



FÍSICA TÉRMICA

TEÓRICA E EXPERIMENTAL

Antônio Araújo Sobrinho
Gilberto Morel de Paula e Souza



CEFET-RN
Editora

PRESIDENTE DA REPÚBLICA
LUÍS INÁCIO LULA DA SILVA

MINISTRO DA EDUCAÇÃO
FERNANDO HADDAD

SECRETÁRIO DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
ELIEZER PACHECO

DIRETOR GERAL
FRANCISCO DAS CHAGAS DE MARIZ FERNANDES

DIRETOR DA UNIDADE SEDE
ENILSON ARAÚJO PEREIRA

DIRETOR DA UNED-MOSSORÓ
CLÓVIS COSTA DE ARAÚJO
DIRETOR DA UNED-CURRAIS NOVOS
RADIR DIAS DE MEDEIROS

DIRETOR DA UNED-IPANGUAÇU
PAULO ROBERTO LEIROS DE SÓUZA
DIRETOR DA UNED-ZONA NORTE
ANNA CATHARINA DA COSTA DANTAS

DIRETOR DE ADMINISTRAÇÃO E PLANEJAMENTO
VALDELÚCIO PEREIRA RIBEIRO

DIRETOR DE ENSINO
BELCHIOR DE OLIVEIRA ROCHA

DIRETOR DE PESQUISA
JOSÉ YVAN PEREIRA LEITE

DIRETOR DE RELAÇÕES EMPRESARIAIS E COMUNITÁRIAS
LIZNANDO FERNANDES DA COSTA
DIRETORA DE ASSUNTOS ESTUDANTIS
SOLANGE DA COSTA FERNANDES

CHEFE DE DEPARTAMENTO DE RECURSOS HUMANOS
AURIDAN DANTAS DE ARAÚJO
COORDENADOR DA EDITORA
SAMIR CRISTINO DE SOUZA

ARTE DA CAPA
TÂNIA CARVALHO DA SILVA
REVISÃO ORTOGRÁFICA
ERIKA BEZERRA CRUZ DE MACEDO
MARCEL LÚCIO MATIAS RIBEIRO

CONTATOS
Editora do CEFET-RN
Av. Sen. Salgado Filho, 1559, CEP 59015-000
Natal-RN. Fone: (0XX84) 4005-2668, 3215-2733 e-mail: dpeq@cefetrn.br

Antônio Araújo Sobrinho
Gilberto Morel de Paula e Souza

FÍSICA TÉRMICA

TEÓRICA E EXPERIMENTAL

CEFET-RN
Editora

2006

Física térmica : teórica e experimental
Copyright 2006 da Editora do CEFET-RN

Todos os direitos reservados

Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida ou transmitida de qualquer modo ou por qualquer outro meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia, gravação ou qualquer tipo de sistema de armazenamento e transmissão de informação, sem prévia autorização, por escrito, da Editora do CEFET-RN.

Divisão de serviços Técnicos
Catálogo da publicação na fonte.
Biblioteca Sebastião Fernandes (BSF) – CEFET/RN

Araújo Sobrinho, Antônio.

Física térmica : teórica e experimental / Antônio Araújo Sobrinho,
Gilberto Morel de Paula e Souza. — Natal: Editora do CEFET-RN, 2006.
152p.

ISBN 85-89571-14-9
978-85-89571-14-2

1. Termometria. 2. Dilatação. 3. Calorimetria. 4. Termodinâmica.
I. Souza, Gilberto Morel de Paula e. II. Título

CDD – 530

CEFET/RN/BSF

Agradecimentos

- Aos professores do CEFET-RN: Prof. Dr. Caubi Ferreira da Silva Júnior, Prof. Msc. Manoel Leonel de Oliveira Neto e Prof. Msc. Zanoni Tadeu Saraiva Santos, pelas contribuições nas discussões das atividades experimentais antes da elaboração de nosso livro.
- A nossos estudantes de ontem, de hoje e de sempre que com suas indagações sempre nos estimularam para que nos dedicássemos com mais profissionalismo a nossas tarefas educativas.
- À diretoria de pesquisa do CEFET-RN, na pessoa do Prof. José Yvan Pereira Leite, pelo incentivo para a publicação de nosso trabalho.

A você, estudante

Preparamos este livro com os conteúdos básicos de Física Térmica para ser usado no Ensino Médio ou em áreas técnicas nas quais são estudados os fundamentos da Física, independentemente de suas aspirações futuras. Temos consciência de que você tem todas as condições de assimilar o conteúdo de nosso livro.

O contínuo desenvolvimento da tecnologia tem como base os conhecimentos científicos e, nesse sentido, a Física tem dado importantes contribuições.

Procuramos fazer um trabalho em que a experimentação e os fundamentos teóricos estejam presentes durante todo o livro de forma não isolada.

Nossa seqüência de experimentos se fundamenta no que é de mais fácil visualização e na possibilidade de sua aplicação dentro da realidade das escolas da rede pública e privada.

Da dilatação à máquina térmica, quantas aplicações não se verificam desse conteúdo no cotidiano? Quantas contribuições têm dado às sociedades ao longo do tempo? Que implicações ou problemas têm causado à humanidade?

Entendemos que as respostas aos questionamentos anteriores nos condicionam a entendermos que a Física como construção humana, é parte integrante do processo científico em que vivemos e não pode ser lecionada através de fundamentos meramente teóricos ou do formalismo matemático. Acreditamos que, assim sendo, você possa compreender as situações da vida em que são aplicados os conhecimentos da Física.

Ao final de cada capítulo, estão apresentados exercícios com a finalidade de consolidar os conhecimentos adquiridos.

A Ciência e a Física em si não são uma barreira intransponível para qualquer estudante comum. São partes da história, da cultura humana e do processo de aprendizado do qual você não é um mero expectador.

Os autores

SUMÁRIO

Prefácio.....	10
Objetivos.....	12
Metodologia.....	12
Assuntos a serem abordados.....	12
1. Termometria.....	14
Exercícios resolvidos.....	20
Exercícios de fixação	22
2. Dilatação térmica.....	25
2.1. Dilatação dos gases.....	25
1ª experiência - Dilatação / contração dos gases.....	26
2.2. Dilatação dos líquidos.....	28
2ª experiência - Dilatação dos líquidos.....	30
Exercícios resolvidos.....	33
Exercícios de fixação	34
2.3. Dilatação dos sólidos.....	39
2.3.1. Dilatação linear.....	39
Exercícios resolvidos.....	40
2.3.2. Dilatação superficial.....	41
Exercícios resolvidos.....	41
2.3.3. Dilatação volumétrica.....	43
Exercícios resolvidos.....	44
3ª experiência - Dilatação dos sólidos.....	45
Exercícios de fixação	48
3. Calorimetria.....	56
3.1. Propagação do calor.....	56
3.1.1. Condução térmica.....	56

3.1.1.1. Lei da condução térmica.....	57
Exercícios resolvidos.....	59
3.1.2. Convecção térmica.....	60
Exercícios resolvidos.....	61
3.1.3. Irradiação térmica.....	62
4ª experiência – Propagação do calor - Condução térmica.....	63
5ª experiência – Propagação do calor - Convecção e irradiação térmica.....	66
Exercícios de fixação	68
3.2. Calor.....	78
3.2.1. Calor sensível.....	80
6ª experiência - Calor específico.....	83
3.2.2. Calor Latente.....	85
7ª experiência - Calor sensível e latente.....	86
Exercícios resolvidos.....	90
Exercícios de fixação	92
4. Termodinâmica.....	106
Variáveis de estado.....	107
Energia interna de um gás.....	108
História antiga da conservação de energia.....	109
1ª Lei da Termodinâmica.....	113
4.1. Transformações termodinâmicas.....	114
4.1.1. Transformação isotérmica.....	114
8ª experiência - Transformação isotérmica.....	115
4.1.2. Transformação isobárica.....	116
4.1.3. Transformação isométrica.....	118
4.1.4. Transformação adiabática.....	118

Equação geral dos gases perfeitos.....	119
4.1.5. Transformação cíclica.....	120
9ª experiência - Lei de Gay-Lussac.....	120
Entropia e a morte do universo.....	122
2ª Lei da Termodinâmica.....	123
Rendimento.....	125
Motor a quatro tempos.....	125
Ciclo de Carnot.....	127
10ª experiência - Máquina térmica.....	128
Exercícios resolvidos.....	129
Exercícios de fixação	131
Gabarito	145
Referências	149

PREFÁCIO

A Física tem se revelado ao longo dos tempos como uma das ciências que mais têm se destacado nas aplicações tecnológicas. Historicamente, ela está associada às grandes revoluções científicas e sociais dos seres humanos. Levando em conta esses fatos, acreditamos ser necessário que o seu ensinamento seja realizado de maneira mais prática e coerente com as aplicações no cotidiano das pessoas. A Física não pode ser vista como algo dissociado da realidade e limitado apenas aos livros textos. Objetivamos, então, desenvolver atividades práticas relacionadas à Física Térmica, dando ênfase à dilatação, propagação do calor e calorimetria, usando materiais de fácil aquisição, sem deixar de levar em conta o caráter científico da Física. Desejamos também abordar uma série de discussões sobre a metodologia de ensino enfatizando a possibilidade de sua aplicação em diversas realidades educacionais.

No desenvolvimento dos trabalhos, são propostos experimentos sobre dilatação dos gases primeiramente, por ser de mais fácil observação de acordo com a nossa proposta. A seguir, veremos a dilatação dos líquidos, propagação do calor, calorimetria e termodinâmica. No que se refere à calorimetria, propomos experimentos sobre calor específico, calor sensível e calor latente de mudança de estado físico. Também são abordados temas sobre as formas de propagação do calor.

A termodinâmica é explorada através de experimentos sobre expansão dos gases, demonstrando-se algo referente às leis que regem o comportamento destes nas transformações isotérmicas, isobáricas e isovolumétricas. Estudamos também o trabalho numa expansão ou contração gasosa.

Destacamos as aplicações e evolução das máquinas térmicas na tecnologia do mundo atual. Ao final dos trabalhos, os participantes construirão sua própria máquina térmica.

Esperamos que os trabalhos aqui propostos possam ser realizados pelos leitores em suas atividades didáticas.

I. OBJETIVOS

Desenvolver atividades práticas e teóricas relacionadas à Física Térmica, dando ênfase à dilatação térmica, calorimetria e termodinâmica, usando materiais de fácil aquisição, sem deixar de levar em conta o caráter científico da Física.

II. METODOLOGIA

As atividades práticas serão desenvolvidas em grupo, ocorrendo uma discussão sobre as respostas individuais antes da informação final dos questionamentos e observações que serão comentadas com o professor.

III. ASSUNTOS A SEREM ABORDADOS

1- TERMOMETRIA E DILATAÇÃO

- 1.1. Escalas termométricas
- 1.2. Dilatação dos gases
- 1.3. Dilatação dos líquidos
- 1.4. Dilatação dos sólidos
- 1.5. Determinação do coeficiente de dilatação volumétrica da água

2- CALORIMETRIA

2.1. Propagação do calor

2.2. Mudança de estado físico

2.3. Leis da fusão/solidificação

2.4. Leis da ebulição/condensação

2.5. Calor sensível e calor latente

2.6. Determinação do calor específico de uma substância

3 - TERMODINÂMICA

3.1. Lei de Boyle (transformação isotérmica)

3.2. Lei de Gay-Lussac (transformação isobárica)

3.3. Máquina térmica

1- TERMOMETRIA

Somos capazes de discernir diversas sensações tais como frio – quente – gelado – morno. Porém, essas sensações podem ser diferentes para diversas pessoas. Para uma mesma pessoa, cada sensação pode se apresentar diferente, dependendo de suas condições anteriores à observação. Por exemplo, se alguém proveniente de um ambiente ensolarado entra numa sala refrigerada, sentirá frio, ao passo que se essa pessoa passa de uma sala refrigerada para outra, não sentirá esta sensação.

O objetivo da termometria é estabelecer uma relação quantitativa entre as variações das propriedades termométricas.

TEMPERATURA - É uma dessas propriedades termométricas que está relacionada com o grau de agitação das moléculas de um corpo. Dizemos que, quanto maior for o grau de agitação das moléculas de um corpo, maior será sua temperatura. Para essa medição utiliza-se um instrumento denominado de *termômetro*.

EQUILÍBRIO TÉRMICO - Fazendo uma analogia com uma balança de pratos, quando se coloca massas iguais nos dois pratos, a balança se mantém em equilíbrio na horizontal. Na Física Térmica, *equilíbrio térmico* significa igualdade de temperatura entre os corpos. Quando corpos com diferentes temperaturas são colocados em contato ou próximos um do outro, o calor passa espontaneamente do mais quente para o mais frio, até que se estabeleça o equilíbrio térmico entre eles. O que cedeu calor teve como consequência uma

redução na sua temperatura, enquanto que o que recebeu calor, teve um aumento.

- As temperaturas 0°C e 100°C , denominadas *pontos fixos fundamentais*, correspondem respectivamente às temperaturas de fusão do gelo e de ebulição da água.
- Zero Kelvin ou zero absoluto corresponde à temperatura na qual a energia cinética das moléculas de um corpo é nula. Apesar desta temperatura nunca ter sido alcançada, ela corresponde teoricamente a -273°C .

Lord Kelvin



William Thomson Kelvin nasceu em Belfast, Irlanda, em 26 de julho de 1824. Descendente de uma família de agricultores escoceses, seu pai resolveu lecionar Matemática na Universidade de Glasgow quando ele tinha oito anos de idade. Aos quinze anos, já estudava Física nesta mesma universidade. Seu primeiro trabalho, publicado aos 20 anos, tinha como título *Expansões de Fourier de*

funções em séries trigonométricas. Em 1841, deixou Glasgow para entrar no Peterhouse College, em Cambridge. Tornou-se especialista em praticamente todas as áreas da Física. Diplomou-se em 1845, condecorado com o Smith's Prize. Agraciado com o título de Lord Kelvin, foi a Paris onde estudou as propriedades térmicas do vapor, sob a orientação de Regnault. Aos 24 anos, analisou profundamente as descobertas de Jacques Charles sobre a variação de volume dos gases em função da variação de temperatura. Charles concluía, com base em experimentos e cálculos, que na temperatura de $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ os gases possuíam volume igual a zero. No entanto, Kelvin observou que nessa temperatura não era o volume do gás que se anulava, mas sim a energia cinética de suas moléculas. Sugeriu, então, que essa seria a temperatura mais baixa que a matéria poderia alcançar e a chamou de *zero absoluto*. A partir dessa proposta, desenvolveu uma escala que posteriormente levaria seu nome, *escala Kelvin*. Os trabalhos de Joseph Fourier sobre o calor despertaram em Kelvin profundo interesse pela termodinâmica. Em 1846, Kelvin aceitou a cadeira de Filosofia Natural na Universidade de Glasgow. Um ano depois, conheceu Joule, que muito influenciou na evolução de sua carreira.

Anders Celsius



Anders Celsius nasceu em Ovanåker, na Suécia em 27 de novembro de 1701. Dedicou-se ao estudo de Astronomia, lecionando na Universidade Uppsala no período de 1730 a 1744, ano de sua morte. Passou cerca de quatro anos viajando em visita a observatórios da Alemanha, Itália e França, no período de 1732 a 1735. Durante os anos de 1716 a 1732, efetuou várias observações astronômicas, juntamente com outros astrônomos, resultando na publicação em Nurembergue, no ano de 1733, de uma coleção com 316 observações da Aurora Boreal. Em 1736, fez parte de uma expedição, organizada pela Academia Francesa de Ciências, com a finalidade de defender a medida do arco de meridiano na Lapônia. Celsius foi um dos fundadores do Observatório Astronômico de Uppsala em 1741. No ano de 1742, propôs uma escala termométrica de temperatura que era dividida em intervalos de cem partes iguais, escala essa denominada de centígrada, encaminhada através de documento à Academia Real de Ciências da Suécia. Posteriormente, essa escala termométrica ficou conhecida como escala Celsius, em sua homenagem. Celsius morreu de tuberculose em Uppsala na Suécia no dia 25 de abril de 1744.

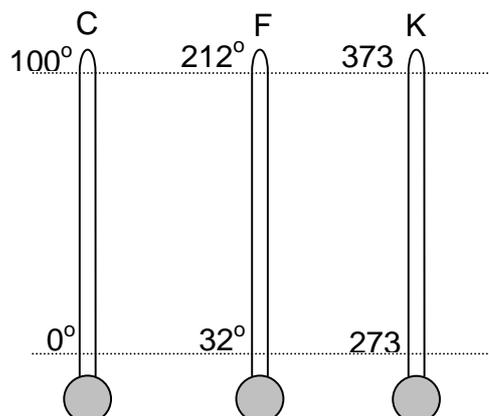
Gabriel Fahrenheit



Daniel Gabriel Fahrenheit, físico alemão nascido em 24 de maio de 1686 em Dantzig na Prússia. Filho do mercador Daniel Fahrenheit e Concordia Fahrenheit, filha da tradicional família de comerciantes Schumann, de Dantzig. Daniel foi o mais novo dos cinco filhos que sobreviveram à infância. O avô de Daniel, Reinhold Fahrenheit, mudou-se de Königsberg para Dantzig e se

estabeleceu como mercador. Um acidente com o consumo de cogumelos venenosos causou a morte de seus pais. Entretanto, seu interesse pelas ciências naturais gerou nele o gosto pelo estudo e experimentações nesse campo. Fahrenheit foi estudar em Amsterdã, onde teve lições em Química. Em 1724, ele se tornou membro da Royal Society. Construiu areômetros (instrumento que posto a flutuar, determina a relação numérica com a densidade do fluido) e deu forma definitiva ao termômetro de álcool e depois ao de mercúrio. Para o termômetro de mercúrio, concebeu a graduação que conservou seu nome. A escala de temperatura *Fahrenheit* ainda é utilizada em países como os Estados Unidos e Inglaterra. Quando Fahrenheit construiu seu primeiro termômetro, ele usou álcool. Depois ele passou a usar mercúrio, obtendo melhores resultados. Faleceu em 16 de setembro de 1736 em Haia, Holanda.

A quantização da temperatura é feita através de escalas, onde as mais utilizadas são Celsius (ou centígrada), Fahrenheit e Kelvin.



Funcionamento do termômetro

O líquido (geralmente mercúrio ou álcool pela facilidade de dilatação) na base do termômetro, quando aquecido, aumenta o grau de agitação de suas moléculas, afastando-as umas das outras. Dizemos então que esse líquido se dilatou. A dilatação é tanto maior quanto maior for a temperatura a que ele é submetido. Dessa maneira, o líquido sobe pela caneleta do termômetro indicando a temperatura de equilíbrio térmico do corpo em contato com o termômetro.

A relação entre as escalas se faz da seguinte maneira:

$$\frac{C - 0}{100 - 0} = \frac{F - 32}{212 - 32} = \frac{K - 273}{373 - 273} \quad \Rightarrow \quad \frac{C}{100} = \frac{F - 32}{180} = \frac{K - 273}{100}$$

Simplificando teremos: $\frac{C}{5} = \frac{F - 32}{9} = \frac{K - 273}{5}$ Nota: $\frac{\Delta C}{5} = \frac{\Delta F}{9} = \frac{\Delta k}{5}$

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1- Utiliza-se como termômetro um recipiente cujo volume é constante e que contém um gás cuja pressão é medida nas seguintes situações:

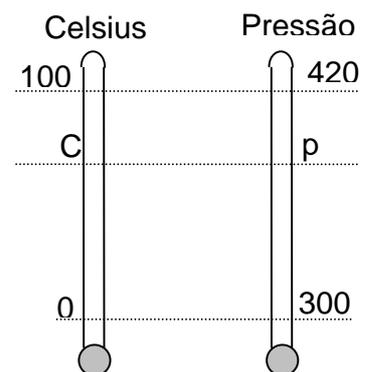
Recipiente	Pressão do gás
I) em equilíbrio térmico com uma mistura de água e gelo (também em equilíbrio térmico)	300 mmHg
II) em equilíbrio térmico com vapor de água em ebulição (sob pressão normal)	420 mmHg
III) em equilíbrio térmico com óleo aquecido	480 mmHg

- a) Determine a função termométrica desse termômetro na escala Celsius.
- b) Calcule a temperatura do óleo aquecido.

Resolução:

a) Construindo os dois termômetros, teremos a seguinte proporção:

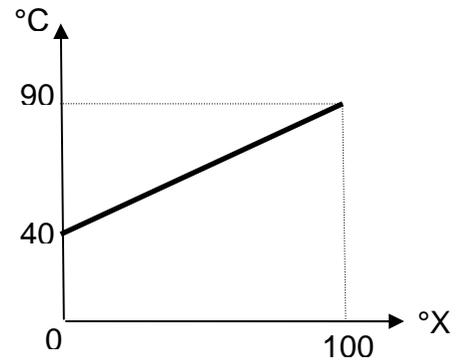
$$\frac{t - 0}{100 - 0} = \frac{p - 300}{420 - 300} \quad \frac{t}{100} = \frac{p - 300}{120}$$



Teremos portanto, $t = \frac{5p}{6} - 250$

b) Quando $p = 489$ mmHg, teremos: $t = \frac{5 \times 480}{6} - 250 \rightarrow t = 150^\circ C$

2- O gráfico a seguir representa a relação entre as escalas Celsius e X, sob pressão normal. Qual a temperatura de ebulição da água na escala X?



Resolução:

$$\frac{t_C - 0}{90 - 0} = \frac{t_X - 0}{100 - 0} \Rightarrow \frac{t_C}{90} = \frac{t_X}{100} \Rightarrow \frac{100}{9} = \frac{t_X}{10}$$

$$t_X = 111,1^\circ$$

3- Dois termômetros, Z e W, marcam, nos pontos de fusão do gelo e de ebulição da água, os seguintes valores:

Termômetro	Fusão do gelo	Ebulição da água
Z	4	28
W	2	66

Em que temperatura os dois termômetros indicam a mesma leitura?

Resolução:

$$\frac{Z - 4}{28 - 4} = \frac{W - 2}{66 - 2} \Rightarrow \frac{Z - 4}{24} = \frac{W - 2}{64} \Rightarrow \text{como } Z = W \Rightarrow \frac{Z - 4}{24} = \frac{Z - 2}{64}$$

$$\mathbf{Z = W = 5,2^\circ}$$

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO

TERMOMETRIA

- 1- (Interbits) Pensando no movimento das partículas que compõem dois corpos A e B, o que significa dizer que A é mais quente do que B?
- 2- (Interbits) Do ponto de vista microscópico o que é a temperatura?
- 3- (Interbits) Um copo de água a 300K cai sobre sua mão. Você sofrerá queimadura? Justifique
- 4- (UNITAU-95) Se um termômetro indica 99°C no 2° ponto fixo e 1°C no 1° ponto fixo, pode-se afirmar que a única indicação correta será:
 - a) 50°C .
 - b) 0°C .
 - c) 20°C .
 - d) 15°C .
- 5- (UNESP-98) Um estudante, no laboratório, deveria aquecer uma certa quantidade de água desde 25°C até 70°C . Depois de iniciada a experiência ele quebrou o termômetro de escala Celsius e teve de continuá-la com outro de escala Fahrenheit. Em que posição do novo termômetro ele deve ter parado o aquecimento?
 - a) 102°F
 - b) 38°F
 - c) 126°F
 - d) 158°F

6- (UEL-96) A temperatura da cidade de Curitiba, em um certo dia, sofreu uma variação de 15°C . Na escala Fahrenheit, essa variação corresponde a:

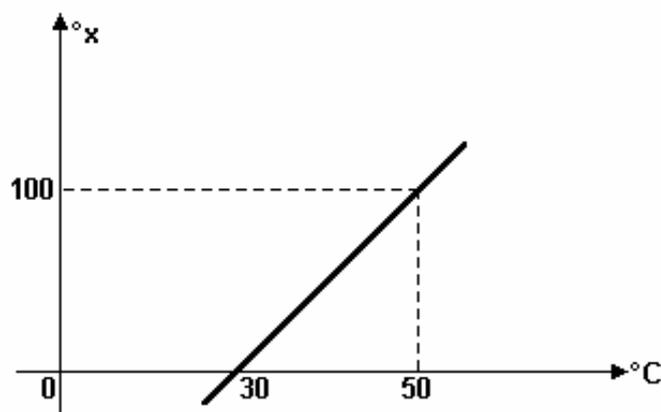
- a) 59
- b) 45
- c) 27
- d) 18

7- (MACKENZIE-96) Um pesquisador verifica que uma certa temperatura obtida na escala Kelvin é igual ao correspondente valor na escala Fahrenheit acrescido de 145 unidades. Esta temperatura na escala Celsius é:

- a) 55°C .
- b) 60°C .
- c) 100°C
- d) 120°C .

