



ITA 2023



TERMODINÂMICA (I)

AULA 04

Prof. Vinícius Fulconi





Sumário

Apresentação do Professor	4
1. TRANSFERÊNCIA DE CALOR	5
CONDUÇÃO	5
ENTENDENDO O MECANISMO DA CONDUÇÃO TÉRMICA	5
CÁLCULO DO FLUXO DE CALOR (ϕ)	6
CONVECÇÃO	11
IRRADIAÇÃO TÉRMICA	13
2. UMA ABORDAGEM DIFERENTE PARA O CÁLCULO DE ϕ	20
3. A TEORIA CINÉTICA DOS GASES	25
A PRESSÃO EXERCIDA POR UM GÁS IDEAL	25
A ENERGIA CINÉTICA DE UM GÁS IDEAL	29
O TEOREMA DA EQUIPARTIÇÃO	31
O LIVRE CAMINHO MÉDIO	32
A DISTRIBUIÇÃO DE MAXWELL-BOLTZMANN	35
4. VARIÁVEIS DE ESTADO E PRINCIPAIS TRANSFORMAÇÕES	38
PRESSÃO	38
TEMPERATURA	39
A LEI DOS GASES IDEAIS	40
DENSIDADE DE UM GÁS IDEAL	43
4. LEI GERAL DOS GASES IDEAIS	43
MISTURA FÍSICA DE GASES IDEAIS	45
TRANSFORMAÇÕES GASOSAS USUAIS	47
TRANSFORMAÇÃO ISOTÉRMICA	47
TRANSFORMAÇÃO ISOBÁRICA	50
TRANSFORMAÇÃO ISOCÓRICA	51
5. O EXPERIMENTO DE JOULE E A PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA	54
A ENERGIA INTERNA DE UM GÁS IDEAL	55
TRABALHO E O DIAGRAMA $P - V$ PARA UM GÁS	56
A PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA	58



PRIMEIRA LEI APLICADA ÀS TRANSFORMAÇÕES ISOBÁRICA E ISOCÓRICA DE UM GÁS IDEAL	61
TRANSFORMAÇÃO ISOBÁRICA	61
TRANSFORMAÇÃO ISOCÓRICA	62
A PRIMEIRA LEI APLICADA À TRANSFORMAÇÃO ISOTÉRMICA DE UM GÁS IDEAL	67
A LEI DE JOULE DOS GASES PERFEITOS	69
A CAPACIDADE TÉRMICA DOS GASES	72
CAPACIDADES TÉRMICAS E O TEOREMA DA EQUIPARTIÇÃO	75
A CAPACIDADE TÉRMICA DOS SÓLIDOS	78
FALHA DO TEOREMA DA EQUIPARTIÇÃO	79
A PRIMEIRA LEI APLICADA À TRANSFORMAÇÃO ADIABÁTICA DE UM GÁS IDEAL	82
RAPIDEZ DAS ONDAS SONORAS	86
TRANSFORMAÇÃO CÍCLICA	87
Lista de questões	92
Nível 1	92
Nível 2	94
Nível 3	97
Resolução das questões	118
Nível 1	118
Nível 2	122
Nível 3	126
Considerações finais	172



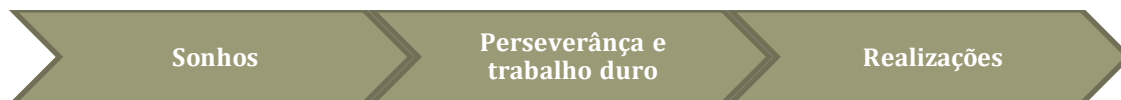
Apresentação do Professor

Querido aluno(a), seja bem-vindo(a) à nossa primeira aula!

Sou o professor Vinícius Fulconi, tenho vinte e cinco anos e estou cursando Engenharia Aeroespacial no Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA). Irei contar um pouco sobre minha trajetória pessoal, passando pelo mundo dos vestibulares com minhas principais aprovações, até fazer parte da equipe de física do Estratégia Militares.

No ensino médio, eu me comportava como um aluno mediano. No final do segundo ano do ensino médio, um professor me desafiou com a seguinte declaração: *Você nunca vai passar no ITA!* Essa fala do professor poderia ter sido internalizada como algo desestimulador e, assim como muitos, eu poderia ter me apegado apenas ao que negritei anteriormente. Muitos desistiram! Entretanto, eu preferi negritar e gravar “*Você vai passar no ITA!*”

Querido aluno(a), a primeira lição que desejo te mostrar não é nenhum conteúdo de física. Quero que transforme seu sonho em vontade de vencer. Transforme seus medos e incapacidades em desafios a serem vencidos. Haverá muitos que duvidarão de você. O mais importante é você acreditar! Nós do Estratégia Militares acreditamos no seu potencial e ajudaremos você a realizar seu sonho!



Após alguns anos estudando para o ITA, usando muitos livros estrangeiros, estudando sem planejamento e frequentando diversos cursinhos do segmento, realizei meu sonho e entrei em umas das melhores faculdades de engenharia do mundo. 😊 Além de passar no ITA, ao longo da minha preparação, fui aprovado no IME, UNICAMP, Medicina (pelo ENEM) e fui medalhista na Olimpíada Brasileira de Física.

Minha resiliência e grande experiência em física, que obtive estudando por diversas plataformas e livros, fez com que eu me tornasse professor de física do Estratégia Militares. Tenho muito orgulho em fazer parte da família Estratégia e hoje, se você está lendo esse texto, também já é parte dela. Como professor, irei te guiar por toda física, alertando sobre os erros que cometi na minha preparação, mostrando os pontos em que obtive êxito e, assim, conseguirei identificar quais são seus pontos fortes e fracos, maximizando seu rendimento e te guiando até à faculdade dos seus sonhos.

Você deve estar se perguntando: O que é necessário para começar esse curso?



ALERTA!

Esse curso exige do candidato apenas **dedicação, perseverança e vontade de vencer.**



1. TRANSFERÊNCIA DE CALOR

CONDUÇÃO

ENTENDENDO O MECANISMO DA CONDUÇÃO TÉRMICA

A condução térmica é um mecanismo de transferência de calor na qual a energia é transmitida de partícula para partícula, por intermédio de uma agitação atômico-molecular.

Nesse processo, cada átomo ou molécula quando recebe energia, começa a vibrar com maior intensidade, ou seja, mais energia cinética que os demais. Em seguida, uma fração dessa energia é transferida para a vizinhança que passa a vibrar com maior intensidade. Dessa forma, o calor é transmitido para as regiões mais frias.

Podemos explicar esse fenômeno pelas forças intermoleculares que são praticamente elétricas e magnéticas. Para isso, vamos tomar um sólido que apresenta certa estrutura cristalina, onde as partículas possuem uma coesão devido as forças intermoleculares.

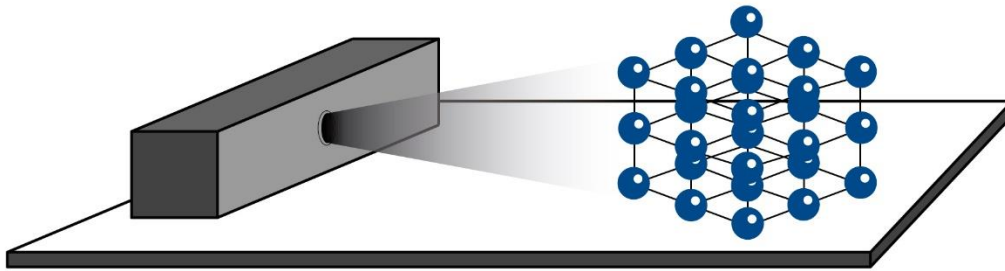


Figura 1: Ampliação de uma porção do sólido, mostrando sua estrutura cristalina.

Nessa estrutura, dizemos que duas moléculas vizinhas estão na posição de equilíbrio se a resultante das forças de interação entre elas é nula. Quando isso ocorre, denotamos a distância que separa as moléculas por d_0 .

Se a distância entre as duas moléculas for d , tal que $d > d_0$, as forças de interação são predominantemente atrativas. É devido a isso que uma barra de ferro pode resistir a esforços de tração, por exemplo.

Por outro lado, se a distância entre as duas moléculas for d , tal que $d < d_0$, as forças de interação são predominantemente repulsivas. É devido a isso que uma barra de ferro pode resistir a esforços de compressão, por exemplo.

