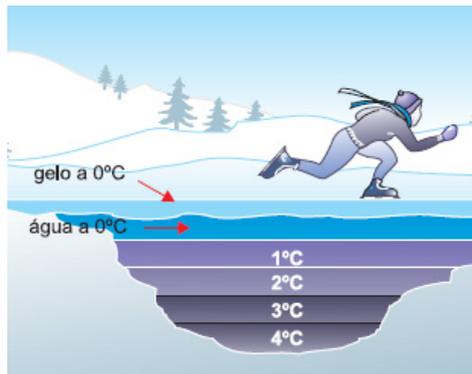
Ou seja, o coeficiente de dilatação real de um líquido é igual à soma de dilatação aparente com o coeficiente de dilatação do frasco onde este se encontra.

Dilatação da água

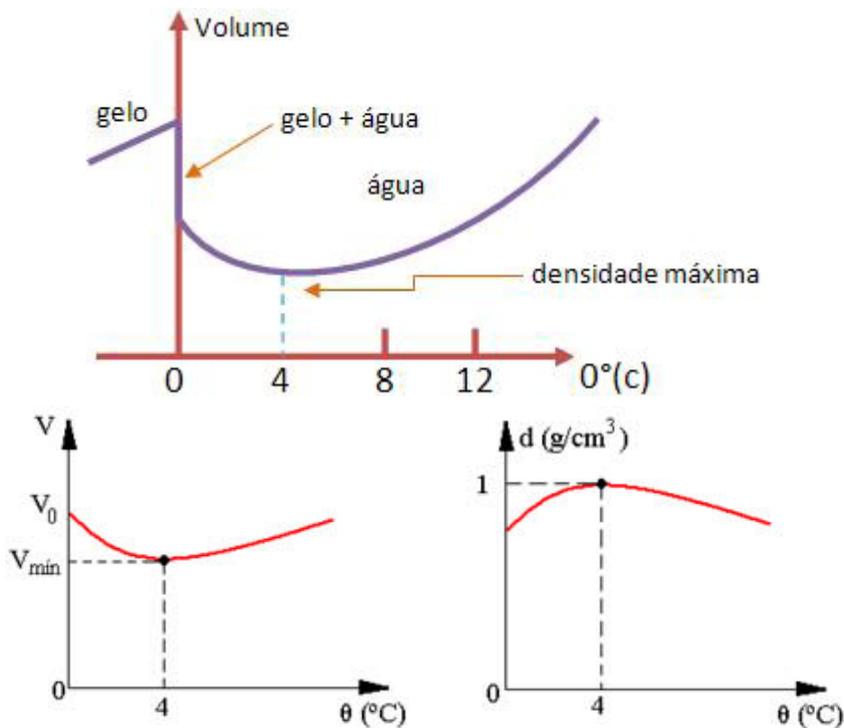


Certamente você já deve ter visto, em desenhos animados ou documentários, pessoas pescando em buracos feitos no gelo. Mas como vimos, os líquidos sofrem dilatação da mesma forma que os sólidos, ou seja, de maneira uniforme, então como é possível que haja água em estado líquido sob as camadas de gelo com temperatura igual ou inferior a 0°C ?

Este fenômeno ocorre devido ao que chamamos de dilatação anômala da água, pois em uma temperatura entre 0°C e 4°C há um fenômeno inverso ao natural e esperado. Neste intervalo de temperatura a água, ao ser resfriada, sofre uma expansão no seu volume, e ao ser aquecida, uma redução. É isto que permite a existência de vida dentro da água em lugares extremamente gelados, como o Pólo Norte.



A camada mais acima da água dos lagos, mares e rios se resfria devido ao ar gelado, aumentando sua massa específica e tornando-o mais pesado, então ocorre um processo de convecção até que toda a água atinja uma temperatura igual a 4°C , após isso o congelamento ocorre no sentido da superfície para o fundo. Podemos representar o comportamento do volume da água em função da temperatura:



Note que a 4°C o volume da água é mínimo e a sua densidade é máxima. Isto ocorre em virtude da formação das **pontes de hidrogênio**, abaixo de 4°C , quando as moléculas de H_2O ficam maiores.

EXERCÍCIO DE APRENDIZAGEM

(01) Um tubo de vidro graduado contém água e, a 10°C , um técnico lê o volume $50,00\text{cm}^3$. Aquecendo-se a água até 60°C , o mesmo técnico lê o volume $50,80\text{cm}^3$. Se o coeficiente de dilatação linear do vidro é igual a $9.10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ então o coeficiente de dilatação volumétrica da água, nesse intervalo, é igual, em $10^{-4}/^{\circ}\text{C}$, a:

01) 3,15

02) 3,47

03) 3,72

04) 3,91

05) 3,94

(02) Um estudante constrói um termômetro de vidro, acoplando um tubo cilíndrico, com área da secção transversal igual a $0,10\text{cm}^2$, a um bulbo preenchido completamente com $20,0\text{cm}^3$ de mercúrio, a 20°C . Sabendo-se que a extremidade do tubo é vedado após a retirada parcial do ar, o coeficiente de dilatação volumétrica do vidro é igual a $1,2.10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ e o do mercúrio, $1,8.10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, a altura da coluna de mercúrio no termômetro, quando o sistema estiver em equilíbrio térmico com um recipiente contendo água, a 100°C , será, aproximadamente, igual, em cm, a:

01) 2,7

02) 2,8

03) 2,9

04) 3,0

05) 3,1

(03) Num dia quente em Salvador, 32°C , uma dona de casa coloca álcool em um recipiente de vidro graduado e lacra-o bem para evitar evaporação. De madrugada, com o termômetro acusando 12°C , ela nota surpresa que, apesar do vidro estar bem fechado, o volume de álcool reduziu. Sabe-se que o seu espanto não se justifica, pois trata-se do fenômeno da dilatação térmica. A diminuição do volume foi de Considere o coeficiente de dilatação térmica volumétrica do álcool: $\gamma_{\text{álcool}} = 1,1 \times 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \gg \gamma_{\text{vidro}}$

a) 1,1%

b) 2,2%

c) 3,3%

d) 4,4%

e) 6,6%

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

(01) O tanque de gasolina de um automóvel, de capacidade 60 litros, possui um reservatório auxiliar de retorno com volume de 0,48 litros, que permanece vazio quando o tanque está completamente cheio. Um motorista enche o tanque quando a temperatura era de 20°C . O mesmo deixa o automóvel exposto ao sol. A máxima temperatura que o combustível pode alcançar, desprezando-se a dilatação do tanque, é igual a:

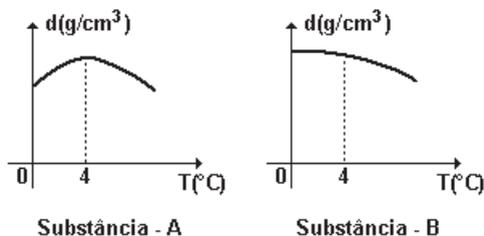
$$\gamma_{\text{gasolina}} = 2,0 \times 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

- a) 60°C
- b) 70°C
- c) 80°C
- d) 90°C
- e) 100°C

(02) Quando um frasco completamente cheio de líquido é aquecido, este transborda um pouco. O volume do líquido transbordado mede:

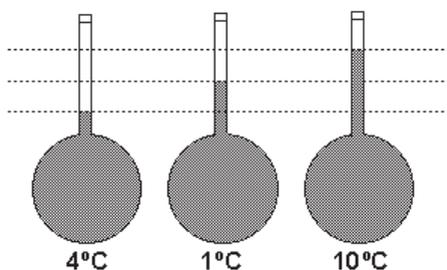
- a) a dilatação absoluta do líquido
- b) a dilatação absoluta do frasco
- c) a dilatação aparente do frasco
- d) a dilatação aparente do líquido
- e) a dilatação do frasco mais a do líquido.

(03) Duas substâncias A e B têm seus gráficos de densidade \times temperatura, representados a seguir. As substâncias são colocadas a 4°C em garrafas de vidro distintas, ocupando todo o volume das garrafas. Considere o coeficiente de dilatação do vidro das garrafas muito menor que o das substâncias A e B. As garrafas são, então, fechadas e colocadas em um refrigerador a 0°C . Após um longo período de tempo, pode-se dizer que:



- a) a garrafa de A se quebra e a de B não.
- b) a garrafa de B se quebra e a de A não.
- c) as garrafas de A e B se quebram.
- d) as garrafas de A e B não se quebram.
- e) os dados fornecidos não são suficientes para se chegar a uma conclusão.

(04) Um bulbo de vidro conectado a um tubo fino, com coeficiente de dilatação desprezível, contendo certa massa de água na fase líquida é mostrado a seguir em três situações de temperatura. Na primeira, o sistema está a 4°C ; na segunda, a 1°C e, na terceira, a 10°C . Conforme a temperatura, a água ocupa uma certa porção do tubo. Tal fenômeno é explicado.



- a) pelo aumento de volume da água de 0°C a 4°C , seguido da diminuição do volume a partir de 4°C .
- b) pela diminuição da densidade da água de 0°C a 4°C , seguido do aumento da densidade a partir de 4°C .
- c) pelo aumento do volume da água a partir de 0°C .

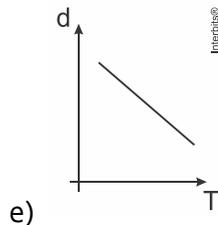
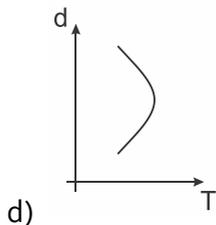
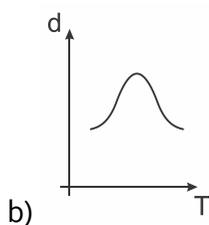
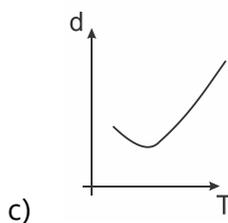
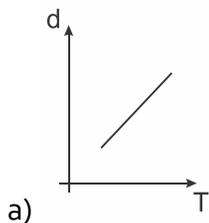
- d) pelo aumento da densidade da água de 0°C a 4°C , seguido da diminuição da densidade a partir de 4°C .
 e) pela diminuição do volume da água a partir de 0°C .

(05) Por que os lagos congelam só na superfície?

Porque a camada de gelo funciona como uma espécie de cobertor, impedindo que a água mais profunda congele. "A capa gelada faz o papel de isolante térmico. Como o gelo é um mau condutor, ele evita que o resto da água perca calor para a atmosfera", afirma o glaciologista Jefferson Cardia Simões, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

Disponível em: <http://mundoestranho.abril.com.br/materia/por-que-os-lagos-congelam-so-na-superficie>, acessado em:

O comportamento diferenciado da densidade da água em baixas temperaturas, quando comparada com outras substâncias, permite que o fundo dos lagos não congele, preservando a vida nesses ecossistemas, nos períodos de inverno. Sobre isso, o gráfico que melhor descreve a variação da densidade da água, d , com a temperatura, T , está indicado na alternativa



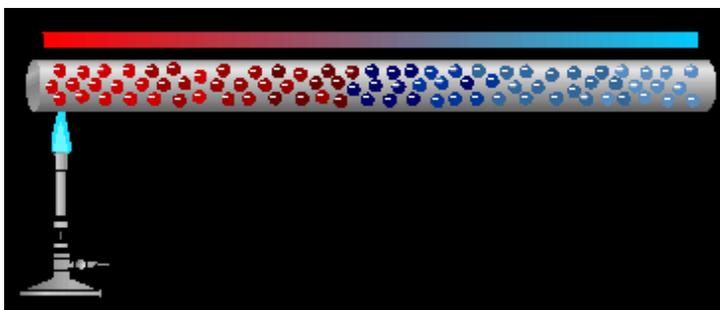
CAPÍTULO 4

PROCESSOS DE TRANSMISSÃO DE CALOR



CONDUÇÃO

Este tipo de transmissão ocorre predominantemente nos sólidos. Para que possamos compreender a condução, imagine que uma das extremidades de uma barra de ferro é colocada na chama de um fogão. Após um certo tempo, a outra extremidade também estará quente. Isto faz-nos concluir que o calor foi transmitido ao longo da barra, de uma extremidade a outra. Veja a figura.



A extremidade A é a que recebe calor da chama. Como consequência, os átomos sofrem um aumento no grau de vibração. Porém, o estado sólido é caracterizado por uma intensa ligação entre os átomos. Dessa forma, este aumento de vibração é

transmitido para os átomos vizinhos que não receberam o calor diretamente da chama. Após algum tempo, este aumento de vibração atinge a extremidade B.

É importante se notar que, em qualquer instante, vai haver uma diferença de temperatura entre as duas extremidades, sendo $\theta_A > \theta_B$.

São 4 os fatores que influenciam no fluxo de calor entre dois pontos. Acompanhe:

(1) área de contato: quanto maior for a área de contato entre dois corpos, mais intenso será o fluxo de calor. Este fato explica o porquê de nos encolhermos quando sentimos frio.

(2) espessura: quanto maior for a espessura do corpo, menor o fluxo de calor. É por isso que usamos roupas grossas (de grande espessura) durante o inverno.

(3) diferença de temperatura entre os pontos: quanto maior a diferença de temperatura, maior o fluxo de calor.

(4) tipo de material: existem algumas substâncias que são condutoras e outras que são isolantes térmicas.

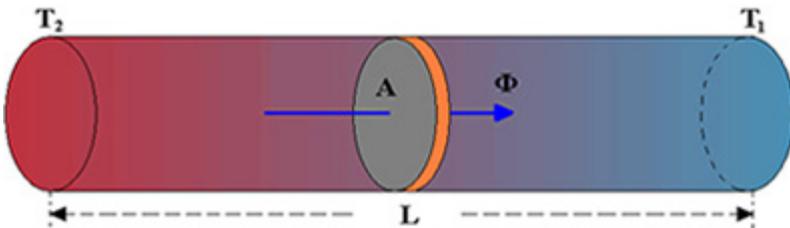
Os metais são exemplos de condutores e a borracha, de isolante. A grandeza física que nos indica a capacidade que uma substância tem de conduzir calor é chamada de coeficiente de condutividade. Este fluxo de calor é que nos dá a sensação de quente e frio. Quando tocamos um corpo, teremos a sensação de que ele está quente se recebermos calor dele. Se cedermos calor para o corpo, teremos a sensação de que ele está frio. Quanto maior for o fluxo de calor, maior a sensação térmica.

Quando tocamos simultaneamente uma porta de madeira e a sua maçaneta (feita de metal), temos sensação de que esta última está mais fria. Na verdade, ambas possuem a mesma temperatura, pois estão em equilíbrio térmico com o ambiente. A razão deste engano é que a maçaneta é feita de um material que é bom condutor térmico, enquanto que a porta é isolante. Dessa forma, o fluxo de

calor da nossa mão para a maçaneta é mais intenso do que para a porta, porque a condutividade térmica dos metais é maior do que a da madeira.