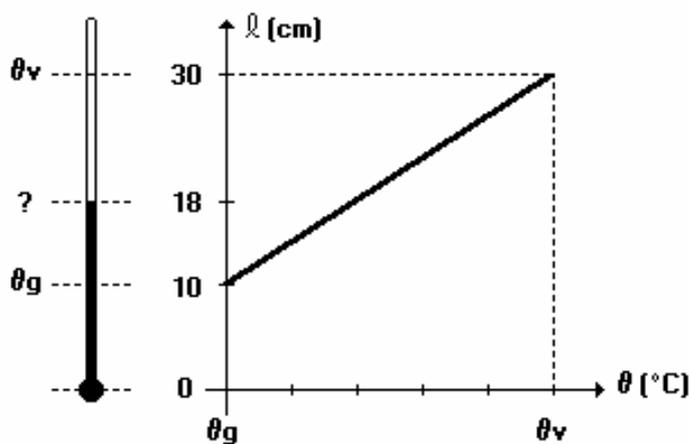
8- (UEL-95) Uma escala de temperatura arbitrária X está relacionada com a escala Celsius, conforme o gráfico a seguir. As temperaturas de fusão do gelo e ebulição da água, sob pressão normal, na escala X são, respectivamente,

- a) -60 e 250
- b) -100 e 200
- c) -150 e 350
- d) -160 e 400



9- (Interbits) Uma pessoa está numa sala de 20°C e outra numa sala de 35°C . Ambas vestem roupas leves, exatamente iguais. Depois de algum tempo, as duas pessoas entram numa mesma sala que está a 28°C . Qual a sensação que cada uma deve ter? Por quê?

10- (CESGRANRIO-91) Com o objetivo de recalibrar um velho termômetro com a escala totalmente apagada, um estudante o coloca em equilíbrio térmico, primeiro, com gelo fundente e, depois, com água em ebulição sob pressão



atmosférica normal. Em cada caso, ele anota a altura atingida pela coluna de mercúrio: $10,0\text{cm}$ e $30,0\text{cm}$, respectivamente, medida sempre a partir do centro do bulbo. A seguir, ele espera que o termômetro entre em equilíbrio térmico com o laboratório e verifica que, nesta situação, a altura da coluna de mercúrio é de $18,0\text{cm}$. Qual a temperatura do laboratório na escala Celsius deste termômetro?

- a) 20°C
- b) 30°C
- c) 40°C
- d) 50°C

2- DILATAÇÃO TÉRMICA

Uma dilatação ocorre devido ao afastamento das moléculas de um corpo quando aquecido. O aumento da agitação das moléculas de um corpo sólido faz com que aumente a separação entre elas, aumentando desse modo suas dimensões. Dizemos então que o corpo se dilatou. Se aumentarmos a temperatura desse corpo, suas moléculas adquirirão um certo grau de liberdade de movimento provocando alteração em sua forma, podendo passar para o estado líquido. Se, no entanto, aumentarmos ainda mais a temperatura, as moléculas desse corpo terão adquirido tamanho grau de liberdade de movimento que poderão passar para o estado gasoso. Essas mudanças de estado físico serão discutidas posteriormente.

2.1. DILATAÇÃO DOS GASES

Devido ao grau de liberdade das moléculas de um gás, faz-se necessário confiná-lo em um recipiente para que ele possa ser estudado. Ao ser aquecido ele sofre expansão, que nada mais é do que a dilatação sofrida em virtude do aumento da energia cinética de suas moléculas. O aumento de volume não significa aumento de matéria e sim uma maior separação entre suas moléculas.

1ª EXPERIÊNCIA – DILATAÇÃO / CONTRAÇÃO DOS GASES

a) Material a ser utilizado:

- Fogareiro elétrico
- Bexiga (balão de aniversário)
- Balão de vidro de 500 ml

b) Procedimentos / questionamentos

1) Antes de fazer o experimento e dispondo do material acima, coloque a boca da bexiga encaixada na boca do balão de vidro. O que você espera que aconteça com a bexiga ao se aquecer o conjunto balão de vidro/bexiga?

2) Coloque o conjunto sobre o fogareiro e ligue na potência máxima.

3) Após aquecer o conjunto (balão + bexiga) você notou coerência entre o previsto no item “1” e o observado? Explique.

4) Esse fenômeno realmente representa a dilatação do ar dentro do balão de vidro? Por quê?



5) Retire a bexiga do balão, desligue o fogareiro e coloque logo em seguida outra bexiga na boca do mesmo.

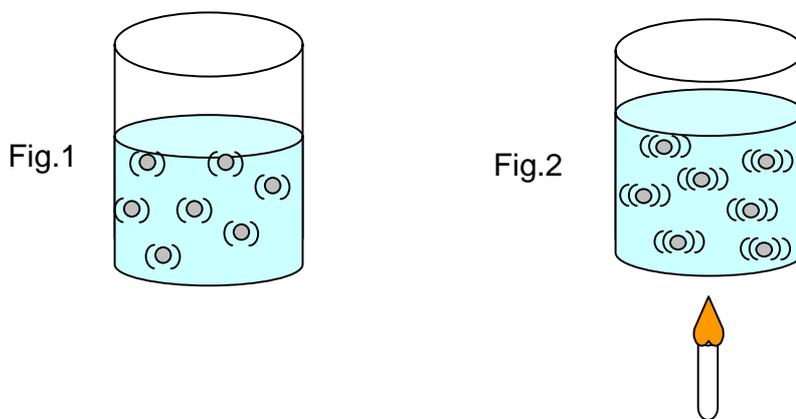
6) O que você espera que aconteça com a bexiga ao colocá-la no balão de vidro pré-aquecido? Por quê?

7) Após observar o fenômeno e analisando a resposta do item 6, tudo ocorreu de acordo com o previsto?



2.2. DILATAÇÃO DOS LÍQUIDOS

Os líquidos quando aquecidos se dilatam em virtude, como já havíamos comentado, da separação entre suas moléculas. Assim como os gases, os líquidos devem ser confinados em um recipiente para que sejam estudados. Os líquidos condicionam-se à forma do recipiente que o contém.



A figura 1 representa um modelo na qual se visualiza o líquido de volume inicial V_0 que se encontra à temperatura ambiente. Suas moléculas (cujos tamanhos estão exagerados para melhor compreensão) estão vibrando com pouca energia. Ao se aquecer o líquido, estas moléculas vibram com maior intensidade afastando-se mais umas das outras, ocorrendo assim a dilatação, como pode ser visto na figura 2.

A variação relativa no volume do líquido é proporcional à variação de temperatura ($\Delta\theta$) e à substância referente ao líquido utilizado. Esta substância é relacionada através de uma constante (γ) que é denominada *coeficiente de dilatação* do líquido.

$$\text{Temos portanto, } \frac{\Delta V}{V_0} = \gamma \Delta \theta \quad \Rightarrow \quad \Delta V = V_0 \gamma \Delta \theta$$

Porém, será que ΔV representa realmente a dilatação do líquido?

Note que, para se aquecer o líquido, o recipiente também é aquecido, portanto este se dilata, fornecendo mais espaço para ser ocupado pelo líquido.

Tomemos um recipiente completamente cheio de um certo líquido. Ao se aquecer o recipiente, este se dilata acarretando uma redução no nível do líquido. Quando, no entanto, o líquido começar a se dilatar, o nível começará a subir podendo inclusive transbordar uma certa quantidade desse líquido. Esta quantidade que transborda é uma dilatação aparente, pois tanto o líquido como o recipiente se dilataram.

A dilatação real do líquido (ΔV_R) será a soma da dilatação aparente (ΔV_{ap}) com a do recipiente (ΔV_{Rec}). Teremos, portanto:

$$\Delta V_R = \Delta V_{Ap} + \Delta V_{Rec}$$

Relacionando essas dilatações, teremos:

$$V_0 \gamma_R \Delta \theta = V_0 \gamma_{Ap} \Delta \theta + V_0 \gamma_{Rec} \Delta \theta$$

Como o volume inicial do líquido era o mesmo do recipiente podemos obter:

$$\gamma_R = \gamma_{Ap} + \gamma_{Rec}$$

Onde γ_R = coeficiente de dilatação real do líquido
 γ_{Ap} = coeficiente de dilatação aparente do líquido
 γ_{Rec} = coeficiente de dilatação do recipiente

COMPORTAMENTO ANÔMALO DA ÁGUA – Como vimos, os líquidos ao serem aquecidos se dilatam. Porém, a água tem um comportamento diferente entre as temperaturas 0°C e 4 °C. A partir de 0°C a água se contrai até atingir a temperatura de 4°C, quando só então passa a se dilatar como qualquer outro líquido. Do mesmo modo, quando se diminui sua temperatura de 4°C até 0°C ela se dilata. Podemos observar esse fenômeno ao se colocar uma garrafa de refrigerante no congelador. Ela tende a estourar devido à água contida no refrigerante se dilatar e o recipiente se contrair.

2ª EXPERIÊNCIA - DILATAÇÃO DOS LÍQUIDOS

a) Material a ser utilizado:

- . Balão de vidro de 500 ml
- . Balão volumétrico de 50 ml
- . Fogareiro elétrico
- . Pipeta de 10 ml
- . Balança de pratos
- . Termômetro com escala de -10°C a 150°C
- . Proveta de 500 ml
- . Proveta de 100 ml

b) Procedimentos / questionamentos:

- 1) Coloque 500 ml de água no balão e faça uma marca na altura da coluna de água.

2) Meça a massa, o volume e a temperatura da água do balão escolhido:

$$m_o = \underline{\hspace{2cm}} \quad V_o = \underline{\hspace{2cm}} \quad \theta_o = \underline{\hspace{2cm}}$$

3) Calcule a densidade da água: $d_{\text{água}} = \underline{\hspace{2cm}}$

4) O que deve acontecer com as grandezas: massa, volume e densidade da água dentro do balão de vidro quando ela for aquecida? Justifique a sua resposta.

5) Aqueça o balão escolhido durante cinco minutos e descreva o que você observa com o nível da água.

6) Meça a temperatura da água aquecida: $\theta = \underline{\hspace{2cm}}$

7) Meça a variação do volume da água: $\Delta V = \underline{\hspace{2cm}}$

8) Calcule o coeficiente de dilatação da água, dado por $\gamma = (\Delta V / V_o \Delta \theta)$:

$$\gamma_{\text{água}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

9) Calcule a densidade da água aquecida: $d = \underline{\hspace{2cm}}$

10) Como você pode determinar, experimentalmente e com total segurança, o coeficiente de dilatação de líquidos inflamáveis?

11) Coloque 50 ml de álcool no balão volumétrico.

12) Meça a temperatura inicial do álcool: $\theta_0 =$ _____

13) Coloque o balão volumétrico no congelador por 20 minutos.

14) Meça a temperatura e o volume final: $\theta =$ _____ ; $V =$ _____
e coeficiente de dilatação do álcool. $\gamma_{\text{álcool}} =$ _____

16) Dados os valores $\gamma_{\text{água}} = 2,1 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ e $\gamma_{\text{álcool}} = 1,1 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, compare com os valores obtidos na experiência e discuta as causas das possíveis diferenças.

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

- 1- (UFRN-modificado) Um comerciante comprou, em Natal, 5.000 litros de um certo líquido cujo coeficiente de dilatação volumétrica era $8,0 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Esse líquido foi transportado e vendido por litro no Rio Grande do Sul, onde a temperatura era de 10°C . Sabendo-se que a temperatura em Natal, no dia da compra, era de 35°C , qual foi, em litros, o prejuízo sofrido pelo comerciante?

Resolução: $\Delta V = V_0 \gamma \Delta \theta \quad \Rightarrow \quad \Delta V = 5.000 \times 8 \times 10^{-4} (35 - 10)$

$\Delta V = 100 \text{ litros}$

- 2- Um certo líquido foi aquecido em um recipiente de vidro, de 0°C até 100°C . Verificou-se no recipiente que a indicação do nível do líquido subiu de 500 cm^3 para 550 cm^3 . Sendo $\gamma_{\text{vid}} = 1 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, determine o coeficiente de dilatação real do vidro.

Resolução:

$$\Delta V_R = \Delta V_{ap} + \Delta V_{vid} \quad \Rightarrow \quad V_0 \gamma_R \Delta \theta = V_0 \gamma_{ap} \Delta \theta + V_0 \gamma_{vid} \Delta \theta$$

$$500 \gamma_R 100 = 50 + 500 \cdot 10^{-5} \cdot 100 \quad \Rightarrow \quad 5 \times 10^4 \cdot \gamma_R = 50 + 0,5$$

$$\gamma_R = 1,05 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

- 3- (UESPI-modificado) Um revendedor de combustível compra 100.000 litros de gasolina em um dia frio em São Paulo ($t = 8^\circ\text{C}$) por R\$ 2,50 o litro, transporta e revende em Teresina ($t = 38^\circ\text{C}$) a R\$ 2,80 o litro. O coeficiente de dilatação volumétrica da gasolina é de aproximadamente $10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Se o revendedor

gasta R\$ 1.000,00 no transporte da gasolina, qual foi o seu lucro total nesta revenda?

Resolução: $\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta \theta \Rightarrow \Delta V = 10^5 \cdot 10^{-3} \cdot (38 - 8) \Rightarrow \Delta V = 3.000 \text{ litros}$

Pago na compra: $100.000 \text{ L} \times \text{R\$ } 2,50 = \text{R\$ } 250.000,00$

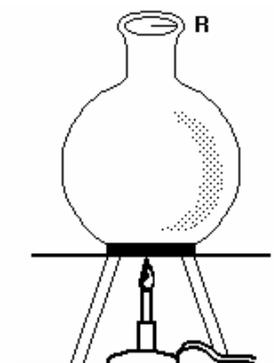
Recebido na venda: $103.000 \text{ L} \times \text{R\$ } 2,80 = \text{R\$ } 288.400,00$

Lucro: $\text{R\$ } 288.400,00 - \text{R\$ } 250.000,00 - \text{R\$ } 1.000,00 \Rightarrow \text{R\$ } 37.400,00$

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO

DILATAÇÃO DOS LÍQUIDOS

- 1- (UFBA-96) A figura a seguir representa um balão, de volume V_0 , feito de material isotrópico^[1] de coeficiente de dilatação linear α . O balão está completamente cheio de um líquido de coeficiente de dilatação volumétrica γ e de massa específica μ_0 , à temperatura θ_0 .



Quando a temperatura do balão é aumentada de $\Delta \theta$, extravasa o volume V_A do líquido.

Nessas condições, pode-se afirmar:

- (01) O raio R diminui quando a temperatura do balão aumenta.
- (02) O balão se dilata como se fosse maciço.

[1] Isótopo - material cujas propriedades macroscópicas em um ponto não dependem da direção.

(04) O coeficiente de dilatação aparente do líquido é expresso por $\gamma + 3\alpha$.

(08) Após a variação de temperatura $\Delta\theta$, a massa específica do líquido passa a ser expressa por $\mu_0 (1 + \gamma\Delta\theta)^{-1}$.

(16) A dilatação do balão é igual a $V_0\gamma\Delta\theta - V_A$.

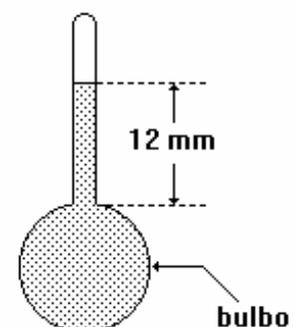
Soma ()

2- (PUCMG-97) 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° e deixa o automóvel exposto ao Sol. A temperatura máxima 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

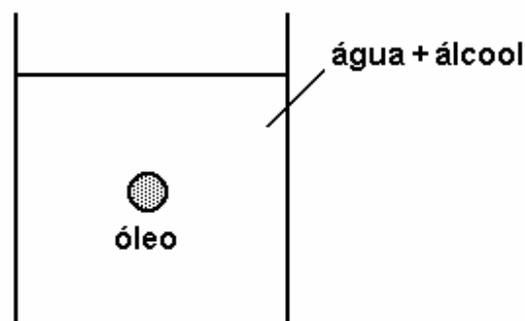
3- (FUVEST-98) Um termômetro especial, de líquido dentro de um recipiente de vidro, é constituído de um bulbo de 1cm^3 e um tubo com secção transversal de 1mm^2 . À temperatura de 20°C , o líquido preenche o tubo até uma altura de 12mm. Considere



desprezíveis os efeitos da dilatação do vidro e da pressão do gás acima da coluna do líquido. Podemos afirmar que o coeficiente de dilatação volumétrica médio do líquido vale:

- a) $3 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
- b) $4 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
- c) $12 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
- d) $20 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

4- (CESGRANRIO-98) Misturando-se convenientemente água e álcool, é possível fazer com que uma gota de óleo fique imersa, em repouso, no interior dessa mistura, como exemplifica o desenho a seguir. Os coeficientes de dilatação térmica da mistura e do óleo valem, respectivamente, $2,0 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ e $5,0 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.



Esfriando-se o conjunto e supondo-se que o álcool não evapore, o volume da gota:

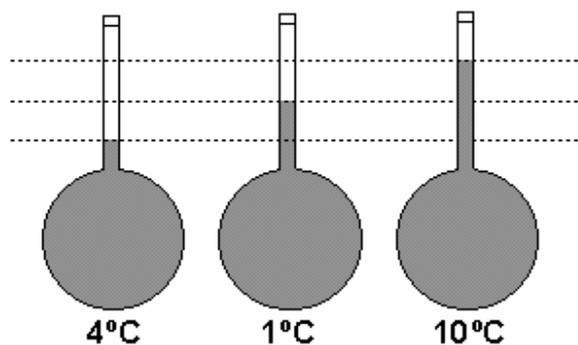
- a) diminuirá e ela tenderá a descer.
- b) diminuirá e ela tenderá a subir.
- c) diminuirá e ela permanecerá em repouso.
- d) aumentará e ela tenderá a subir.

5- (FGV-2001) O dono de um posto de gasolina recebeu 4000 litros de combustível por volta das 12 horas, quando a temperatura era de 35°C. Ao cair da tarde, uma massa polar vinda do Sul baixou a temperatura para 15°C e permaneceu até que toda a gasolina fosse totalmente vendida. Qual foi o prejuízo, em litros de combustível, que o dono do posto sofreu?

(Dados: coeficiente de dilatação do combustível é de $1,0 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)

- a) 4 L
- b) 80 L
- c) 40 L
- d) 140 L

6- (UFLA-2003) 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

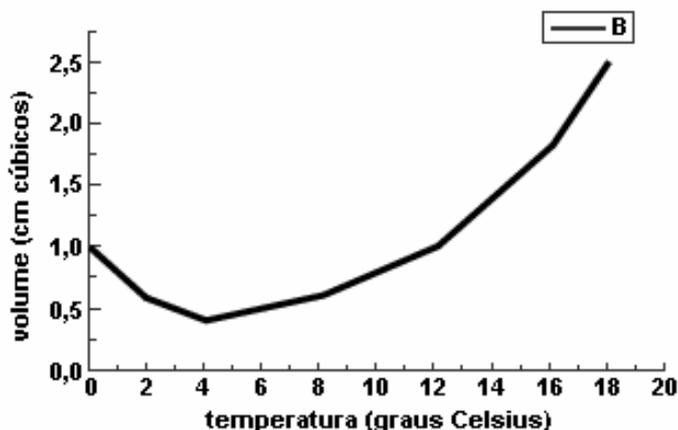


sistema está a 4°C; na segunda, a 1°C e, na terceira, a 10°C. Conforme a temperatura, a água ocupa uma certa porção do tubo.

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.

7- (PUCMG-2003) Quando aumentamos a temperatura dos sólidos e dos líquidos, normalmente seus volumes aumentam. Entretanto, algumas substâncias apresentam um comportamento anômalo, como é o caso da água, mostrado no gráfico a seguir. Assinale a afirmativa CORRETA.



- a) O volume da água aumenta e sua densidade diminui, quando ela é resfriada abaixo de 4°C.
- b) Entre 4°C e 0°C, a diminuição de temperatura faz com que a água se torne mais densa.
- c) Quando a água é aquecida, a partir de 4°C sua densidade e seu volume aumentam.
- d) Quando a água está a 4°C, ela apresenta a sua menor densidade.

2.3. DILATAÇÃO DOS SÓLIDOS

2.3.1. DILATAÇÃO LINEAR

Embora, em termos gerais, não exista dilatação em apenas uma dimensão, considera-se uma dilatação linear quando a maior evidência da dilatação é em uma direção, como por exemplo em uma barra.



Do mesmo modo como vimos na dilatação dos líquidos, a variação relativa no comprimento da barra é proporcional à variação de temperatura ($\Delta\theta$) e ao material de que é feita a barra. O material é relacionado através de uma constante (α) que é denominada *coeficiente de dilatação linear* do material. Temos, portanto:

$$\frac{\Delta L}{L_0} = \alpha \Delta \theta \quad \Rightarrow \quad \Delta L = L_0 \alpha \Delta \theta$$

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1- (UFPE) Uma régua de alumínio, com coeficiente de dilatação linear $\alpha = 25 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, tem o comprimento de 200 cm a 20°C . Qual o valor, em centímetros, do seu comprimento a 60°C ?

Resolução: $L = L_0(1 + \alpha\Delta\theta) \Rightarrow L = 200[1 + 25 \cdot 10^{-6} \cdot (60 - 20)]$

$$L = 200,2 \text{ cm}$$

2- (UFPR) Uma barra de metal de comprimento L a 0°C sofreu um aumento de $\frac{1}{200}$ do seu comprimento inicial, quando aquecida a 125°C . Qual deve ser o coeficiente de dilatação do metal?

Resolução: $\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta\theta \Rightarrow \frac{L_0}{200} = L_0 \cdot \alpha \cdot (125 - 0)$

$$\alpha = 4,0 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

3- Por que se usa platina nas próteses ortopédicas?

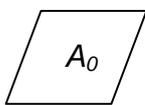
Resolução:

A platina, além de ser resistente, possui um coeficiente de dilatação baixo, não acarretando grandes dilatações por alterações normais da temperatura do meio ambiente.

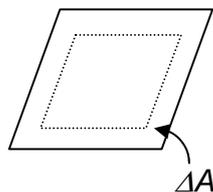
2.3.2. DILATAÇÃO SUPERFICIAL

Quando a dilatação é mais evidenciada em duas dimensões, dizemos tratar-se de uma dilatação superficial. Como ocorre em uma chapa de metal ao ser aquecida.

Antes do aquecimento



Após o aquecimento



Nota: As dimensões foram exageradas para que possamos observar melhor a dilatação.

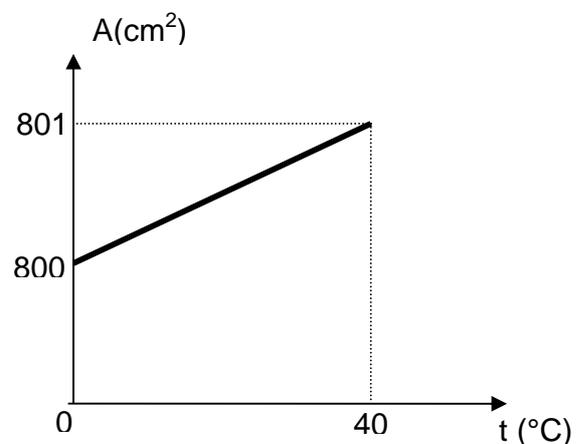
Usando o mesmo raciocínio para a dilatação linear, teremos: $\Delta A = A_0 \beta \Delta \theta$, onde $\beta = 2\alpha$ corresponde ao *coeficiente de dilatação superficial* do material.

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1- (UFAL) Uma chapa metálica tem sua área variando em função da temperatura, como mostra o gráfico. Determine o coeficiente de dilatação superficial do material da chapa.

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

$$801 - 800 = 800 \cdot \beta \cdot (40 - 0)$$



$$\beta = 3,1 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

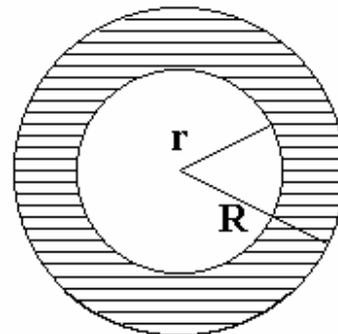
- 2- Um anel de cobre ($\alpha_{\text{Cu}} = 20 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$) tem raio interno igual a 5 cm a 20°C . Determine até que temperatura devemos aquecê-lo, de modo que esse anel possa ser introduzido num cilindro com base de área igual a $79,285 \text{ cm}^2$. Considere $\pi = 3,14$.

Resolução: $\Delta A = A_0 \cdot \beta \cdot \Delta t \Rightarrow 79,285 - 3,14 \cdot 5^2 = 3,14 \cdot 5^2 \cdot 20 \cdot 10^{-6} \Delta \theta$

$$0,785 = 3140 \cdot 10^{-6} \Delta \theta \quad \Rightarrow \quad \Delta \theta = 250^\circ\text{C} \quad \Rightarrow \quad \theta_f - 20 = 250$$

$$\theta_f = 270^\circ\text{C}$$

- 3- Esta figura mostra um disco metálico de raio R com um orifício também circular, concêntrico, de raio r. À temperatura $\theta_0 = 20^\circ\text{C}$, a relação entre esses raios é $R = 2r$. À temperatura $t_f = 40^\circ\text{C}$, qual será a relação entre os raios do disco R' e do orifício r' ?