Quando plotamos a força de interação entre as moléculas vizinhas, temos um gráfico com o seguinte formato:

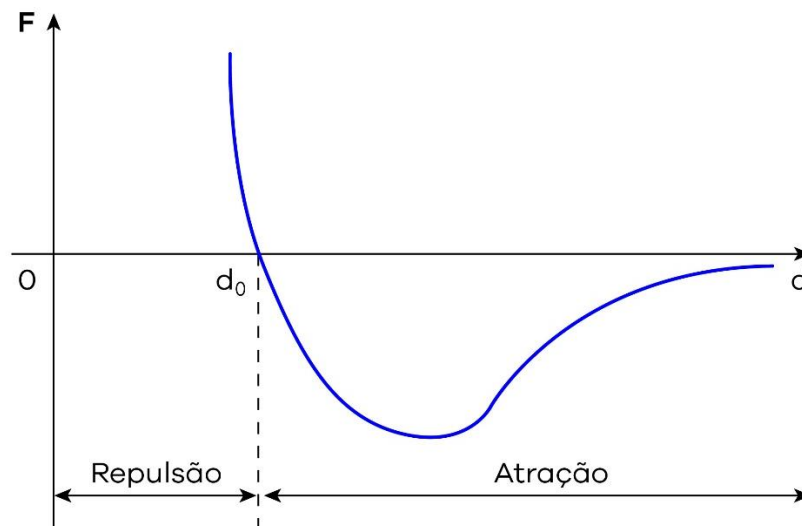


Figura 2: Força de interação intermolecular em função da distância.

Esse gráfico mostra que as moléculas, quando vibram com maior amplitude, se aproximam das moléculas vizinhas, aumentando as forças repulsivas. Como resultado, as moléculas vizinhas são “agitadas” pelas primeiras, intensificando as amplitudes de vibração. Dessa forma, o calor é transferido de molécula a molécula onde elas estão inseridas.

A propagação de calor por condução é observada em diversas substâncias. Nos metais, o mecanismo ocorre com maior rapidez, devido à existência de elétrons livres. Por isso, dizemos que os metais são bons condutores de calor.

Contudo, existem materiais que apresentam baixa condução térmica e são chamados de isolantes térmicos. Como por exemplo, temos a madeira, o isopor, a cerâmica, o tijolo de barro etc.

Observações:

- 1) O mecanismo da condução não ocorre no vácuo, pois é necessária a presença de um meio material. Por isso, tal processo ocorre apenas nos sólidos e pode verificar-se em certos fluidos, mas com menor intensidade.
- 2) O único mecanismo de transferência de calor nos sólidos é a condução térmica.
- 3) O fluxo de calor é sempre da região mais quente para a mais fria.

CÁLCULO DO FLUXO DE CALOR (ϕ)

Seja a superfície de área S , atravessada por uma quantidade de calor Q , durante um intervalo de tempo Δt . Define-se fluxo de calor (ϕ) como sendo:

$$\phi = \frac{Q}{\Delta t}$$

No SI, a unidade de fluxo de calor é o watt (W), ou seja, J/s . É comum, entretanto, utilizar as unidades cal/s e cal/min .

Dizemos que a condução de calor através de um condutor está em regime estacionário ou permanente quando o fluxo não varia com o tempo. Nessa situação, cada ponto do condutor tem sua temperatura definida e ela não se altera com o passar do tempo, mesmo que esteja passando por ali uma corrente de calor.



Se tomarmos uma barra de um metal em que a extremidade A está na temperatura θ_A e a extremidade B está na temperatura θ_B , no regime estacionário a temperatura ao longo da barra deverá obedecer ao seguinte gráfico:

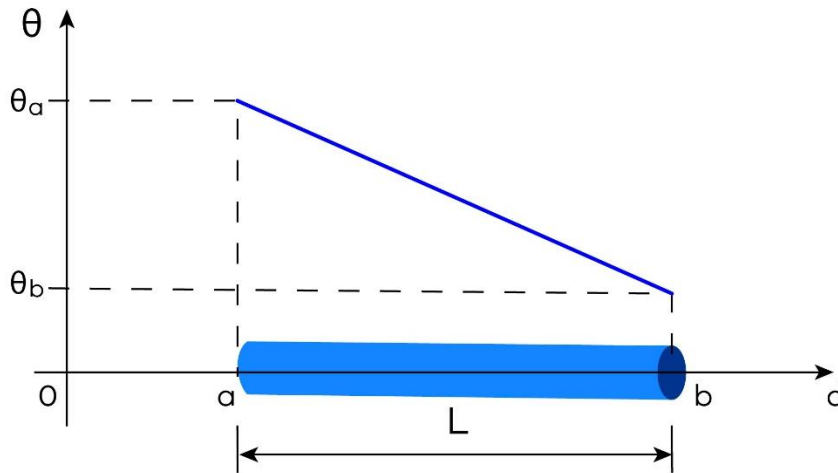


Figura 3: Temperatura em função da distância em uma barra.

Se considerarmos a barra condutora de calor, com as seguintes características:

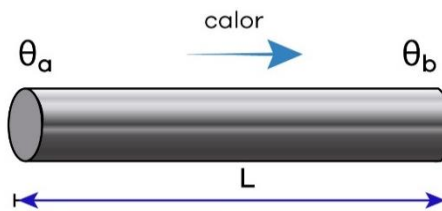


Figura 4: Fluxo de calor em uma barra condutora de calor devido à diferença de temperatura.

Em que L é o comprimento da barra cilíndrica, A a área da secção transversal, θ_a e θ_b as temperaturas das extremidades.

Experimentalmente, o fluxo térmico (ϕ) é diretamente proporcional a diferença de temperatura ($\theta_A - \theta_B$) entre os extremos da barra e a área de secção transversal (A), mas é inversamente proporcional ao comprimento (L). Esse fato é conhecido como Lei de Fourier e matematicamente escreve-se que:

$$\phi = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{K \cdot A \cdot (\theta_A - \theta_B)}{L}$$

Onde K é chamada *coeficiente de condutibilidade térmica* do material (seu valor é uma característica da substância que compõe o material). Bons condutores apresentam K relativamente alto e isolantes térmicos K baixo.

SUBSTÂNCIA	$K \left(\frac{W}{m \cdot K} \right)$	SUBSTÂNCIA	$K \left(\frac{W}{m \cdot K} \right)$
Prata	406	Madeira	0,04 – 0,12
Cobre	385	Isopor	0,01
Alumínio	205	Ar	0,024



Vidro

0,8

Se tomarmos uma placa plana, com área transversal A e espessura e , podemos aplicar a Lei de Fourier da seguinte forma:

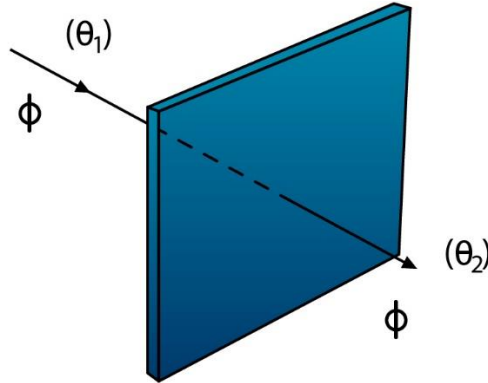


Figura 5: Fluxo de calor por uma placa plana, segundo a lei de Fourier.

$$\phi = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{K \cdot A \cdot (\theta_1 - \theta_2)}{e}$$



Exemplo:

Uma barra de cobre de secção transversal constante de $2,5 \text{ cm}^2$ tem em uma de suas pontas um balde de gelo fundente e na outra ponta tem contato com um recipiente com água gasosa na temperatura de 120°C . Se o comprimento total da barra é de 50cm:

- a) Qual o fluxo de calor nesse objeto? Dado que $k_{Cu} = 9,2 \cdot 10^{-1} \frac{\text{cal}}{\text{s} \cdot \text{cm} \cdot ^\circ\text{C}}$
- b) Qual a temperatura em uma secção da barra distante de 30cm da fonte fria?

Comentários:

a) Sabendo que o fluxo pode ser calculado por:

$$\phi = \frac{k \cdot A \cdot \Delta T}{L}$$

$$\phi = \frac{9,2 \cdot 10^{-1} \cdot 2,5 \cdot (120 - 0)}{50} = 5,52 \text{ cal/s}$$

b) Sabendo-se que o fluxo é constante por toda a barra, temos:

$$\phi = \frac{k \cdot A \cdot \Delta T}{L}$$

$$5,52 = \frac{9,2 \cdot 10^{-1} \cdot 2,5 \cdot (x - 0)}{30}$$

$$x = 72^\circ\text{C}$$



Exemplo:

Em um experimento, uma barra de comprimento igual a 1,0 metro tem nas suas extremidades contato térmico com vapor d'água a 100 °C e na outra gelo fundente. Para evitar perdas de calor para o ambiente, isola-se a barra revestindo-a com amianto.