FLUXO DE CALOR (Φ)

Ao se aquecer, por exemplo, a extremidade A de uma barra metálica enquanto a outra extremidade, B, é mantida a uma temperatura menor, existe uma transmissão desse calor da extremidade A (de maior temperatura) em direção à extremidade B (de menor temperatura). Esse fluxo de energia que ocorre em um meio material é denominado condução.



$$T_2 > T_1$$

$$\Phi = \frac{k \cdot A \cdot \Delta\theta}{L}$$

(Lei de Fourier)

$\Phi \Rightarrow$ fluxo de calor por condução em cal/s

$K \Rightarrow$ condutividade térmica do material em cal/s.m.°C.

$\Delta\theta \Rightarrow$ diferença de temperatura entre as extremidades

$A \Rightarrow$ área transversal ao fluxo de calor

$l \Rightarrow$ comprimento longitudinal do corpo

ATENÇÃO: A experiência mostra que em regime estacionário, o fluxo de calor por condução num material homogêneo é diretamente proporcional à área da seção transversal atravessada e a diferença de temperatura entre os extremos, e inversamente proporcional à espessura da camada considerada.

A constante de proporcionalidade K depende da natureza, sendo denominada, coeficiente de condutibilidade térmica. Seu valor é elevado para os bons condutores, como os metais, e baixo para os isolantes térmicos.

Existem os bons condutores e os isolantes térmicos. O bom condutor é quando o coeficiente de condutibilidade térmica de um objeto ou corpo é grande, como por exemplo, os metais. Já os isolantes térmicos são os materiais, que são maus condutores de calor, como por exemplo, o isopor.

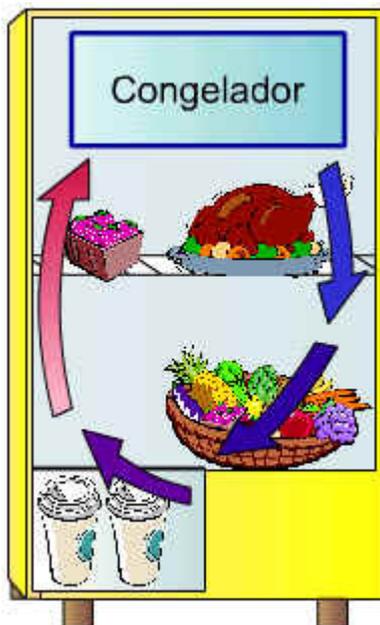
CONVECÇÃO

Este tipo de transmissão de calor é mais significativo nos meios fluidos. Vamos imaginar que queiramos aquecer uma certa quantidade de água. Quando colocamos a panela cheia de água na trempe de um fogão, as moléculas de água que estão no fundo são as primeiras a receber calor. Com o aquecimento, estas moléculas têm um aumento médio em seu volume e uma respectiva diminuição em sua densidade. Por este motivo, elas se dirigem para a superfície, enquanto que as moléculas da superfície, por estarem mais densas, migram para o fundo. Este movimento recebe o nome de corrente de convecção e é o responsável pelo aquecimento da água como um todo.



Este processo nos permite concluir que a convecção, ao contrário da condução, é um processo de transmissão de calor que envolve transporte de matéria. Por este motivo ele é mais intenso nos meios

líquidos e gasosos. A convecção térmica é o processo relacionado com a formação dos ventos, por exemplo, o resfriamento de geladeiras e freezers.



O congelador de uma geladeira é colocado na parte superior; o ar frio desce, retira "calor" dos corpos que estão na geladeira, aquece-se e sobe até o congelador, onde novamente se resfria.

Observações:

1) No caso da água no estado líquido, se acionarmos uma chama de maçarico sobre a sua superfície, não haverá correntes de convecção, pois a tendência é que da água aquecida é buscar a superfície, permanecendo portanto onde já está.

2) A razão para que os aparelhos de ar condicionado sejam instalados na parte superior do cômodo são as correntes de convecção. O resfriamento da camada superior de ar provoca a sua descida provocando as correntes de convecção.

RADIAÇÃO (IRRADIAÇÃO)

Este tipo de transmissão de calor é feito por meio de ondas eletromagnéticas na faixa do infravermelho. Sabemos que há uma diferença de temperatura entre o Sol e a Terra.



Pelo que já estudamos, deve haver um fluxo de calor entre estes dois corpos. Porém, o calor transmitido do Sol até nós deve viajar uma região onde essencialmente existe vácuo. Note que não há um meio sólido, líquido ou gasoso para que um dos processos anteriores seja verificado. Neste caso, o calor é transmitido por meio de ondas eletromagnéticas (da mesma natureza que a luz ou as ondas de rádio, por exemplo) que têm a capacidade de se propagar no vácuo. É através da radiação que trocamos a maior parte de calor com o meio ambiente.

EXERCÍCIO DE APRENDIZAGEM

(01) Com base nos processos de transmissão de calor, analise as proposições a seguir.

- I. A serragem é melhor isolante térmico do que a madeira, da qual foi retirada, porque entre as partículas de madeira da serragem existe ar, que é um isolante térmico melhor que a madeira.
- II. Se a superfície de um lago estiver congelada, a maior temperatura que a camada de água do fundo poderá atingir é $2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

- III. O interior de uma estufa de plantas é mais quente que o exterior, porque a energia solar que atravessa o vidro na forma de raios infravermelhos é parcialmente absorvida pelas plantas e demais corpos presentes e depois emitida por eles na forma de raios ultravioletas que não atravessam o vidro, aquecendo assim o interior da estufa.
- IV. Durante o dia, sob as túnicas claras que refletem boa parte da energia do sol, os beduínos no deserto usam roupa de lã, para minimizar as trocas de calor com o ambiente.

São verdadeiras apenas as proposições

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

(02) Considere as afirmações a seguir, referentes aos três processos de transferência de calor.

- I. A radiação pode ser refletida pelo objeto que a recebe.
- II. A condução ocorre pela propagação de oscilações dos constituintes de um meio material.
- III. A convecção ocorre apenas em fluidos.

Quais estão corretas?

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

(03) Ainda nos dias atuais, povos que vivem no deserto usam roupas de lã branca como parte de seu vestuário para se protegerem do intenso calor, já que a temperatura ambiente pode chegar a 50 °C durante o dia. Para nós, brasileiros, que utilizamos a lã principalmente no inverno, a atitude dos povos do deserto pode parecer estranha ou equivocada, contudo ela pode ser explicada pelo fato de que:

- a) a lã é um excelente isolante térmico, impedindo que o calor externo chegue aos corpos das pessoas e a cor branca absorve toda a luz evitando que ela aqueça ainda mais as pessoas.
- b) a lã é naturalmente quente e, num ambiente a 50°C , ela contribui para resfriar um pouco os corpos das pessoas.
- c) a lã é um excelente isolante térmico, impedindo que o calor externo chegue aos corpos das pessoas e a cor branca reflete toda a luz, diminuindo assim o aquecimento da própria lã.
- d) a lã é naturalmente quente, e o branco é uma "cor fria." Esses fatos combinados contribuem para o resfriamento dos corpos daquelas pessoas.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

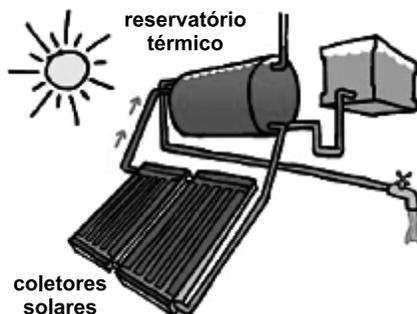
(01) Em 2010 o Prêmio Nobel de Física foi dado a dois cientistas de origem russa, André Geim e Konstantin Novoselov, por descobrirem em 2004 o grafeno, uma forma revolucionária do grafite. O grafeno apresenta vários aspectos positivo para a tecnologia de hoje, sendo uma delas o melhor condutor de calor. Analise as afirmações abaixo sobre os processos de propagação de calor.

- I. Convecção: é o processo de transmissão de energia térmica feita de partícula para partícula sem que haja transporte de matéria de uma região para outra.
- II. Condução: é o processo de transmissão de energia térmica feita por meio do transporte da matéria de uma região para outra.
- III. Radiação: é o processo que consiste na transmissão de energia térmica por meio de ondas eletromagnéticas. Ocorre tanto no vácuo quanto em outros meios materiais.

Analisando as afirmações, é CORRETO apenas o que se afirma em:

- a) I
- b) II
- c) III
- d) I e III
- e) II e III

(02)



Disponível em: <<http://www.infoescola.com>>.
Acesso em: 06 set. 2013.

Na construção dos coletores solares, esquematizado na figura acima, um grupo de estudantes afirmaram que o tubo

- I. é metálico;
- II. possui a forma de serpentina;
- III. é pintado de preto;
- IV. recebe água fria em sua extremidade inferior.

E a respeito da caixa dos coletores, afirmaram que

- V. a base e as laterais são revestidas de isopor;
- VI. a tampa é de vidro.

Considerando-se as afirmações feitas pelos estudantes, aquelas que favorecem a absorção de radiação térmica nesses coletores são apenas

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

(03) O inverno é caracterizado pela ocorrência de baixas temperaturas, especialmente nas regiões ao sul do Brasil. Por essa razão, é alto o índice de incidência de doenças respiratórias, de

modo que a primeira recomendação é manter-se abrigado sempre que possível e agasalhar-se adequadamente.

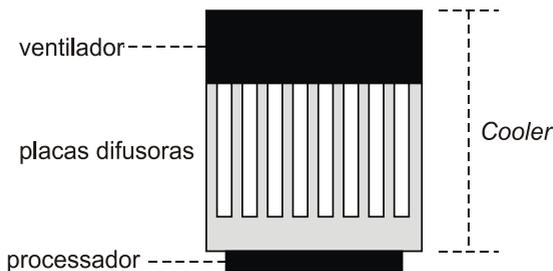
Considerando os aspectos termodinâmicos dos fenômenos envolvidos, analise as afirmações:

- I. Os aquecedores devem ser mantidos próximos ao piso do ambiente, porque a condutividade térmica do ar é maior quando próxima à superfície da Terra.
- II. Energia é transferida continuamente entre o corpo e as suas vizinhanças por meio de ondas eletromagnéticas.
- III. O ato de encolher-se permite às pessoas diminuir sua área exposta ao ambiente e, conseqüentemente, diminuir a perda de energia.

Está(ão) correta(s)

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

(04) O *cooler*, encontrado em computadores e em aparelhos eletroeletrônicos, é responsável pelo resfriamento do microprocessador e de outros componentes. Ele contém um ventilador que faz circular ar entre placas difusoras de calor. No caso de computadores, as placas difusoras ficam em contato direto com o processador, conforme a figura a seguir.



Vista lateral do cooler e do processador

Sobre o processo de resfriamento desse processador, assinale a alternativa correta.

- a) O calor é transmitido das placas difusoras para o processador e para o ar através do fenômeno de radiação.
- b) O calor é transmitido do ar para as placas difusoras e das placas para o processador através do fenômeno de convecção.
- c) O calor é transmitido do processador para as placas difusoras através do fenômeno de condução.
- d) O frio é transmitido do processador para as placas difusoras e das placas para o ar através do fenômeno de radiação.
- e) O frio é transmitido das placas difusoras para o ar através do fenômeno de radiação.

(05) A elevação de temperatura da água através da energia transportada pelas ondas eletromagnéticas que vêm do Sol é uma forma de economizar energia elétrica ou queima de combustíveis. Esse aumento de temperatura pode ser realizado da(s) seguinte(s) maneira(s):

- I. Usa-se espelho parabólico em que as ondas eletromagnéticas são refletidas e passam pelo foco desse espelho onde existe um cano metálico em que circula água.
- II. Usam-se chapas metálicas pretas expostas às ondas eletromagnéticas em que a energia é absorvida e transferida para a água que circula em canos metálicos soldados a essas placas.
- III. Usam-se dispositivos mecânicos que agitam as moléculas de água com pás para ganharem velocidade.

Está(ão) correta(s)

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

CAPÍTULO 5

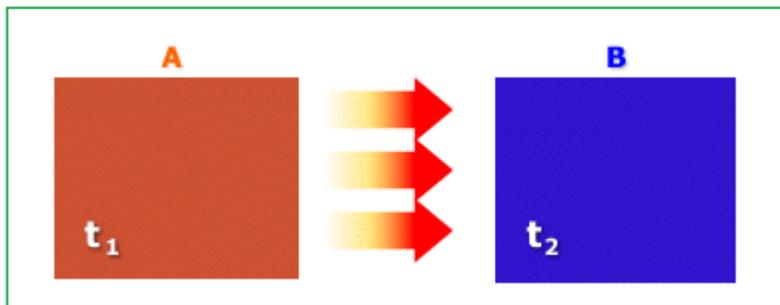
CALORIMETRIA I

Calorimetria é a parte da Termologia que estuda fenômenos relacionados ao calor. O movimento dos átomos ou dos grupamentos atômicos gera a energia térmica, que está relacionada à temperatura, radiação e ao calor. Quando um corpo ganha ou perde energia térmica, são os movimentos dos grupamentos atômicos/átomos que se movimentam com mais ou menos intensidade. A energia térmica que passa de um corpo ao outro se chama calor (Q).

CALOR



Vamos imaginar dois corpos, A e B, que possuam temperaturas diferentes, de tal forma que $t_A > t_B$, de acordo com a figura que se segue.



Chamamos de calor a essa energia térmica em trânsito do corpo de maior para o de menor temperatura que tem por objetivo estabelecer o equilíbrio térmico entre os corpos em questão. Como o calor é uma forma de energia, iremos utilizar como unidade qualquer unidade de energia. Em nossos exercícios, trabalharemos com duas unidades: joule (J) e caloria (cal). A relação entre estas duas unidades é: **1 cal = 4,18 J**.

Note que esta definição de calor nos faz concluir que expressões do tipo "hoje está calor" ou "este corpo tem muito calor" são desprovidas de sentido, pois o calor é uma forma de energia que flui de um corpo para o outro, motivada pela diferença de temperatura. Não existe maneira de um corpo ter calor. Estas expressões poderiam ser corrigidas, respectivamente, para "hoje está quente" e "este corpo possui uma temperatura muito elevada".

Calor não é sinônimo de temperatura alta. Imagine dois corpos, um a -20°C e outro a -30°C . Como existe uma diferença de temperatura entre eles, haverá um fluxo de calor do primeiro para o segundo.

Até agora estudamos o que é calor e como ele pode ser transmitido. Nesta seção vamos medir o calor, ou seja, trabalharemos com expressões matemáticas que nos indiquem a quantidade de calor que foi transportada entre dois corpos. Quando há troca de calor entre dois corpos, poderá ocorrer uma variação de temperatura ou a mudança do estado físico do corpo.