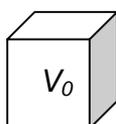


Resolução: $R' = 2 \cdot r'$ A relação permanece a mesma, pois a área central vazia dilata-se como se fosse feita do mesmo material.

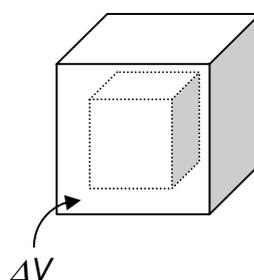
2.3.3. DILATAÇÃO VOLUMÉTRICA

Ocorre nos sólidos devido às dilatações sofridas em cada uma de suas três dimensões.

Antes do aquecimento



Após o aquecimento



Quantitativamente, teremos $\Delta V = V_0 \gamma \Delta \theta$, onde $\gamma = 3\alpha$ corresponde ao *coeficiente de dilatação volumétrica* do material.

Relação entre os coeficientes

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

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1- O volume de um bloco metálico sofre um aumento de 0,6% quando sua temperatura varia de 200°C. Quanto vale o coeficiente de dilatação linear médio desse metal, em °C⁻¹?

Resolução: $\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta\theta \Rightarrow \frac{0,6}{100} V_0 = V_0 \cdot \gamma \cdot 200 \Rightarrow \gamma = 3\alpha = 3 \cdot 10^{-5}$

$$\alpha = 1 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

2- Quando introduzimos um termômetro de mercúrio em um recipiente contendo água a uma temperatura significativamente superior à temperatura inicial do termômetro, percebemos, de imediato, que ocorre uma diminuição da coluna de mercúrio antes de seu esperado aumento. Explique esse fato.

Resolução:

O bulbo do termômetro dilata-se primeiro acarretando uma capacidade volumétrica maior, diminuindo inicialmente o nível do mercúrio.

c) (PUC-RS) Um paralelepípedo a 10°C possui dimensões iguais a 10 x 20 x 30 cm, sendo constituído de um material cujo coeficiente de dilatação térmica linear é $8,0 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Qual o acréscimo de volume que ele sofre quando sua temperatura é elevada para 110 °C?

Resolução:

$$V_0 = 10 \cdot 20 \cdot 30 \text{ cm}^3 \Rightarrow V_0 = 6000 \text{ cm}^3 \quad \gamma = 3\alpha$$

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta \theta \Rightarrow \Delta V = 6000 \cdot 24 \cdot 10^{-6} \cdot (110 - 10) \Rightarrow \Delta V = 14,4 \text{ cm}^3$$

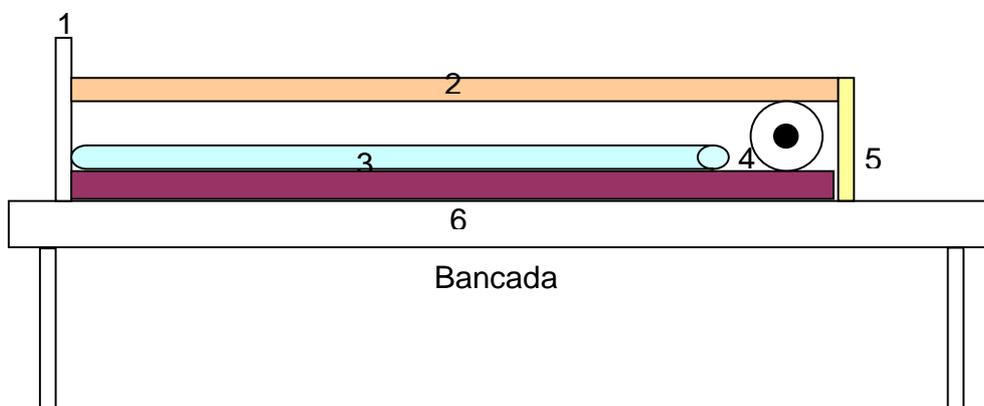
3ª EXPERIÊNCIA – DILATAÇÃO DOS SÓLIDOS

a) Material a ser utilizado:

- . Canaletas metálicas
- . Álcool (ou outro combustível)
- . Bastões de ferro
- . Bastão de alumínio
- . Bastão de cobre
- . Rolo de madeira
- . Suporte para o bastão de ferro
- . Fósforo

b) Procedimentos / questionamentos

- 1) Faça a montagem do experimento de acordo com o modelo da figura a seguir e coloque o álcool (ou outro combustível) na canaleta.



- 1- Suporte
- 2- Bastão metálico
- 3- Canaleta
- 4- Cilindro de madeira
- 5- Bastão metálico
- 6- Apoio de madeira para a canaleta

2) O que você espera que aconteça com o bastão que está na posição vertical ao se aquecer o outro que está na horizontal? Por quê?

3) Qual dos bastões deverá cair primeiro: o que está tocando o cobre, o ferro ou o alumínio? Por quê?

4) Aqueça os bastões que estão na posição horizontal. Verifique o que acontece com o outro na posição vertical. Observe durante a queima do álcool e faça um comentário sobre o experimento.

5) Após observar o que aconteceu com o experimento, escreva em ordem crescente os coeficientes de dilatação térmica dos metais da experiência.

6) Insira na tabela a seguir alguns materiais encontrados na literatura científica com seus respectivos coeficientes de dilatação linear.

Material	Coeficiente de dilatação ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO

DILATAÇÃO DOS SÓLIDOS

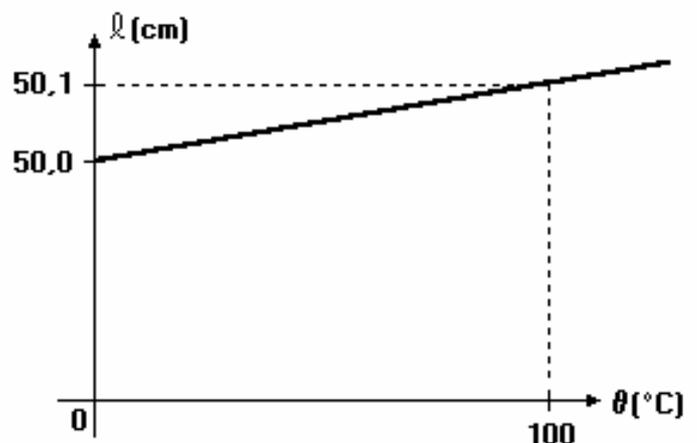
1- (ITA-95) Você é convidado a projetar uma ponte metálica, cujo comprimento será de 2,0km. Considerando os efeitos de contração e expansão térmica para temperaturas no intervalo de -40°F a 110°F e o coeficiente de dilatação linear do metal que é de $12 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, qual a máxima variação esperada no comprimento da ponte? (O coeficiente de dilatação linear é constante no intervalo de temperatura considerado).

- a) 9,3 m
- b) 2,0 m
- c) 3,0 m
- d) 0,93 m

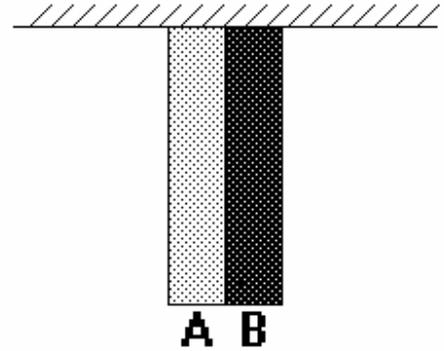
2- (CESGRANRIO-94) O comprimento ℓ de uma barra de latão varia, em função da temperatura θ , segundo o gráfico a seguir.

Assim, o coeficiente de dilatação linear do latão, no intervalo de 0°C a 100°C , vale:

- a) $2,0 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
- b) $5,0 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
- c) $1,0 \cdot 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
- d) $2,0 \cdot 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$

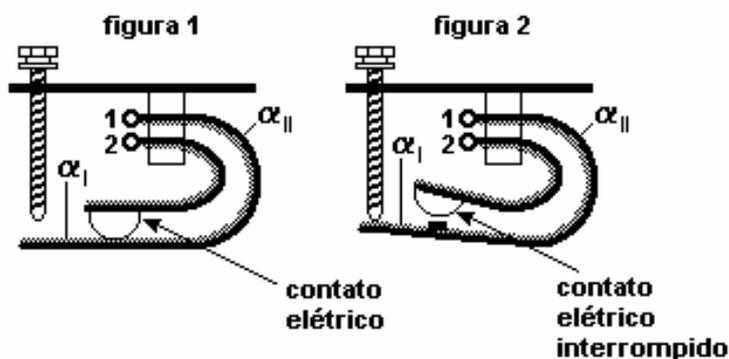


3- (UNIRIO-95) A figura a seguir representa uma lâmina bimetálica. O coeficiente de dilatação linear do metal A é a metade do coeficiente de dilatação linear do metal B. À temperatura ambiente, a lâmina está na vertical. Se a temperatura for aumentada em 200°C , a lâmina:



- a) continuará na vertical.
- b) curvará para frente.
- c) curvará para a esquerda.
- d) curvará para a direita.

d) (UFF-2005) Nos ferros elétricos automáticos, a temperatura de funcionamento, que é previamente regulada por um parafuso, é controlada por um termostato constituído de duas lâminas bimetálicas de igual composição. Os dois metais que formam cada uma das lâminas têm coeficientes de dilatação α_1 o mais interno e α_2 . As duas lâminas estão encurvadas e dispostas em contato elétrico, uma no interior da outra, como indicam as figuras a seguir.



A corrente, suposta contínua, entra pelo ponto 1 e sai pelo ponto 2, conforme a figura 1, aquecendo a resistência. À medida que a temperatura aumenta, as lâminas vão se encurvando, devido à dilatação dos metais, sem interromper o contato. Quando a temperatura desejada é alcançada, uma das lâminas é detida pelo parafuso, enquanto a outra continua encurvando-se, interrompendo o contato entre elas, conforme a figura 2.

Com relação à temperatura do ferro regulada pelo parafuso e aos coeficientes de dilatação dos metais das lâminas, é correto afirmar que, quanto mais apertado o parafuso:

- a) menor será a temperatura de funcionamento e $\alpha_1 > \alpha_2$;
- b) maior será a temperatura de funcionamento e $\alpha_1 < \alpha_2$;
- c) maior será a temperatura de funcionamento e $\alpha_1 > \alpha_2$;
- d) menor será a temperatura de funcionamento e $\alpha_1 < \alpha_2$;

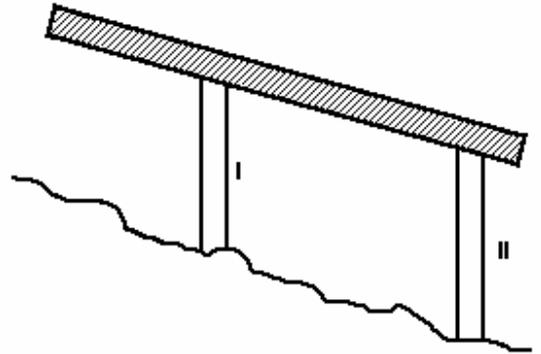
5- (Interbits) Um relógio de pêndulo extremamente preciso em uma dada cidade suíça é trazido para o Brasil, para a cidade de Salvador/BA. Verifica-se, apesar de todos os cuidados tomados no transporte do relógio, que o mesmo, aqui no Brasil, não apresenta a mesma pontualidade. Por que isto acontece? E o relógio em terras brasileiras atrasa-se ou adianta-se?

6- (CESGRANRIO-92) Uma rampa para saltos de asa-delta é construída de acordo com o esquema que se segue. A pilastra de sustentação II tem, a 0°C , comprimento três vezes maior do que a I.

Os coeficientes de dilatação de I e II são, respectivamente, α_1 e α_2 .

Para que a rampa mantenha a mesma inclinação a qualquer temperatura, é necessário que a relação entre α_1 e α_2 seja:

- a) $\alpha_1 = \alpha_2$
- b) $\alpha_1 = 2\alpha_2$
- c) $\alpha_1 = 3\alpha_2$
- d) $\alpha_2 = 3\alpha_1$



7- (Interbits) Ao aquecermos uma “porca” que está presa ao seu parafuso, supondo que o parafuso não se aqueça, a “porca” irá esmagar o parafuso ou ficar mais livre?

8- (UF-Lavras/2000) O diâmetro externo de uma arruela de metal mede 2cm, e seu diâmetro interno é de 1cm. Aquecendo-se a arruela, verifica-se que seu diâmetro externo aumenta de X cm. Podemos então afirmar que seu diâmetro interno:

- a) sofrerá diminuição de X cm.
- b) sofrerá aumento de X/2 cm.
- c) sofrerá diminuição de X/2 cm.

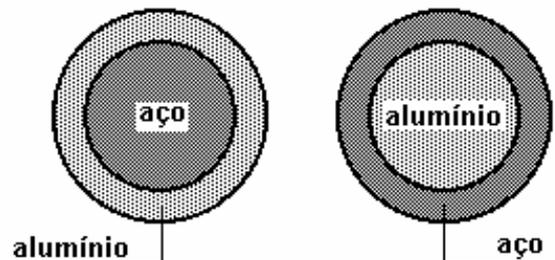
d) sofrerá aumento de X cm.

9- (FATEC-96) Uma placa de alumínio tem um grande orifício circular no qual foi colocado um pino, também de alumínio, com grande folga. O pino e a placa são aquecidos de 500°C , simultaneamente. Podemos afirmar que:

- a) a folga irá aumentar, pois o pino ao ser aquecido irá contrair-se.
- b) a folga diminuirá, pois ao aquecermos a chapa a área do orifício diminui.
- c) a folga diminuirá, pois o pino se dilata muito mais que o orifício.
- d) a folga irá aumentar, pois o diâmetro do orifício aumenta mais que o diâmetro do pino.

10- (PUC-PR/2003) O coeficiente de dilatação térmica do alumínio é, aproximadamente, o dobro do coeficiente de dilatação térmica do aço.

A figura mostra duas peças onde um anel feito de um desses metais envolve um disco feito do outro metal.



À temperatura do ambiente, os discos são presos aos anéis. Se as duas peças forem aquecidas uniformemente, é correto afirmar que:

- a) apenas o disco de aço se soltará do anel de alumínio.
- b) apenas o disco de alumínio se soltará do anel de aço.
- c) os discos se soltarão dos respectivos anéis.
- d) os discos permanecerão presos sem soltar por maior que seja o aumento de temperatura.

11- (UNIRIO-99) Um estudante pôs em prática uma experiência na qual ele pudesse observar alguns conceitos relacionados à “Dilatação Térmica dos Sólidos”. Ele utilizou dois objetos: um fino fio de cobre de comprimento $4L$, com o qual ele montou um quadrado como mostra a FIGURA I, e uma chapa quadrada, também de cobre, de espessura desprezível e área igual a L^2 , como mostra a FIGURA II. Em seguida, o quadrado montado e a chapa, que se encontravam inicialmente à mesma temperatura, foram colocados num forno até que alcançassem o equilíbrio térmico com este. Assim, a razão entre a área da chapa e a área do quadrado formado com o fio de cobre, após o equilíbrio térmico destes com o forno, é:

Figura I
Quadrado formado
com o fio de cobre

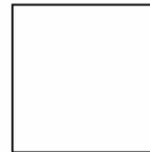
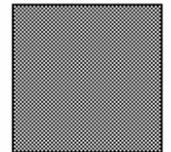


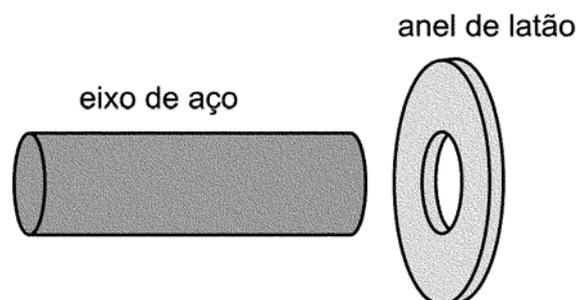
Figura II
Chapa de cobre
de área L^2



- a) 4
- b) $\sqrt{2}$
- c) 2
- d) 1

12- (UFMG-2006) João, chefe de uma oficina mecânica, precisa encaixar um eixo de aço em um anel de latão, como mostrado nesta figura:

À temperatura ambiente, o diâmetro do eixo é maior que o do orifício do anel.



Sabe-se que o coeficiente de dilatação térmica do latão é maior que o do aço.

Diante disso, são sugeridos a João alguns procedimentos, descritos nas alternativas a seguir, para encaixar o eixo no anel.

Assinale a alternativa que apresenta um procedimento que NÃO permite esse encaixe.

- a) Resfriar apenas o eixo.
- b) Aquecer apenas o anel.
- c) Resfriar o eixo e o anel.
- d) Aquecer o eixo e o anel.

13- (UEL-96) O volume de um bloco metálico sofre um aumento de 0,6% quando sua temperatura varia de 200°C. O coeficiente de dilatação linear médio desse metal em °C⁻¹ vale:

- a) $1,0 \cdot 10^{-5}$
- b) $3,0 \cdot 10^{-5}$
- c) $1,0 \cdot 10^{-4}$
- d) $3,0 \cdot 10^{-4}$

14- (UFV-99) Quando introduzimos um termômetro de mercúrio em um recipiente contendo água a uma temperatura significativamente superior à temperatura inicial do termômetro, percebemos, de imediato, que ocorre uma diminuição da coluna de mercúrio antes de seu esperado aumento. Explique este fato.

15- (MACKENZIE-99) No estudo dos materiais utilizados para a restauração de dentes, os cientistas pesquisam entre outras características o coeficiente de dilatação térmica. Se utilizarmos um material de coeficiente de dilatação térmica inadequado, poderemos provocar sérias lesões ao dente, como uma trinca ou até mesmo sua quebra. Neste caso, para que a restauração seja considerada ideal, o coeficiente de dilatação volumétrica do material de restauração deverá ser:

- a) igual ao coeficiente de dilatação volumétrica do dente.
- b) maior que o coeficiente de dilatação volumétrica do dente, se o paciente se alimenta predominantemente com alimentos muito frios.
- c) menor que o coeficiente de dilatação volumétrica do dente, se o paciente se alimenta predominantemente com alimentos muito frios.
- d) maior que o coeficiente de dilatação volumétrica do dente, se o paciente se alimenta predominantemente com alimentos muito quentes.

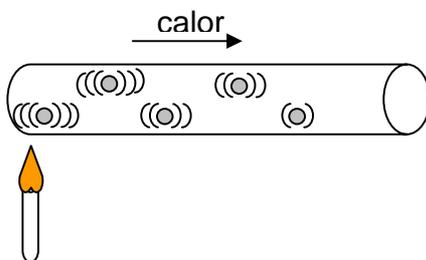
3- CALORIMETRIA

3.1. PROPAGAÇÃO DO CALOR

O calor é uma forma de energia que se propaga de um corpo para outro e, espontaneamente, do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura. Existem três maneiras dessa propagação ocorrer: a condução térmica, a convecção térmica e a irradiação térmica.

3.1.1. CONDUÇÃO TÉRMICA

É o processo pelo qual o calor é transferido através das moléculas do corpo. Por exemplo, quando a extremidade de uma barra metálica é aquecida, os átomos daquela região recebem essa energia e passam a vibrar mais intensamente, conseqüentemente, gera-se mais energia cinética. Parte dessa energia é transferida para os átomos vizinhos, fazendo com que eles também passem a vibrar mais e dessa maneira o calor vai se propagando ao longo da barra.



Nota:

- A condução térmica não pode ocorrer no vácuo, pois necessita de um meio material para se propagar.

- Nos sólidos, está é a única maneira do calor se propagar, pois não implica em transferência de matéria.

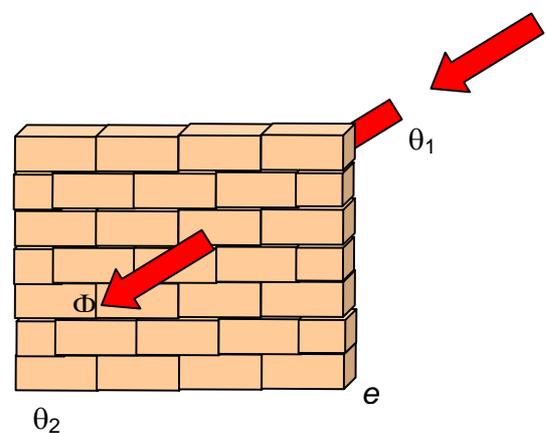
BONS CONDUTORES: são aqueles materiais que têm facilidade de conduzir o calor, como por exemplo os metais.

MAUS CONDUTORES: são aqueles materiais que dificultam a propagação do calor. Podem também ser chamada de isolantes térmicos, como é o caso da lã, madeira, isopor, borracha.

Quando se toca uma cadeira de madeira com pés de metal, em uma sala refrigerada, tem-se a sensação de que o metal está mais frio que a madeira. Isso ocorre porque a madeira sendo um mau condutor de calor, demora mais tempo para retirar calor de nossa mão, enquanto que o metal, por ser um bom condutor de calor, o faz de maneira muito mais rápida, nos dando a sensação de estar mais frio.

3.1.1.1. LEI DA CONDUÇÃO TÉRMICA

Se considerarmos dois ambientes com temperaturas distintas θ_1 e θ_2 , com $\theta_1 > \theta_2$, separados por um anteparo homogêneo de espessura e e área A , o calor irá fluir do ambiente de maior temperatura para o de menor temperatura através deste anteparo.



O fluxo de calor Φ (quantidade de calor que flui através de uma superfície por intervalo de tempo) é dado pela Lei de Fourier e expresso por:

$$\Phi = \frac{K.A.(\theta_1 - \theta_2)}{e}$$
, onde K é uma constante de proporcionalidade que depende da natureza do material e é denominado de *coeficiente de condutibilidade térmica*.

Pela equação anterior podemos notar que:

- Para K elevado, maior será o fluxo de calor através do material, portanto, trata-se de um bom condutor de calor.
- O fluxo de calor será tanto maior quanto maior for a diferença de temperatura entre os ambientes.

A seguir mostramos alguns coeficientes de condutibilidade térmica.

MATERIAIS	COEFICIENTES DE CONDUTIBILIDADE TÉRMICA
Prata	0,99 cal/s.cm.°C
Alumínio	0,50 cal/s.cm.°C
Ferro	0,16 cal/s.cm.°C
Água	0,0014 cal/s.cm.°C
Lã	0,000086 cal/s.cm.°C
Ar seco	0,000061 cal/s.cm.°C

Observando a tabela, que conclusão você pode tirar a respeito dos materiais condutores e isolantes térmicos?

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1- A sensação de frio que sentimos é o resultado da perda de calor para o meio ambiente. Se uma pessoa, cuja temperatura da pele está a 33°C , dorme em um ambiente onde temperatura é de 0°C , quantas calorias são transmitidas por metro quadrado através de um cobertor de lã de espessura 2,5 cm, durante uma hora de sono? Suponha que o coeficiente de condutibilidade térmica da lã seja de $0,00008 \text{ cal/s.cm.}^{\circ}\text{C}$.

Resolução: $A = 1\text{m}^2 = 10^{-4} \text{ cm}^2 \Rightarrow \Phi = \frac{K.A.(\theta_1 - \theta_2)}{e} \Rightarrow$

$$\Phi = \frac{0,00008 \cdot 10^{-4} \cdot (33 - 0)}{2,5} \Rightarrow \Phi = 10,56 \text{ cal / s} \Rightarrow \Phi = \frac{Q}{\Delta t} \Rightarrow$$

$$10,56 = \frac{Q}{3600} \Rightarrow Q = 38.016 \text{ cal}$$

2- (Unama-AM) Uma sala de estudo será refrigerada de modo a manter a temperatura interna de 23°C . Considere que a temperatura externa atinge um máximo de 33°C . Calcule o fluxo de calor transferido por condução, através das paredes, teto e piso da sala e indique, dentre os valores apresentados na tabela a seguir, a potência mínima que um aparelho de ar-condicionado deve possuir para satisfazer as condições desejadas.

Dados: condutividade térmica média das paredes, teto e piso:

$$K = 2,0 \cdot 10^{-4} \text{ kcal / s.m.}^{\circ}\text{C}$$

Espessura média das paredes, teto e piso: $e = 10\text{cm}$

Área das paredes, teto e piso: $A = 50\text{m}^2$

$1\text{kcal} / \text{s} \cong 14.285,8\text{BTU} / \text{h}$

Desprezas outros tipos de trocas de calor. ?