Considere que a barra possui seção transversal de 40 cm^2 e que $K_{Al} = 0,50 \frac{\text{cal}}{\text{s}\cdot\text{cm}\cdot^\circ\text{C}}$.

Estabelecido o regime permanente, calcule:

- o fluxo de calor através da barra.
- a massa de gelo que se funde em 1000 s.
- a massa de vapor que se condensa no mesmo intervalo de tempo.

Considere que para a água: $L_F = 80 \text{ cal/g}$ e $L_V = 540 \text{ cal/g}$

Comentários:

a) aplicando a Lei de Fourier, temos que:

$$\phi = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{K \cdot A \cdot (\theta_A - \theta_B)}{L}$$

Transformando nossas unidades de comprimento para centímetros, vem:

$$\phi = \frac{0,50 \cdot 40 \cdot (100 - 0)}{100}$$

$$\boxed{\phi = 20 \text{ cal/s}}$$

b) para o intervalo de tempo de 1000 s, a quantidade de calor transmitida é de:

$$\phi = \frac{Q}{\Delta t} \Rightarrow Q = \phi \cdot \Delta t \Rightarrow Q = 20 \cdot 1000$$

$$\boxed{Q = 2,0 \cdot 10^4 \text{ cal}}$$

Assim, a quantidade de gelo que se funde é:

$$m = \frac{Q}{L_F} \Rightarrow m_{\text{gelo}} = \frac{2,0 \cdot 10^4}{80}$$

$$\boxed{m_{\text{gelo}} = 250 \text{ g}}$$

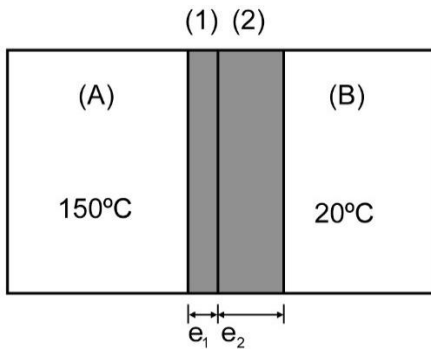
c) para o vapor, temos que:

$$m_{\text{vapor}} = \frac{Q}{|L_{\text{condensação}}|} = \frac{Q}{L_V}$$

$$m_{\text{vapor}} = \frac{2,0 \cdot 10^4}{540} \Rightarrow \boxed{m_{\text{vapor}} \cong 37 \text{ g}}$$

Exemplo:

Considere duas regiões do espaço separadas por uma placa metálica com formada por dois materiais, como mostra a figura:



As placas possuem as seguintes características:

$$e_1 = 10 \text{ cm e } K_1 = 40 \frac{\text{J}}{\text{s}\cdot\text{m}\cdot^\circ\text{C}}$$

$$e_2 = 20 \text{ cm e } K_2 = 50 \frac{\text{J}}{\text{s}\cdot\text{m}\cdot^\circ\text{C}}$$

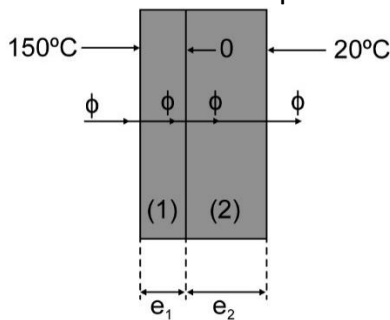
Área da superfície: $A = 10 \text{ m}^2$.

Se for atingido o regime estacionário de condução, calcule:

- a temperatura na junta das paredes.
- o fluxo de calor que atravessa a parede dupla.

Comentários:

a) uma vez que atingiu o regime estacionário, o fluxo de calor que atravessa a parede 1 deve ser o mesmo que atravessa a parede 2.



Portanto:

$$\phi_1 = \phi_2$$

$$\frac{K_1 \cdot A \cdot (150 - \theta)}{e_1} = \frac{K_2 \cdot A \cdot (\theta - 20)}{e_2}$$

$$\frac{K_1}{e_1} \cdot e_2 \cdot (150 - \theta) = (\theta - 20)$$

$$\frac{K_2}{e_2} \cdot e_1 \cdot (150 - \theta) = \theta - 20$$

$$1,6 \cdot 150 - 1,6 \cdot \theta = \theta - 20$$

$$\boxed{\theta = 100 \text{ }^\circ\text{C}}$$

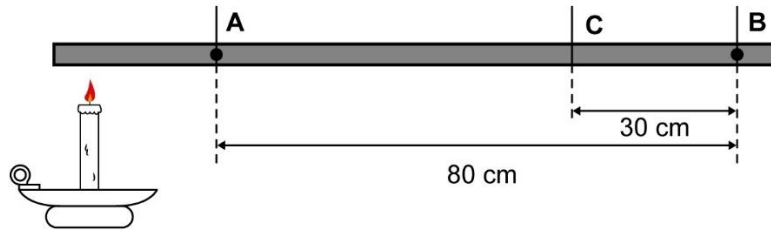
b) Para calcular o fluxo de calor, basta tomar o fluxo na placa 1, por exemplo:

$$\phi = \frac{K_1 \cdot A \cdot (150 - 100)}{e_1}$$

$$\phi = \frac{40 \cdot 10 \cdot 50}{0,1} \Rightarrow \boxed{\phi = 2,0 \cdot 10^5 \text{ J/s}}$$

Exemplo:

(Mackenzie – SP) Uma barra metálica é aquecida conforme a figura; A, B e C são termômetros. Admita a condução de calor em regime estacionário e no sentido longitudinal da barra. Quando os termômetros das extremidades indicarem $200 \text{ }^\circ\text{C}$ e $80 \text{ }^\circ\text{C}$, o intermediário indicará:



- a) 195 °C
- b) 175 °C
- c) 140 °C
- d) 125 °C
- e) 100 °C

Comentários:

Após atingir o regime estacionário, temos que:

$$\phi = \frac{K \cdot A \cdot (200 - 80)}{e}$$

$$\phi = (K \cdot A) \cdot \left(\frac{120}{80}\right)$$

$$\phi = \frac{3}{2}(K \cdot A)$$

Para o comprimento de 50 cm (distância de A para C), calculamos o fluxo da seguinte forma:

$$\phi = \frac{K \cdot A \cdot (200 - \theta)}{\frac{50}{200 - \theta}} = \frac{3}{2}(K \cdot A)$$

$$\frac{50}{200 - \theta} = \frac{3}{2}$$

$$\theta = 125 \text{ °C}$$

Poderíamos pensar que a distribuição temperatura varia linearmente com a distância, como no gráfico apresentado em teoria, portanto:

$$\frac{\Delta\theta}{\Delta L} = cte = \frac{200 - 80}{80} = \frac{200 - \theta}{50}$$

$$\theta = 125 \text{ °C}$$

CONVECÇÃO

Denominamos convecção térmica o mecanismo de propagação de energia que ocorre apenas nos fluidos, ou seja, nos líquidos, gases e vapores, devido a movimentação das partículas que possuem diferentes temperaturas. Esse processo não ocorre nos sólidos.

A movimentação das partículas é justificada pela diferença de densidade entre as diversas partes do fluido, devido a diferença de temperatura entre as moléculas.

Para melhorar a compreensão desse fenômeno, vamos tomar um recipiente contendo um líquido que é aquecido na sua parte inferior:

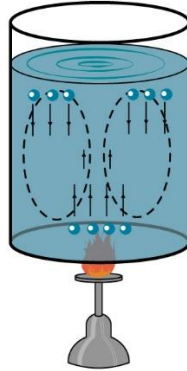


Figura 6: Convecção em um líquido sendo aquecido.

Quando as partículas do fundo ganham energia térmica, se tornam menos densas e sobem; as da parte superior, que estão relativamente mais frias e mais densas, descem. Com isso, formam as chamadas *correntes de convecção* (a quente denominada ascendente e a fria conhecida como descendente).

Podemos aplicar a convecção em diversas situações reais, como o fato de o congelador das geladeiras estarem na parte superior (ar frio desce e ar quente sobe), a eliminação de gases pelas chaminés (gases quentes (menos densos) sobem etc).