Chamamos de calor sensível aquele relacionado com a variação de temperatura de um corpo. O calor relacionado com a mudança

de estado físico recebe o nome de calor latente. Ou seja, **Calor Sensível** é a quantidade de calor recebida ou cedida por um corpo, ao sofrer uma variação de temperatura SEM que haja mudança de fase. Este fenômeno deu origem à lei física da *Equação Fundamental da Calorimetria*.

Já se o corpo sofrer apenas MUDANÇA de fase sem haver variação de temperatura (permanece constante), o calor é chamado **Calor Latente**. Estudaremos, aqui, o calor sensível.

Capacidade Térmica (C)

Quando um corpo troca calor, os seus átomos podem ficar mais ou menos energéticos, variando, assim, a intensidade de suas vibrações. Dependendo da quantidade (**Q**) de calor trocada, esta variação ($\Delta\theta$) de temperatura pode ser grande ou pequena. Para um mesmo corpo, a quantidade de calor trocada é diretamente proporcional à variação de temperatura verificada. Denominamos capacidade térmica (**C**) a razão entre a quantidade de calor trocada e a respectiva variação de temperatura.

$$c = \frac{Q}{\Delta\theta}$$

A unidade mais utilizada para a capacidade térmica é: **cal/°C**.

A capacidade térmica nos informa a quantidade de calor necessária para variarmos de 1 grau a temperatura de um corpo qualquer. Note que, se considerarmos uma mesma quantidade de calor, quanto maior a capacidade térmica de um corpo, menor será a variação de temperatura por ele verificada.

Calor Específico (c)

Vamos imaginar vários corpos feitos de um mesmo material, mas que possuam massas e capacidades térmicas diferentes. Quando cedemos a estes corpos a mesma quantidade de calor, podemos verificar que os aumentos de temperatura serão, também, diferentes. É fácil perceber que o corpo de maior massa terá o

menor aumento de temperatura pelo fato de possuir a maior capacidade térmica. No entanto, se dividirmos a capacidade térmica de cada corpo pela sua respectiva massa, encontraremos um valor constante. Este valor constante é uma característica da substância de que são feitos os corpos, e recebe o nome de calor específico (c). Matematicamente, temos:

$$c = \frac{C}{m} \text{ ou } c = \frac{Q}{m \cdot \Delta\theta}$$

Cuja unidade mais utilizada é: **cal/g.°C**

Dizer que o calor específico de uma substância é 1,0 cal/g °C significa que cada 1 grama desta substância necessita de 1,0 caloria para variar a sua temperatura em 1 °C.

Equação Fundamental da Calorimetria

Da definição de calor específico encontrada no item anterior, podemos deduzir que a quantidade de calor pode ser dada pela seguinte expressão:

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

Esta expressão é conhecida por equação fundamental da calorimetria e dela podemos tirar uma propriedade muito importante:

1 - Quando um corpo recebe calor sensível, a sua temperatura irá aumentar. Isso faz com que a variação de temperatura seja positiva. Assim, a quantidade de calor será, também, positiva.

O sinal do calor recebido é positivo

2 - Por outro lado, se o corpo ceder calor, a sua temperatura diminuirá. Logo, a variação de temperatura e a quantidade de calor serão negativas.

O sinal do calor cedido é negativo

EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM

(01)) Um painel coletor de energia solar é utilizado para aquecer a água de uma residência e todo o sistema tem um rendimento de 60%. Para aumentar a temperatura em $12,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ de uma massa de água de 1.000 kg a energia solar total coletada no painel deve ser de:

Dado: considere o calor específico da água igual a $4,0 \frac{\text{J}}{\text{g}\cdot^{\circ}\text{C}}$.

a) $2,8 \cdot 10^4\text{ J}$

b) $4,8 \cdot 10^4\text{ J}$

c) $8,0 \cdot 10^4\text{ J}$

d) $4,8 \cdot 10^7\text{ J}$

e) $8,0 \cdot 10^7\text{ J}$

(02) Um bloco metálico, maciço, homogêneo, de capacidade térmica C , é feito de um material de coeficiente de dilatação linear α e ocupa um volume V_0 à temperatura ambiente. Ele é colocado no interior de um forno quente e recebe uma quantidade de calor Q até entrar em equilíbrio térmico com o forno sem sofrer mudança de estado físico. Como consequência, seu volume sofre uma dilatação ΔV . Tal dilatação é diretamente proporcional a V_0 ,

a) α , C e $1/Q$.

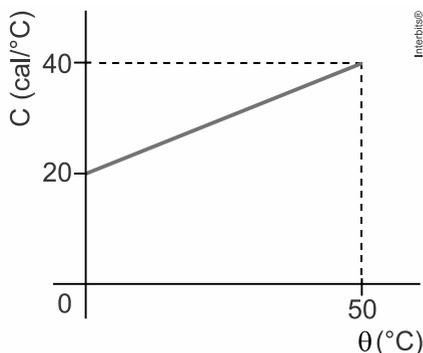
b) α , Q e $1/C$.

c) C , Q e $1/\alpha$.

d) α , $1/Q$ e $1/C$.

e) Q , $1/\alpha$ e $1/C$.

(03) Analise o gráfico a seguir, que indica a variação da capacidade térmica de um corpo (C) em função da temperatura (θ)



A quantidade de calor absorvida pelo material até a temperatura de 50 °C em calorias, é igual a:

- a) 500
- b) 1500
- c) 2000
- d) 2200

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

(01) Dois corpos, inicialmente com temperaturas diferentes, são isolados termicamente do ambiente, mas postos em contato térmico um com o outro, de modo que possam trocar calor entre si. Ao atingir equilíbrio térmico, um dos corpos ganhou uma quantidade de calor Q . Considerando corretamente os sinais das quantidades de calor, é correto afirmar que a soma do calor cedido por um corpo com o recebido pelo outro é:

- a) $2Q$
- b) $-2Q$
- c) $Q/2$
- d) $0,0$

(02) Em uma tentativa de emular os diversos tipos de leite, uma indústria mistura água com uma certa quantidade de lipídios que é mostrada na tabela seguinte:

TIPO DE LEITE	LIPÍDIOS (a cada porção de 100 g de leite)
Leite integral	3,5 gramas
Leite semidesnatado	1,5 gramas
Leite de vaca	3,7 gramas
Leite de ovelha	6,2 gramas
Leite materno	4,1 gramas

Sabendo que o calor específico da água é maior que o do grupo de lipídios usados, concluímos, utilizando os princípios da calorimetria e apenas as informações da tabela, que, em quantidades iguais,

- o leite de ovelha necessitaria de menos energia para chegar a 100 °C em relação aos demais.
- quando todos forem submetidos a um aquecimento constante, o leite de vaca chegará a 100 °C mais rápido que os demais.
- com os diversos tipos de leite no congelador, sob a mesma temperatura inicial, o leite semidesnatado atingirá o estado sólido primeiro em relação aos outros.
- a proporção água com lipídios não interfere no processo de variação de temperatura.
- todos os tipos de leite chegam a 100 °C no mesmo tempo, quando submetidos a um aquecimento constante, uma vez que essa variação depende, apenas, da fonte de energia térmica.

(03) Um jovem, ao ser aprovado para estudar na UNEB, resolve fazer um churrasco e convidar seus amigos e familiares para um almoço. Ao colocar as latinhas de refrigerante no congelador, tem receio de que as mesmas congelem e por isso deseja estimar o tempo para que atinjam a temperatura desejada. O tempo para que 10 latinhas de 330 mL de refrigerante sofram uma variação na temperatura de 25 °C é, aproximadamente,

Dados:

- Fluxo de Calor total entre as latinhas de refrigerante e o congelador = 150 cal/min
- Densidade do refrigerante = 1 g/mL
- Calor específico do refrigerante = 1 cal/g · °C

- a) 2h02min.
- b) 8h30min.
- c) 6h15min.
- d) 3h05min.
- e) 9h10min.

(04) Considere duas garrafas idênticas, uma contendo 1kg de leite e outra contendo 21°C . de água, ambas inicialmente a 21°C . e expostas à temperatura ambiente de 21°C . A capacidade térmica do leite integral é, aproximadamente, $3,93 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ e da água é $4,19 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$. Considere que a condutividade e a emissividade térmica sejam as mesmas para os dois líquidos. Com base nessas informações, é correto afirmar que, ao atingir o equilíbrio térmico com o ambiente,

- a) o leite tem calor específico superior ao da água.
- b) o leite atinge a temperatura ambiente antes da água.
- c) a água passa por uma transição de fase antes de atingir a temperatura ambiente.
- d) o leite tem mais energia térmica armazenada que a água.

TEXTO PARA A PRÓXIMA QUESTÃO:

O alumínio, obtido a partir de compostos constituintes da bauxita, é utilizado na fabricação de embalagens para bebidas, tubos para cremes dentais e utensílios de cozinha, dentre outras aplicações. Esse elemento químico, apesar de ser tóxico, é normalmente excretado com facilidade pelo organismo. Pesquisas constataram que alimentos cozidos em panelas que contêm alumínio apresentam um teor desse elemento químico bem abaixo do limite recomendado pela Organização Mundial da Saúde, OMS, que é de 1,0 miligrama de alumínio por quilo de massa corporal do indivíduo, por semana. Átomos de alumínio presentes na superfície dos objetos metálicos reagem com o oxigênio do ar e formam uma camada protetora de óxido de alumínio, $\text{Al}_2\text{O}_{3(s)}$.

(05) Considerando-se a densidade do ferro igual a $8,0 \text{ g/cm}^3$ e

a do alumínio igual a $3,0 \text{ g/cm}^3$, o calor específico do ferro igual a $0,12 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$ e o do alumínio igual a $0,24 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$ e supondo-se que as placas de ferro e de alumínio têm o mesmo volume e que sofrem as mesmas variações de temperatura, pode-se afirmar que a razão entre a quantidade de calor liberada pela placa de ferro e a quantidade de calor liberada pela placa de alumínio é de, aproximadamente,

- a) 1,0
- b) 1,3
- c) 2,0
- d) 2,5
- e) 3,6

CAPÍTULO 6

CALORIMETRIA II



PRINCÍPIO DA CONSERVAÇÃO DO CALOR

Vamos imaginar um sistema termicamente isolado (uma garrafa térmica, por exemplo) que contenha, internamente, vários corpos com temperaturas diferentes. Sabemos que estes corpos irão trocar calor até que seja estabelecido o equilíbrio térmico.

Como não haverá trocas de calor com o meio externo, podemos concluir que o módulo do calor cedido será igual ao módulo do calor recebido. Como o sinal do calor recebido é positivo e o do calor cedido é negativo, chegamos ao seguinte princípio:

“Em um sistema termicamente isolado, a soma do calor cedido e do calor recebido é zero.”

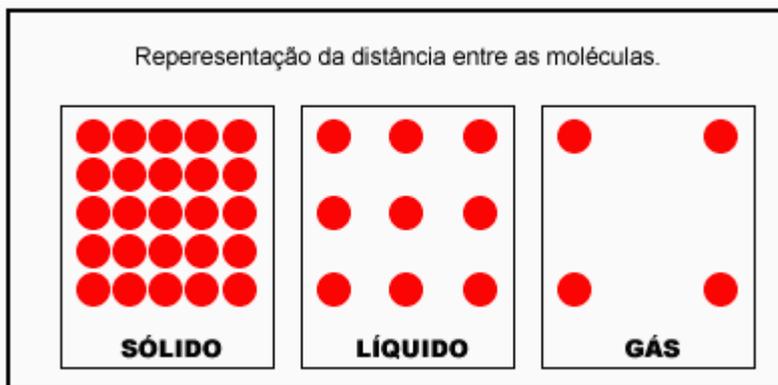
$$\sum Q_{\text{RECEBIDO}} + \sum Q_{\text{CEDIDO}} = 0$$

Em um laboratório, podemos utilizar este princípio para o cálculo do calor específico de uma substância ou da quantidade de calor trocada entre dois corpos. O sistema termicamente isolado que

utilizamos para este fim recebe o nome de calorímetro. Se o enunciado de um exercício mencionar os termos calorímetro ideal ou calorímetro de capacidade térmica desprezível, iremos considerar nulas as trocas de calor entre os corpos e o calorímetro. Por outro lado, se for dado o valor da capacidade térmica do calorímetro, teremos que considerá-lo como um corpo a mais na troca de calor.

ESTRUTURA DA MATÉRIA

Desde a Antiguidade, os gregos já se perguntavam de que era feita a matéria. Demócrito, por exemplo, acreditava que a matéria era feita de pequenas partes indivisíveis, que chamou de átomos. Só no início do século XX é que essa "hipótese atômica" foi confirmada experimentalmente. Ou seja, descobriu-se, por meio de experiências científicas, que a matéria é realmente feita de átomos. Depois disso, modelos que descreviam a organização desses átomos no interior da matéria começaram a ser desenvolvidos. A figura da próxima página mostra uma das formas de representar a estrutura atômica da matéria nas diversas fases.



Podemos ver que, no modelo de cristal (sólido), todos os átomos estão organizados de forma que cada átomo está ligado a seus vizinhos. No estado líquido a estrutura está mais desorganizada, os átomos não estão ligados de forma tão rígida quanto no cristal.

Finalmente, no gás não há mais uma estrutura bem definida, e as ligações entre os átomos ocorrem em número muito pequeno.

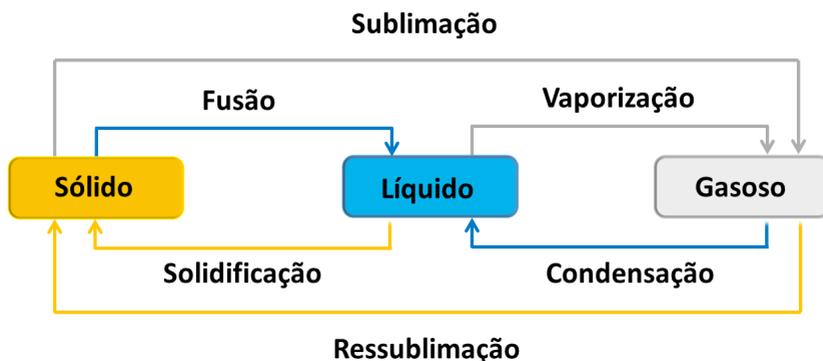
MUDANÇAS DE FASE

Como vimos anteriormente esta seção é dedicada ao estudo das mudanças de fases (ou de estado físico) e das trocas de calor que ocorrem nestes processos. Estudaremos três estados físicos: sólido, líquido e gasoso. O estado sólido é caracterizado por uma grande coesão entre as partículas, o que mantém a forma e o volume definidos. Esta é a fase das menores temperaturas e, portanto, das vibrações atômicas menos intensas.