Aparelho	Potência
1	7500 BTU/h
2	10.000 BTU/h
3	12.000 BTU/h
4	18.000 BTU/h
5	21.000 BTU/h

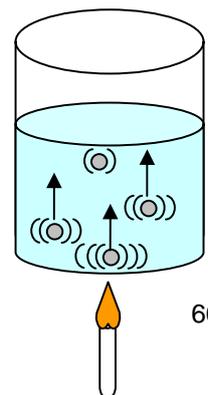
Resolução: $\Phi = \frac{K.A.(\theta_1 - \theta_2)}{e} \Rightarrow \Phi = \frac{2.10^{-4}.50.(33 - 23)}{10.10^{-2}} \Rightarrow \Phi = 1\text{kcal} / \text{s}$

$1\text{kcal} / \text{s} \cong 14.285,8\text{BTU} / \text{h}$

Portanto, dentre os valores da tabela, a potência mínima deverá ser de **18.000 BTU/h**, que corresponde a **1,26 kcal/s**.

3.1.2. CONVECÇÃO TÉRMICA

Ocorre nos fluidos acarretando transferência de matéria. Quando se aquece água, por exemplo, em uma panela, a água no fundo da panela se aquece primeiro, diminuindo a densidade do líquido naquela região. Dessa maneira, as moléculas sobem



fazendo com que aquelas que estão na região superior do líquido desçam, provocando um movimento de sobe e desce no líquido chamado *corrente de convecção*.

Este processo é muito útil para o funcionamento das geladeiras, condicionadores de ar, ascensão de balões, etc.

Você saberia explicar como surgem as brisas marítima e terrestre? Ou por que, independente da posição de uma vela, a chama fica sempre dirigida para cima? Ou ainda por que os planadores conseguem ficar tanto tempo em vôo mesmo sem motores?

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1- Por que a chama de uma vela é sempre vertical para cima, independente da posição da vela?

Resolução:

O ar aquecido ao redor do pavil sobe, fazendo com que a combustão seja feita dirigindo-se para a região acima do pavil, uma vez que é necessário oxigênio para a combustão.

2- Como funcionam os exaustores mecânicos colocados nos tetos de indústrias?

Resolução:

O ar quente no interior dos galpões sobe fazendo girar as hélices dos exaustores. Com as hélices girando, facilita-se a retirada de mais ar quente do interior desses galpões.

3.1.3. IRRADIAÇÃO TÉRMICA

Este processo permite a propagação do calor através de ondas eletromagnéticas, como o calor proveniente do Sol, por exemplo. Neste caso, não é necessária a existência de um meio material, pois as ondas eletromagnéticas não precisam obrigatoriamente de matéria para se propagar.



Podemos sentir o calor emanado de uma lâmpada incandescente ou de uma chapa metálica aquecida sem, no entanto, tocá-las.

4ª EXPERIÊNCIA - PROPAGAÇÃO DO CALOR – CONDUÇÃO TÉRMICA

a) Material a ser utilizado:

- . Fogareiro elétrico
- . Vela (ou cera da abelha)
- . Tachinhas de sapateiro
- . Cronômetro
- . Bastão de cobre
- . Bastão de ferro
- . Bastão de alumínio
- . Bastão de madeira

b) Procedimentos / questionamentos

1) Quais as diferenças entre as formas de propagação do calor por condução, por convecção e por irradiação?

2) Existe contato entre as moléculas quentes e frias para que o calor se propague por condução? Justifique.

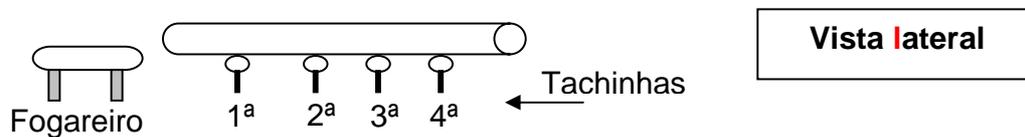
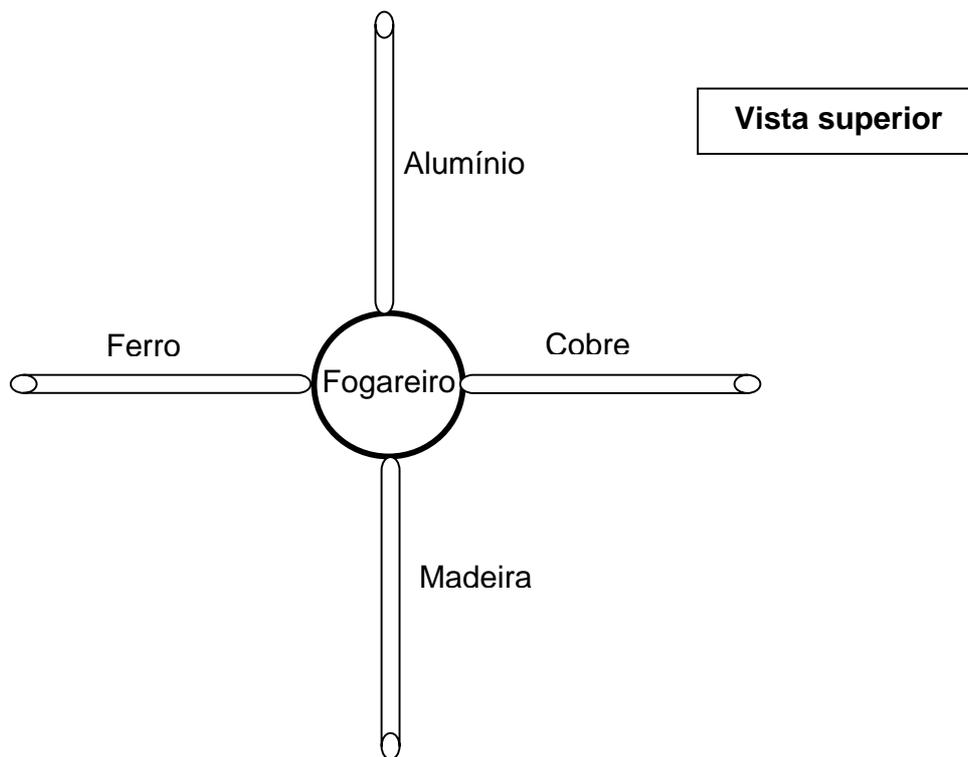
3) Na propagação do calor por condução ocorre deslocamento de moléculas?

Por quê?

4) Pode ocorrer propagação de calor por convecção sem movimento molecular? Por quê?

5) Como é possível constatar a propagação do calor no espaço vazio (sem matéria)?

6) Ligue o fogareiro e coloque as barras metálicas de acordo com a figura a seguir.



7) Meça o tempo de queda de cada uma das tachinhas e preencha a tabela a seguir.

Material	T ₁ (min)	T ₂ (min)	T ₃ (min)	T ₄ (min)
Cobre				
Ferro				
Alumínio				
Madeira				

8) Qual dos materiais possui maior condutibilidade térmica? Por quê?

9) O que você observou em relação às tachinhas na madeira? Justifique.

5ª EXPERIÊNCIA – PROPAGAÇÃO DO CALOR – CONVECÇÃO E IRRADIAÇÃO TÉRMICAS

a) Material a ser utilizado:

- . Fogareiro elétrico
- . Raspa de madeira
- . Becker
- . Água
- . Termômetro

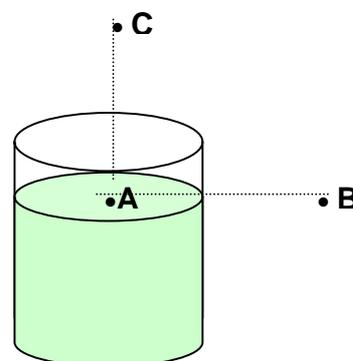
b) Procedimentos / questionamentos

1) Coloque raspa de madeira em um becker com água e meça a temperaturas nos pontos A, B e C.

$\theta_A =$ _____

$\theta_B =$ _____

$\theta_C =$ _____



2) Aqueça a água até a ebulição e repita as medidas do item 1.

$\theta_A =$ _____

$\theta_B =$ _____

$\theta_C =$ _____

3) De que maneira o calor se propagou até os pontos A, B e C?

4) Por que ocorre o movimento da raspa de madeira?

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO

PROPAGAÇÃO DO CALOR

- 1- (UNITAU-95) Indique a alternativa que associa corretamente o tipo predominante de transferência de calor que ocorre nos fenômenos, na seguinte seqüência:
- Aquecimento de uma barra de ferro quando sua extremidade é colocada numa chama acesa.
 - Aquecimento do corpo humano quando exposto ao sol.
 - Vento que sopra da terra para o mar durante a noite.
- a) convecção - condução - radiação.
b) convecção - radiação - condução.
c) condução - convecção - radiação.
d) condução - radiação - convecção.
- 2- (Interbits) Usando o conceito de "ar quente" e "ar frio", explique por que o congelador de uma geladeira deve ser colocado na parte de cima do aparelho.
- 3- (Interbits) Dois corpos que estão em temperaturas diferentes são colocados em contato. Quando cessará a passagem de calor de um para outro?

4- (FAAP-96) Uma estufa para flores, construída em alvenaria, com cobertura de vidro, mantém a temperatura interior bem mais elevada do que a exterior. Das seguintes afirmações:

- I. O calor entra por condução e sai muito pouco por convecção.
- II. O calor entra por radiação e sai muito pouco por convecção.
- III. O calor entra por radiação e sai muito pouco por condução.
- IV. O calor entra por condução e convecção e só pode sair por radiação.

A(s) alternativa(s) que pode(m) justificar a elevada temperatura do interior da estufa é(são):

- a) I, III
- b) I, II
- c) IV
- d) II, III

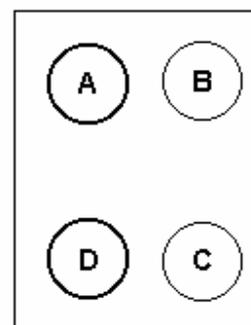
5- (UFMT-96) Julgue os itens a seguir.

- () A quantidade total de energia radiante emitida por um corpo, na unidade de tempo, é tanto maior quanto maior for a temperatura do corpo.
- () Toda energia radiante que incide num corpo se transforma em calor.
- () A energia radiante altera a temperatura do espaço no qual se propaga.
- () Os bons absorventes de energia radiante são bons emissores, mas os maus absorventes também podem ser bons emissores.

6- (UECE-96) O chamado "efeito estufa", devido ao excesso de gás carbônico presente na atmosfera, provocado pelos poluentes, faz aumentar a temperatura porque:

- a) a atmosfera é transparente à energia radiante do Sol e opaca às ondas de calor.
- b) a atmosfera é opaca à energia radiante do Sol e transparente para ondas de calor.
- c) a atmosfera é transparente tanto para a energia radiante do Sol como para as ondas de calor.
- d) a atmosfera funciona como um meio refletor para a energia radiante e como meio absorvente para a energia térmica.

7- (UNICAMP-97) Quatro grandes blocos de gelo, de mesma massa e à mesma temperatura inicial, envoltos em plástico impermeável, são pendurados na parede de um quarto à temperatura de 25°C , com portas e janelas fechadas. Conforme a figura a seguir, os blocos A e B estão pendurados próximos ao teto e os blocos C e D estão próximos ao chão. Os blocos A e D estão enrolados em cobertores; os outros dois não estão. Considere que o único movimento de ar no quarto se dá pela corrente de convecção.



Os blocos A e D estão enrolados em cobertores; os outros dois não estão. Considere que o único movimento de ar no quarto se dá pela corrente de convecção.

- a) Reproduza a figura e indique com setas o sentido do movimento do ar mais quente e do ar mais frio.
- b) Qual dos blocos de gelo vai derreter primeiro e qual vai demorar mais para derreter?

8- (Interbits) Por que as prateleiras de uma geladeira são em forma de grades?

9- (FAAP-97) As garrafas térmicas são frascos de paredes duplas, entre as quais é feito o vácuo. As faces destas paredes que estão frente a frente são espelhadas.

O vácuo entre as duas paredes tem a função de evitar:

- a) somente a condução.
- b) somente a irradiação.
- c) a condução e a convecção.
- d) somente a convecção.

10- (FGV-97) Quando um nadador sai da água em um dia quente com brisa, ele experimenta um efeito de esfriamento. Por quê?

- a) A água estava fria.
- b) A água em sua pele evapora.
- c) A temperatura do ar é mais baixa do que a temperatura da água.
- d) O nadador não se alimentou adequadamente antes de nadar.

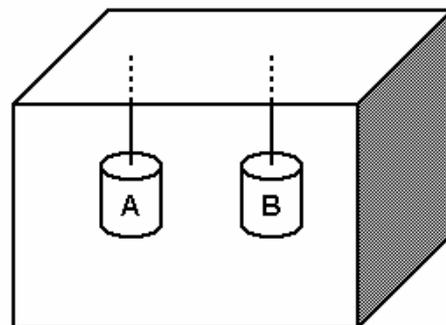
11- (PUC-PR/97) Algumas instalações industriais usam grandes fornos, os quais possuem chaminés muito altas. A função PRINCIPAL dessas chaminés é:

- a) Transportar o ar das grandes alturas para o interior do forno por condutividade térmica.
- b) Lançar os gases residuais a grandes alturas por irradiação.
- c) Irradiar o calor a grandes alturas.
- d) Proporcionar maior renovação de ar na fornalha por convecção.

12- (UNESP-99 Modificada) Uma garrafa de cerveja e uma lata de cerveja permanecem durante vários dias numa geladeira. Quando se pegam com as mãos desprotegidas a garrafa e a lata para retirá-las da geladeira, tem-se a impressão de que a lata está mais fria do que a garrafa. Este fato é explicado pelas diferenças entre:

- a) as temperaturas da cerveja na lata e da cerveja na garrafa.
- b) as espessuras dos dois recipientes que separam o líquido da mão.
- c) os coeficientes de dilatação térmica dos dois recipientes.
- d) as condutividades térmicas dos dois recipientes.

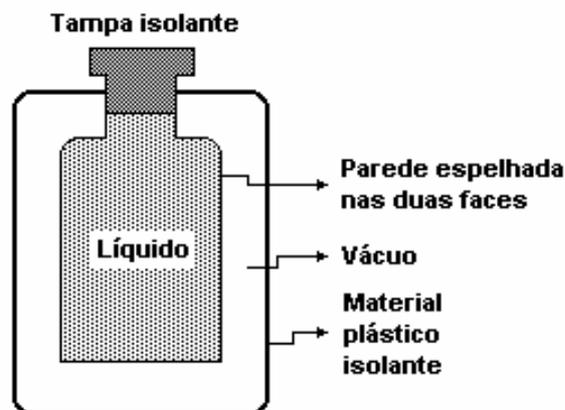
13- (PUC-MG/99) Na figura a seguir, está representada uma caixa totalmente fechada, cujas paredes não permitem a passagem de calor. No seu interior fez-se vácuo. Nesta caixa estão suspensos, presos por cabos isolantes térmicos, e sem tocar qualquer superfície da caixa,



dois corpos, A e B, sendo, inicialmente, a temperatura de A maior do que a de B. Após algum tempo, verifica-se que A e B atingiram o equilíbrio térmico. Sobre tal situação, é correto afirmar que a transferência de calor entre A e B NÃO se deu:

- a) nem por condução, nem por convecção.
- b) nem por condução, nem por radiação.
- c) nem por convecção, nem por radiação.
- d) por condução, mas ocorreu por convecção e por radiação.

14- (UNIRIO-2000) A figura ao lado representa um corte transversal numa garrafa térmica hermeticamente fechada. Ela é constituída por duas paredes. A parede interna é espelhada em suas duas faces e entre ela e a parede externa existe uma região



com vácuo. Como se explica o fato que a temperatura de um fluido no interior da garrafa mantém-se quase que inalterada durante um longo período de tempo?

- a) A temperatura só permanecerá inalterada se o líquido estiver com uma baixa temperatura.
- b) As faces espelhadas da parede interna impedem totalmente a propagação do calor por condução.
- c) Como a parede interna é duplamente espelhada, ela reflete o calor que chega por irradiação, e a região de vácuo evita a propagação do calor através da condução e convecção.
- d) Devido à existência de vácuo entre as paredes, o líquido não perde calor para o ambiente através de radiação eletromagnética.

15- (UNB-2000) Um objeto com uma superfície exterior preta usualmente se aquece mais que um com uma superfície branca quando ambos estão sob a luz do Sol. Isso é verdade para as roupas usadas pelos beduínos no deserto do Sinai: roupas pretas aquecem-se mais que roupas



brancas, com uma diferença de temperatura entre as duas de até 6°C . Por que então um beduíno usa roupa preta? Ele não estaria diminuindo sua chance de sobrevivência nas duras condições do ambiente do deserto?

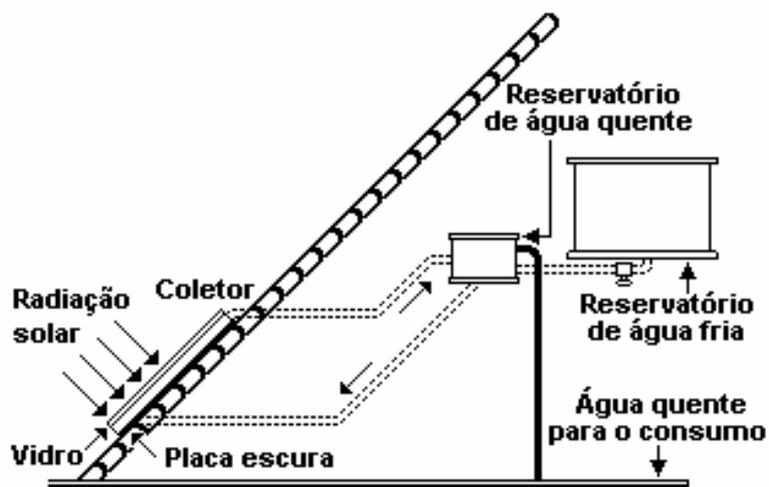
D. Halliday, R. Resnick & J. Walker.

"Fundamentals of Physics", 5ª edição, 1997 (com adaptações).

Com relação ao assunto tratado no texto, julgue os itens a seguir.

- (1) A roupa preta do beduíno produz maior corrente de convecção que a branca.
- (2) Sabendo que a potência irradiada por unidade de área é proporcional à quarta potência de temperatura em kelvins, as informações do texto permitem concluir que a referida roupa preta irradia 30% de energia a mais que a roupa branca.
- (3) A perda de calor por irradiação da roupa preta para o ambiente é menor que a da roupa branca.
- (4) Uma maior circulação de ar embaixo da roupa do beduíno favorece uma maior evaporação do seu suor, o que ajuda o organismo a regular a sua temperatura.

16- (ENEM-2000) O resultado da conversão direta de energia solar é uma das várias formas de energia alternativa de que se dispõe. O aquecimento solar é obtido por uma placa escura coberta por vidro, pela qual passa um tubo contendo água. A água circula, conforme mostra o esquema ao lado.



Fonte: Adaptado de PALZ, Wolfgang, "Energia solar e fontes alternativas". Hemus, 1981.

São feitas as seguintes afirmações quanto aos materiais utilizados no aquecedor solar:

- I. O reservatório de água quente deve ser metálico para conduzir melhor o calor.
- II. A cobertura de vidro tem como função reter melhor o calor, de forma semelhante ao que ocorre em uma estufa.
- III. A placa utilizada é escura para absorver melhor a energia radiante do Sol, aquecendo a água com maior eficiência.

Dentre as afirmações acima, pode-se dizer que, apenas está(ão) correta(s):

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

17- (UNIFESP-2002) Quando se mede a temperatura do corpo humano com um termômetro clínico de mercúrio em vidro, procura-se colocar o bulbo do termômetro em contato direto com regiões mais próximas do interior do corpo e manter o termômetro assim durante algum tempo, antes de fazer a leitura. Esses dois procedimentos são necessários porque

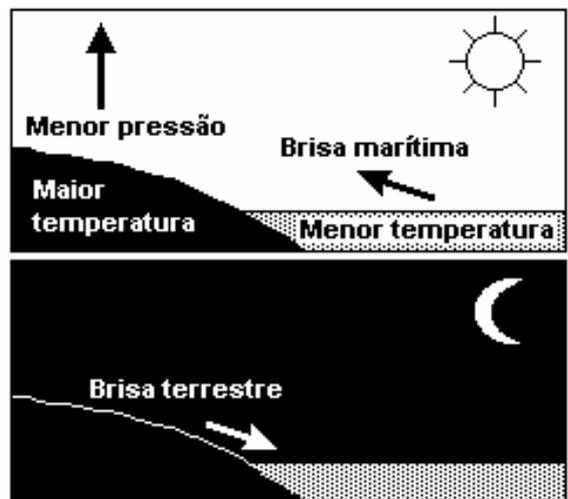
- a) o equilíbrio térmico só é possível quando há contato direto entre dois corpos e porque demanda sempre algum tempo para que a troca de calor entre o corpo humano e o termômetro se efetive.
- b) é preciso reduzir a interferência da pele, órgão que regula a temperatura interna do corpo, e porque demanda sempre algum tempo para que a troca de calor entre o corpo humano e o termômetro se efetive.
- c) o equilíbrio térmico só é possível quando há contato direto entre dois corpos e porque é preciso evitar a interferência do calor específico médio do corpo humano.
- d) é preciso reduzir a interferência da pele, órgão que regula a temperatura interna do corpo, e porque o calor específico médio do corpo humano é muito menor que o do mercúrio e do vidro.

18- (UFSCAR-2001) Um grupo de amigos compra barras de gelo para a bebida em um churrasco, num dia de calor. Como as barras chegam com algumas horas de antecedência, alguém sugere que sejam envolvidas num grosso cobertor para evitar que derretam demais. Essa sugestão:

- a) é absurda, porque o cobertor vai aquecer o gelo, derretendo-o ainda mais depressa.
- b) é inócua, pois o cobertor não fornece nem absorve calor ao gelo, não alterando a rapidez com que o gelo derrete.

- c) faz sentido, porque o cobertor facilita a troca de calor entre o ambiente e o gelo, retardando o seu derretimento.
- d) faz sentido, porque o cobertor dificulta a troca de calor entre o ambiente e o gelo, retardando o seu derretimento.

19- (ENEM-2002) Numa área de praia, a brisa marítima é uma consequência da diferença no tempo de aquecimento do solo e da água, apesar de ambos estarem submetidos às mesmas condições de irradiação solar. No local (solo) que se aquece mais rapidamente, o ar fica mais quente e sobe, deixando uma área de baixa pressão, provocando o deslocamento do ar da superfície que está mais fria (mar).



À noite, ocorre um processo inverso ao que se verifica durante o dia. Como a água leva mais tempo para esquentar (de dia), mas também leva mais tempo para esfriar (à noite), o fenômeno noturno (brisa terrestre) pode ser explicado da seguinte maneira:

- a) O ar que está sobre a água se aquece mais; ao subir, deixa uma área de baixa pressão, causando um deslocamento de ar do continente para o mar.
- b) O ar mais quente desce e se desloca do continente para a água, a qual não conseguiu reter calor durante o dia.
- c) O ar que está sobre o mar se esfria e dissolve-se na água; forma-se, assim, um centro de baixa pressão, que atrai o ar quente do continente.

d) O ar que está sobre a água se esfria, criando um centro de alta pressão que atrai massas de ar continental.

20- (UFG-2005) Estufas rurais são áreas limitadas de plantação cobertas por lonas plásticas transparentes que fazem, entre outras coisas, com que a temperatura interna seja superior à externa. Isso se dá porque:

- a) o ar aquecido junto à lona desce por convecção até as plantas.
- b) as lonas são mais transparentes às radiações da luz visível que às radiações infravermelhas.
- c) um fluxo líquido contínuo de energia se estabelece de fora para dentro da estufa.
- d) a expansão do ar expulsa o ar frio para fora da estufa.

3.2. CALOR

Como definimos anteriormente, calor é uma energia térmica em trânsito. Portanto, não tem sentido se dizer que um corpo contém calor, mas sim que ele está ganhando ou perdendo calor em virtude da diferença de temperatura entre os dois sistemas envolvidos.

A *energia térmica* corresponde à energia cinética de vibração e de translação das moléculas de um sistema. Essa energia está relacionada com a temperatura absoluta do sistema e com o número de moléculas que ele possui. De modo que, se dois sistemas possuem temperaturas iguais, mas números de moléculas diferentes, aquele que contém mais moléculas possui maior energia térmica. Dessa forma não haverá troca de calor entre eles, pois estão em equilíbrio térmico entre si.