Um fenômeno conhecido na geografia é a chamada *inversão térmica*. Para explicar esse acontecimento, vamos tomar duas situações possíveis:

a) Dia normal com $\theta_1 > \theta_2$:

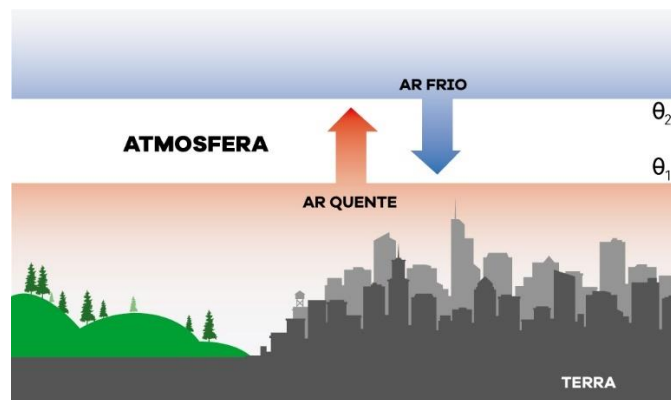


Figura 7: Fenômeno da inversão térmica com $\theta_1 > \theta_2$.

Em dias normais, a camada de ar mais poluída, nas proximidades da Terra, é mais quente que as camadas superiores de ar mais puro. Por isso, o ar poluído ascende, sendo trocado pelo ar mais frio e puro das camadas superiores.

b) Dia frio com $\theta_2 > \theta_1$:



Figura 8: Não há inversão térmica, pois $\theta_1 < \theta_2$.

Já em dias frios, o ar próximo ao solo é mais frio que o ar das camadas superiores e, portanto, não há convecção, intensificando a concentração de poluentes no ar que respiramos. Obviamente, existem outros fatores que contribuem para a dispersão dos poluentes, como chuvas e outras correntes de ar.

IRRADIAÇÃO TÉRMICA

Existem diversas ondas eletromagnéticas: luz visível, raios X, raios infravermelhos, raios ultravioletas etc. Dentre as citadas, os raios infravermelhos apresentam efeitos térmicos mais acentuados.

Denominamos por *irradiação térmica* a emissão de raios infravermelhos por um corpo. Experimentalmente, verifica-se que quanto maior a temperatura do corpo, maior será a intensidade de energia irradiada.

Chamamos de *poder emissivo* (E) de um corpo a relação entre a potência emitida pela área da superfície emitente (A):

$$E = \frac{P}{A}$$

O poder emissivo (E) é expresso em W/m^2 , depende da natureza da fonte emissora e da sua temperatura.

Em 1879, o físico esloveno Jozef Stefan deduziu a partir de resultados experimentais que:

$$P_r = e \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4$$

Onde:

- P_r é a potência irradiada.
- A é a área da superfície.
- σ é a constante de Stefan e vale $\sigma = 5,6703 \cdot \frac{10^{-8}W}{m^2 \cdot K^4}$.
- e é a emissividade da superfície que irradia, ela é uma quantidade adimensional entre 0 e 1 e depende da composição da superfície do corpo.
- T é a temperatura do corpo que irradia em Kelvin.



Cinco anos mais tarde Ludwig Boltzmann deduziu essa equação teoricamente através da termodinâmica estatística.

Se a radiação eletromagnética atinge um objeto opaco, uma parte da radiação é refletida e outra parte absorvida. Objetos coloridos refletem a maior parte da radiação visível, ao passo que objetos escuros absorvem a maior parte dela.

Podemos dizer que a taxa na qual um objeto *absorve* a radiação é expressa por:

$$P_{Abs} = e_a \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4$$

Onde:

- e_a é a emissividade da superfície do objeto que está absorvendo a energia.
- T_0 é a temperatura da fonte de radiação.
- A é a área da superfície do objeto.

Considere um corpo a uma temperatura T cercado por corpos a temperatura T_0 . Se o corpo emite energia radiante a uma taxa maior do que absorve, $P_r > P_a$, então ele se resfria enquanto sua vizinha absorve a radiação e se aquece. Caso o corpo absorva energia radiante a uma taxa maior do que emite, $P_a > P_r$, então ele se aquece e sua vizinhança se resfria.

Podemos dizer que a potência resultante irradiada por um corpo a temperatura T em um ambiente a uma temperatura T_0 é expressa por:

$$P_{res} = e \cdot \sigma \cdot A \cdot (T^4 - T_0^4)$$

Se $T = T_0$, dizemos que o corpo está em equilíbrio térmico com sua vizinhança, ou seja, ele emite e absorve radiação à mesma taxa.

Considerando um corpo em que incide energia radiante com potência incidente P_i (figura 9). Uma parte da energia incidente é refletida pelo corpo (potência P_R), uma parte é absorvida (P_{Abs}) (converte-se em energia de agitação molecular) e uma parte é transmitida (P_T), atravessando o corpo.

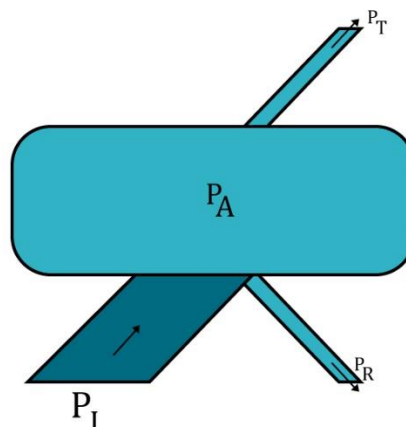


Figura 9: Relação das potências em um corpo.

Pelo balanço de energia, devemos ter que:

$$P_i = P_{Abs} + P_{Reflet} + P_T$$

Dividindo a equação logo acima por P_i , temos que:



$$1 = \frac{P_{Abs}}{P_i} + \frac{P_{Reflet}}{P_i} + \frac{P_T}{P_i}$$

$$\boxed{1 = r + a + t}$$

Onde:

- r : *refletividade* de um corpo é razão entre a potência refletida e a incidente ($r = \frac{P_{Reflet}}{P_i}$).
- a : *absortividade* de um corpo é a razão entre a potência absorvida e a incidente ($a = \frac{P_{Abs}}{P_i}$).
- t : *transmissividade* de um corpo é a razão entre a potência transmitida e a incidente ($t = \frac{P_T}{P_i}$).

Quando o corpo não consegue transmitir nenhuma potência, dizemos que ele é *atérmico*, isto é, $P_T = 0$). Para corpos atérmicos, temos que:

$$\boxed{r + a = 1}$$

Define-se *corpo negro* aquele que absorve toda a radiação incidente sobre ele, possuindo emissividade igual a 1. Em outras palavras, para o corpo negro a absortividade é igual a 1 ($a = 1$).

Trata-se de um corpo ideal e, a partir disso, podemos calcular teoricamente as características da radiação emitida por ele.

Observa-se que todo corpo bom absorvedor é um bom emissor. Podemos evidenciar esse fato pelo corpo negro onde temos a maior absortividade e a maior emissividade, em qualquer temperatura.

Entretanto, essa regra geral não vale apenas para corpos negros, como mostra a Lei de Kirchhoff:

Qualquer corpo apresenta a mesma emissividade e absortividade, isto é, $a = e$, para cada temperatura especificada.

Quando diversos corpos são colocados em um mesmo ambiente, todos irradiarão e absorverão energia. Sempre que houver diferença de temperatura, a potência irradiada será diferente da absorvida, até que se atinja o equilíbrio térmico. Entretanto, ao alcançar o equilíbrio, não interromperá a irradiação de energia pelos corpos. Trata-se de um equilíbrio dinâmico, pois, em cada corpo, a potência irradiada será igual a potência absorvida.

Dessa forma, não existe a possibilidade de um corpo estar perdendo energia por irradiação, a ponto de chegar ao zero absoluto, já que ele está ganhando energia irradiada pelos outros corpos.

Observação: se tomarmos dois corpos em um mesmo ambiente, a energia emitida por um corpo não necessariamente será a energia absorvida pelo outro, durante um dado intervalo de tempo. Vale lembrar que pode haver reflexão nas superfícies dos corpos. Com isso, se tomarmos um corpo bem polido (claro) em equilíbrio térmico com um corpo escuro, num dado ambiente, o primeiro absorverá com baixa potência (P_{Abs}) e emitirá com baixa potência (P_R), porém $P_{Abs} = P_R$.



Por outro lado, o corpo escuro absorverá com alta potência (P_{Abs}) e irradiará com alta potência (P_R), porém $P_{Abs} = P_R$.