O estado líquido é um intermediário entre o sólido e o gasoso. Esta fase se caracteriza por um volume definido e uma forma indefinida. Já o estado gasoso possui as mais altas temperaturas. Nesta fase, tanto a forma quanto o volume são indefinidos. Podemos separar o estado gasoso em duas partes: vapor e gás.

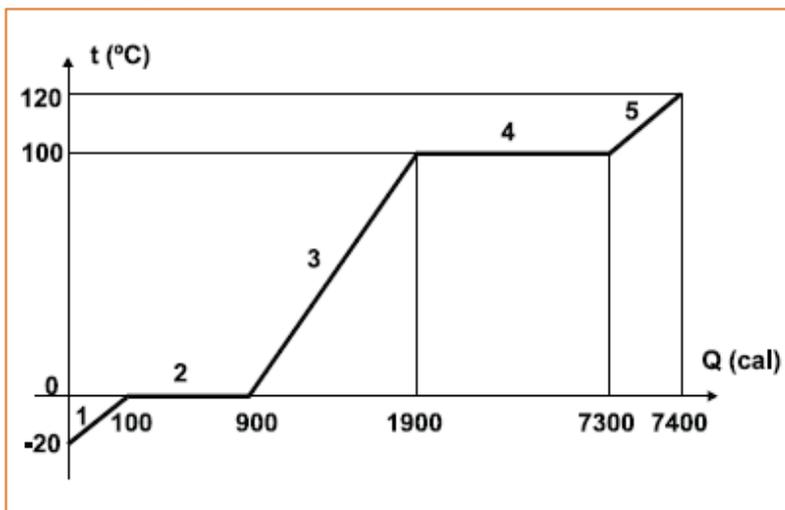
Uma certa massa será considerada vapor se puder ser liquefeita por compressão. Se esta massa não for liquefeita por compressão, será chamada de gás. O limite entre estas duas partes do estado gasoso é a chamada temperatura crítica, que é uma característica de cada substância. Abaixo da temperatura crítica, teremos o vapor e acima, gás.

Acompanhe o esquema que mostra as três fases (estados físicos) e as respectivas mudanças.



Como estamos trabalhando sempre com substâncias puras, durante uma mudança de fase qualquer, a temperatura irá

permanecer a mesma. Observe o gráfico que representa a temperatura em função da quantidade de calor recebida por 10 gramas de água, inicialmente a -20°C .



No gráfico, podemos perceber que existem regiões onde a temperatura sofreu um certo aumento (1, 3 e 5), ou seja, o calor é sensível. Já nas regiões 2 e 4, a temperatura permaneceu constante, o que nos leva a concluir que, nestas regiões, houve uma mudança de fase. O calor é, portanto, latente.

Região 1: a água estava no estado sólido. Houve um aumento de temperatura de 20°C .

Região 2: o gelo estava sofrendo fusão. A temperatura de fusão do gelo é de 0°C . Note que esta temperatura permanece constante até que todo o gelo tenha se transformado em água líquida.

Região 3: a água sofreu um aumento de temperatura de 100°C . Estado líquido.

Região 4: a água estava sofrendo vaporização.

Região 5: o vapor d'água sofreu um aumento de temperatura de 20°C .

Nas regiões em que há mudança de fase não é possível utilizar

a equação fundamental da calorimetria, uma vez que não há mudança de temperatura. Veremos, a seguir, a equação que nos permite calcular a quantidade de calor latente.

CALOR LATENTE (L)



Quanto maior a massa de um corpo, mais calor ele deve trocar para que haja a mudança de fase. Porém, se considerarmos massas diferentes de uma mesma substância em uma mudança de estado físico, perceberemos que a razão entre a quantidade de calor trocada e a massa do corpo é uma constante que só depende da substância e do tipo de mudança de fase. A esta constante damos o nome de calor (específico) latente de mudança de fase (L). De acordo com o que foi apresentado, a expressão para o cálculo da quantidade de calor latente é:

$$L = \frac{Q}{m}$$

A principal unidade do calor latente de mudança de fase é: **cal/g**. Dizer que o calor latente de fusão do gelo é de 80 cal/g significa dizer que cada 1 grama de gelo, a 0°C, necessita de 80 calorias para sofrer fusão completamente.

Observação: A quantidade de calor que uma substância precisa receber para sofrer fusão ou vaporização é igual em módulo à quantidade de calor que esta substância deve ceder para sofrer, respectivamente, solidificação ou liquefação. Dessa forma, temos, para uma mesma substância, as seguintes relações:

$$|L_{\text{FUSÃO}}| = |L_{\text{SOLIDIFICAÇÃO}} + L_{\text{VAPORIZAÇÃO}}| = |L_{\text{LIQUEFAÇÃO}}|$$

EXERCÍCIO DE APRENDIZAGEM

TEXTO PARA A PRÓXIMA QUESTÃO:

O alumínio, obtido a partir de compostos constituintes da bauxita, é utilizado na fabricação de embalagens para bebidas, tubos para cremes dentais e utensílios de cozinha, dentre outras aplicações. Esse elemento químico, apesar de ser tóxico, é normalmente excretado com facilidade pelo organismo. Pesquisas constataram que alimentos cozidos em panelas que contêm alumínio apresentam um teor desse elemento químico bem abaixo do limite recomendado pela Organização Mundial da Saúde, OMS, que é de 1,0 miligrama de alumínio por quilo de massa corporal do indivíduo, por semana. Átomos de alumínio presentes na superfície dos objetos metálicos reagem com o oxigênio do ar e formam uma camada protetora de óxido de alumínio, $Al_2O_{3(s)}$.

1. (Ebmsp) Considerando-se a densidade do ferro igual a $8,0 \text{ g/cm}^3$ e a do alumínio igual a $3,0 \text{ g/cm}^3$ o calor específico do ferro igual a $0,12 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$ e o do alumínio igual a $0,24 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$ e supondo-se que as panelas de ferro e de alumínio têm o mesmo volume e que sofrem as mesmas variações de temperatura, pode-se afirmar que a razão entre a quantidade de calor liberada pela panela de ferro e a quantidade de calor liberada pela panela de alumínio é de, aproximadamente,

- a) 1,0
- b) 1,3
- c) 2,0
- d) 2,5
- e) 3,6

2. (Uesc) Considere uma barra de liga metálica, com densidade linear de $2,4 \cdot 10^3 \text{ g/mm}$, submetida a uma variação de temperatura, dilatando-se 3,0mm. Sabendo-se que o coeficiente de dilatação linear e o calor específico da liga são, respectivamente, iguais a $2,0 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ e a $0,2 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$, a quantidade de calor absorvida pela

barra nessa dilatação é igual, em cal, a

- a) 72,0
- b) 80,0
- c) 120,0
- d) 132,0
- e) 245,0

TEXTO PARA A PRÓXIMA QUESTÃO:

Texto para a(s) questão(ões) a seguir.

A depilação a *laser* é um procedimento de eliminação dos pelos que tem se tornado bastante popular na indústria de beleza e no mundo dos esportes. O número de sessões do procedimento depende, entre outros fatores, da coloração da pele, da área a ser tratada e da quantidade de pelos nessa área.

3. (Unicamp) Na depilação, o *laser* age no interior da pele, produzindo uma lesão térmica que queima a raiz do pelo. Considere uma raiz de pelo de massa $m=2.0 \times 10^{-10}$ kg inicialmente a uma temperatura $T_i = 36^\circ\text{C}$ que é aquecida pelo *laser* a uma temperatura final $T_f = 46^\circ\text{C}$.

Se o calor específico da raiz é igual a $c = 3.000 \text{ J}/(\text{kg } ^\circ\text{C})$ o calor absorvido pela raiz do pelo durante o aquecimento é igual a

Dados: Se necessário, use aceleração da gravidade $g=10 \text{ m/s}^2$ aproxime $\pi=3,0$ e $1 \text{ atm} = 10^5 \text{ Pa}$.

- a) $6,0 \times 10^{-6} \text{ J}$.
- b) $6,0 \times 10^{-8} \text{ J}$.
- c) $1,3 \times 10^{-12} \text{ J}$.
- d) $6,0 \times 10^{-13} \text{ J}$.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

1. (Unicamp) Um conjunto de placas de aquecimento solar eleva a temperatura da água de um reservatório de 500 litros de 20 °C para 47 °C em algumas horas. Se no lugar das placas solares fosse usada uma resistência elétrica, quanta energia elétrica seria consumida para produzir o mesmo aquecimento? Adote 1,0 kg/litro para a densidade e 4,0 kJ/(kg . °C) para o calor específico da água. Além disso, use $1 \text{ kWh} = 10^3 \text{ W} \times 3.600 \text{ s} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$.

- a) 15 kWh.
- b) 26 kWh.
- c) 40.000 kWh.
- d) 54.000 kWh.

2. (Fuvest) Furacões são sistemas físicos que liberam uma enorme quantidade de energia por meio de diferentes tipos de processos, sendo um deles a condensação do vapor em água. De acordo com o Laboratório Oceanográfico e Meteorológico do Atlântico, um furacão produz, em média, 1,5 cm de chuva por dia em uma região plana de 660 km de raio. Nesse caso, a quantidade de energia por unidade de tempo envolvida no processo de condensação do vapor em água da chuva é, aproximadamente,

Note e adote:

- $\pi = 3$
- Calor latente de vaporização da água: $2 \times 10^6 \text{ J/kg}$.
- Densidade da água: 10^3 kg/m^3 .
- 1 dia = $8,6 \times 10^4 \text{ s}$.

- a) $3,8 \times 10^{15} \text{ W}$.
- b) $4,6 \times 10^{14} \text{ W}$.
- c) $2,1 \times 10^{13} \text{ W}$.
- d) $1,2 \times 10^{12} \text{ W}$.
- e) $1,1 \times 10^{11} \text{ W}$.

3. (Fuvest) No início do século XX, Pierre Curie e colaboradores, em uma experiência para determinar características do recém-descoberto elemento químico rádio, colocaram uma pequena quantidade desse material em um calorímetro e verificaram que 1,30 grama de água líquida ia do ponto de congelamento ao ponto de ebulição em uma hora.

A potência média liberada pelo rádio nesse período de tempo foi, aproximadamente,

Note e adote:

- Calor específico da água: $1 \text{ cal}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$

- $1 \text{ cal} = 4 \text{ J}$

- Temperatura de congelamento da água: 0°C

- Temperatura de ebulição da água: 100°C

- Considere que toda a energia emitida pelo rádio foi absorvida pela água e empregada exclusivamente para elevar sua temperatura.

a) $0,06 \text{ W}$

b) $0,10 \text{ W}$

c) $0,14 \text{ W}$

d) $0,18 \text{ W}$

e) $0,22 \text{ W}$

TEXTO PARA A PRÓXIMA QUESTÃO:

Recentemente, uma equipe de astrônomos afirmou ter identificado uma estrela com dimensões comparáveis às da Terra, composta predominantemente de diamante. Por ser muito frio, o astro, possivelmente uma estrela anã branca, teria tido o carbono de sua composição cristalizado em forma de um diamante praticamente do tamanho da Terra.

4. (Unicamp) Os cálculos dos pesquisadores sugerem que a temperatura média dessa estrela é de $T_i = 2.700\text{ }^\circ\text{C}$. Considere uma estrela como um corpo homogêneo de massa $M = 6,0 \times 10^{24}\text{ kg}$ constituída de um material com calor específico $c = 0,5\text{ kJ}/(\text{kg }^\circ\text{C})$. A quantidade de calor que deve ser perdida pela estrela para que ela atinja uma temperatura final de $T_f = 700\text{ }^\circ\text{C}$ é igual a

- a) $24,0 \times 10^{27}\text{ kJ}$.
- b) $6,0 \times 10^{27}\text{ kJ}$.
- c) $8,1 \times 10^{27}\text{ kJ}$.
- d) $2,1 \times 10^{27}\text{ kJ}$.

TEXTO PARA A PRÓXIMA QUESTÃO:

Uma pessoa adquiriu um condicionador de ar para instalá-lo em determinado ambiente. O manual de instruções do aparelho traz, dentre outras, as seguintes especificações: 9.000 BTUs; voltagem: 220 V; corrente: 4,1 A; potência: 822 W. Considere que BTU é uma unidade de energia equivalente a 250 calorias e que o aparelho seja utilizado para esfriar o ar de um ambiente de 15 m de comprimento, por 10 m de largura, por 4 m de altura. O calor específico do ar é de $0,25\text{ cal}/(\text{g }^\circ\text{C})$ e a sua densidade é de $1,25\text{ kg}/\text{m}^3$.

5. (Fgv) O uso correto do aparelho provocará uma variação da temperatura do ar nesse ambiente, em valor absoluto e em graus Celsius, de

- a) 10.
- b) 12.
- c) 14.
- d) 16.
- e) 18.

CAPÍTULO 7

GASES



Gases são fluidos no estado gasoso. A característica que os difere dos fluidos líquidos é que, quando colocados em um recipiente, estes têm a capacidade de ocupá-lo totalmente. A maior parte dos elementos químicos não-metálicos conhecidos são encontrados no seu estado gasoso, em temperatura ambiente. As moléculas do gás, ao se movimentarem, colidem com as outras moléculas e com as paredes do recipiente onde se encontram, exercendo uma pressão, chamada de **pressão do gás**. Esta pressão tem relação com o **volume** do gás e à **temperatura** absoluta.

GÁS IDEAL

Quando estudamos uma certa substância no estado gasoso, sabemos que as suas partículas apresentam um alto grau de desordem. Como consequência, o estado gasoso não possui nem forma nem volume definidos. Além disso, podemos separar o estado gasoso em duas partes: **vapor** e **gás**.

O vapor pode ser liquefeito por compressão e o gás, não. Devido ao movimento caótico das partículas de um gás, é impossível

estudar as características básicas (energia e quantidade de movimento, por exemplo) de cada partícula. Só para que se tenha uma ideia, se quiséssemos contar o número de moléculas de 1,0 mol de um gás qualquer através de um aparelho que registre uma molécula a cada $1,0 \times 10^{-6}$ segundo, levaríamos cerca de **vinte bilhões de anos** nesta contagem.

Está claro que o estudo dos gases deve ser puramente **estatístico**. Portanto, quando dissermos que a velocidade das moléculas tem certo valor, deve-se entender que este é um **valor médio**. Outra dificuldade que existe é a grande quantidade de gases, cada um com características particulares.