Observe o exemplo a seguir:

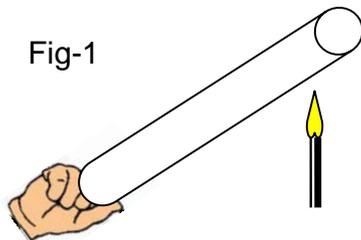


Fig-1

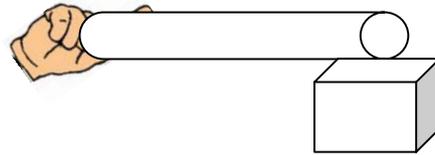


Fig-2

Na figura-1, o bastão está recebendo calor da chama da vela. O calor é absorvido em forma de energia térmica pelas moléculas do bastão, aumentando desse modo a temperatura deste. Na figura-2, o mesmo bastão está transferindo calor para o bloco que se encontra inicialmente a uma temperatura inferior. A energia térmica do bastão diminui, enquanto o calor absorvido pelo bloco é incorporado em forma de energia térmica às moléculas do bloco, aumentando assim sua temperatura.

Para se avaliar quantitativamente esse calor, utiliza-se a grandeza *Quantidade de Calor* (Q) cuja unidade no sistema Internacional é o joule (J), embora seja costume se adotar a unidade *caloria* (cal).

A caloria é a quantidade de calor necessária para se elevar a temperatura de um grama de água de $14,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ para $15,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, sob pressão normal.

1 cal = 4,18 J Esta relação é denominada de *Equivalente Mecânico*.

Temos ainda Btu (British thermal unit), unidade usada em condicionadores de ar.

1 Btu = 252 cal = 1.055 J

CALOR SENSÍVEL E CALOR LATENTE

Quando o calor recebido ou cedido por um sistema apenas provoca uma variação de sua temperatura, ele é denominado de *calor sensível* (Q). No entanto, há ocasiões em que um corpo troca calor com o meio sem, contudo, ocorrer variação de sua temperatura. Nesse caso, o calor trocado com esse corpo altera o estado de agregação de suas moléculas mudando o seu estado físico. Nesse caso, a energia trocada é denominada *calor latente* (L).

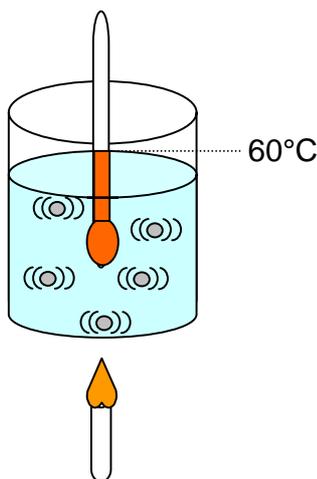


Fig-1 A água está recebendo calor e desse modo sua temperatura está aumentando.
(Calor sensível)

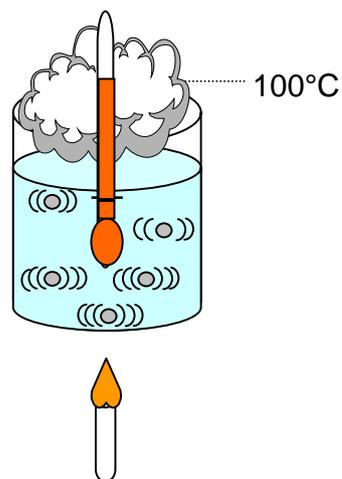


Fig-2 A água está recebendo calor. Contudo, sua temperatura permanece constante (100°C), pois está ocorrendo mudança de seu estado físico (fervendo).
(Calor latente)

3.2.1. CALOR SENSÍVEL

A quantidade de calor (calor sensível) que um sistema deve trocar com o ambiente para sofrer variação de temperatura é proporcional à sua massa (m) e

à essa variação ($\Delta\theta$).

Temos então $\frac{Q}{m\Delta\theta} = c$ (constante), ou seja, quanto maior for a massa ou a variação de temperatura do sistema, maior será a quantidade de energia necessária para sofrer essa variação. Essa constante c é denominada *calor específico sensível* da substância.

Temos também $Q = m.c.\Delta\theta$ que é denominada **Equação fundamental da calorimetria**.

Usando a equação anterior, você seria capaz de determinar a unidade de calor específico?

Desenvolva seu raciocínio

Tabela-1

Substância	Calor específico (cal/g°C)
ouro	0,032
ferro	0,113
vidro	0,199
Álcool	0,580
água	1,000

Você saberia explicar o que significa dizer que o calor específico da água é 1,0 cal/g°C?

O calor específico da água é um dos maiores recursos da natureza; portanto, a água é um excelente regulador de temperatura. Observe que no interior do Rio Grande do Norte, onde a água é escassa ocorrem grandes variações de temperatura – durante o dia a temperatura é elevada, enquanto à noite a temperatura é muito baixa. Já na capital, que se encontra próxima ao oceano, não ocorre tanta variação de temperatura. Outro exemplo é o deserto do Saara, onde a temperatura varia de 50°C durante o dia a 5°C ou menos à noite.

O produto $m.c$ na equação fundamental da calorimetria é denominado *Capacidade térmica* (C). Ela é uma grandeza característica do corpo e pode ser entendida como sendo a medida da quantidade de calor que acarreta a variação de 1°C (ou 1 K).

$$C = \frac{Q}{\Delta\theta} \quad \text{A capacidade térmica é medida em cal/°C}$$

6ª EXPERIÊNCIA - CALOR ESPECÍFICO

a) Material a ser utilizado:

- . água
- . óleo comestível
- . termômetro
- . fogareiro
- . balança
- . copinhos descartáveis

b) Procedimentos / Questionamentos:

- 1) Substâncias diferentes colocadas sobre fontes térmicas iguais, durante o mesmo período de tempo, sofrem a mesma variação temperatura? Justifique sua resposta.

- 2) Como é possível determinar o calor específico de uma substância, sabendo-se o calor específico de outra?

3) Meça 100 g de água e 100g óleo.

4) Meça a temperatura inicial da água e do óleo.

$$\theta_0 (\text{água}) = \text{_____} ; \theta_0 (\text{óleo}) = \text{_____}$$

5) Aqueça a água por dois minutos e meça a temperatura final.

$$\theta_1 (\text{água}) = \text{_____}$$

6) Repita o procedimento anterior com o óleo.

$$\theta_1 (\text{óleo}) = \text{_____}$$

7) A quantidade de calor recebida pela água é a mesma recebida pelo óleo?
Justifique.

8) Sabendo-se que o calor específico da água é 1 cal/g°C, calcule o calor específico do óleo.

$$c = \text{_____}$$

9) Por que, em pleno meio dia, a areia da praia é mais quente que a água do mar, enquanto à noite observa-se o fenômeno inverso?

10) Complete a tabela-2 ao lado com algumas substâncias diferentes da tabela-1, e escreva seus respectivos calores específicos.

Substância	Calor específico (cal/g°C)

3.2.2. CALOR LATENTE

Quando um corpo cede ou recebe calor, e este muda o estado de agregação de suas moléculas, ocorrendo apenas mudança de seu estado físico, sua temperatura permanece constante durante a mudança de estado. Por exemplo, a 100°C, à pressão padrão, a água passa para o estado de vapor, permanecendo com essa mesma temperatura. Já a 0°C o gelo se funde e, durante a fusão, essa temperatura não é alterada.

A quantidade de calor necessária que um sistema deve trocar com o meio para que ocorra alteração em seu estado físico é diretamente proporcional à sua massa.

Temos então $\frac{Q}{m} = \text{constante}$. Essa constante é denominada *Calor específico latente* (L), cuja unidade é cal/g.

Por exemplo, um grama de gelo a 0°C, necessita de 80 cal para se fundir

completamente. Portanto, diz-se que seu calor latente é $L = 80\text{cal} / \text{g}$. Do mesmo modo, a água a 0°C necessita perder 80 cal para se solidificar. Dizemos então que seu calor latente é $L = -80\text{cal} / \text{g}$.

A quantidade de calor que um grama de uma substância deve ganhar para mudar seu estado físico é igual à quantidade que ela deve perder para efetuar a mudança inversa. Por exemplo, $L_V = 540\text{cal} / \text{g}$ e $L_C = -540\text{cal} / \text{g}$ são para a água, respectivamente, o calor latente de vaporização e condensação.

A quantidade de calor envolvida na mudança de estado é então $Q = m.L$

7ª EXPERIÊNCIA - CALOR SENSÍVEL E CALOR LATENTE

a) Material a ser utilizado:

- . gelo
- . termômetro
- . fogareiro
- . becker de 250 ml

b) Procedimentos / Questionamentos

1) Como diferenciar o calor sensível do calor latente?

2) Explique o que ocorre com um corpo que recebe calor e não varia a sua temperatura.

3) Coloque cinco pedras de gelo em um becker e meça sua temperatura inicial. Ao mesmo tempo acione o cronômetro.

$$\theta_i = \text{_____} \quad t_0 = 0$$

4) Anote a temperatura e o exato momento em que o gelo começa a se derreter, sem parar o cronômetro (inclua os segundos).

$$\theta_f = \text{_____} \quad t_1 = \text{_____}$$

5) Qual a temperatura de fusão encontrada para o gelo? $\theta_f = \text{_____}$

6) Descreva o comportamento da temperatura da mistura gelo + água durante o processo de fusão.

7) A partir de que instante a temperatura da água começa a subir? $t_2 = \text{_____}$

8) Complete a tabela a seguir, informando desde a retirada do gelo do congelador até 2 minutos após o início da fusão, com intervalos de 2

minutos.

Tempo (min)	Temperatura (°C)
0	

9) Coloque 200 ml de água em um becker e meça sua temperatura inicial.

$$\theta_0 = \underline{\hspace{2cm}}$$

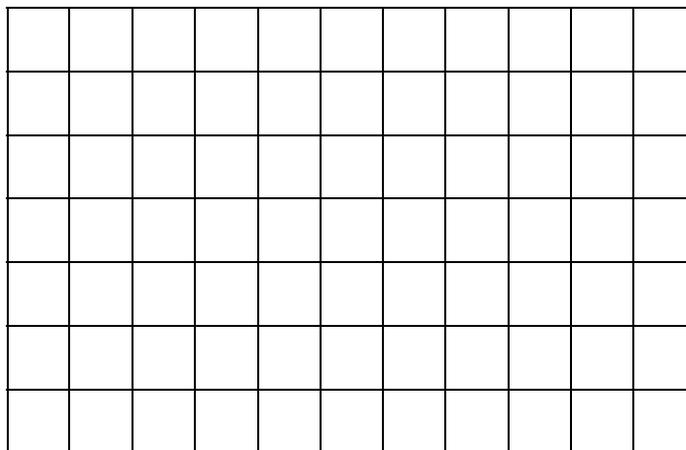
10) Aqueça a água até atingir o ponto de ebulição e meça sua temperatura a cada dois minutos durante o processo de aquecimento. Complete a tabela ao lado com os dados colhidos nessa experiência.

Tempo (min)	Temperatura (°C)
0	

11) Construa um gráfico da variação da temperatura em função do tempo com

os dados da tabela anterior

θ (°C)



0 2 4 6 8 10 t (min)

- 12) Você estudou que a temperatura de ebulição da água é 100°C. Qual a temperatura de ebulição que você mediu? Ela está de acordo com o que você estudou? Caso seja diferente, a que você atribui essa diferença?

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1- Deseja-se transformar 200g de gelo a -20°C em água líquida a 40°C . Que quantidade de calor deve ser fornecida ao gelo?

Dados: Calor específico do gelo: $0,5 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$

Calor latente de fusão do gelo: 80 cal/g

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

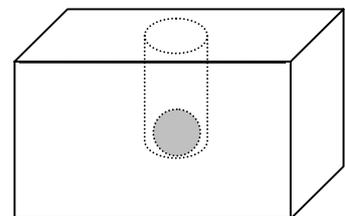
Resolução:

1ª Fase Aquecimento do gelo de -20°C a 0°C	2ª Fase Fusão do gelo	3ª Fase Aquecimento da água 0°C a 40°C
$Q_1 = m.c_g \cdot \Delta\theta$	$Q_2 = m.L$	$Q_3 = m.c_a \cdot \Delta\theta$
$Q_1 = 200 \cdot 0,5 \cdot [0 - (-20)]$	$Q_2 = 200 \cdot 80$	$Q_3 = 200 \cdot 1 \cdot (40 - 0)$
$Q_1 = 2.000 \text{ cal}$	$Q_w = 16.000 \text{ cal}$	$Q_3 = 8.000 \text{ cal}$
Quantidade total de calor	$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3$	$Q_T = 26.000 \text{ cal}$

1- Na cavidade de um grande bloco de gelo a 0°C foi colocado um corpo sólido de massa 20g a 100°C .

Estando o sistema isolado termicamente do meio ambiente, verificou-se que, após o equilíbrio térmico,

4g de água líquida se formaram nessa cavidade. Determine o calor específico do material desse corpo. Dado: $L_f = 80 \text{ cal/g}$ para o gelo.



Resolução:

	m	c	θ_i	θ_f	$\Delta\theta$
Corpo	20g	$x = ?$	100°C	0°C	-100°C
Fusão	4g	$L_f = 80cal / g$			

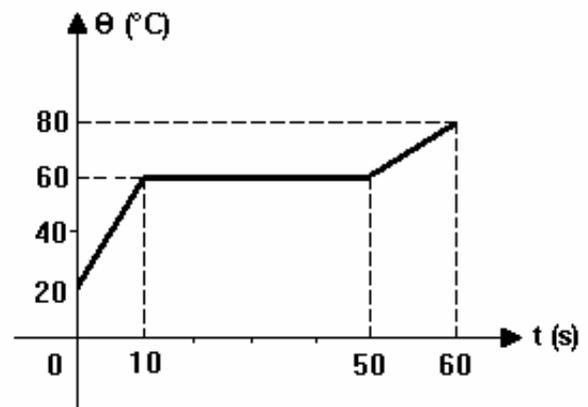
Quantidade de calor cedida pelo corpo: $Q_C = m.c.\Delta\theta \Rightarrow$

$$Q_C = 20.c.(-100) = -2000.c$$

Quantidade de calor recebida pelo gelo : $Q_R = m.L \Rightarrow Q_R = 4.80 = 320cal$

$$Q_C + Q_R = 0 \Rightarrow -2000.c + 320 = 0 \quad c = 0,16cal / g^\circ C$$

2- Uma fonte térmica, de potência constante e igual a 20cal/s, fornece calor a um corpo sólido de massa 100g. A variação de temperatura θ do corpo em função do tempo t é dada pelo gráfico ao lado.



Com relação à substância que

constitui o corpo, qual deve ser o seu calor latente de fusão, em cal/g?

Resolução: A fusão se dá entre 10s e 50s ($\Delta t = 40s$), pois a temperatura não se altera.

Quantidade de calor recebida da fonte: $Q = 20cal \times 40s = 800 cal$

$$Q = m.L \Rightarrow 800 = 100.L \Rightarrow L = 8cal / g$$

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO

CALOR SENSÍVEL E LATENTE

1- (FUVEST-GV/1991) Uma pessoa bebe 500g de água a 10°C. Admitindo que a temperatura dessa pessoa é de 36,6°C, responda:

- Qual a energia que essa pessoa transfere para a água?
- Caso a energia absorvida pela água fosse totalmente utilizada para acender uma lâmpada de 100W, durante quanto tempo ela permaneceria acesa?

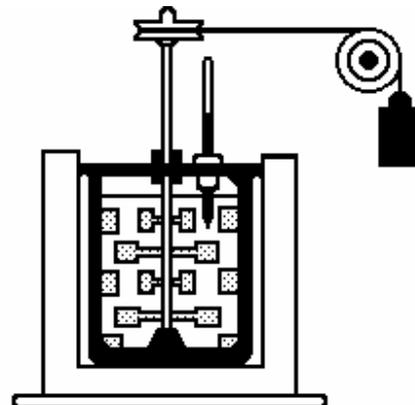
Dados: calor específico da água = 1,0cal/g°C e 1cal = 4J

2- (UNESP-94/Modificada) Massas iguais de cinco líquidos distintos, cujos calores específicos estão dados na tabela ao lado, encontram-se armazenadas, separadamente e à mesma temperatura, dentro de cinco recipientes com boa isolação e capacidade térmica desprezível. Se

cada líquido receber a mesma quantidade de calor, suficiente apenas para aquecê-lo, mas sem alcançar seu ponto de ebulição, qual deles apresentará a maior temperatura?

TABELA	
líquido	calor específico ($\frac{J}{g^{\circ}C}$)
água	4,19
petróleo	2,09
glicerina	2,43
leite	3,93
mercúrio	0,14

3- (PUC-SP/95) A experiência de James P. Joule determinou que é necessário transformar aproximadamente 4,2J de energia mecânica para se obter 1cal. Numa experiência similar, deixava-se cair um corpo de massa 50kg, 30 vezes de uma certa altura. O corpo estava preso a



uma corda, de tal maneira que, durante a sua queda, um sistema de pás era acionado, entrando em rotação e agitando 500g de água contida num recipiente isolado termicamente. O corpo caía com velocidade praticamente constante. Constatava-se, através de um termômetro adaptado ao aparelho, uma elevação total na temperatura da água de 14°C.

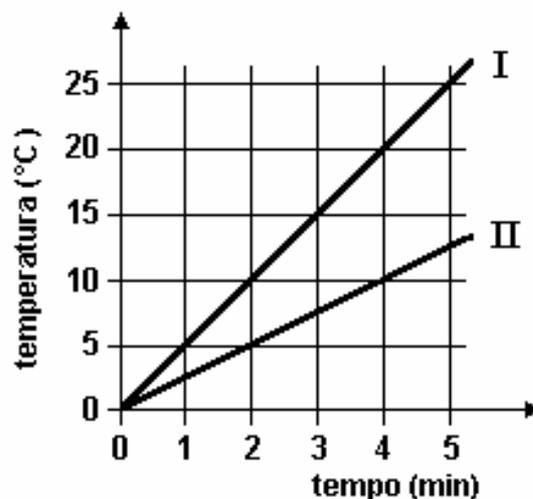
Determine a energia potencial total perdida pelo corpo e de que altura estava caindo.

Despreze os atritos nas polias, no eixo e no ar.

Dados: calor específico da água: $c=1\text{ cal/g }^{\circ}\text{C}$ $g=9,8\text{ m/s}^2$

- a) $E_p = 7000\text{J}$; $h = 0,5\text{m}$.
- b) $E_p = 29400\text{J}$; $h = 2\text{m}$.
- c) $E_p = 14700\text{J}$; $h = 5\text{m}$.
- d) $E_p = 7000\text{J}$; $h = 14\text{m}$.

4- (UNESP-95) Massas iguais de água e óleo foram aquecidas num calorímetro, separadamente, por meio de uma resistência elétrica que forneceu energia térmica com a mesma potência constante, ou seja, em intervalos de tempo iguais cada uma das massas recebeu a mesma quantidade de calor. Os gráficos na figura ao lado representam a temperatura desses líquidos no calorímetro em função do tempo, a partir do instante em que iniciou o aquecimento.



a) Qual das retas, I ou II, é a da água, sabendo-se que seu calor específico é maior que o do óleo? Justifique sua resposta.

b) Determine a razão entre os calores específicos da água e do óleo, usando os dados do gráfico.

5- (FUVEST-90) Um atleta envolve sua perna com uma bolsa de água quente, contendo 600g de água à temperatura inicial de 90°C. Após 4 horas ele observa que a temperatura da água é de 42°C. A perda média de energia da água por unidade de tempo é:

Dado: $c = 1,0 \text{ cal/g. } ^\circ\text{C}$

- a) 2,0 cal/s
- b) 18 cal/s
- c) 120 cal/s
- d) 8,4 cal/s

- 6- (FUVEST-92) Um recipiente contendo 3600g de água à temperatura inicial de 80°C é posto num local onde a temperatura ambiente permanece sempre igual a 20°C . Após 5 horas o recipiente e a água entram em equilíbrio térmico com o meio ambiente. Durante esse período, ao final de cada hora, as seguintes temperaturas foram registradas para a água: 55°C , 40°C , 30°C , 24°C , e 20°C . Adote: calor específico da água = $1 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$
- Faça um esboço indicando nos eixos valores do gráfico da temperatura da água em função do tempo.
 - Em média, quantas calorias por segundo, a água transferiu para o ambiente?

7- (FUVEST-91) Adote: calor específico da água: $1,0 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$

Calor de combustão é a quantidade de calor liberada na queima de uma unidade de massa do combustível. O calor de combustão do gás de cozinha é 6000 kcal/kg . Aproximadamente quantos litros de água à temperatura de 20°C podem ser aquecidos até a temperatura de 100°C com um bujão de gás de 13 kg ?

Despreze perdas de calor:

- 1 litro
- 10 litros
- 100 litros
- 1000 litros

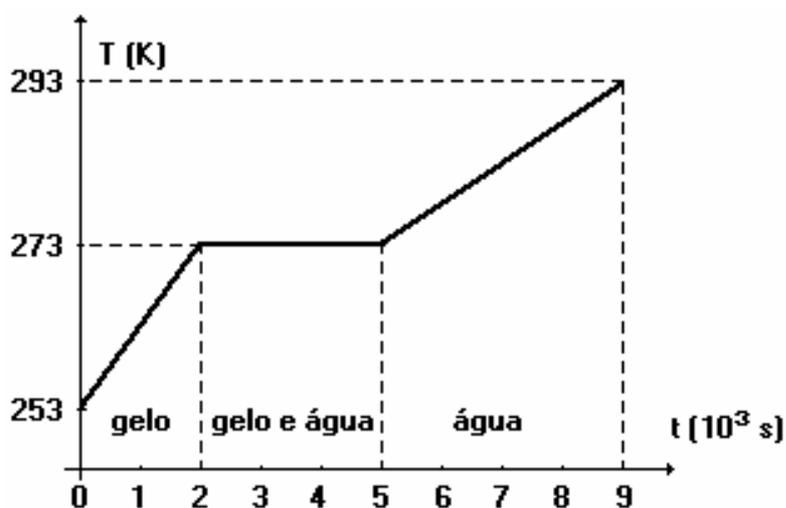
8- (UNESP-93) Sob pressão constante, eleva-se a temperatura de certa massa de gelo, inicialmente a 253K, por meio de transferência de calor à taxa constante, até que se obtenha água a 293K.

A partir do gráfico responda:

a) Qual é o maior calor específico? É o do gelo ou da água? Justifique.

b) Por que a temperatura permanece constante em 273K, durante parte do tempo?

(Descarte a hipótese de perda de calor para o ambiente).



9- (UNESP-96) Quando uma enfermeira coloca um termômetro clínico de mercúrio sob a língua de um paciente, por exemplo, ela sempre aguarda algum tempo antes de fazer a sua leitura. Esse intervalo de tempo é necessário

a) para que o termômetro entre em equilíbrio térmico com o corpo do paciente.

b) para que o mercúrio, que é muito pesado, possa subir pelo tubo capilar.

c) para que o mercúrio passe pelo estrangulamento do tubo capilar.

d) devido à diferença entre os valores do calor específico do mercúrio e do corpo humano.

- 10- (UNESP-96) Uma zelosa "mãe de primeira viagem" precisa preparar o banho do recém-nascido, mas não tem termômetro. Seu pediatra disse que a temperatura ideal para o banho é de 38°C . Ela mora à beira-mar e acabou de ouvir, pelo rádio, que a temperatura ambiente é de 32°C . Como uma boa estudante de Física, resolve misturar água fervente com água à temperatura ambiente, para obter a temperatura desejada.
- Enuncie o princípio físico em que se baseia o seu procedimento.
 - Suponha que ela dispõe de uma banheira com 10 litros de água à temperatura ambiente. Calcule qual é, aproximadamente, o volume de água fervente que ela deve misturar à água da banheira para obter a temperatura ideal. Admita como desprezível o calor absorvido pela banheira e que a água não transborde.
- 11- (FUVEST-89) Dois corpos A e B, inicialmente às temperaturas $\theta_A = 90^{\circ}\text{C}$ e $\theta_B = 20^{\circ}\text{C}$, são postos em contacto e isolados termicamente do meio ambiente. Eles atingem o equilíbrio térmico à temperatura de 45°C . Nessas condições, podemos afirmar que o corpo A:
- cedeu uma quantidade de calor maior do que a absorvida por B.
 - tem uma capacidade térmica menor do que a de B.
 - tem calor específico menor do que o de B.
 - tem massa menor que a de B.
- 12- (Interbits) Por que, nas regiões desérticas, a amplitude térmica (diferença entre a máxima e mínima temperaturas) é tão grande?

- 13- (UFMG-97) Uma batata recém-cozida, ao ser retirada da água quente, demora para se esfriar. Uma justificativa possível para esse fato pode ser dada afirmando-se que a batata tem:
- a) alta condutividade térmica.
 - b) alto calor específico.
 - c) baixa capacidade térmica.
 - d) baixa quantidade de energia interna.
- 14- (UNB-98) Um problema doméstico comum para os casais que têm filhos pequenos é o preparo da mamadeira. Frequentemente, o leite sofre aquecimento demasiado, atingindo temperatura acima da desejada. A mamadeira, após ser completada com o leite sobreaquecido, necessita ser submetida a algum processo de resfriamento. Considerando uma mamadeira comum de vidro nessas condições, julgue os itens abaixo, relativos aos fenômenos físicos envolvidos no processo.
- (1) Quando a mamadeira está tampada, o processo de resfriamento é devido somente à condução de calor, pois o vidro impede que haja radiação.
 - (2) O contato da mamadeira com ar, à temperatura ambiente, provoca pequenas correntes de convecção do ar à sua volta, o que facilita o resfriamento.
 - (3) Colocar a mamadeira na água gelada aumenta a velocidade do resfriamento porque a quantidade de calor dissipada por condução também aumenta.
 - (4) A evaporação torna o processo de resfriamento mais rápido.