Alguns materiais, como o veludo preto, estão muito próximos de serem considerados corpos negros ideais. Contudo, a melhor aproximação prática de corpo negro ideal é um pequeno orifício em uma cavidade. Como na figura abaixo:

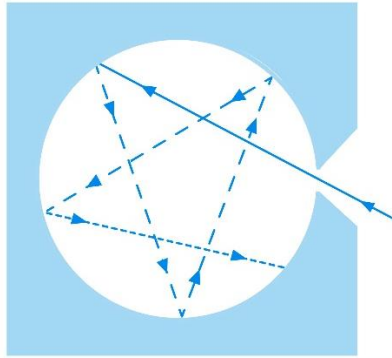


Figura 10: Uma cavidade com um orifício se aproxima muito de um corpo negro ideal. Isso ocorre porque a radiação que entra na cavidade tem pouquíssima chance de escapar antes de ser completamente absorvida. Dessa forma, a radiação emitida pelo orifício, que não foi mostrada na figura, é característica da temperatura das paredes da cavidade.

Dessa forma, a radiação incidente que passa pelo orifício tem poucas chances de ser refletida para fora antes que as paredes a absorvam. Com isso, a radiação emitida pelo orifício é característica da temperatura das paredes da cavidade.

A radiação emitida pelo corpo abaixo de aproximadamente 600 °C não é visível a olho nu. Entretanto, a radiação de corpos à temperatura ambiente está concentrada em comprimentos de ondas muito maiores do que os comprimentos de onda da luz visível.

Quando um corpo é aquecido, a taxa de emissão de energia aumenta e a energia irradiada alcança frequências maiores (ou seja, menores comprimentos de onda). Entre 600 °C e 700 °C, uma parte da energia irradiada está no espectro visível e o corpo brilha com uma coloração **vermelho-escuro**. Se a temperatura aumenta, ele pode emitir um vermelho mais vivo, chegando até a um branco quente.

A figura abaixo mostra como varia a potência irradiada por um corpo negro em função de comprimentos de ondas, para três diferentes temperaturas:

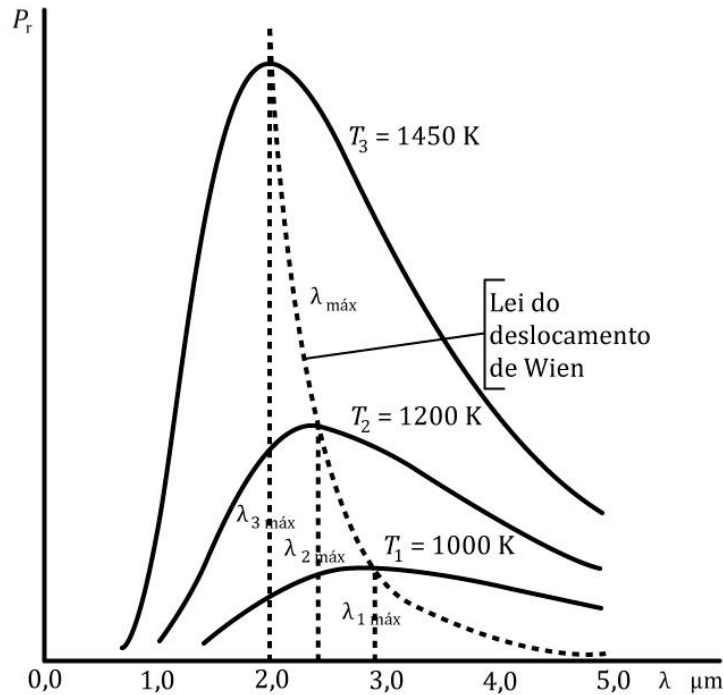


Figura 11: Curva da potência irradiada pelo comprimento de onda para a radiação emitida por um corpo negro. Cada curva do gráfico é referente a temperatura da superfície emissora. O comprimento de onda $\lambda_{máx}$ para o qual a potência emitida é máxima é dada pela lei de Wien.

Em busca de relacionar o comprimento de onda para o qual a potência irradiada é máxima com a temperatura, Wien propôs que:

$$\lambda_{máx} = \frac{2,898 \text{ mm} \cdot \text{K}}{T}$$

Esse resultado é conhecido como lei de deslocamento de Wien. Essa lei é aplicada para determinar a temperatura das superfícies de estrelas pela análise de sua radiação. Além disso, ela pode ser aplicada em termogramas utilizados para detectar câncer, pois o tecido canceroso provoca um aumento da circulação, gerando um pequeno aumento na temperatura da pele.

Esse resultado teve grande importância na história da Física. Devido a discrepância entre os resultados teóricos (calculados com base na termodinâmica clássica) das distribuições espectrais do corpo negro e as medidas experimentais foram fundamentais para Max Planck gerar as primeiras ideias sobre quantização de energia em 1900.



Exemplo:

Em um corpo atômico, a potência incidente é de 20 kW , sendo que 5 kW é absorvido. Para esse corpo, calcule:
a) absorvidade.



- b) transmissividade.
- c) refletividade.

Comentários:

a) De acordo com a definição, a absorvidade é dada por:

$$a = \frac{P_{Abs}}{P_i} = \frac{5 \text{ kW}}{20 \text{ kW}} = 0,25 \text{ ou } \boxed{a = 25 \%}$$

b) Pelo enunciado, o corpo é atérmico, portanto:

$$\boxed{t = 0}$$

c) Pela definição, a refletividade é expressa por:

$$r = \frac{P_{Reflet}}{P_i} = 1 - (a + t)$$

$$r = 1 - (0,25 + 0)$$

$$\boxed{r = 75\%}$$

Exemplo:

Se um corpo recebe calor a potência constante de $4,0 \text{ kW}$, considerando a refletividade de 50% e transmissividade de 20% , determine:

- a) a absorvidade e a emissividade.
- b) a potência com irradiada, de modo a manter a temperatura do corpo constante.

Comentários:

a) utilizando que $r + a + t = 1$, temos:

$$a + 0,5 + 0,2 = 1 \Rightarrow \boxed{a = 30\%}$$

Pela Lei de Kirchhoff, em uma mesma temperatura, temos que:

$$e = a$$

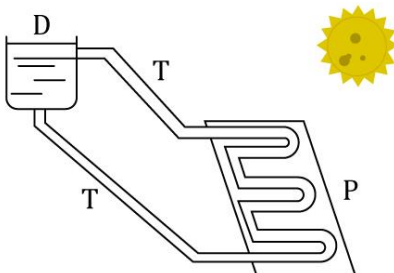
$$\therefore \boxed{e = 30\%}$$

b) se a emissividade é de 30% , logo, ele irradia 30% de 4 kW , portanto:

$$P_R = 30\% \cdot 4 \text{ kW} \Rightarrow \boxed{P_R = 1,2 \text{ kW}}$$

Exemplo:

A figura ilustra um sistema de aquecimento solar: uma placa metálica P pintada de preto e, com um tubo metálico encurvado em contato com ela; um depósito de água D e tubos de borracha T ligando o depósito ao tubo metálico. O aquecimento da água contida no depósito D , pela absorção da energia solar, deve-se basicamente aos seguintes fenômenos, pela ordem:



- a) Condução, irradiação, convecção.
- b) Irradiação, condução, convecção.
- c) Convecção, condução, irradiação.
- d) Condução, convecção, irradiação.
- e) Irradiação, convecção, condução.

**Comentários:**

Inicialmente, a energia é irradiada pelo sol, aquecendo a placa metálica P . Em seguida, por condução, a placa metálica P aquece o tubo metálico. Com o tubo aquecido, haverá regiões com diferenças de temperaturas dentro do líquido, propiciando para que ocorra convecção na água.

Alternativa correta B.



2. UMA ABORDAGEM DIFERENTE PARA O CÁLCULO DE ϕ

Denominamos por *gradiente de temperatura* a taxa de variação de temperatura ao longo de uma barra como sendo:

$$\frac{dT}{dx}$$

Considere dT a diferença de temperatura entre dois pontos de um pequeno segmento dx de uma barra.