Para sanar essa dificuldade, vamos criar o **modelo do gás ideal (perfeito)** e estudar o comportamento deste tipo de gás. Para ser ideal, um gás teria que apresentar as seguintes características:

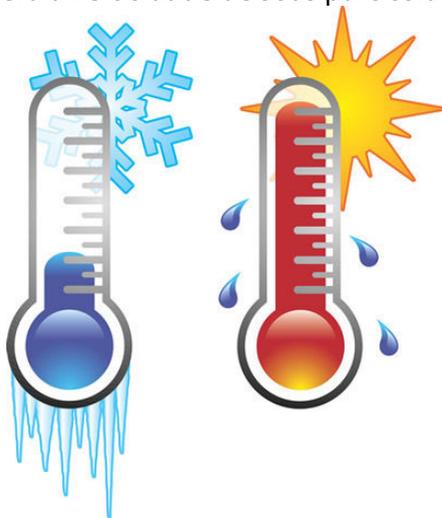
- a) grande número de partículas.
- b) o volume das partículas deve ser desprezível, em comparação com as distâncias por elas percorridas.
- c) as partículas do gás não interagem à distância.
- d) as partículas efetuam choques perfeitamente elásticos que duram um intervalo de tempo muito pequeno.
- e) o movimento das partículas é totalmente caótico.

Obs: Não há exemplos de gases que sejam **perfeitos** por serem ideais. Porém, gases mantidos a **altas temperaturas** e **baixas pressões** se aproximam muito das características citadas.

VARIÁVEIS DE ESTADO DE UM GÁS

No estudo da cinemática, estudamos algumas grandezas que nos forneciam as características básicas do movimento de um corpo: espaço, velocidade, aceleração e tempo. As variáveis de estado de um gás nos contarão as características básicas de um certo gás. São três essas variáveis: **temperatura, pressão e volume**.

TEMPERATURA: já sabemos que temperatura mede o grau de agitação das moléculas de um certo corpo. É importante se notar que, em um gás, a temperatura está relacionada com a velocidade das partículas. Podemos perceber que quanto maior a temperatura do gás, maior será a velocidade de suas partículas.



Observação: A velocidade a que nos referimos no texto deve ser entendida como a **média das velocidades das partículas do gás** (V). Lembre-se que é possível que um grupo de partículas possua uma velocidade maior e que outro grupo possua velocidade menor que a média. Utilizando os princípios da mecânica Newtoniana é possível estabelecer a seguinte relação:

$$p = \frac{1}{3} \cdot \frac{m \cdot v^2}{V}$$

Onde:

p =pressão

m =massa do gás

v =velocidade média das moléculas

V =volume do gás.

Percebemos, portanto, que existe uma relação entre a temperatura do gás e a **energia cinética média** das partículas. No estudo dos gases, temperatura tem que ser trabalhada em Kelvin.

Devido às colisões entre si e com as paredes do recipiente, as moléculas mudam a sua velocidade e direção, ocasionando uma variação de energia cinética de cada uma delas. No entanto, a energia cinética média do gás permanece a mesma. Novamente utilizando-se conceitos da mecânica Newtoniana estabelece-se:

$$E_c = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot T$$

Onde:

n =número molar do gás (n° de mols)

R =constante universal dos gases perfeitos ($R=8,31\text{J/mol.K}$)

T =temperatura absoluta (em Kelvin)

PRESSÃO: devido ao movimento caótico das partículas de um gás, a todo instante teremos a colisão destas com as paredes internas do recipiente. A essas colisões podemos relacionar uma força de interação entre o gás e o recipiente, o que irá produzir uma certa pressão. Quando estudamos a hidrostática, vimos que pressão é a razão entre força aplicada e a área de aplicação. No caso de um gás, a pressão por ele exercida está relacionada com o número de choques entre as partículas e as paredes do recipiente.



VOLUME: os gases não possuem forma nem volume definidos. Sabemos que o volume de um gás é igual ao volume do recipiente que o contém.



EQUAÇÃO DE CLAPEYRON

Vamos imaginar um gás que possua um número de mols igual a n . Esse gás está contido em um recipiente de volume V , possui uma temperatura absoluta T e exerce uma pressão p sobre o recipiente. A relação entre as variáveis de estado é dada pela equação de Clapeyron:

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

R é a constante universal dos gases, cujo valor depende somente das unidades. Os principais valores de R são:

$$R = 8,3 \text{ J/mol K}$$

$$R = 0,082 \text{ atm.l/mol.K}$$

Quando a pressão for dada em atmosferas e o volume, em litros. Percebemos que em ambos os casos o número de mols deve ser trabalhado em mol e a temperatura, em Kelvin.

EQUAÇÃO GERAL DOS GASES PERFEITOS

Sabemos que as grandezas que definem o estado de um gás são a temperatura, a pressão e o volume. Diremos que um gás sofreu uma transformação quando essas grandezas se modificam. A equação que é aplicada a essas transformações recebe o nome de **equação geral dos gases perfeitos**.

A figura seguinte mostra um recipiente com a tampa móvel que contém um gás ideal e dois estados diferentes deste gás (inicial e final).



Se considerarmos que a massa de gás permanece a mesma dentro do recipiente, o número de mols, n , é constante. Assim, podemos escrever a equação de Clayperon para os dois estados do gás.

Estado 1(inicial): $P_1 \cdot V_1 = n \cdot R \cdot T_1 \Rightarrow \frac{P_1 V_1}{T_1} = n \cdot R$

Estado 2 (final): $P_2 \cdot V_2 = n \cdot R \cdot T_2 \Rightarrow \frac{P_2 V_2}{T_2} = n \cdot R$

As duas equações anteriores são iguais. Assim,

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

Que é a equação geral dos gases. Iremos aplicar essa equação no estudo de algumas transformações gasosas específicas.

Observação: No caso de haver variação da massa do gás (devido a, por exemplo, um escapamento de gás), o número de mols no estado 1 (n_1) será diferente do número de mols no estado 2 (n_2). Nesse caso, a equação anterior pode ser escrita como sendo:

$$\frac{P_1 V_1}{n_1 T_1} = \frac{P_2 V_2}{n_2 T_2}$$

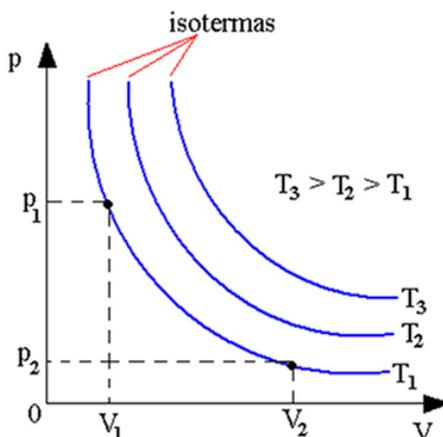
TRANSFORMAÇÕES GASOSAS

Transformação isotérmica: É possível que um gás sofra uma transformação, de um estado 1 para outro estado 2, de tal forma que a sua temperatura permaneça constante ($T_1 = T_2$). Nesse caso, a equação geral dos gases fica reduzida a:

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$$

Essa transformação recebe o nome de **isotérmica** (iso = igual; termos = temperatura) e, pela equação apresentada, podemos concluir que a pressão é inversamente proporcional ao volume do gás ($P \propto 1/V$).

O motivo desta característica pode ser explicado facilmente: se a temperatura do gás é constante, a velocidade das moléculas também o é. O aumento do volume do recipiente, por exemplo, acarreta em aumento no percurso médio das moléculas entre dois choques sucessivos contra as paredes do recipiente. Por consequência, a taxa de colisões (e a pressão) diminui. O gráfico da pressão em função do volume é uma hipérbole chamada **isoterma**. Veja:

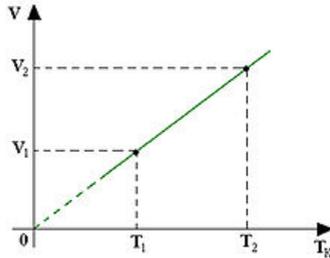


Transformação isobárica: Uma transformação gasosa em que a pressão exercida pelo gás é sempre a mesma recebe o nome de **isobárica** (baros = pressão). Nesse caso, o volume ocupado pelo gás é diretamente proporcional à sua temperatura absoluta. A equação dos gases pode ser escrita da seguinte maneira:

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

Para que a pressão fique constante, é necessário que a taxa de colisões entre as partículas do gás e o recipiente permaneça a mesma. Se diminuirmos o volume, a distância média percorrida pelas partículas do gás entre 2 colisões se tornará menor e, para manter constante a pressão, a velocidade das partículas deve

diminuir. O gráfico do volume em função da temperatura absoluta do gás será uma reta. Veja:

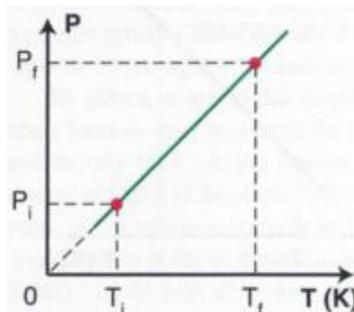


Transformação isovolumétrica, isocórica ou isométrica:

Se um recipiente possui um volume constante e contém um gás em seu interior, as transformações que esse gás pode sofrer são feitas a volume constante. Quando um gás possui volume constante em uma transformação, a pressão é diretamente proporcional à temperatura absoluta. A equação dos gases fica reduzida a:

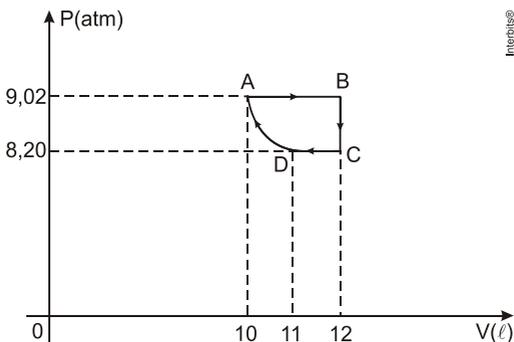
$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

Note que, com o volume constante, a distância média percorrida pelas partículas do gás entre dois choques é sempre a mesma. O aumento da temperatura significa o aumento da velocidade média das partículas e, portanto, a taxa de colisões aumenta. O gráfico da pressão em função da temperatura absoluta é:



EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM

1. (Uesc)



Considere 4,0 mols de um gás ideal, inicialmente a $2,0^{\circ}\text{C}$, que descrevem um ciclo, conforme a figura. Sabendo-se que a constante dos gases $R = 0,082 \text{ atm L/mol.K}$ e $1,0 \text{ atm} = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$, a análise da figura permite afirmar:

- O sistema apresenta a energia interna máxima no ponto D.
- A temperatura da isoterma que contém o ponto C é igual a $27,0^{\circ}\text{C}$.
- O sistema recebe, ao realizar a compressão isotérmica, $86,01 \text{ J}$ de energia.
- O trabalho realizado pelo gás, em cada ciclo, é aproximadamente igual a $180,0 \text{ W/s}$.
- O sistema, ao realizar a expansão isobárica, apresenta a variação da temperatura de $67,0 \text{ K}$.

2. (Fac. Albert Einstein - Medicin) A bomba de ar para bicicleta da figura possui $50,0 \text{ cm}$ de comprimento interno para o deslocamento do pistão. Quando acoplada à câmara de ar totalmente vazia do pneu de uma bicicleta e com o pistão recuado de $45,0 \text{ cm}$, medido a partir da base da bomba, a pressão interna do ar é de $1,0 \text{ atm}$. Quando o ar é injetado sob pressão, em uma válvula tipo Schrader da câmara de ar, a força exercida pelo seu fluxo vence a força de retenção de uma mola, abrindo o obturador

e permitindo sua entrada (veja a figura).



<https://www.walmart.com.br/item/4139595>

É necessária uma pressão de $1,2 \text{ atm}$ para que o obturador da válvula seja aberto, permitindo a entrada de ar em seu interior. De quantos centímetros deve ser deslocado o pistão para que isso seja possível, sabendo que, ao longo desse deslocamento, a temperatura do sistema não se altera?

- a) $7,5$
- b) $9,0$
- c) $15,0$
- d) $37,5$

3. (Uesc) É sempre bom lembrar, que um copo vazio está cheio de ar.

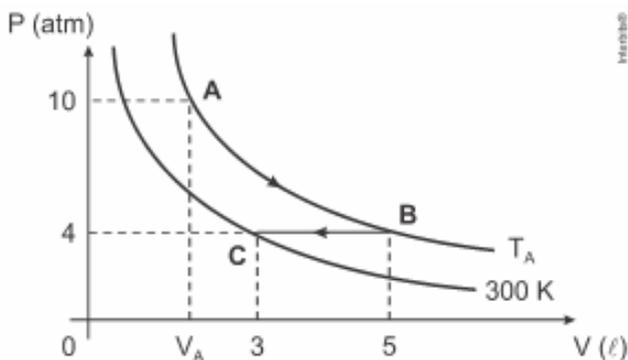
Que o ar no copo ocupa o lugar do vinho
 Que o vinho busca ocupar o lugar da dor
 Que a dor ocupa a metade da verdade
 A verdadeira natureza interior
 Gilberto Gil. "Copo Vazio"

Tendo como referência o poema de Gilberto Gil e com base nas propriedades e leis que regem a fase gasosa, assinale a alternativa INCORRETA:

- Um gás dilata-se muito mais com a temperatura do que um sólido ou um líquido.
- Volumes iguais de gases diferentes, desde que nas mesmas condições de pressão e temperatura, contêm o mesmo número de moléculas.
- A energia cinética média de translação das moléculas de um gás - qualquer que seja ele - é proporcional à sua temperatura.
- Se for fornecida a mesma quantidade de calor a uma certa massa de gás, ela se aquecerá mais se estiver mantida num volume constante do que sob pressão constante.
- É impossível ceder calor a um gás e sua temperatura não sofrer variação.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

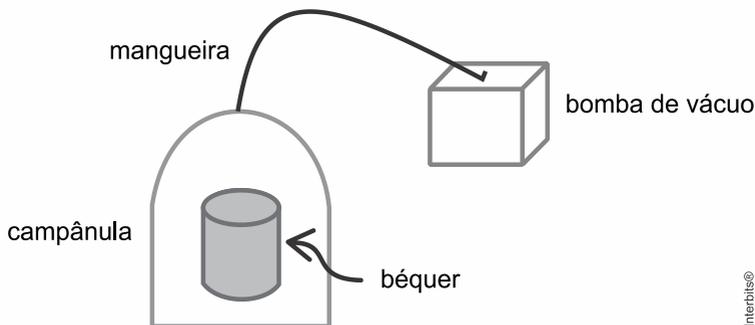
1. (Mackenzie)



A figura acima representa duas isotérmicas em que certa massa gasosa, inicialmente no estado A, sofre uma transformação atingindo o estado B, que por sua vez sofre uma transformação, atingindo o estado C. A temperatura T_A e o volume V_A são iguais a:

- a) 200 K e 5 ℓ.
- b) 300 K e 2 ℓ.
- c) 400 K e 4 ℓ.
- d) 500 K e 2 ℓ.
- e) 500 K e 4 ℓ.

2. (Fgv) A figura representa uma montagem experimental em que um béquer, contendo água à temperatura ambiente, é colocado no interior de uma campânula de vidro transparente, dotada de um orifício em sua cúpula, por onde passa uma mangueira ligada a uma bomba de vácuo. A bomba é ligada, e o ar vai sendo, gradualmente, retirado do interior da campânula.