15- (UNICAMP-94) Em um dia quente, um atleta corre dissipando 750W durante 30min. Suponha que ele só transfira essa energia para o meio externo através da evaporação do suor e que todo o seu suor seja aproveitado para sua refrigeração. Adote $L = 2.500\text{J/g}$ para o calor latente de evaporação da água na temperatura ambiente.

- a) Qual é a taxa de perda de água do atleta em kg/min?
- b) Quantos litros de água ele perde em 30min de corrida?

16- (FEI-95) Quando passamos éter sobre a pele, sentimos o local mais frio.

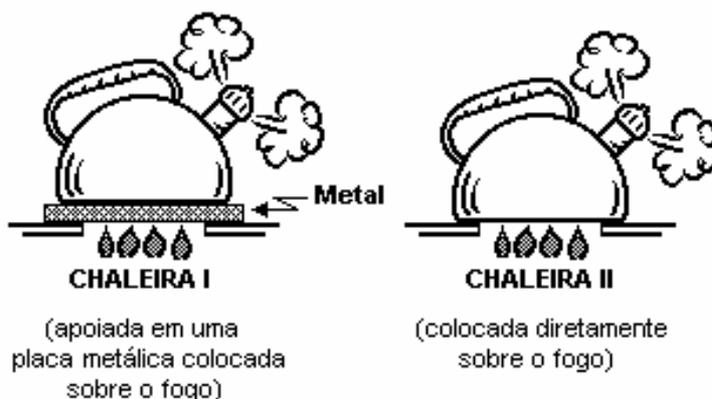
Isso acontece por que:

- a) o éter está a uma temperatura mais baixa que a pele
- b) o éter está a uma temperatura mais baixa que o ar
- c) o éter é muito volátil
- d) o éter absorve calor para se vaporizar

17- (UERJ-2002) Duas chaleiras idênticas, que começam a apitar no momento em que a água nelas contida entra em ebulição, são colocadas de duas formas distintas sobre o fogo, como indica a figura:

(Adaptado de EPSTEIN, Lewis C. "Thinking Physics". San Francisco: Insight Press, 1995)

Em um dado momento, em que ambas já estavam apitando, as chamas foram apagadas simultaneamente.

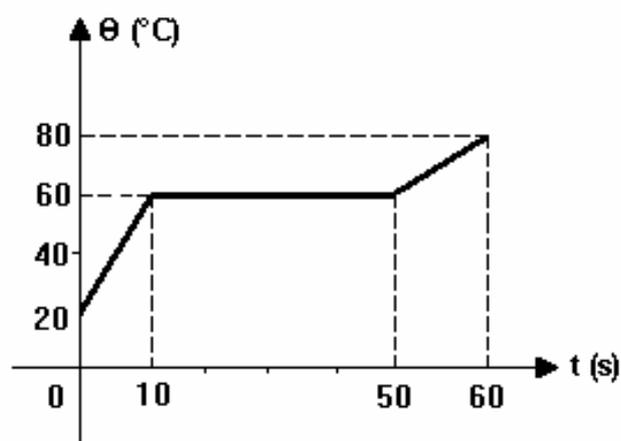


Assim, a situação relativa ao tempo de duração dos apitos das chaleiras e a explicação física do fenômeno estão descritas na seguinte alternativa:

- a) A chaleira I continuará apitando por mais tempo, pois a placa metálica está mais quente do que a água.
- b) Ambas as chaleiras deixam de apitar no mesmo instante, pois as chamas foram apagadas simultaneamente.
- c) Ambas as chaleiras deixam de apitar no mesmo instante, pois a temperatura da água nas duas é a mesma.
- d) A chaleira II continuará apitando por mais tempo, pois a capacidade térmica do metal é menor do que a da água.

18- Uma fonte térmica, de potência constante e igual a 20cal/s , fornece calor a um corpo sólido de massa 100g . A variação de temperatura θ do corpo em função do tempo t é dada pelo gráfico ao lado. Com relação à substância que constitui o corpo, o calor latente de fusão, em cal/g , vale:

- a) 2,0
- b) 4,0
- c) 8,0
- d) 20



19- (MACKENZIE-96) Quando um corpo recebe calor:

- a) sua temperatura necessariamente se eleva.
- b) sua capacidade térmica diminui.
- c) o calor específico da substância que o constitui aumenta.
- d) pode eventualmente mudar seu estado de agregação.

20- (Interbits) Faça a seguinte experiência:

Pegue um copo de vidro e coloque-o na posição mostrada na figura ao lado. Inspire pelo nariz e expire pela boca várias vezes até que o copo fique embaçado. Passe o dedo na parte interna do copo e perceba que ela está coberta por uma fina camada de água. De onde veio essa água? Por que ela se depositou no copo?



21- (PUC-MG/97) Analise fisicamente as afirmativas seguintes:

- I. Para derreter um bloco de gelo rapidamente, uma pessoa embrulhou-o num grosso cobertor.
- II. Para se conservar o chope geladinho por mais tempo, deve-se colocá-lo numa caneca de louça.
- III. Um aparelho de refrigeração de ar deve ser instalado em um local alto num escritório.

Assinale:

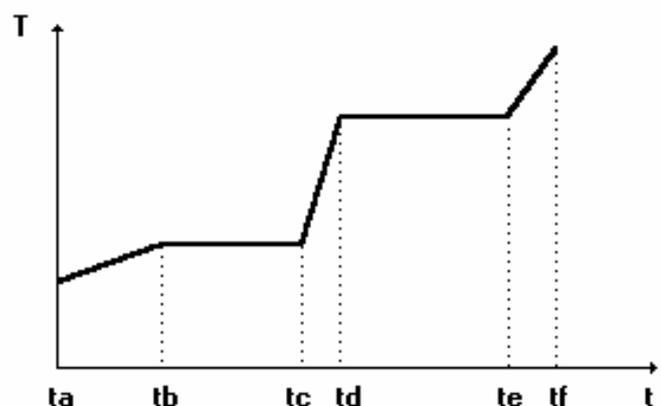
- a) se apenas I e II estiverem corretas.
- b) se apenas II e III estiverem corretas.
- c) se apenas I estiver correta.
- d) se apenas II estiver correta.

22- (CESGRANRIO-97) Em um calorímetro ideal, misturam-se uma certa massa de vapor d'água a 100°C com uma outra massa de gelo a 0°C , sob pressão que é mantida normal. Após alguns minutos, estabelece-se o equilíbrio térmico.

Dentre as opções a seguir, assinale a única que apresenta uma situação IMPOSSÍVEL para o equilíbrio térmico.

- a) Gelo e água a 0°C .
- b) Apenas água a 0°C .
- c) Apenas água a 100°C .
- d) Apenas vapor d'água a 100°C .

23- (UFRS-97) Uma amostra de certa substância sólida está contida em um recipiente e recebe calor de uma fonte térmica, a uma taxa constante em relação ao tempo. O gráfico representa, de forma qualitativa, a variação da temperatura (T)



da amostra em função do tempo (t), entre os instantes t_a e t_f .

Em qual dos intervalos assinalados no gráfico a amostra passa

gradativamente do estado sólido para o estado líquido?

- a) $t_a \rightarrow t_b$
- b) $t_b \rightarrow t_c$
- c) $t_c \rightarrow t_d$
- d) $t_d \rightarrow t_e$

24- (FUVEST-2000) Em um copo grande, termicamente isolado, contendo água à temperatura ambiente (25°C), são colocados 2 cubos de gelo a 0°C . A temperatura da água passa a ser, aproximadamente, de 1°C . Nas mesmas condições se, em vez de 2, fossem colocados 4 cubos de gelo iguais aos anteriores, ao ser atingido o equilíbrio, haveria no copo:

- a) apenas água acima de 0°C
- b) apenas água a 0°C
- c) gelo a 0°C e água acima de 0°C
- c) gelo a 0°C e água acima de 0°C

25- (UFSC-2000) Assinale a (s) proposição (ões) CORRETA(S)

- 01. A água é usada para refrigerar os motores de automóveis, porque o seu calor específico é maior do que o das outras substâncias.
- 02. A transpiração é um mecanismo de controle de temperatura, pois a evaporação do suor consome energia do corpo humano.
- 04. Devido à proximidade de grandes massas de água, em Florianópolis, as variações de temperatura entre o dia e a noite são pequenas ou bem menores do que em um deserto.
- 08. Em um deserto, a temperatura é muito elevada durante o dia e sofre

grande redução durante a noite, porque a areia tem um calor específico muito elevado.

16. Quando uma certa massa de água é aquecida de zero grau a 4 graus Celsius, o seu volume aumenta e a sua densidade diminui.

32. Em um mesmo local, a água numa panela ferve a uma temperatura maior, se ela estiver destampada.

26- (UFMS-2001) Assinale a alternativa que completa corretamente o sentido das frases.

Costuma-se soprar sobre a superfície de um líquido quente para que ele esfrie. Esse procedimento está correto: a pressão dos vapores _____, acarretando que a velocidade de evaporação do líquido _____ e que a temperatura do líquido _____ pois uma parcela da energia foi consumida na evaporação.

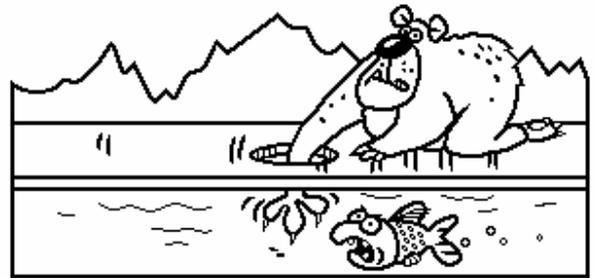
a) diminui - aumenta - diminui

b) diminui - diminui - diminui

c) diminui - aumenta - aumenta

d) aumenta - aumenta – aumenta.

27- (UFPEL-2000) Todos sabemos que é essencial a presença de água para assegurar a existência de vida em nosso planeta. Um comportamento específico dessa importante substância garante, por exemplo, que o "simpático" urso da figura tente



Física e Realidade

garantir sua refeição, apanhando o peixinho que nada em um lago, abaixo da camada de gelo.

A formação dessa camada de gelo na superfície do lago, permitindo que a fauna e a flora permaneçam vivas em seu interior líquido, deve-se:

- a) à dilatação irregular da água, que atinge densidade máxima à temperatura de 4°C .
- b) ao elevado calor específico da água, que cede grandes quantidades de calor ao sofrer resfriamento.
- c) à grande condutividade térmica do gelo, que permite ao sol continuar a aquecer a água do lago.
- d) à temperatura de solidificação da água, que permanece igual a 0°C , independente da pressão a que ela está submetida.

4- TERMODINÂMICA

A chegada da energia a vapor e a Revolução Industrial levaram muitos cientistas do século XIX a procurar maneiras de tornar as novas máquinas ainda mais eficientes.

A tecnologia trouxe grandes melhorias ao projeto do motor a vapor, particularmente aos motores projetados pelo engenheiro escocês James Watt (1736-1819). O que o motor a vapor faz, basicamente, é retirar o calor de uma fonte de calor, sua caldeira, e transformar parte dele em trabalho útil. Contudo, até 95% da energia térmica derivada do combustível queimado para movimentar o motor é perdida. Os cientistas achavam que o único limite à quantidade de trabalho que poderia ser realizado estava na quantidade de combustível que poderia ser queimado para realizá-lo. Surpreendentemente, não havia nenhuma compreensão científica sobre como a energia térmica era convertida em trabalho pelo motor a vapor. Esse conhecimento permitiria que os engenheiros construíssem motores mais eficientes.

Uma das primeiras pessoas a voltar-se para o problema foi o cientista francês Nicolas Sadi Carnot (1796-1832). Em 1824, ele publicou ***Reflexões sobre o poder motor do fogo***, o primeiro livro da nova ciência que passou a ser chamada de ***Termodinâmica***. Esse estudo da ligação entre calor e trabalho recebeu seu nome das palavras gregas que significam “o movimento do calor”.

Carnot descreveu como funcionaria o motor perfeito e mostrou como sua eficiência dependeria do calor que flui de um corpo quente para um corpo frio. Em um motor a vapor o calor flui da caldeira, onde é formado o vapor, para uma câmara fria, onde ele se condensa, tornando-se água novamente. A diferença de temperatura entre a caldeira e a câmara fria determina o bom rendimento do

motor. Não importa se a temperatura entre os dois limites muda rápida ou lentamente ou se ela decresce em etapa ou gradativamente. O trabalho de Carnot mostrou que um motor 100% eficiente é um sonho impossível. (Energia – Horizonte da Ciência: Robert Snedden. Ed. Moderna).

RENDIMENTO X CONFORTO

O rendimento de um carro, ou seja, a taxa de trabalho realizado em relação à energia total disponível, varia conforme os opcionais instalados para dar mais conforto ao motorista e passageiros. Um carro com o condicionador de ar ligado, por exemplo, gasta mais combustível do que se o condicionador estivesse desligado. Por isso, muitas vezes um maior conforto implica um rendimento menor.

Podemos definir a **Termodinâmica** como sendo a parte da Física que estuda a relação entre o calor e o trabalho realizado num processo termodinâmico.

VARIÁVEIS DE ESTADO DE UM GÁS

Para que possamos estudar um gás, é necessário, como já foi visto, confiná-lo em um recipiente. Todavia, algumas grandezas podem ser alteradas nesse estudo:

- **Pressão (p):** É associada às colisões entre as partículas que constituem o gás e as paredes do recipiente que o contém.
- **Volume (V):** Associa-se ao volume do recipiente. Um gás ocupa todo o volume do recipiente que o contém.
- **Temperatura (T):** Dada em Kelvin (K), é associada ao grau de agitação dessas partículas.

ENERGIA INTERNA DE UM GÁS IDEAL

A energia interna de um dado número de mols de um gás ideal é diretamente proporcional à sua temperatura absoluta. No entanto, é importante trabalharmos com a variação da energia interna de um gás e não propriamente com a energia.

Essa variação é dada por:
$$\Delta U = \frac{3}{2} nR\Delta T$$

Onde n é o número de mols do gás, R é a constante universal dos gases perfeitos ($R = 8,31 \text{ J/mol.K}$) e ΔT , a variação de temperatura em Kelvin.

Quando $\Delta U > 0$ a energia interna aumenta, a temperatura aumenta.

$\Delta U < 0$ a energia interna diminui, a temperatura diminui.

$\Delta U = 0$ a energia interna não varia, não há variação de temperatura.

A HISTÓRIA ANTIGA DA CONSERVAÇÃO DE ENERGIA

Por: Donald R. Wulfinhoff

Trad: Zanoni Tadeu

A necessidade de conservar energia é tão velha quanto o seu uso. Durante a maior parte da história da humanidade, o uso de energia esteve limitado à quantidade de trabalho que poderia ser feito por seres humanos, normalmente sozinhos e algumas vezes em grandes grupos. Mais tarde, os homens aprenderam a usar animais e grupos de animais para realizar tarefas que requeriam força para carregar ou levantar grandes pesos. Ora, nem os humanos nem os animais gostam de trabalho pesado. A aversão ao trabalho motivou fortemente a conservação de energia desde o princípio. No princípio, conservar energia significava fazer menos; portanto, foi necessário o uso da inteligência de modo a encontrar uma maneira mais fácil de ter o trabalho feito. Por exemplo, a invenção da roda foi um avanço na conservação de energia.

Além dos músculos, **o fogo** é a mais antiga fonte de energia que é controlada pelos humanos. Desde a pré-história o fogo tem sido usado para cozinhar, aquecer moradias, endurecer ponta de lanças, queimar cerâmicas, limpar a terra, fundir e moldar metais entre outras aplicações. Fogueiras controladas requeriam um considerável esforço para conseguir combustível, então a eficiência só apareceu com o uso do combustível. Fornos fogões de muitas culturas antigas eram bastante eficientes no uso do combustível. Os índios da América do Norte, por exemplo, descobriram maneiras de usar muito menos combustível para aquecimento de suas casas do que os imigrantes europeus.

A máquina a vapor foi outra aplicação do fogo. Ela foi posta em prática pela primeira vez no século XVIII. Seu desenvolvimento foi revolucionário por várias razões – permitiu ao fogo produzir trabalho mecânico, foi a primeira invenção capaz de produzir trabalho mecânico em qualquer lugar, seja terra ou mar, e virtualmente qualquer quantidade de trabalho podia ser feito construindo-se máquinas maiores.

Como máquinas a vapor podem operar sempre que o trabalho seja necessário, independente do clima, podemos dizer que a máquina a vapor criou a civilização moderna. Entretanto, essas máquinas precisam de combustível, ao contrário das rodas d'água e moinhos de vento. A habilidade dos mecânicos em construir máquinas a vapor cada vez maiores, e o crescimento das aplicações de tais máquinas levou a uma rápida demanda por combustível, o que em pouco tempo não podia mais ser satisfeito pelas reservas de madeira nas vizinhanças por maiores que essas reservas fossem. Desse modo, o custo do combustível passou a ser um fator limitante para o uso das máquinas a vapor. Como decorrência disso, a eficiência logo cedo se tornou uma questão fundamental no projeto das máquinas. De fato, durante os séculos XVIII e XIX, o que hoje chamamos de engenharia mecânica era simplesmente uma grande busca por maior eficiência. James Watt e muitos outros construtores de máquinas melhoraram a eficiência a partir de bases empíricas, enquanto tentavam entender a física que estava por trás daquilo. Sadi Carnot criou a primeira base teórica sólida para o entendimento da eficiência energética. Durante o século XIX, Sadi Carnot explicou a Segunda Lei da Termodinâmica que coloca um limite teórico severo à eficiência na transformação de calor em trabalho mecânico.

Novas fontes de combustível foram descobertas e desenvolvidas em paralelo com o desenvolvimento e a produção de máquinas. Foi uma feliz

coincidência. As máquinas a vapor tornaram a mineração do carvão muito mais produtiva. A extração de petróleo em quantidade foi desenvolvida em meados do século XIX antes mesmo das pessoas saberem o que fazer com a enorme quantidade produzida. No entanto, o desenvolvimento dos motores de combustão interna logo forneceu um grande mercado para o petróleo, que mais tarde encontrou aplicação também como combustível primário para máquinas a vapor. Com o petróleo veio o gás natural, inicialmente um perigoso rejeito da produção do óleo. Sua descoberta em grande quantidade também motivou as pessoas a desenvolver usos para ele.

A energia elétrica apareceu no final do século XIX, especificamente como iluminação; entretanto, as lâmpadas permaneceram ineficientes até a comercialização das lâmpadas fluorescentes pouco antes da Segunda Guerra Mundial. O desenvolvimento de motores elétricos práticos, principalmente por Nikola Tesla, ocorreu no final do século XIX. Isso expandiu enormemente as formas de uso para a energia mecânica e libertou o usuário individual de energia de ter sua própria usina de vapor.

A energia mecânica dos motores poderia agora ser usada em qualquer lugar até mesmo para aplicações muito pequenas. A invenção de inúmeras máquinas pequenas e de dispositivos para economizar trabalho tornou a “energia” uma mercadoria (commodity) no começo do século XX.

Ao contrário da evolução dos equipamentos mecânicos, o desenvolvimento dos equipamentos elétricos foi largamente baseado em teoria. Todos os motores elétricos práticos eram eficientes, pelo menos em comparação com as máquinas movidas a combustível. Entretanto, a eficiência das aplicações servidas com motores elétricos de corrente alternada de baixo custo era limitada pelo fato de que esses motores eram dispositivos de uma única velocidade. Motores eficientes de velocidade variável foram

desenvolvidos anteriormente, mas com sérias limitações de custo e manutenção.

No começo do século XX, o consumo de energia *per capita* estava acelerando, enquanto a população consumidora de energia também crescia rapidamente. Os eletrodomésticos substituíam os músculos nas casas. As máquinas aumentavam a produção nas fábricas e na agricultura, os automóveis transformaram o transporte no maior consumidor de combustível e este substituiu o vento na propulsão de navios. O transporte aéreo tornou-se um novo usuário de combustível, enquanto a disponibilidade do suprimento de energia continuou a crescer confortavelmente acima da demanda. Enormes usinas hidrelétricas foram construídas para gerar empregos durante a Grande Depressão no final dos anos 20.

A geração de eletricidade por fissão nuclear apareceu como um subproduto das armas nucleares, convertendo-se na maior fonte de energia a partir dos anos 50.

Até o começo dos anos 70, havia uma concepção muito popular de que haveria uma diminuição constante dos preços de energia. Os defensores da energia nuclear, por exemplo, falavam de uma energia tão barata que não valeria a pena medir o consumo. Como resultado disso a eficiência deixou de ser a maior preocupação dos engenheiros projetistas dos equipamentos elétricos e enfraqueceu-se como uma preocupação do público e dos governos.

Fonte: Electronic Green Journal –Dez. 2000. Vol. 13. *The Modern History of Energy Conservation: An Overview for Information Professionals.*

PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA

A Primeira Lei da Termodinâmica está baseada no Princípio de Conservação de Energia. O físico Michael Faraday demonstrou que a energia gerada por uma bateria, que é um gerador eletroquímico, está diretamente relacionada com a quantidade de metal consumido no processo de transformação de energia química em energia elétrica, enquanto a bateria está em funcionamento. Enquanto isso, o físico inglês James Prescott Joule (1818-1889) mostrou que a quantidade de calor produzida pela energia elétrica dessa bateria era a mesma obtida pela queima de uma massa igual à do metal utilizado na reação química na bateria, comprovando, desse modo, a conservação de energia.

No entanto, não se sabia ao certo de onde provinha o calor gerado durante a conversão de energia mecânica em elétrica nos geradores elétricos. Entre 1843 e 1847, Joule realizou várias experiências, concluindo que o calor produzido com a utilização de ímãs nesses geradores era devido ao movimento mecânico das partes móveis do gerador. Ele mediu o trabalho necessário para acionar o gerador e comparou com a quantidade de calor gerado pela corrente elétrica que este produzia, e concluiu que uma certa quantidade de trabalho produzia sempre a mesma quantidade de calor. Essa descoberta foi a base científica para a formulação da **Primeira Lei da Termodinâmica**.

A Primeira Lei da Termodinâmica é uma aplicação do Princípio da Conservação de Energia.

Podemos então enunciá-la como:

A variação da energia interna ΔU de um gás, num processo termodinâmico, é dada pela diferença entre a quantidade de calor Q trocada com o meio ambiente e o trabalho τ realizado no processo.

$$\Delta U = Q - \tau$$

Calor trocado

$Q > 0$ quantidade de calor recebida pelo sistema

$Q < 0$ quantidade de calor cedida pelo sistema.

Trabalho realizado

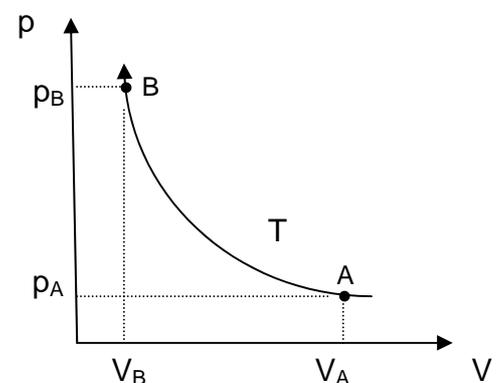
$\tau > 0$ trabalho realizado pelo sistema, ou seja, sobre o ambiente (expansão).

$\tau < 0$ trabalho realizado sobre o sistema pelo ambiente (compressão).

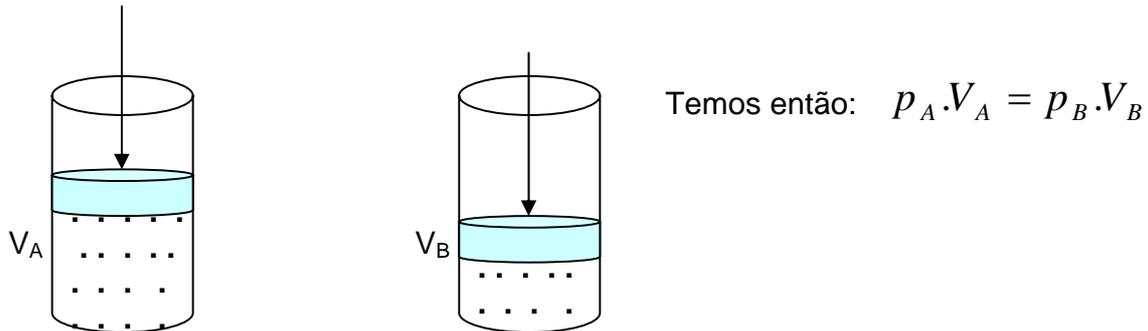
4.1. TRANSFORMAÇÕES TERMODINÂMICAS

4.1.1. Transformação isotérmica: ocorre à temperatura constante.

A curva mostrada é denominada **isoterma**, pois todos os pontos sobre ela representam a mesma temperatura. Observe que se o gás sai da situação inicial A para a situação final B, sobre a mesma isoterma, a temperatura permanece a mesma, o volume diminui e a pressão aumenta.