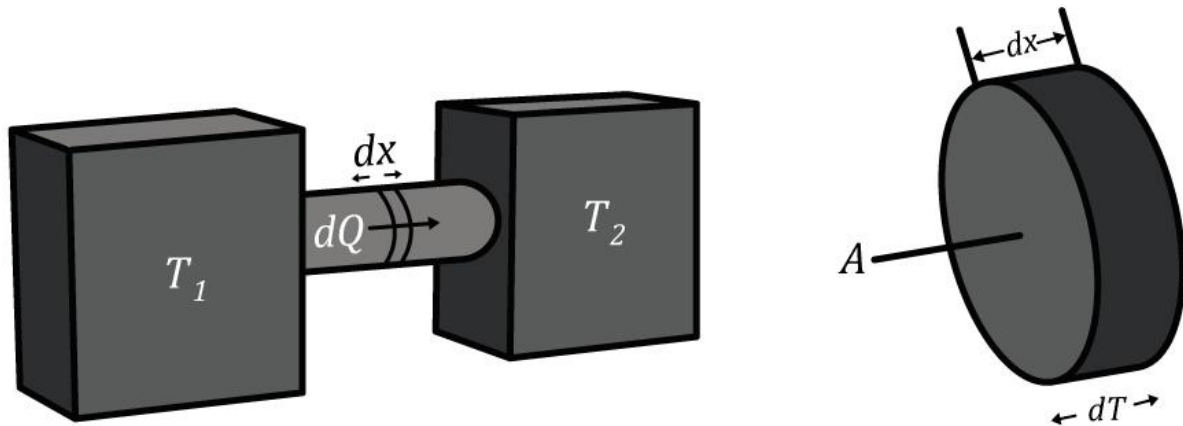


Figura 12: Elemento de comprimento para determinação do fluxo de calor.

Seja dQ a quantidade de calor conduzida através dessa seção reta de área A , durante um intervalo de tempo dt . Chamamos de corrente térmica, representado por I , a quantidade de calor que atravessa a pequena barra de tamanho dx , em um pequeno intervalo de tempo. Em outras palavras:

$$I = \frac{dQ}{dt}$$

Segunda a Lei de Fourier, podemos escrever que:

$$I = \frac{dQ}{dt} = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx}$$

Onde k é a condutividade térmica do material e A é a área de seção transversal.

Note que calor leva energia de uma região de maior temperatura para uma região de menor temperatura. Dessa forma, a corrente térmica tem sentido na diminuição de temperatura, por isso o sinal negativo para corrigir esse fato.

Repare que se estivermos no regime estacionário, isto é, a temperatura varia linearmente da extremidade com maior temperatura para a extremidade de menor temperatura, então a equação de corrente térmica se torna:

$$I = -k \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Em módulo, temos:



$$I = k \cdot A \cdot \frac{|\Delta T|}{|\Delta x|}$$

Rearranjando a equação acima, podemos escrever:

$$\boxed{|\Delta T| = I \cdot \left(\frac{|\Delta x|}{k \cdot A} \right)} \text{ ou } \boxed{I = \frac{|\Delta T|}{\left(\frac{|\Delta x|}{k \cdot A} \right)}}$$

Onde $|\Delta T|$ é o módulo da queda de temperatura no sentido da corrente térmica e definimos como resistência térmica R como sendo:

$$R = \frac{|\Delta x|}{k \cdot A}$$

Portanto:

$$|\Delta T| = I \cdot R \text{ ou } I = \frac{|\Delta T|}{R}$$

Alerta spoiler! Ainda não estudamos resistência elétrica e associação de resistores. Entretanto, a analogia feita aqui é muito boa. Podemos associar a corrente elétrica com a corrente térmica, a resistência elétrica com a resistência térmica e a diferença de potencial com a diferença de temperatura. Relembrando a primeira Lei de Ohm, escrevemos que:

$$i = \frac{\Delta V}{R}$$

Ou seja, a corrente elétrica que atravessa um filamento é diretamente proporcional a diferença de potencial imposta nas extremidades do fio e inversamente proporcional a resistência imposta pelo fio.

Em condução térmica, temos as mesmas características. Por exemplo, considere duas paredes, uma com temperatura T_1 e outra com T_2 , onde $T_1 > T_2$, e o material entre eles possui uma condutividade k . Portanto, podemos escrever que:

$$T_1 - T_2 = I \cdot R$$

Onde $R = \frac{|\Delta x|}{k \cdot A}$.

Se adicionarmos um material com condutividade k' , na qual a temperatura entre as interfaces é T_3 onde, $T_1 > T_3 > T_2$, então temos que:

$$T_1 - T_3 = I' \cdot R_1 \quad (1)$$

Como sabemos, o fluxo térmico será o mesmo para as duas regiões, logo:

$$T_3 - T_2 = I' \cdot R_2 \quad (2)$$

Com $R_1 = \frac{|\Delta x_1|}{k' \cdot A}$ e $R_2 = \frac{|\Delta x_2|}{k \cdot A}$.

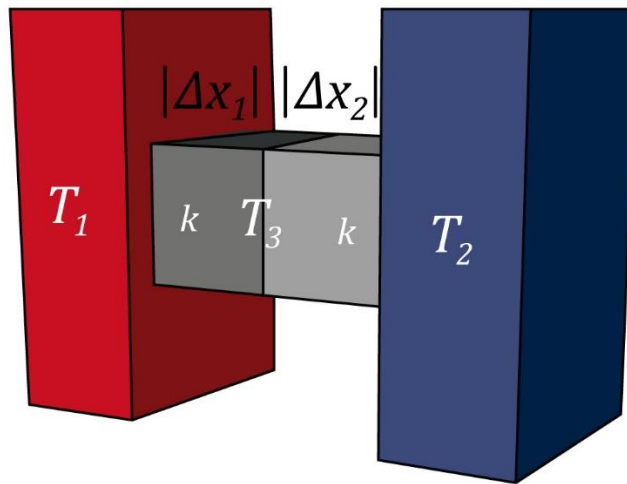


Figura 13: Resistências térmicas em série.

Somando (1) e (2), vem:

$$T_1 - T_2 = I' \cdot (R_1 + R_2)$$

Chamando de $R_1 + R_2 = R_{eq}$, temos finalmente que:

$$T_1 - T_2 = I' \cdot R_{eq} \text{ ou } I' = \frac{T_1 - T_2}{R_{eq}} = \frac{\Delta T}{R_{eq}}$$

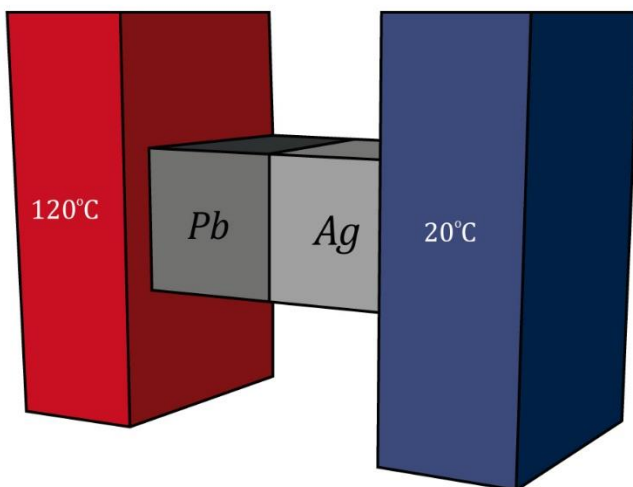
Em que R_{eq} é a *resistência térmica equivalente*. Quando fizemos essa configuração, colocamos as duas resistências térmicas em série, pois estão sujeitas a mesma corrente térmica. Logo, para *resistências térmicas em série*, temos que:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

Com $R_i = \frac{|\Delta x_i|}{k_i \cdot A}$.

Exemplo:

Considerando duas barras como resistores térmicos em série, de acordo com a figura.



Sabendo que a $k_{Pb} = 353 \text{ W}/(m \cdot K)$ e $k_{Ag} = 429 \text{ W}/(m \cdot K)$, determine o fluxo de calor que a atravessa as barras e a temperatura da interface. Considere que a cada



material tem comprimento de 5 cm e que a secção transversal tem dimensões 4 cm e 5 cm.