Interbits®

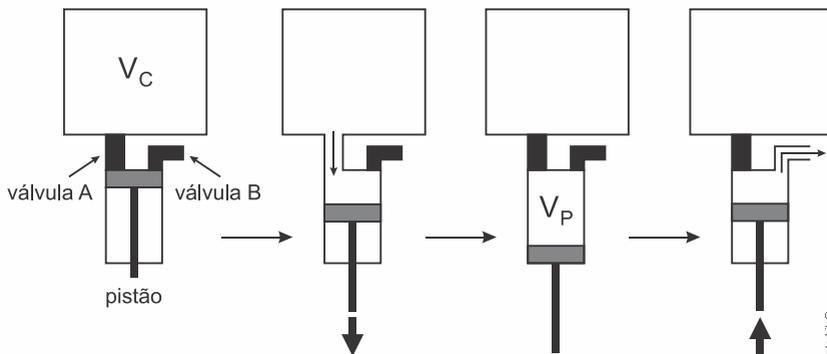
Observa-se que, a partir de determinado instante,

- a) a água entra em ebulição, propiciada pela diminuição da pressão.
- b) a água entra em ebulição, favorecida pela máxima pressão de saturação.
- c) ocorre a formação de gelo, propiciada pela diminuição da pressão.
- d) ocorre a formação de gelo, favorecida pela máxima pressão de saturação.
- e) é atingido o ponto triplo, favorecido pela máxima pressão de saturação.

3. (Fgv) Ao ser admitido no interior da câmara de combustão do motor de uma motocicleta, o vapor de etanol chega a ocupar o volume de 120 cm^3 sob pressão de $1,0 \text{ atm}$ e temperatura de $127 \text{ }^\circ\text{C}$. Após o tempo de admissão, o pistão sobe, o volume ocupado por essa mistura diminui para 20 cm^3 , e a pressão aumenta para 12 atm . Considerando a mistura um gás ideal e desprezando perdas de calor devido à rápida compressão, a temperatura do gás resultante desse processo no interior da câmara passa a ser, em $^\circ\text{C}$, de

- 473.
- 493.
- 527.
- 573.
- 627.

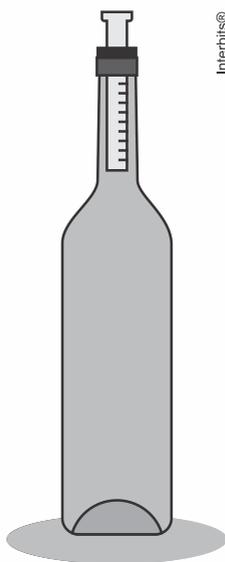
4. (Unicamp) Fazer vácuo significa retirar o ar existente em um volume fechado. Esse processo é usado, por exemplo, para conservar alimentos ditos embalados a vácuo ou para criar ambientes controlados para experimentos científicos. A figura abaixo representa um pistão que está sendo usado para fazer vácuo em uma câmara de volume constante $V_C = 2,0$ litros. O pistão, ligado à câmara por uma válvula A aumenta o volume que pode ser ocupado pelo ar em $V_P = 0,2$ litros. Em seguida, a válvula A é fechada e o ar que está dentro do pistão é expulso através de uma válvula B, ligada à atmosfera, completando um ciclo de bombeamento.



Considere que o ar se comporte como um gás ideal e que, durante o ciclo completo, a temperatura não variou. Se a pressão inicial na câmara é de $P_1 = 33 \text{ Pa}$, a pressão final na câmara após um ciclo de bombeamento será de

- a) $30,0 \text{ Pa}$.
- b) $330,0 \text{ Pa}$.
- c) $36,3 \text{ Pa}$.
- d) $3,3 \text{ Pa}$.

5. (Fuvest) Uma garrafa tem um cilindro afixado em sua boca, no qual um êmbolo pode se movimentar sem atrito, mantendo constante a massa de ar dentro da garrafa, como ilustra a figura. Inicialmente, o sistema está em equilíbrio à temperatura de 27°C . O volume de ar na garrafa é igual a 600 cm^3 e o êmbolo tem uma área transversal igual a 3 cm^2 . Na condição de equilíbrio, com a pressão atmosférica constante, para cada 1°C de aumento da temperatura do sistema, o êmbolo subirá aproximadamente



Note e adote:

- $0^{\circ}\text{C} = 273\text{ K}$

- Considere o ar da garrafa como um gás ideal.

a) 0,7 cm

b) 1,4 cm

c) 2,1 cm

d) 3,0 cm

e) 6,0 cm

CAPÍTULO 8

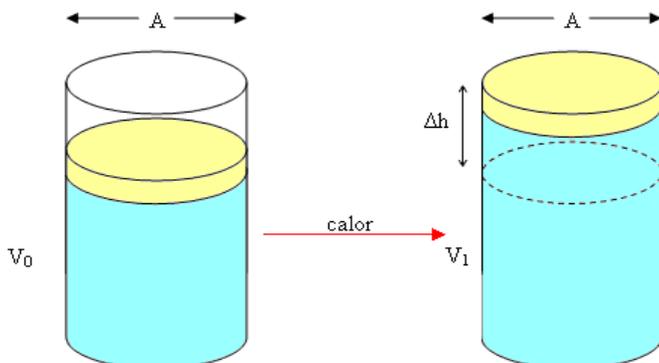
TRABALHO GASOSO

TRABALHO (W)



Trabalho em uma transformação isobárica

Vamos imaginar que uma certa massa de gás está contida em um recipiente cujo volume pode variar (êmbolo móvel). Se fornecermos uma quantidade de calor ao gás é possível que, devido ao aumento verificado na energia média das partículas, o gás “empurre” o êmbolo para cima, aumentando, portanto, o seu volume. A figura seguinte mostra as situações inicial. A transformação descrita é **isobárica**, ou seja, onde sabemos que o volume é diretamente proporcional à temperatura absoluta.



Podemos entender que o gás irá aplicar uma força de intensidade F sobre o êmbolo móvel de área A . Devido a essa força, o êmbolo sofrerá um deslocamento h . Assim como para os sistemas mecânicos, o trabalho do sistema será dado pelo produto da força aplicada no êmbolo com o deslocamento do êmbolo no cilindro:

$$W = F \cdot \Delta h$$

Como:

$$p = \frac{F}{A} \rightarrow F = p \cdot A$$

Então:

$$W = p \cdot A \cdot \Delta h$$

$$W = p \cdot \Delta V = p \cdot (V_f - V_0)$$

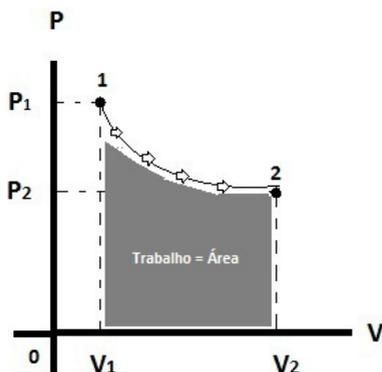
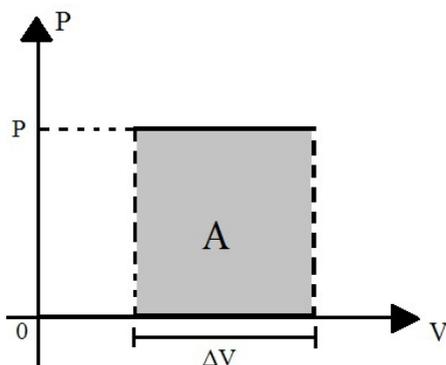
Com base na expressão que obtivemos, podemos estabelecer duas situações distintas.

(1) Quando houver uma expansão (aumento de volume), o sinal de ΔV é positivo. Nesse caso, o trabalho será **positivo** e diremos que ocorreu realização de trabalho **pelo gás**.

(2) Em uma contração (diminuição de volume), ΔV é negativo. Logo, o trabalho é **negativo**. Diremos que ocorreu realização **sobre** o gás.

Trabalho em uma transformação qualquer

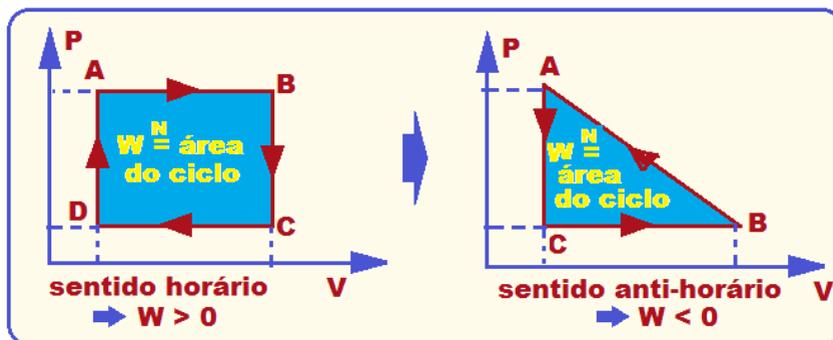
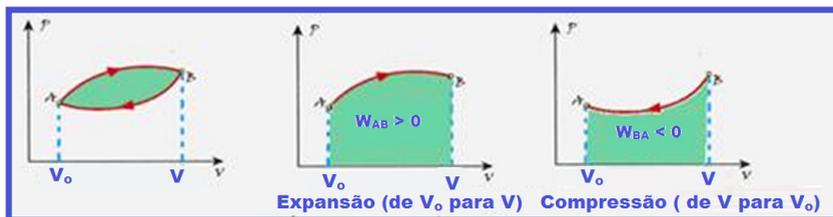
Em uma transformação qualquer (inclusive na isobárica), podemos calcular o trabalho através da área sob o gráfico pressão versus volume. É importante que tenhamos sempre em mente que o trabalho é positivo na expansão e negativo na compressão.



$$A = W$$

Observação: Uma transformação é chamada de cíclica quando a

pressão, volume e temperatura, após algumas evoluções, retomam os valores iniciais. O trabalho total de um ciclo é numericamente igual à área interna do ciclo. Veja:



ENERGIA INTERNA



As partículas de um sistema têm vários tipos de energia, e a soma de todas elas é o que chamamos *Energia interna de um sistema*. Para que este somatório seja calculado, são consideradas as energias cinéticas de agitação, potencial de agregação, de ligação e nuclear entre as partículas.

Nem todas estas energias consideradas são térmicas. Ao ser fornecida a um corpo energia térmica, provoca-se uma variação na energia interna deste corpo. Esta variação é no que se baseiam os princípios da termodinâmica. Se o sistema em que a energia interna está sofrendo variação for um gás perfeito, a energia interna será resumida na energia de translação de suas partículas, sendo calculada através da *Lei de Joule*:

$$U = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot T = \frac{3}{2} \cdot p \cdot V$$

Onde:

U: energia interna do gás;

n: número de mol do gás;

R: constante universal dos gases perfeitos;

T: temperatura absoluta (kelvin).

P: pressão

V: volume

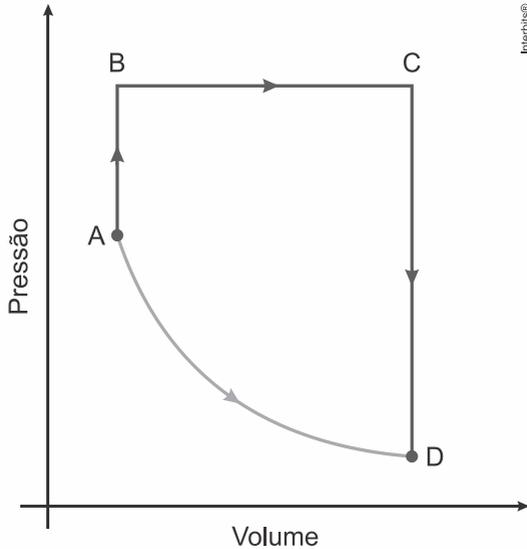
Observação:

(1) Como, para determinada massa de gás, n e R são constantes, a variação da energia interna dependerá da variação da temperatura absoluta do gás, ou seja, quando houver aumento da temperatura absoluta ocorrerá uma variação positiva da energia interna $\Delta U > 0$.

(2) Quando houver diminuição da temperatura absoluta, há uma variação negativa de energia interna $\Delta U < 0$. E quando não houver variação na temperatura do gás, a variação da energia interna será igual à zero $\Delta U = 0$.

EXERCÍCIO DE APRENDIZAGEM

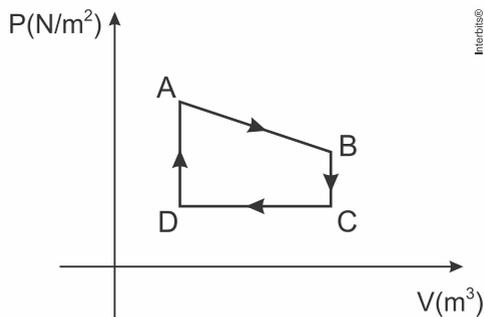
1. (Uefs) Determinada massa de gás ideal pode ser levada de um estado inicial A para um estado final D por dois caminhos: a transformação isotérmica AD ou a transformação ABCD composta de duas transformações isovolumétricas (AB e CD) e de uma transformação isobárica (BC) conforme mostra o gráfico.



Sendo τ o trabalho realizado pelas forças de pressão exercidas pelo gás nessas transformações, é correto afirmar que:

- a) $\tau_{AD} = \tau_{ABCD}$
- b) $\tau_{ABCD} > \tau_{AD}$
- c) $\tau_{AD} > 0$ e $\tau_{CD} < 0$
- d) $\tau_{AD} = 0$
- e) $\tau_{BC} < 0$

2. (Unit) O gráfico representa um ciclo termodinâmico:



Os trabalhos realizados nas transformações AB, BC, CD e DA são, respectivamente:

- Negativo, nulo, positivo e nulo.
- Positivo, nulo, negativo e nulo.
- Positivo, negativo, nulo e positivo.
- Negativo, negativo, nulo e positivo.

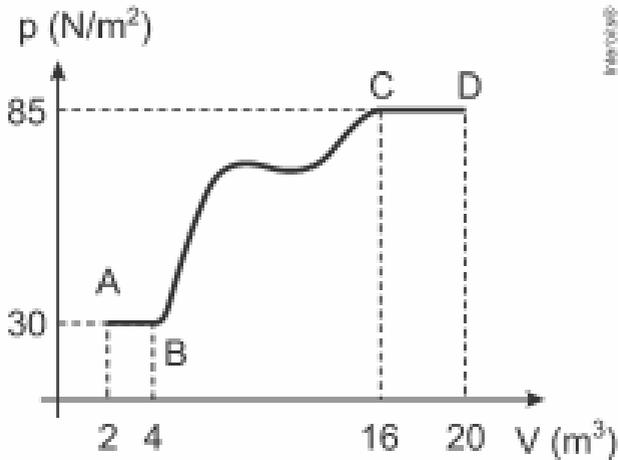
3. (Uesf) No controle de qualidade de produção de seringa, para aplicação de injeção, fez-se o seguinte teste: escolheu-se uma amostra da seringa fabricada e colocou-se $3,0 \times 10^{-6} \text{ m}^3$ de determinado gás. Em seguida, levou-se o sistema para uma estufa em que o volume passou para $3,5 \times 10^{-6} \text{ m}^3$ ao atingir o equilíbrio térmico.