Podemos exemplificar isso se comprimirmos lentamente um gás no interior de um cilindro de maneira a manter constante a temperatura. Como mostra a figura a seguir, sua pressão vai gradativamente aumentando; portanto, a pressão e o volume são inversamente proporcionais.



Nesse caso, como não há variação de temperatura, não há variação de energia interna ($\Delta U = 0$). Portanto, $Q = \tau$. E o calor trocado com o ambiente é utilizado para realizar trabalho.

8ª EXPERIÊNCIA: TERMODINÂMICA (Lei de Boyle) – Transformação Isotérmica

a) Material a ser utilizado:

. Seringa de injeção, de vidro (sem agulha).

b) Procedimentos / Questionamentos

1) Vede com um dedo a extremidade da seringa e pressione a outra extremidade. Explique como se comporta a pressão em função do volume:

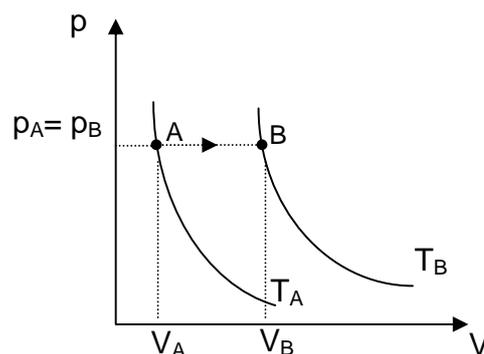
2) Faça um esboço gráfico de como varia a pressão em função do volume de um gás



4.1.2. Transformação isobárica: é aquela efetuada à pressão constante.

Observe que se o gás, no gráfico ao lado, sai da situação A para a situação B, a pressão se mantém constante. Porém, o volume e a temperatura aumentam.

Nas transformações isobáricas, temos:



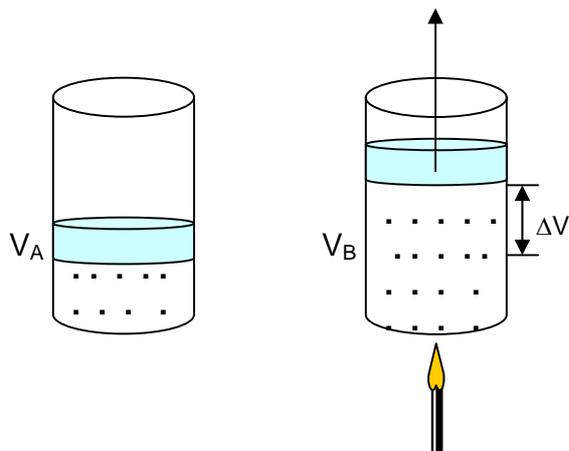
➤ a pressão constante;

➤ o volume diretamente proporcional à temperatura absoluta. $\frac{V_A}{T_A} = \frac{V_B}{T_B}$

Pelo gráfico, pode-se observar que, numa transformação isobárica, sempre há variação de temperatura, conseqüentemente, ocorre variação interna do gás, ou seja, $\Delta U \neq 0$. Dessa maneira, podemos concluir que a quantidade de calor trocada com o ambiente e o trabalho realizado na transformação são diferentes ($Q \neq \tau$).

Vejam agora como se comporta um gás na realização de um trabalho numa transformação isobárica.

Aqueçamos um gás confinado em um cilindro dotado de um êmbolo móvel. Ao ser aquecido, o gás se expande elevando o êmbolo, realizando trabalho desse modo.



Desenvolvimento

$$\tau = F \cdot d \quad F = p \cdot A$$

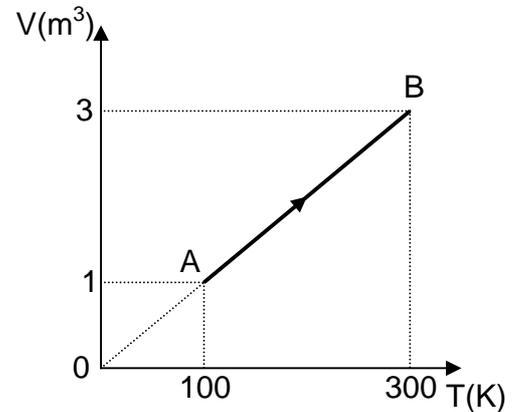
$$\tau = p \cdot A \cdot d$$

Podemos notar que $A \cdot d$ corresponde à variação de volume, portanto:

$$\tau = p \cdot \Delta V$$

Exemplo:

1- Uma amostra de gás perfeito sofre uma transformação isobárica sob pressão de 60 N/m^2 , como ilustra o diagrama. Admita que, na transformação, o gás recebe uma quantidade de calor de 300 J . Qual deve ser a variação interna de energia?



$$\Delta U = Q - \tau \quad \tau = F \cdot d = p \cdot A \cdot d = p \cdot \Delta V$$

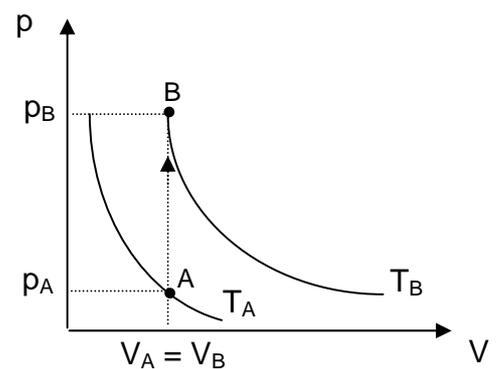
$$\Delta U = 300 - 60(3 - 1) \quad \Delta U = 120 \text{ J}$$

4.1.3. Transformação isométrica:

Nas transformações isométricas temos:

- o volume constante, portanto $\tau = 0$;
- a pressão diretamente proporcional à

temperatura absoluta. $\frac{p_A}{T_A} = \frac{p_B}{T_B}$

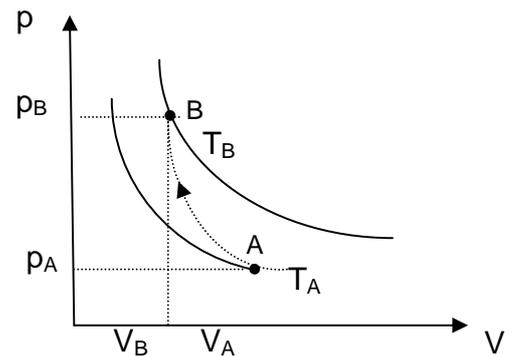


Como não há variação de volume, não há trabalho ($\tau = 0$) realizado, portanto, temos: $\Delta U = Q$

Baseando-se nessa transformação, você seria capaz de explicar o funcionamento de uma panela de pressão?

4.1.4. Transformação adiabática: você pode notar que, nas transformações apresentadas até aqui, uma das grandezas sempre permanece constante. Na transformação adiabática, todas as grandezas – pressão, temperatura e volume – variam. A característica da transformação adiabática é que não há troca de calor com o meio ambiente.

- Não há troca de calor entre o gás e o meio ambiente.
- Ocorre variação de volume, temperatura e pressão ao mesmo tempo.



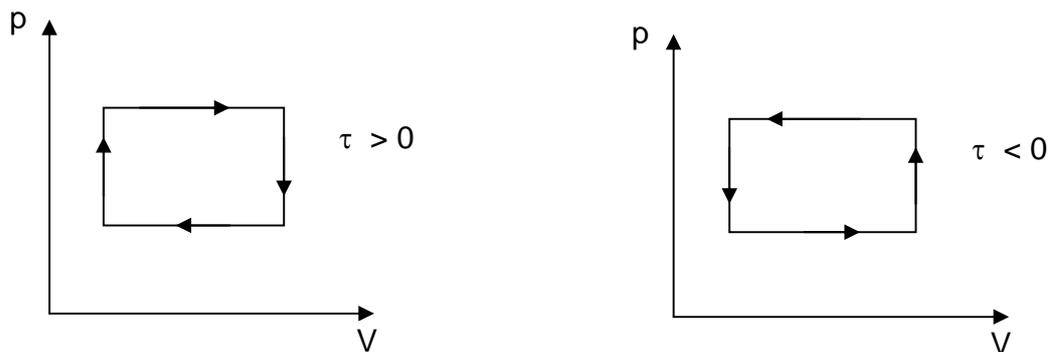
Desse modo, temos: $\Delta U = - \tau$

EQUAÇÃO GERAL DOS GASES PERFEITOS

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

4.1.5. Transformação cíclica: ocorre quando o gás, após ter efetuado uma série de transformações, retorna à situação inicial.

Dessa maneira, não há variação de energia interna do sistema.



O trabalho é dado pela área do ciclo. Quando a transformação for no sentido horário, o trabalho será positivo, ou seja, haverá conversão de calor em trabalho. Quando o sentido for anti-horário, o trabalho será negativo, pois haverá conversão de trabalho em calor.

9ª EXPERIÊNCIA: Lei de Gay-Lussac

a) Material a ser utilizado:

- . balão de vidro de 500ml com rolha furada
- . mangueira
- . tubo de vidro fino
- . rolha para o balão de vidro
- . seringa de injeção de vidro sem agulha
- . fogareiro elétrico

b) Procedimentos / Questionamentos:

1) Em que condições o corpo humano é uma fonte de calor?

2) Como é possível, com o calor do corpo humano, um gás se expandir?

3) Faça uma montagem, segurando o balão de vidro e o tubo. Ocorre saída de ar pela extremidade do tubo de vidro? Justifique.

4) Coloque água no tubo capilar e ajuste o tubo ao balão de vidro, segurando-o com as mãos. Observe e descreva o que acontece com a coluna de água.

5) Descreva e explique o comportamento do ar dentro do balão de vidro.

6) É possível, de acordo com a montagem, entrar água dentro do balão de vidro? Justifique.

7) Usando a mesma montagem, molhe o balão de vidro com água gelada. Observe e descreva o comportamento da água e do ar dentro do balão.

ENTROPIA E A MORTE TÉRMICA DO UNIVERSO

O matemático irlandês-escocês William Thomson (1824-1907), que mais tarde tornou-se o Lorde Kelvin, enunciou a Segunda Lei da Termodinâmica em 1851. Segundo essa lei, o trabalho mecânico tende a se transformar em calor, mas o oposto não ocorre. Toda vez que fazemos algo, um pouco da energia que usamos se perde na forma de calor. Em 1865, o físico alemão Rudolf Clausius (1822-1888) introduziu um conceito que ele chamou de *Entropia*, palavra derivada do grego, a qual significa “mudança de forma”. Ele afirmou

que a entropia está sempre crescendo e que ela atinge seu ponto mais alto quando não há mais a possibilidade de se realizar trabalho, ou seja, quando toda a energia mecânica já foi transformada em calor.

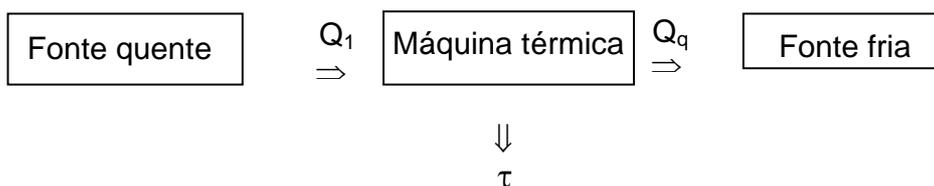
Clausius conseguiu relacionar as leis da termodinâmica ao Universo como um todo. Ele o fez considerando o Universo como um sistema fechado. A Primeira Lei afirma que o total de energia no Universo é constante. Já a Segunda, que a entropia total do Universo cresce constantemente. Helmholtz supunha que esse processo levaria a um Universo onde um dia toda a energia estaria dispersa na forma de calor, onde não haveria a possibilidade de quaisquer alterações futuras e onde toda a vida já teria desaparecido há muito tempo. Essa idéia passou a ser conhecida como *a morte por calor do Universo*.

SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA

A Segunda Lei estabelece que a energia é sempre conservada, não importando a forma em que se apresenta.

Portanto, é impossível a construção de uma máquina que opere em ciclos, tendo como efeito único retirar calor de uma fonte térmica e convertê-lo integralmente em trabalho.

O esquema a seguir mostra que, quando uma certa quantidade de calor é retirada de uma fonte quente, parte desse calor é utilizado para realizar trabalho por uma máquina térmica, e parte é perdida para uma fonte fria.



Q_1 - Calor cedido pela fonte quente

Q_2 - Calor rejeitado à fonte fria

τ - Trabalho realizado

Pela conservação de energia temos: $Q_1 = \tau + Q_2$. Já o trabalho realizado pela máquina térmica é dado por: $\tau = Q_1 - Q_2$

Um exemplo prático de aplicação de uma máquina térmica é o motor de automóvel à explosão (veja a figura a seguir).



A mistura trabalhante é o vapor do combustível juntamente com oxigênio. A fonte quente é obtida através da combustão da mistura, ao ser atingida pela faísca proveniente da centelha na vela. A fonte fria é o meio ambiente, onde é dissipado o calor não utilizado pelo motor.

RENDIMENTO

O rendimento nada mais é do que uma relação comparativa entre o trabalho realizado pela máquina térmica e o calor recebido para essa realização.

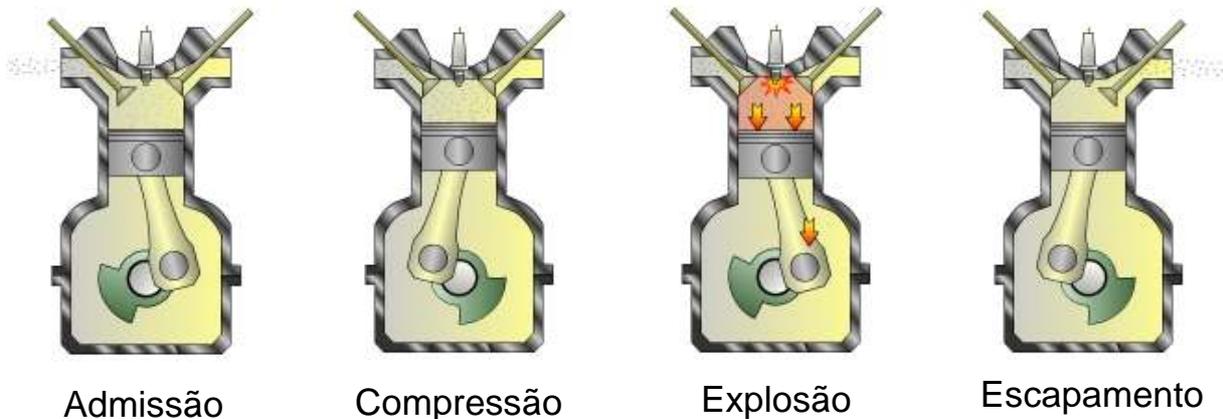
O rendimento (geralmente dado em percentuais) é obtido dividindo-se o trabalho realizado pela máquina pelo calor total recebido da fonte quente.

$$\eta = \frac{\tau}{Q_1}$$

Por exemplo, $\eta = 0,65$ corresponde a um rendimento de 65%.

MOTOR A QUATRO TEMPOS

As figuras a seguir representam os processos de funcionamento de um motor de automóvel a quatro tempos.



- No primeiro tempo, denominado *Admissão*, abre-se a válvula de admissão, enquanto o pistão desce, permitindo a entrada da mistura combustível.
- No segundo tempo, denominado de *Compressão*, o pistão sobe, comprimindo a mistura combustível na câmara de combustão, elevando a sua temperatura. Nesse momento, as válvulas *A* – de admissão de combustível – e *B* – de escapamento do resultado da combustão – encontram-se fechadas. Esse aumento de temperatura facilita a combustão interna da mistura.
- No terceiro tempo, denominado de *Explosão* ou *Tempo Motor*, ocorre explosão da mistura combustível devido à centelha elétrica produzida pela vela na câmara de combustão. Esse é o tempo em que o motor efetivamente está realizando trabalho, pois os gases expandem-se, à pressão elevada, movimentando o pistão. O virabrequim, conectado ao pistão, transforma esse movimento linear em movimento de rotação, comunicando-o às rodas.
- No quarto tempo, denominado *Escapamento*, abre-se a válvula *B*, enquanto o pistão sobe, permitindo a saída dos gases da explosão pelo sistema de escapamento (cano de escape).

Podemos ainda obter o rendimento do seguinte modo: $\eta = \frac{\tau}{Q_1}$ onde $\tau = Q_1 - Q_2$

Temos então $\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{Q_1}{Q_1} - \frac{Q_2}{Q_1}$ Resolvendo isso teremos: $\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$

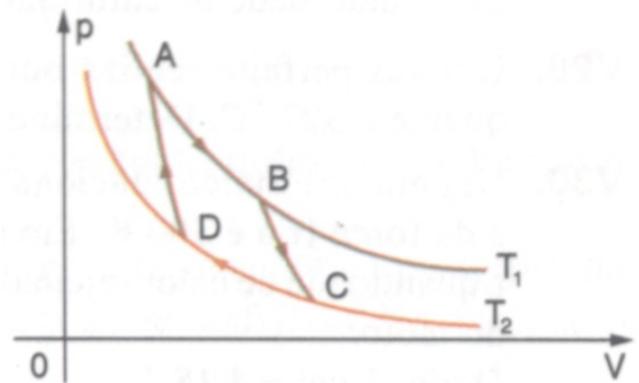
Como as quantidades de calor são proporcionais às respectivas temperaturas, podemos obter: $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$ Portanto, é possível obter o rendimento de um

sistema térmico, conhecendo-se duas temperaturas distintas. Esse rendimento será tanto maior quanto maior for a diferença entre essas temperaturas.

CICLO DE CARNOT

É uma máquina teórica, idealizada pelo físico francês Nicolas Sadi Carnot (1796-1832) que, operando em ciclos (ciclo de Carnot), permite obter o máximo rendimento.

O Ciclo de Carnot, mostrado ao lado, é constituído de duas transformações isotérmicas (AB e CD) e duas adiabáticas (BC e DA).



10ª EXPERIÊNCIA: Máquina Térmica

a) Material a ser utilizado:

- . fonte térmica
- . latinhas de refrigerante
- . lata de leite
- . cola superbonder
- . cola durepoxi
- . estilete ou tesoura
- . água
- . cano metálico pequeno
- . régua

b) Procedimentos / Questionamentos:

1. Como o calor pode produzir movimento de uma máquina?

2. Faça a montagem de sua máquina térmica de acordo com o modelo apresentado pelo professor.

3. Coloque sua máquina sobre a fonte térmica e explique como ocorre a conversão do calor em trabalho.

4. Fale sobre o funcionamento e rendimento de sua máquina.

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1- A energia interna U de uma certa quantidade de gás, que se comporta como gás ideal, contida em um recipiente, é proporcional à temperatura T , e seu valor pode ser calculado utilizando a expressão $U = 12,5T$. A temperatura deve ser expressa em kelvins e a energia em joules. Se o gás, inicialmente está à temperatura $T = 300\text{ K}$, e recebe 1.250 J de uma fonte de calor, em uma transformação a volume constante, qual será sua temperatura final?

Resolução: Energia interna inicial: $U = 12,5T \Rightarrow U = 12,5 \cdot 300 = 3.750\text{ J}$

Energia recebida: $U = 1.250\text{ J}$

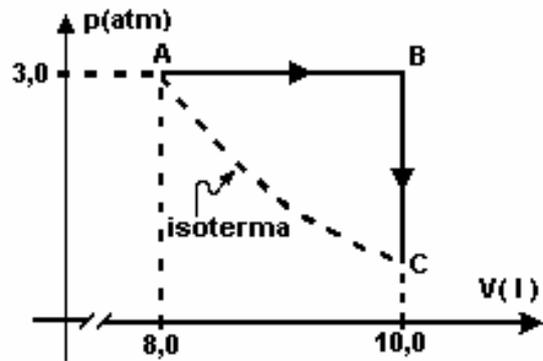
Energia total: $U_T = 3.750 + 1.250 = 5.000\text{ J} \Rightarrow 5.000 = 12,5 \cdot T_f$

$$T_f = 400\text{ K}$$

2- O rendimento de uma máquina térmica é de 20%. Se, em cada ciclo, a máquina recebe da fonte quente 200 J de calor, qual o trabalho realizado por ela, por ciclo?

Resolução: $\eta = \frac{\tau}{Q} \Rightarrow 0,2 = \frac{\tau}{200} \Rightarrow \tau = 40J$

3- (UNICAMP-91) Um mol de gás ideal sofre transformação A → B → C indicada no diagrama pressão x volume da figura ao lado.



- Qual é a temperatura do gás no estado A?
- Qual é o trabalho realizado pelo gás na expansão A → B?
- Qual é a temperatura do gás no estado C?

Dado: R (constante dos gases) = 0,082 atm.L / mol.K

$$1 \text{ atm} = 1,01 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2 \quad 1 \text{ L} = 10^{-3} \text{ m}^3$$

Resolução:

$$a) p \cdot V = n \cdot R \cdot T \Rightarrow 3 \text{ atm} \cdot 8 \text{ L} = 1 \text{ mol} \cdot 0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot T \Rightarrow T \cong 292,7 \text{ K}$$

$$b) \tau \stackrel{n}{=} \text{área} \Rightarrow \tau = 2 \text{ L} \cdot 3 \text{ atm} = 6 \text{ atm} \cdot \text{L}$$

$$\tau = 6 \cdot 1,01 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cong 6,1 \cdot 10^2 \text{ N} \cdot \text{m} = 6,1 \cdot 10^2 \text{ J}$$

$$c) T_C = T_A = 292,7 \text{ K} \quad \text{pois A e C estão sobre a mesma isoterma.}$$

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO

TERMODINÂMICA

1- (Interbits) Diferencie Energia Interna de Temperatura.

2- (Interbits) Por que é errado dizer que um corpo CONTÉM calor?

3- (UFRN-2002) Manoel estava se preparando para a "pelada" dos sábados, quando notou que a bola de futebol estava vazia. Para resolver essa pequena dificuldade, pegou uma bomba manual e encheu a bola comprimindo rapidamente o êmbolo da bomba.

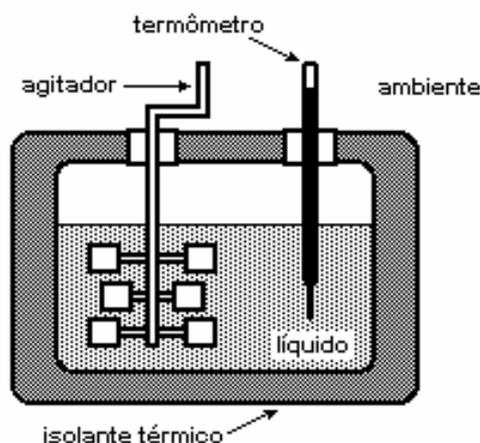
Considerando que:

- o ar contido na bomba é o sistema termodinâmico;
- o ar passa da bomba para o interior da bola após completar cada compressão;

Podemos afirmar que, numa dada compressão,

- a) a compressão do ar é um processo reversível.
- b) o processo de compressão do ar é isotérmico.
- c) a energia interna do ar aumenta.
- d) a pressão do ar permanece constante durante o processo.

3- (UFV-2000) Um líquido encontra-se, inicialmente, à temperatura T_0 , pressão P_0 e volume V_0 , em um recipiente fechado e isolado termicamente do ambiente, conforme ilustra a figura a seguir.

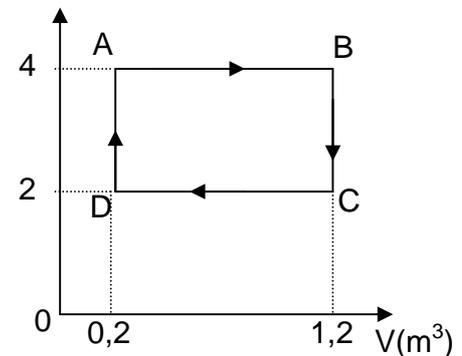


Após se acionar um agitador, imerso no líquido, verifica-se que a temperatura do líquido aumenta para um valor T . São desprezíveis as capacidades térmicas do calorímetro, do termômetro e do agitador. Supondo constante o calor específico c do líquido no intervalo de temperatura considerado, o módulo do trabalho realizado pelo agitador sobre o líquido terá sido, aproximadamente:

- a) $P_0 V_0 - m c (T - T_0)$
- b) $P_0 V_0$
- c) $m c (T - T_0)$
- d) $m c (T - T_0) / P_0 V_0$

5- Uma certa quantidade de um gás ideal realiza o ciclo ABCDA representado na figura. Nas sentenças a seguir, assinale falso (F) ou verdadeiro (V).