Comentários:

A resistência térmica de cada parte é dada por:

$$R_{Pb} = \frac{|\Delta x_{Pb}|}{k_{Pb} \cdot A} \Rightarrow R_{Pb} = \frac{5 \cdot 10^{-2}}{353 \cdot 4 \cdot 10^{-2} \cdot 5 \cdot 10^{-2}} \Rightarrow \boxed{R_{Pb} = 0,071 \text{ K/W}}$$

$$R_{Ag} = \frac{|\Delta x_{Ag}|}{k_{Ag} \cdot A} \Rightarrow R_{Ag} = \frac{5 \cdot 10^{-2}}{429 \cdot 4 \cdot 10^{-2} \cdot 5 \cdot 10^{-2}} \Rightarrow \boxed{R_{Ag} = 0,058 \text{ K/W}}$$

Logo, a resistência térmica equivalente é dada por:

$$R_{eq} = R_{Pb} + R_{Ag} = 0,071 + 0,058$$

$$\boxed{R_{eq} = 0,129 \text{ K/W}}$$

Portanto, o fluxo de calor é de:

$$I = \frac{\Delta T}{R_{eq}} \Rightarrow I = \frac{120 - 20}{0,129} \Rightarrow \boxed{I = 775,2 \text{ W}}$$

Analisando apenas a primeira parte com chumbo, temos que:

$$\Delta T_{Pb} = I \cdot R_{Pb}$$

$$\Delta T_{Pb} = 775,2 \cdot 0,071 = 55,1 \text{ K} = 55,1 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$120 - T' = 55,1$$

$$\boxed{T' = 64,9 \text{ }^\circ\text{C}}$$

Por outro lado, podemos a configuração na qual as barras estão sujeitas a mesma diferença de temperatura, mas a corrente térmica é diferente. Trata-se de *resistências térmicas em paralelo*.

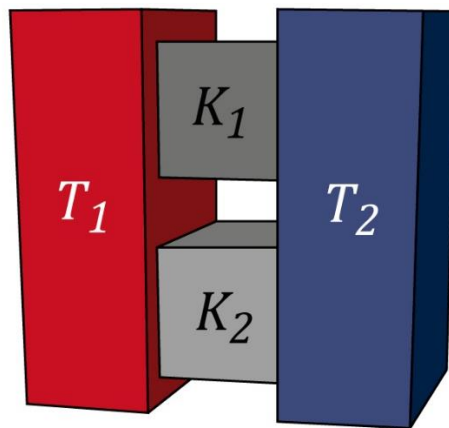


Figura 14: Resistência térmicas em paralelo.

Nesse caso, a corrente térmica total é a soma da corrente térmica em cada barra:

$$I = I_1 + I_2 + \dots$$

$$I = \frac{\Delta T}{R_1} + \frac{\Delta T}{R_2} + \dots$$

$$I = \Delta T \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots \right)$$

$$I = \Delta T \cdot \frac{1}{R_{eq}}$$

Onde a resistência térmica equivalente é expressa por:

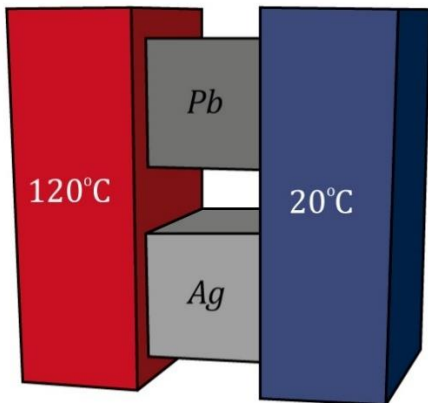


$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots$$



Exemplo:

Vamos tomar o exercício 7) resolvido anteriormente, mas considerar que os resistores térmicos (as barras) estejam em paralelo, como na figura abaixo:



Considerando que as barras possuem as mesmas dimensões, ou seja, as mesmas resistências térmicas, determine o fluxo total de calor, e a resistência térmica equivalente.

Comentários:

O fluxo na barra de chumbo é dado por:

$$I_{Pb} = \frac{\Delta T}{R_{Pb}} \Rightarrow I_{Pb} = \frac{120-20}{0,071} = 1408,45 \text{ W}$$

Para a prata, temos:

$$I_{Ag} = \frac{\Delta T}{R_{Ag}} \Rightarrow I_{Ag} = \frac{120-20}{0,058} = 1724,38 \text{ W}$$

Logo, o fluxo total é de:

$$I = I_{Pb} + I_{Ag}$$

$$I = 1408,45 + 1724,38$$

$$\boxed{I = 3132,60 \text{ W}}$$

$$I_{total} = \frac{\Delta T}{R_{eq}} \Rightarrow R_{eq} = \frac{120-20}{3132,60}$$

$$\boxed{R_{eq} = 0,032 \text{ K/W}}$$



3. A TEORIA CINÉTICA DOS GASES

Neste capítulo vamos mostrar a relação entre grandezas macroscópicas como pressão e temperatura, com grandezas microscópicas, como a massa e a velocidade de uma molécula de gás.

Diante daquilo que já estudamos na nossa Física, seríamos levados a usar as Leis da Mecânica Clássica a cada molécula. Entretanto, esse trabalho seria impossível, já que temos muitas moléculas.

Por isso, foi desenvolvida um ramo da Física denominado de *Mecânica Estatística*. Utilizando métodos estatísticos, não existe a necessidade acompanhar o movimento de cada partícula, basta calcular os valores médios das grandezas.

Entretanto, o curso de mecânica estatística requer uma matemática de nível superior, que não é nosso foco aqui. Sendo assim, mostraremos uma abordagem simplificada dessa teoria para melhor compreendermos alguns conceitos.

A PRESSÃO EXERCIDA POR UM GÁS IDEAL

Como já mostramos, a pressão que um gás exerce sobre as paredes de seu recipiente é devida às colisões entre as moléculas do gás e as paredes. Pela definição, essa pressão é a força por unidade de área e, pela segunda lei de Newton, sabemos que a força é a taxa de variação da quantidade de movimento das moléculas do gás colidindo com as paredes.

Observação: ainda não estudamos impulso e quantidade de movimento, mas fique tranquilo. Veremos todas as definições e teoremas sobre esses assuntos. A menção desses temas agora não compromete seus estudos.

Para determinar a pressão de um gás ideal, considere um recipiente cúbico cujas arestas medem a , contendo N moléculas idênticas de um gás perfeito. Vamos calcular a pressão em uma das faces do cubo, por exemplo a face $BCDE$, lembrando que:

$$P = \frac{F}{A}$$

A figura abaixo ilustra a situação do problema:

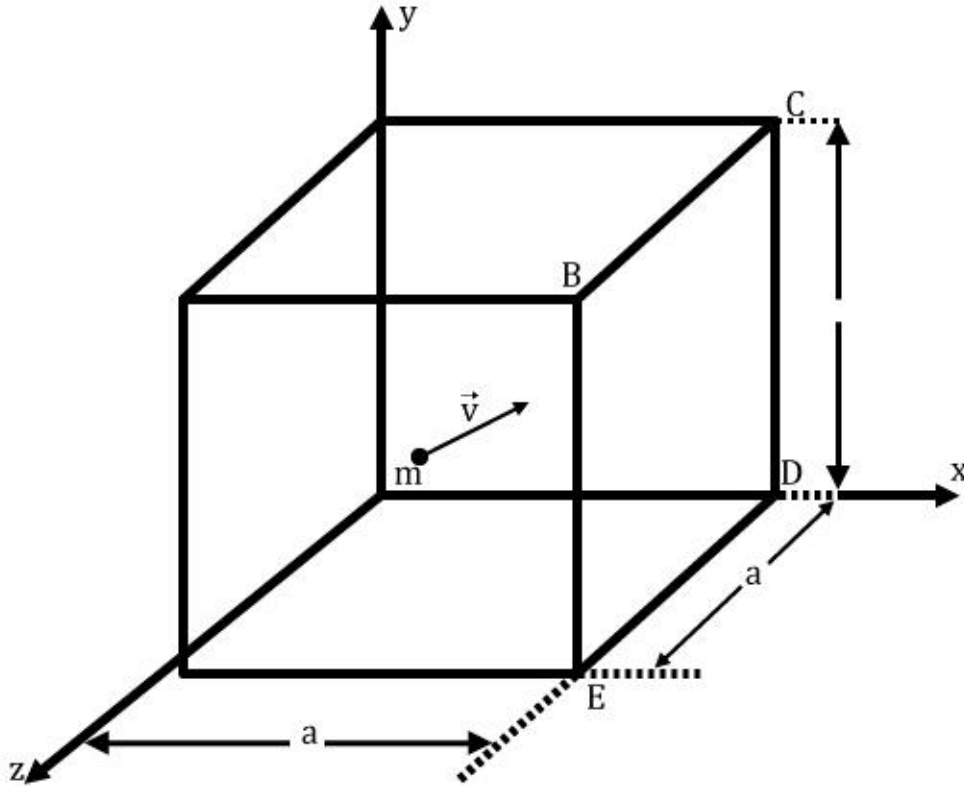


Figura 15: Movimento de uma molécula em 3 dimensões.