Considerando que esse processo ocorreu sobre pressão constante de $1,5 \times 10^5 \text{ Pa}$, calcule, em joule, o trabalho realizado pelo sistema.

- 0,075
- 0,75
- 7,5
- 0,025
- 2,5

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

1. (Upe) Um gás ideal é submetido a um processo termodinâmico ABCD, conforme ilustra a figura a seguir.

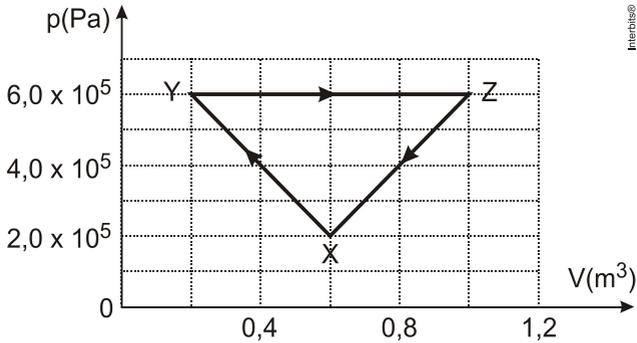


Sabendo que o trabalho total associado a esse processo é igual a 1050 J, qual o trabalho no subprocesso BCD?

- a) 60 J
- b) 340 J
- c) 650 J
- d) 840 J
- e) 990 J

2. (Uepb) A figura abaixo apresenta o diagrama da pressão p (Pa)

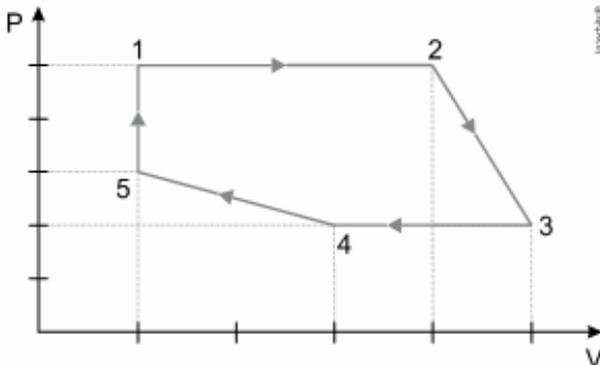
em função do volume V (m^3) de um sistema termodinâmico que sofre três transformações sucessivas: XY, YZ e ZX.



O trabalho total realizado pelo sistema após as três transformações é igual a:

- a) 0.
- b) $1,6 \times 10^5$ J.
- c) $2,0 \times 10^5$ J.
- d) $3,2 \times 10^5$ J.
- e) $4,8 \times 10^5$ J.

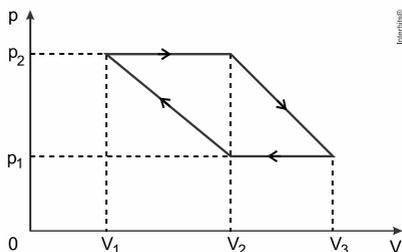
3. (Fgv) Certa massa de gás ideal sofre a transformação cíclica 1-2-3-4-5-1 representada no diagrama de pressão (P) e volume (V).



O trecho em que a força exercida pelo gás realiza o maior trabalho é

- a) 2 - 3
- b) 4 - 5
- c) 3 - 4
- d) 1 - 2
- e) 5 - 1

4. (Fgv) Estamos passando por uma fase de grande evolução tecnológica. O aperfeiçoamento das máquinas e motores é evidente e, dentro em breve, o motor térmico será considerado peça de museu. Considere, no entanto, um motor térmico que realiza um ciclo representado qualitativamente pelo gráfico da pressão (p) versus volume (V) da figura, em que sua frequência de giro é f .

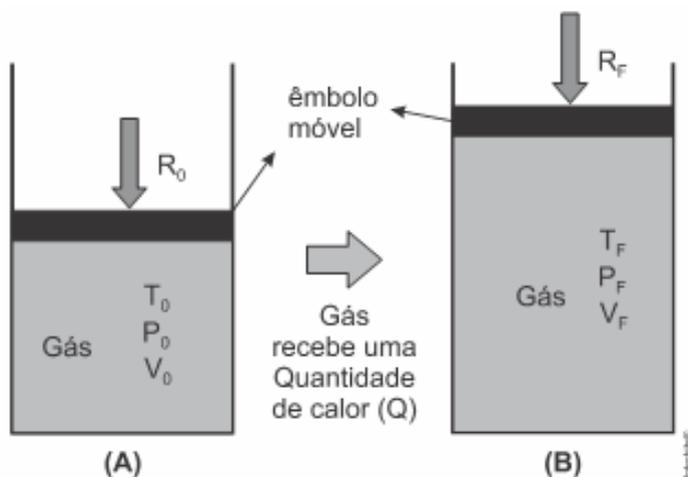


Com esses dados, a potência efetiva desse motor será dada por

- a) $Pot_e = f \cdot [(V_2 - V_1) + (V_3 - V_2)] \cdot (p_2 - p_1)$
- b) $Pot_e = f \cdot [(V_2 - V_1) + (V_3 - V_2)] \cdot (p_2 - p_1)/2$
- c) $Pot_e = 2 \cdot f \cdot [(V_2 - V_1) + (V_3 - V_2)] \cdot (p_2 - p_1)$
- d) $Pot_e = 2 \cdot [(V_2 - V_1) + (V_3 - V_2)] \cdot (p_2 - p_1)/f$
- e) $Pot_e = 2 \cdot [(V_2 - V_1) + (V_3 - V_2)] \cdot (p_2 - p_1)/f$

5. (Unit) Uma das formas de transformar calor em trabalho é por meio de máquinas térmicas. Um recipiente completamente fechado contendo um gás ideal, em que uma de suas faces, em forma de um êmbolo, possui liberdade de se mover em uma dada

direção é um sistema termodinâmico simples que pode servir para exemplificar uma máquina térmica. Nesse exemplo, quando uma fonte de calor fornece energia ao gás, dependendo das condições, as transformações podem fazer com que o êmbolo se mova, realizando um trabalho. Na figura (A), está indicada a situação inicial de um gás ideal em condições de temperatura (T_0), volume (V_0) e pressão (P_0), com o êmbolo recebendo uma resistência externa (R_0) e, na figura (B), estão indicadas as condições finais após o gás receber calor, sofrer um aquecimento e uma expansão, com temperatura (T_F), volume (V_F) pressão (P_F) e recebendo uma resistência externa (R_F).



Considerando-se que, no caso da figura, as forças de resistências inicial (R_0) e final (R_F) são diferentes, é correto afirmar que

- o trabalho realizado pelo gás pode ser calculado pelo produto da pressão inicial (P_0) e pela variação do volume ($V_F - V_0$).
- o resultado obtido pelo produto da pressão e do volume, tanto na situação inicial quanto na situação final, é um valor constante.
- a soma das energias cinéticas de todas as moléculas do gás na situação final é maior que a da situação inicial.
- o trabalho realizado pelo gás sobre o ambiente é igual a quantidade de calor (Q) que o gás recebeu.

CAPÍTULO 9

TERMODINÂMICA



1ª LEI DA TERMODINÂMICA

A 1ª lei da termodinâmica estabelece a relação existente entre o calor, o trabalho e a energia interna de um gás. Podemos entender esta lei como uma lei da conservação da energia. A expressão matemática é:

$$Q = W + \Delta U$$

Q é a quantidade de calor trocada, que pode ser positiva quando o calor é recebido pelo gás, e negativa quando o calor é cedido pelo gás.

Vamos aplicar essa lei às transformações gasosas.

Transformação isotérmica

Se a temperatura é constante, $\Delta U = 0$. Assim a 1ª lei pode ser escrita da seguinte forma: $Q = W$. Essa expressão sugere que, mesmo recebendo calor, a temperatura do gás não se altera, pois toda a energia recebida é gasta sob forma de trabalho.

Transformação isobárica

Nesse caso, os três termos da 1ª lei são diferentes de zero. Logo: $Q = W + \Delta U$. Se o gás receber calor, parte dessa energia será utilizada para realizar trabalho e a outra parte será armazenada sob a forma

de energia interna. Se o gás ceder calor, o trabalho será realizado sobre o gás e a sua temperatura irá diminuir.

Transformação isovolumétrica

Quando o volume permanece constante, não há a realização de trabalho ($W = 0$). Dessa forma, a 1ª lei fica reduzida a: $Q = \Delta U$. Isso significa que todo o calor recebido pelo gás é armazenado sob forma de energia interna. Por outro lado, se o gás ceder calor, ele utiliza a sua energia interna para tal fim.

Transformação adiabática

Chamamos de transformação adiabática aquela que se processa sem troca de calor entre o gás e o meio externo ($Q = 0$). Assim:

$$W = - \Delta U.$$

Observação:

(1) Note que, se o gás realizar trabalho (aumento de volume, $W > 0$), a sua energia interna diminui (diminuição de temperatura, $\Delta U < 0$).

(2) Por outro lado, se o meio externo realizar trabalho sobre o gás (diminuição de volume, $W < 0$), a energia interna do gás irá aumentar (aumento de temperatura, $\Delta U > 0$).

2ª LEI DA TERMODINÂMICA



Quando aplicamos a 1ª lei da Termodinâmica à transformação isotérmica, encontramos uma situação absurda: como $Q = W$, seria possível de se obter um aproveitamento de 100% do calor recebido por um gás. Na prática, não se obtém esse rendimento. A 2ª lei da

Termodinâmica aparece para restringir esse ponto da 1ª lei.

Observação: Dois enunciados, aparentemente diferentes ilustram a 2ª Lei da Termodinâmica, os *enunciados de Clausius* e *Kelvin-Planck*:

(1) Enunciado de Clausius:

O calor não pode fluir, de forma espontânea, de um corpo de temperatura menor, para um outro corpo de temperatura mais alta.

Tendo como consequência que o sentido natural do fluxo de calor é da temperatura mais alta para a mais baixa, e que para que o fluxo seja inverso é necessário que um agente externo realize um trabalho sobre este sistema.

(2) Enunciado de Kelvin-Planck:

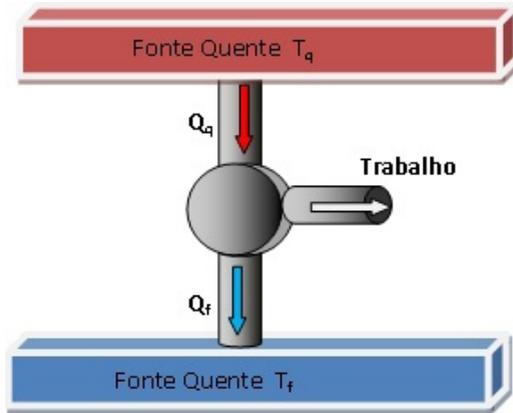
É impossível a construção de uma máquina que, operando em um ciclo termodinâmico, converta toda a quantidade de calor recebido em trabalho.

Este enunciado implica que, não é possível que um dispositivo térmico tenha um rendimento de 100%, ou seja, por menor que seja, sempre há uma quantidade de calor que não se transforma em trabalho efetivo.

MÁQUINAS TÉRMICAS (M.T.)

Para que possamos compreender a 2ª lei, vamos imaginar uma máquina térmica (M.T.) que necessite de uma certa quantidade de calor Q_1 para funcionar. Essa máquina está recebendo o calor Q_1 de uma fonte térmica, chamada **fonte quente** que está a temperatura T_Q . De todo o calor recebido, uma parte será aproveitada pela máquina para a realização de um trabalho W . A máquina térmica irá, sempre, ceder a uma outra fonte térmica (**fonte fria**) uma quantidade de calor Q_2 . A fonte fria está a uma temperatura T_F .

Veja o esquema:



Ou seja, o trabalho realizado por uma máquina térmica real é representado matematicamente por:

$$W = Q_q - Q_f$$

A 2ª lei da Termodinâmica afirma que é impossível a uma máquina térmica aproveitar a integridade da quantidade de calor que recebe da fonte quente, ou seja, $Q_2 \neq 0$. Dessa forma podemos calcular o rendimento de uma máquina térmica:

$$n = \frac{W}{Q_q}$$

Como:

$$W = Q_q - Q_f$$

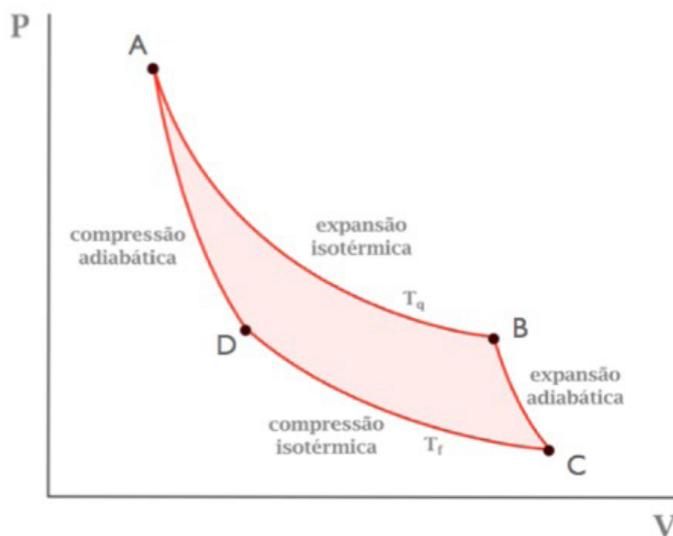
Então:

$$n = 1 - \frac{Q_f}{Q_q}$$

Observação: O valor mínimo para o rendimento é o se a máquina não realizar nenhum trabalho, e o máximo 1, se fosse possível que a máquina transformasse todo o calor recebido em trabalho, mas como visto, isto não é possível. Para sabermos este rendimento em percentual, multiplica-se o resultado obtido por 100%.