$P(10^2 \text{ N/m}^2)$



I- No percurso AB, o trabalho realizado pelo gás é igual a $4 \cdot 10^2 \text{ J}$.

II- No percurso BC, o trabalho realizado é nulo.

III- No percurso CD, ocorre aumento de energia interna.

IV- Ao completar cada ciclo, há conversão de calor em trabalho.

V- Utilizando-se esse ciclo em uma máquina, de modo que o gás realize quatro ciclos por segundo, a potência dessa máquina será igual a $8 \cdot 10^2 \text{ W}$.

6- Um cilindro contém oxigênio à pressão de 2 atmosferas e ocupa um volume de 3 litros à temperatura de 300 K. O gás, cujo comportamento é considerado ideal, executa um ciclo termodinâmico através dos seguintes processos:

Processo 1-2: aquecimento a pressão constante até 500 K.

Processo 2-3: resfriamento a volume constante até 250 K.

Processo 3-4: resfriamento a pressão constante até 150 K.

Processo 4-1: aquecimento a volume constante até 300 K.

Ilustre os processos em um diagrama pressão versus volume e determine o trabalho realizado pelo gás, em joules, durante o ciclo descrito acima.

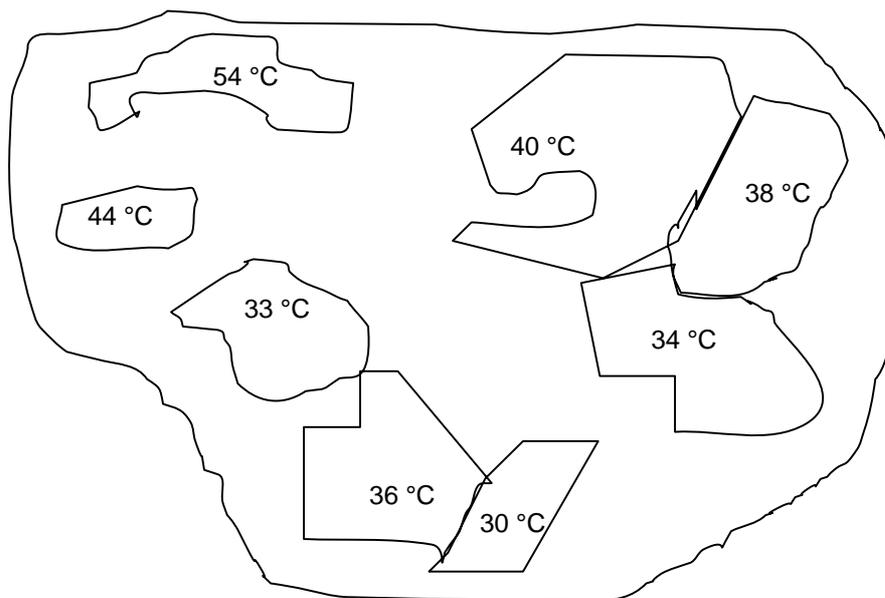
Determine ainda o calor líquido. Dado: $1 \text{ atm} = 10^5 \text{ N/m}^2$ $1 \text{ litro} = 10^{-3} \text{ m}^3$

7- (UFRN-99) O mapa a seguir representa trecho do parque aquático do Hotel Thermas em Mossoró, constituído por piscinas térmicas. No local de cada piscina, está indicada, em graus centígrados, a temperatura média de suas águas.

Teresa deseja construir uma máquina térmica aproveitando a diferença de temperatura entre duas dessas piscinas. Sabendo-se que o rendimento máximo, $\eta_{\text{máx}}$, de uma máquina térmica que trabalha entre temperaturas

absolutas T_q da fonte quente e T_f da fonte fria é obtido por $\eta_{\text{máx}} = 1 - \frac{T_f}{T_q}$ e

que a relação entre as temperaturas absolutas e centígrada é $T = C + 273$.



O maior rendimento que Teresa pode obter com essa máquina térmica é de aproximadamente:

- a) 23% b) 44% c) 2% d) 7%

8- Um gás ideal, em um recipiente mantido a volume constante, liberou 80 calorias para a sua vizinhança. Podemos afirmar que:

I- O trabalho realizado pelo gás foi de 80 calorias.

II- A energia interna do gás variou de 80 calorias.

III- A temperatura do gás diminuiu.

IV- O trabalho realizado pelo gás foi nulo.

As afirmativas corretas são:

a) I, II e III

b) I, III e IV

c) I, II e IV

d) II, III e IV

9- As seguintes afirmativas referem-se a um gás ideal.

I - sempre que o gás recebe calor, sua temperatura aumenta.

II - se o gás recebe calor e sua energia interna não varia, então seu volume aumenta.

III - se o gás sofre uma transformação isotérmica, tem-se $T = Q$ ($T =$ temperatura e $Q =$ calor).

IV - se o gás sofre uma expansão adiabática, a pressão e a temperatura diminuem.

São corretas:

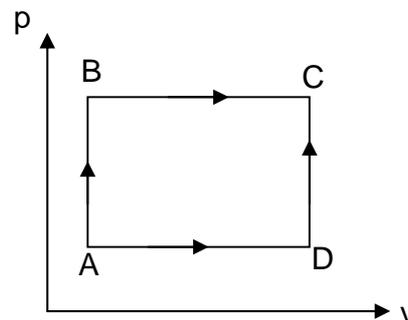
a) I e II

b) II e III

c) III e IV

d) II e IV.

10- Uma amostra de gás pode ser levada do estado A ao estado C através dos dois processos representados pelas curvas ABC e ADC na figura. No percurso ABC, a amostra absorve 100cal de calor e realiza um trabalho de 40cal. No percurso ADC, a amostra absorve 70cal de calor.



O trabalho por ela realizado no percurso ADC é:

- a) 70 cal
- b) 10 cal
- c) 40 cal
- d) 50 cal.

11- (UFRN-99) Dentro de uma sala com ar condicionado, a temperatura média é 17 °C. No corredor, ao lado da sala, a temperatura média é 27 °C. Tanto a sala quanto o corredor estão à mesma pressão. Sabe-se que, num gás, a energia cinética média das partículas que o compõem é proporcional à temperatura, e que sua pressão é proporcional ao produto da temperatura pelo número de partículas por unidade de volume.

Com base nesses dados, pode-se afirmar que:

- a) a energia cinética média das partículas que compõem o ar é maior no corredor, e o número de partículas por unidade de volume é menor na sala.
- b) a energia cinética média das partículas que compõem o ar é maior no corredor, e o número de partículas por unidade de volume é maior na sala.

- c) a energia cinética média das partículas que compõem o ar é maior na sala, e o número de partículas por unidade de volume é maior no corredor.
- d) a energia cinética média das partículas que compõem o ar é maior na sala, e o número de partículas por unidade de volume é menor no corredor.

12- (UFRN-98) José brincava com uma bomba manual de encher bola de futebol. Mantendo o orifício de saída de ar tampado com o seu dedo, ele comprimiu rapidamente o êmbolo da bomba e observou que o ar dentro da bomba era aquecido.

A explicação para esse fenômeno é:

- a) Devido à rapidez da compressão, não há tempo para troca de calor entre o ar dentro da bomba e o meio externo; assim, o trabalho realizado sobre o ar dentro da bomba aumenta a sua energia interna;
- b) A rapidez da compressão favorece a troca de calor entre o ar dentro da bomba e o meio externo; assim, o trabalho realizado sobre o ar dentro da bomba diminui a sua energia interna;
- c) Em qualquer compressão de um gás, a temperatura do gás sempre aumenta;
- d) Em qualquer transformação isométrica, o trabalho realizado pelo gás é nulo.

13- Quando levamos uma panela de pressão ao fogo, temos uma transformação:

- a) isobárica, onde a temperatura e o volume são diretamente proporcionais;
- b) isométrica, onde a pressão e a temperatura são inversamente proporcionais;
- c) isotérmica, onde a pressão é diretamente proporcional à temperatura;
- d) isométrica, onde a pressão e a temperatura são diretamente proporcionais;

14- Uma bola de aniversário, cheia de hélio, é largada da superfície da Terra, subindo até a altitude de 5.000m. Durante a subida, podemos afirmar que:

- a) o volume da bola diminui;
- b) o volume da bola permanece constante;
- c) a pressão do gás no interior da bola aumenta;
- d) o volume da bola aumenta.

15- (UFRS-2001) Um recipiente hermeticamente fechado, de paredes rígidas e permeáveis à passagem de calor, contém uma certa quantidade de gás à temperatura absoluta T .

Selecione a alternativa que preenche corretamente as lacunas no parágrafo abaixo, na ordem em que elas aparecem.

Se o recipiente for mergulhado em um tanque contendo um líquido à temperatura absoluta $2T$, a temperatura do gás, e sua energia interna

- a) diminuirá - diminuirá

- b) diminuirá - permanecerá constante
- c) permanecerá constante - aumentará
- d) aumentará - aumentará
- e) aumentará - permanecerá constante

16- (ENEM-2003) Nos últimos anos, o gás natural (GNV: gás natural veicular) vem sendo utilizado pela frota de veículos nacional, por ser viável economicamente e menos agressivo do ponto de vista ambiental.

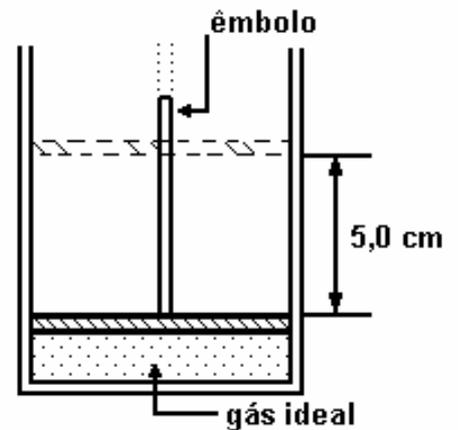
	Densidade (kg/m ³)	Poder Calorífico (kJ/kg)
GNV	0,8	50.200
Gasolina	738	46.900

O quadro compara algumas características do gás natural e da gasolina em condições ambiente.

Apesar das vantagens no uso de GNV, sua utilização implica algumas adaptações técnicas, pois, em condições ambiente, o VOLUME de combustível necessário, em relação ao de gasolina, para produzir a mesma energia, seria:

- a) muito maior, o que requer um motor muito mais potente.
- b) muito maior, o que requer que ele seja armazenado a alta pressão.
- c) igual, mas sua potência será muito menor.
- d) muito menor, o que o torna o veículo menos eficiente.

17- (PUC-SP/95) O êmbolo do cilindro ao lado varia de 5,0cm sua posição e o gás ideal no interior do cilindro sofre uma expansão isobárica, sob pressão atmosférica. O que ocorre com a temperatura do gás durante essa transformação termodinâmica? Qual o valor do trabalho ΔW realizado sobre o sistema pela atmosfera, durante a expansão?



Dados: Pressão atmosférica: 10^5 N/m^2

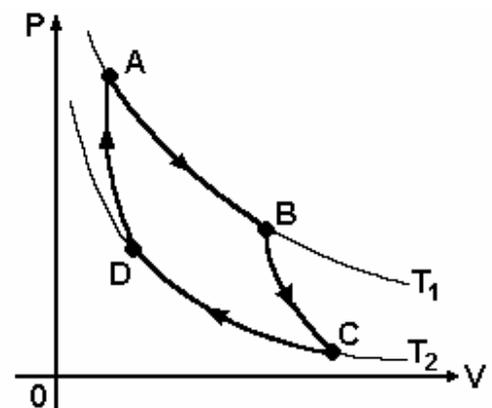
Área da base do êmbolo: 10 cm^2

- a) a temperatura aumenta; $\Delta W = -5,0 \text{ J}$
- b) a temperatura diminui; $\Delta W = 5,0 \text{ J}$
- c) a temperatura aumenta; $\Delta W = -5,0 \cdot 10^{-2} \text{ J}$
- d) a temperatura não muda; $\Delta W = 5,0 \cdot 10^{-2} \text{ J}$

18- (UFBA-96) A figura ao lado representa o ciclo de Carnot, para um gás ideal.

Nessas condições, é correto afirmar:

- (01) Na compressão adiabática, a energia interna do gás diminui.
- (02) Na expansão isotérmica, o gás recebe calor de uma das fontes.
- (04) Na expansão adiabática, a temperatura do gás diminui.
- (08) Na compressão isotérmica, a energia interna do gás diminui.



(16) Na transformação cíclica, o gás atinge o equilíbrio térmico com a fonte quente, antes de reiniciar novo ciclo.

Soma ().

19- (UEL-95) Uma determinada máquina térmica deve operar em ciclo entre as temperaturas de 27°C e 227°C . Em cada ciclo, ela recebe 1000 cal da fonte quente. O máximo de trabalho que a máquina pode fornecer por ciclo ao exterior, em calorias, vale:

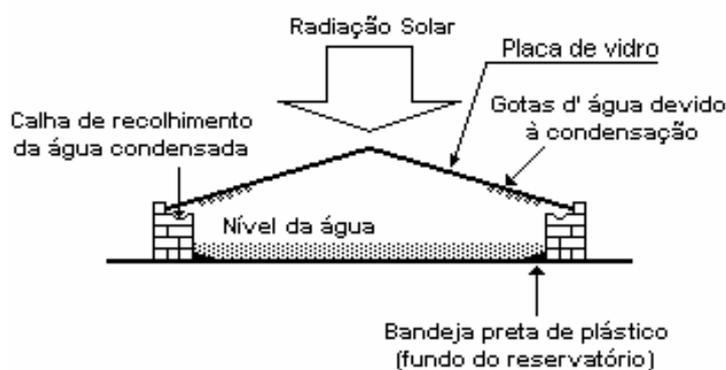
- a) 1000
- b) 600
- c) 500
- d) 400

20- (UFV-96) Um folheto explicativo sobre uma máquina térmica afirma que ela, ao receber 1000 cal de uma fonte quente, realiza 4186 J de trabalho. Sabendo que 1 cal equivale a 4,186 J, e com base nos dados fornecidos pelo folheto, você pode afirmar que esta máquina:

- a) viola a 1ª Lei da Termodinâmica.
- b) possui um rendimento nulo.
- c) possui um rendimento de 10%.
- d) viola a 2ª Lei da Termodinâmica.

21- (UFRN-2002) A água salobra existente em muitos locais – em algumas cidades no interior do RN, por exemplo – representa um problema para as pessoas, pois sua utilização como água potável só é possível após passar por um processo de dessalinização. Um dispositivo para esse fim (e que utiliza radiação solar) é o destilador solar. Ele é composto basicamente por

um reservatório d'água cujo fundo é pintado de preto fosco, por uma cobertura de placas de vidro transparente e por calhas laterais para coletar a água condensada nas placas de vidro, conforme ilustrado na figura a seguir.



Com base no exposto acima, é correto afirmar:

- a) a energia da radiação solar é utilizada para condensação do vapor de água.
- b) o processo de condensação do vapor de água ocorre nas placas de vidro que estão à mesma temperatura do vapor.
- c) a condução térmica não atua no processo de dessalinização da água.
- d) a entropia do vapor de água diminui quando o vapor se condensa nas placas de vidro.

22- (UFMG-94) A Primeira Lei da Termodinâmica estabelece que o aumento ΔU da energia interna de um sistema é dado por $\Delta U = \Delta Q - \Delta W$, onde ΔQ é o calor recebido pelo sistema, e ΔW é o trabalho que esse sistema realiza.

Se um gás real sofre uma compressão adiabática, então,

a) $\Delta Q = \Delta U$.

b) $\Delta Q = \Delta W$.

c) $\Delta W = 0$.

d) $\Delta Q = 0$.

23- (UFRN-2000) Num dia quente de verão, sem vento, com a temperatura ambiente na marca dos 38°C , Seu Onório teria de permanecer bastante tempo na cozinha de sua casa. Para não sentir tanto calor, resolveu deixar a porta do refrigerador aberta, no intuito de esfriar a cozinha. A temperatura no interior da geladeira é de aproximadamente 0°C .

A análise dessa situação permite dizer que o objetivo de Seu Onório:

a) será alcançado, pois o refrigerador vai fazer o mesmo papel de um condicionador de ar, diminuindo a temperatura da cozinha.

b) não será atingido, pois o refrigerador vai transferir calor da cozinha para a própria cozinha, e isso não constitui um processo de refrigeração.

c) será alcançado, pois, atingido o equilíbrio térmico, a cozinha terá sua temperatura reduzida para 19°C .

d) não será atingido, pois, com a porta do refrigerador aberta, tanto a cozinha como o próprio refrigerador terão suas temperaturas elevadas, ao receberem calor de Seu Onório.

24- (FUVEST-91) Uma certa massa de gás ideal, inicialmente à pressão p_0 , volume V_0 e temperatura T_0 , é submetida à seguinte seqüência de transformações:

- 1) É aquecida a pressão constante até que a temperatura atinja o valor $2T_0$.
 - 2) É resfriada a volume constante até que a temperatura atinja o valor inicial T_0 .
 - 3) É comprimida a temperatura constante até que atinja a pressão inicial p_0 .
-
- a) Calcule os valores da pressão, temperatura e volume no final de cada transformação.
 - b) Represente as transformações num diagrama pressão x volume.

GABARITO DOS EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO

TERMOMETRIA

- 1- Que as partículas de A possuem uma velocidade escalar média maior que as de B.
- 2- É a medida do grau de agitação das moléculas de um corpo.
- 3- Não, pois 300 K corresponde a 27 °C.
- 4- A
- 5- D
- 6- C
- 7- D
- 8- C
- 9- A que estava na sala a 20 °C sentirá calor, pois passará para um local de temperatura mais elevada; a que estava na sala a 35 °C, sentirá frescor, pois passará para um local de temperatura menor.
- 10- C

DILATAÇÃO DOS LÍQUIDOS

- 1- $2 + 8 + 16 = 26$
- 2- A
- 3- B
- 4- A
- 5- B
- 6- D
- 7- A

DILATAÇÃO DOS SÓLIDOS

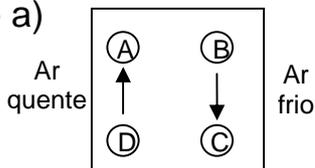
- 1- B
- 2- A
- 3- C
- 4- D
- 5- Como em Salvador a temperatura é maior, a haste do pêndulo se dilata e o relógio não é mais pontual. Atrasará, pois a haste demora mais tempo para completar um ciclo.
- 6- C
- 7- Fica mais livre

- 8- B
- 9- D
- 10- A
- 11- D
- 12- C
- 13- A
- 14- Dilatação do corpo de vidro do termômetro.
- 15- A

PROPAGAÇÃO DO CALOR

- 1- D
- 2- Para o ar quente subir, resfriarse e descer, provocando uma corrente de convecção.
- 3- Quando entrarem em equilíbrio térmico.
- 4- D
- 5- V – F – V – F
- 6- A

7- a)



- b) B derrete primeiro; D derrete por último.
- 8- Para facilitar a corrente de convecção dentro da geladeira.
- 9- C
- 10- B
- 11- D
- 12- D
- 13- A
- 14- C
- 15- V- F- F- V
- 16- D
- 17- B
- 18- D
- 19- A
- 20- B

CALOR SENSÍVEL E LATENTE

1- a) $5,3 \times 10^4 \text{ J}$

b) $5,32 \times 10^2 \text{ s}$

2- Mercúrio

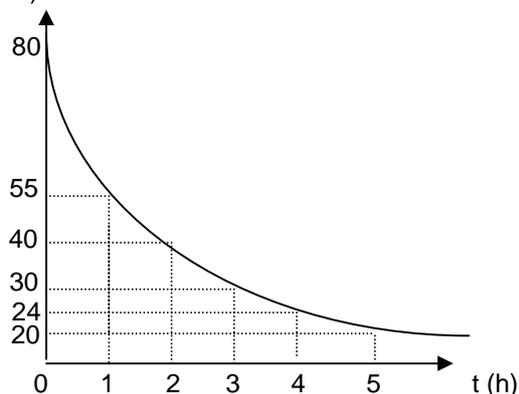
3- B

4- a) II, pois a variação de temperatura é menor

b) 2

5- A

6- a) θ (°C)



b) 12 cal/s

7- D

8- a) Da água, pois a variação de temperatura é inversamente proporcional ao calor específico sensível.

b) Ocorre mudança de estado no intervalo de 2 s a 5 s, logo a temperatura é constante.

9- A

10- a) Princípio da Conservação de Energia, pois o sistema é fechado.

b) 1 L

11- B

12- A ausência de água faz com que o ambiente tenha baixo calor específico, ocorrendo grandes variações de temperatura.

13- B

14- F - V - V - V

15- a) 0,018 Kg/min

b) 0,54 L

16- D

17- A

18- C

19- D

20- Da expiração. O copo estando "frio", condensou o vapor d'água.

21- B

22- D

23- B

24- D

25- 01 + 02 + 04 = 07

26- A

27- A

TERMODINÂMICA

1- Energia interna é a soma das energias cinéticas mais as moléculas de um corpo.

Temperatura é a medida do grau de agitação molecular.

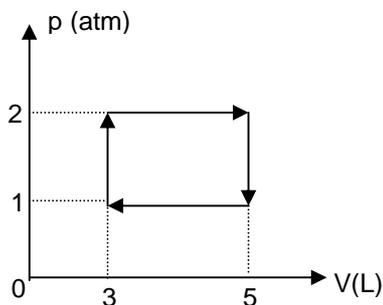
2- Porque Calor é energia em trânsito e não pode ser armazenada.

3- C

4- C

5- V- V - F- V - V

6-



200 J

7- D

8- D

9- D

10- B

11- B

12- A

13- D

14- D

15- D

16- B

17- A

18- 02 + 04 + 16 = 22

19- D

20- D

21- D

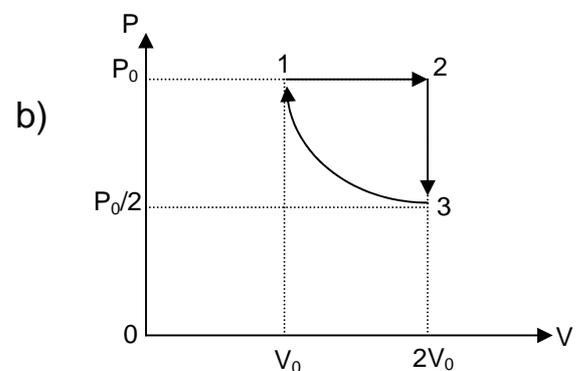
22- D

23- B

24- a) 1ª: $P_0, 2V_0, 2T_0$

2ª: $P_0/2, 2V_0, T_0$

3ª: P_0, V_0, T_0



REFERÊNCIAS

- 1- ALVARENGA, B. Curso de Física. Vol. 2. 5ª ed. São Paulo: Scipione, 2000.
- 2- CARRON, W. As Faces da Física. 1ª ed. São Paulo: Moderna, 1999.
- 3- DOCA, R.H. e outros. Tópicos de Física. Vol. 2. 18ª ed. São Paulo: Saraiva, 2001.
- 4- RAMALHO JUNIOR, Francisco e outros. Os Fundamentos da Física. Vol. 2. 8ª ed. São Paulo: Moderna, 2003.
- 5- BONJORNO, José Roberto e outros. Física História & Cotidiano. Vol. 2. São Paulo: FTD, 2003.
- 6- BONJORNO, José Roberto e outros. Física - Terceirão. Vol. 2. São Paulo: FTD, 2005.
- 7- HALLIDAY, David e outros. Fundamentos de Física. Vol. 2. 6ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.
- 8- http://pt.wikipedia.org/wiki/Anders_Celsius.
- 9- www.seara.ufsc.br/especiais/fisica/lordekelvin/lordkelvin.htm.
- 10- http://pt.wikipedia.org/wiki/Gabriel_Fahrenheit.
- 11- Electronic Green Journal –Dez. 2000. Vol. 13. *The Modern History of Energy Conservation: An Overview for Information Professionals*.



ANTÔNIO ARAÚJO SOBRINHO, nasceu em Solânea - PB em 9 de Junho de 1953. Licenciado em Física pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte; Especialista em Engenharia de SISTEMAS E MESTRE EM ENSINO DE CIÊNCIAS NATURAIS E MATEMÁTICA NA REA DE ENSINO DE FÍSICA E ASTRONOMIA PELA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE. ATUALMENTE PROFESSOR DE FÍSICA DO CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DO RIO GRANDE DO NORTE.



GILBERTO MOREL DE PAULA E SOUZA, nasceu em Pombos - PE em 18 de fevereiro de 1956. Licenciado em Física pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte; Especialista em Informática Aplicada ao Ensino de Ciências Exatas pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais; Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais e Matemática na área de Ensino de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Atualmente é professor de Física do Centro Federal de Educação Tecnológica do Rio Grande do Norte.