O CICLO DE CARNOT

Uma vez que se sabe que o rendimento de uma máquina térmica nunca será de 100%, podemos tentar imaginar uma maneira de se aproveitar o máximo possível o calor recebido. O físico Sadi Carnot descobriu um ciclo de transformações (hoje chamado ciclo de Carnot) no qual o rendimento será o maior possível. O ciclo de Carnot se constitui de: expansão isotérmica (AB), expansão adiabática (BC), compressão isotérmica (CD) e compressão adiabática (DA). Veja:



Numa máquina de Carnot, a quantidade de calor que é fornecida pela fonte de aquecimento e a quantidade cedida à fonte de resfriamento são proporcionais às suas temperaturas absolutas, assim:

$$\frac{|Q_f|}{|Q_q|} = \frac{T_f}{T_q}$$

Assim, o rendimento de uma máquina de Carnot é:

$$n = 1 - \frac{Q_f}{Q_q}$$

$$\text{e } \frac{|Q_f|}{|Q_q|} = \frac{T_f}{T_q}$$

Logo:

$$n = 1 - \frac{T_f}{T_q}$$

T_f e T_q são as temperaturas absolutas das fontes fria e quente, respectivamente.

Observação: Com isto se conclui que para que haja 100% de rendimento, todo o calor vindo da fonte de aquecimento deverá ser transformado em trabalho, pois a temperatura absoluta da fonte de resfriamento deverá ser 0K. Partindo daí conclui-se que o zero absoluto não é possível para um sistema físico.

ENTROPIA



Em termodinâmica, entropia é a medida de desordem das partículas em um sistema físico. Utiliza-se a letra **S** para representar esta grandeza. Comparando este conceito ao cotidiano, podemos pensar que, uma pessoa ao iniciar uma atividade tem seus objetos organizados, e a medida que ela vai os utilizando e desenvolvendo suas atividades, seus objetos tendem a ficar cada vez mais desorganizados.

Voltando ao contexto das partículas, como sabemos, ao sofrerem mudança de temperatura, os corpos alteram o estado de agitação de suas moléculas. Então ao considerarmos esta agitação como a desordem do sistema, podemos concluir que:

- Quando um sistema recebe calor $Q > 0$, sua entropia aumenta;
- Quando um sistema cede calor $Q < 0$, sua entropia diminui;
- Se o sistema não troca calor $Q = 0$, sua entropia permanece constante.

Segundo Rudolf Clausius, que utilizou a ideia de entropia pela primeira vez em 1865, para o estudo da entropia como grandeza física é mais útil conhecer sua variação do que seu valor absoluto. Assim, Clausius definiu que a *variação de entropia* (ΔS) em um sistema como:

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

Observando a natureza como um sistema, podemos dizer que o Universo está constantemente recebendo energia, mas não tem capacidade de cedê-la, concluindo então que a *entropia do Universo* está aumentando com o passar do tempo.

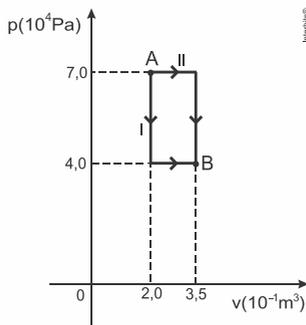
EXERCÍCIOS APRENDIZAGEM

1. (Fuvest) O desenvolvimento de teorias científicas, geralmente, tem forte relação com contextos políticos, econômicos, sociais e culturais mais amplos. A evolução dos conceitos básicos da Termodinâmica ocorre, principalmente, no contexto:

- a) da Idade Média.
- b) das grandes navegações.

- c) da Revolução Industrial.
- d) do período entre as duas grandes guerras mundiais.
- e) da Segunda Guerra Mundial.

2. (Ebmsp)



A figura representa uma transformação termodinâmica da mudança do estado inicial A para o estado final B de uma massa de gás ideal e pode ser feita pelo "caminho" I ou pelo "caminho" II.

Uma análise do gráfico, associada aos conhecimentos de termodinâmica, permite concluir:

- a) A temperatura da massa de gás no estado A é maior do que no estado B.
- b) A variação da energia interna do gás no "caminho" I é maior do que no "caminho" II.
- c) A quantidade de calor trocada pela massa de gás no "caminho" I é igual a $4,15 \cdot 10^4$ J.
- d) O trabalho realizado pela massa de gás no "caminho" II tem módulo igual a $6,0 \cdot 10^3$ J.
- e) A quantidade de calor trocada pela massa de gás no "caminho" II é da ordem de 10^4 J.

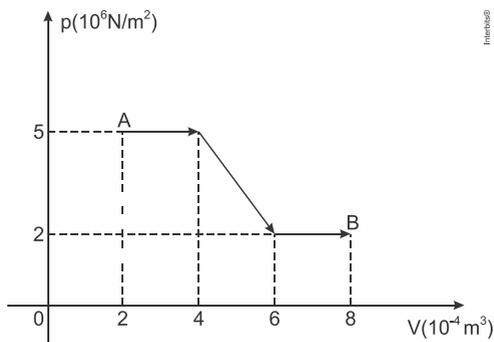
3. (Uefs) A primeira lei da termodinâmica para sistemas fechados foi originalmente comprovada pela observação empírica, no entanto é hoje considerada como a definição de calor através da lei da conservação da energia e da definição de trabalho em termos de mudanças nos parâmetros externos de um sistema.

Com base nos conhecimentos sobre a Termodinâmica, é correto afirmar:

- A energia interna de uma amostra de um gás ideal é função da pressão e da temperatura absoluta.
- Ao receber uma quantidade de calor Q igual a $48,0 \text{ J}$, um gás realiza um trabalho igual a $16,0 \text{ J}$, tendo uma variação da energia interna do sistema igual $64,0 \text{ J}$.
- Quando se fornece a um sistema certa quantidade de energia Q , esta energia pode ser usada apenas para o sistema realizar trabalho.
- Nos processos cíclicos, a energia interna não varia, pois volume, pressão e temperatura são iguais no estado inicial e final.
- A energia interna, o trabalho realizado e a quantidade de calor recebida ou cedida independem do processo que leva o sistema do estado inicial A até um estado final B.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

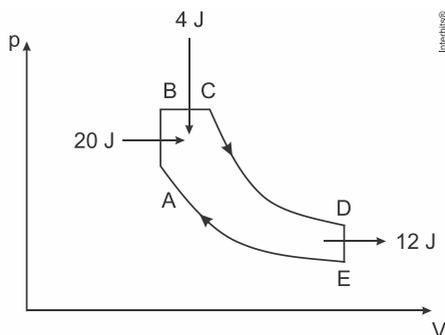
1. (Uefs)



Um fluido se expande do estado A para o estado B, como indicado no diagrama da figura. Analisando-se essas informações, é correto afirmar que o trabalho realizado nessa expansão, em kJ, é igual a:

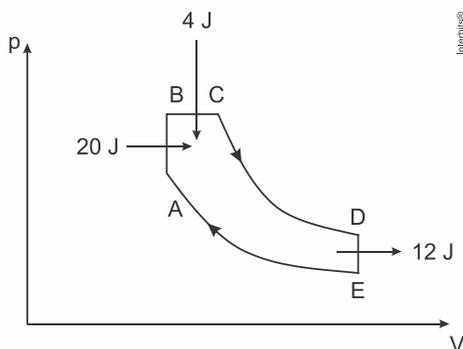
- 2,3
- 2,2
- 2,1
- 2,0
- 1,9

2. (Upe) Dois moles de um gás ideal podem ser levados do estado inicial a um estado final por três processos diferentes (1, 2 e 3), conforme ilustra o diagrama pressão p em função do volume V a seguir. Então, acerca do calor absorvido pelo gás, é **CORRETO** afirmar que:



- é maior no processo 1 que no processo 3.
- é maior no processo 3 que no processo 1.
- o maior calor absorvido ocorre no processo 3.
- o menor calor absorvido ocorre no processo 2.
- são iguais nos processos 1 e 3.

3. (Unit)

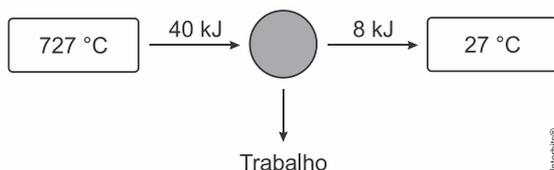


A figura ilustra os diversos processos termodinâmicos a que um gás é submetido em uma máquina térmica. Os processos AB e DE são isocóricos, EA e CD são adiabáticos, e o processo BC é isobárico. Sabendo que a substância de trabalho dessa máquina é um gás ideal, determine a sua eficiência.

- a) 10%
- b) 25%
- c) 35%
- d) 50%
- e) 75%

4. (Uesc) As máquinas térmicas são capazes de converter calor em trabalho. Elas funcionam em ciclos e utilizam duas fontes de temperaturas diferentes: uma quente, de onde recebe calor, e uma fria, para onde o calor rejeitado é direcionado. A respeito das máquinas térmicas, é importante saber que elas não transformam todo o calor em trabalho, ou seja, o rendimento de uma máquina térmica é sempre inferior a 100%.

Um esquema de máquina térmica eficiente é mostrado na figura a seguir:



No que diz respeito à máquina representada, assinale a alternativa CORRETA.

- a) Ela é ideal.
- b) Pode funcionar como esquematizada, uma vez que não viola as Leis da Termodinâmica.
- c) Só pode funcionar entre essas temperaturas, se o calor rejeitado for igual a 12 kJ.
- d) Trabalha abaixo da eficiência de Carnot.
- e) Não pode funcionar da forma esquematizada.

5. (Uern) Num sistema termodinâmico um gás ideal, ao receber 300 J do meio externo, realiza um trabalho de 200 J. É correto afirmar que

- a) a transformação é adiabática.
- b) a temperatura do sistema aumentou.
- c) o volume do gás permanece constante.
- d) a variação de energia interna é negativa.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Maria José; Costa, Maria Margarida - Fundamentos de Física. 3ª Edição. Edições Almedina, 2012.

CABRAL, F. Física. São Paulo: Harbra, 2002. v. 1.

GASPAR, A. Física. São Paulo: Ática, 2000. v. 1.

GONÇALVES FILHO, A. Física para o ensino médio. São Paulo: Scipione, 2002.

GRAF, Física. 4. ed. São Paulo: Edusp, 1998. v. 1.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. Fundamentos de física. 8. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2009 vol 1;

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. Fundamentos de física. 8. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2009 vol 2;

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. Fundamentos de física. 8. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2009 vol 3;

HEWITT, P. G. Física conceitual. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

JUNIOR, Francisco; Soares, Paulo; Ferraro, Nicolau - Os Fundamentos da Física 1-Mecânica. 8ª Edição. Moderna, 2003.

Junior, Francisco; Soares, Paulo; Ferraro, Nicolau - Os Fundamentos da Física 2-Termologia, óptica e ondas. 8ª Edição. Moderna, 2003.

LINS, L.D. Interculturalidade no Ensino de Física na Educação Escolar Indígena: A construção do Livro Didático para uma aprendizagem Significativa. UNEB, Salvador, 2019. (Tese de Doutorado em Educação)

PARANÁ, D. N. Física. São Paulo: Ática, 1998. v. 1.

YOUNG, Hugh; FREEDMAN, Roger - Física I-Mecânica. 12ª Edição. Pearson Education Limited, 2008.

YOUNG, Hugh; FREEDMAN, Roger - Física II-Termodinâmica e Ondas. 12ª Edição. Pearson, 2008.

YOUNG, Hugh; FREEDMAN, Roger - Física III-Eletromagnetismo. 12ª Edição. Pearson Higher Education, 2010.

Young, Hugh; FREEDMAN, Roger - Física IV-Ótica e Física Moderna. 12ª Edição. Pearson, 2009.

TIPLER, Paul; Mosca, Gene - Física (Volume 1)-Mecânica, Oscilações e Ondas, Termodinâmica. Livros Técnicos e Científicos, 2009.

TIPLER, Paul; Mosca, Gene - Física (Volume 2)-Eletricidade & Magnetismo e Ótica. Livros Técnicos e Científicos, 2009.

POSFÁCIO

O livro didático é um instrumento fundamental para realização do processo ensino-aprendizagem. No caso do livro *ABC da física II Termodinâmica*, as questões são amplamente ilustradas, tanto no que se refere a apresentação das situações-problema, através de narrativas claras e consoante à realidade sensitiva do mundo vivido pelos professores e estudantes, quanto pela clareza dos conteúdos, com relação a perspectiva cognitiva que, sem dúvida, tem uma linguagem adequada e coerente para aqueles que almejam compreender o conhecimento da física moderna, baseados nas descobertas científicas processuais e contemporâneas.

Nota-se, também que o conjunto de conhecimentos postulado está organizado em blocos de conteúdos integrados, cuja sequência favorece a legibilidade, com efeito benéfico na potencialização da aprendizagem. As ilustrações são bastante significativas em termos didático-pedagógico e têm como função complementar as narrativas textuais, ou seja, em muito coopera para diminuir os processos de abstração, muito comum em livros didáticos desse campo de conhecimento, cujos conceitos são traduzidos em torno de expressões lógico-matemática.

Outra característica é o alinhamento com a estrutura curricular do Ensino Médio, sobretudo, com relação as competências e habilidades preconizadas pelo Banco nacional comum curricular – BNCC que recomenda o uso de contextos didáticos para compreensão de “conceitos, estratégias, e procedimentos” que resultem na edificação de sujeitos capazes de argumentar autonomamente.

Para além dessa característica, percebe-se que em muitas passagens, como já enunciado no prefácio deste livro, opta-se por uma aproximação com a realidade dos estudantes, demonstrando compromisso com a cotidianidade, protagonismo

com os professores, estudantes e compromisso crítico-social com as comunidades usufrutuária. Nesse sentido, percebe-se convergência com os povos tradicionais, suas tradições, costumes e hábitos, já que a obra se dirige, não exclusivamente, mas, especialmente, para comunidades indígenas.

Em termos metodológicos, verificamos que os capítulos do livro trazem situações-problema que são amplamente exemplificadas através de exercícios. Assim, além de assumirem o sentido avaliativo, os citados exercícios estimulam o raciocínio reflexivo e contextual; ademais são utilíssimos para os estudantes que vão se submeter a provas de vestibulares e do Exame Nacional do Ensino Médio–ENEM.

Também lembramos o potencial da associação teórico-conceitual e metodológica inclusa no cerne do livro tradicional (impresso), com os instrumentos pedagógicos contidos nas plataformas digitais que, quando conduzidos adequadamente, alargam as possibilidades de acesso ao conhecimento científico e a associação com os conhecimentos tradicionais e contextuais por parte dos estudantes, haja vista que muitos ainda carecem de processos pedagógicos promotores de aprendizagens efetivas.

Por último, quero parabenizar os autores pelo dedicado empenho na elaboração do *ABC DA FÍSICA II TERMODINÂMICA* e recomendar aos leitores estudantes, que com a mediação dos professores, aproveitem essa oportunidade, de ler, de compreender e de operar o conhecimento em perspectiva cooperativa e libertadora.

Sérgio Luiz Malta de Azevedo

professor do Centro de Humanidades da
UFCG e do Programa de Pós-graduação
em Ecologia Humana e Gestão sócio ambiental da UNEB.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECOLOGIA HUMANA



E-mail: editora.sabeh@gmail.com