A velocidade de uma molécula de massa m pode ser decomposta nos eixos triortogonais, obedecendo à relação matemática:

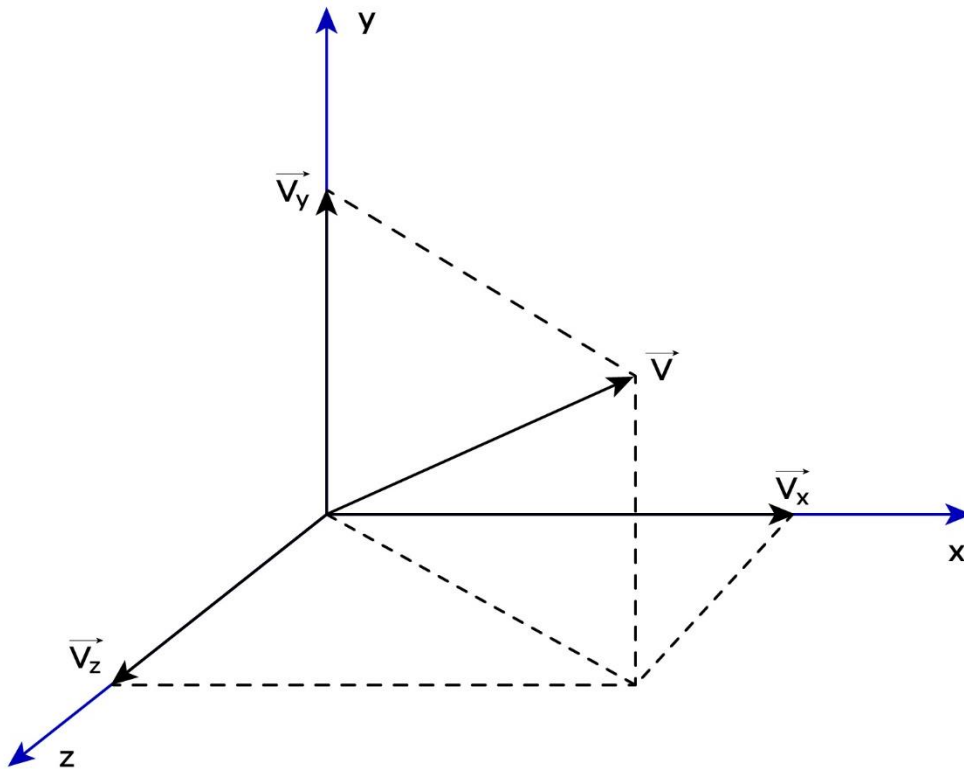


Figura 16: Projeções da velocidade da molécula em cada eixo.

$$v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2 \text{ ou } \vec{v} = v_x \hat{i} + v_y \hat{j} + v_z \hat{k}$$

Supondo que nossa molécula colida com a face $BCDE$, como o gás é considerado ideal, as colisões serão todas perfeitamente elásticas, não havendo perdas de energia e o módulo da quantidade



de movimento será conservado (pode alterar apenas direção ou sentido da quantidade de movimento). Esquemáticamente, temos:

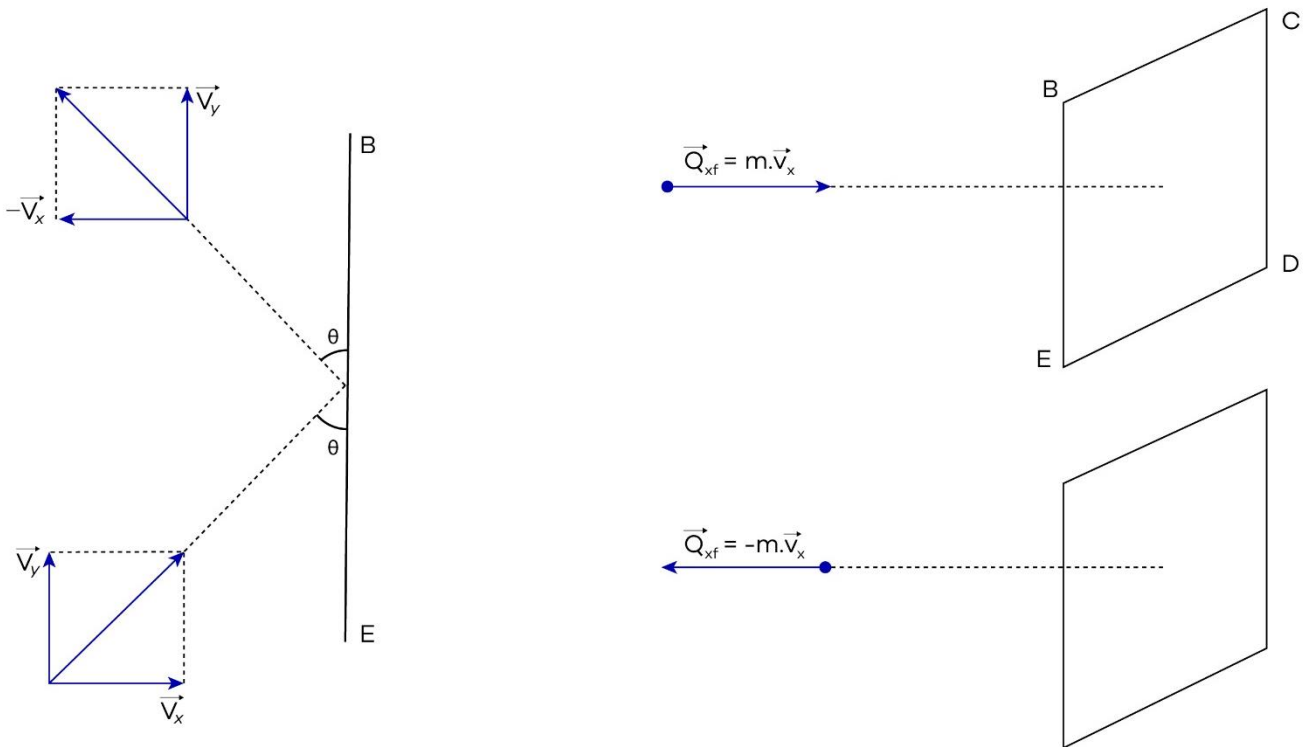


Figura 17: Representação dos vetores velocidade e dos vetores quantidades de movimento na colisão com a face BCDE.

No esquema a esquerda, omitimos a componente \vec{v}_z para desenhar um possível choque com a face BCDE e podermos enxergar melhor o que está acontecendo.

Devido ao fato da velocidade \vec{v}_x ser perpendicular à face escolhida, na colisão perfeitamente elástica sabemos que o módulo da quantidade de movimento não se altera, apenas inverte seu sentido. Ou seja:

$$(\vec{Q}_x)_{inicial} = m \cdot \vec{v}_x \text{ e } (\vec{Q}_x)_{final} = -m \cdot \vec{v}_x$$

Por outro lado, as componentes \vec{v}_y e \vec{v}_z não sofrem alteração. Portanto, a variação não quantidade de movimento da molécula ocorre apenas na direção x . Fique tranquilo, estudaremos choques tridimensionais com exaustão no capítulo de Impulso e Quantidade de Movimento.

A variação da quantidade de movimento da molécula é:

$$\Delta \vec{Q} = (\vec{Q}_x)_{final} - (\vec{Q}_x)_{inicial} = -m\vec{v}_x - m\vec{v}_x$$

$$\Delta \vec{Q} = -2m\vec{v}_x \text{ (eq.1)}$$

O tempo que a mesma molécula leva para atingir a face oposta, desde que não colida com nenhuma outra molécula, e voltar a colidir com a face BCDE é dado por:

$$\Delta t = \frac{\text{distância}}{\text{velocidade}} = \frac{2a}{v_x} \text{ (eq.2)}$$

O teorema do Impulso diz que:

$$\vec{I} = \Delta \vec{Q}$$



Onde o impulso médio é dado por:

$$\vec{I} = \vec{F} \cdot \Delta t.$$

Logo, temos que:

$$|\vec{I}| = |\Delta\vec{Q}| \Rightarrow |\vec{F}| \cdot \Delta t = |\Delta\vec{Q}|$$

$$\therefore |\vec{F}| = \frac{|\Delta\vec{Q}|}{\Delta t} \quad (\text{eq. 3})$$

Combinando as equações 1, 2 e 3, encontramos que:

$$|\vec{F}_1| = \frac{|\Delta\vec{Q}|}{\Delta t} = \frac{2m \cdot v_x}{\frac{2a}{v_x}} = \frac{mv_x^2}{a}$$

Mas essa é a força que calculamos para 1 molécula. Para chegarmos ao módulo da força total \vec{F} exercida sobre a face do cubo para as N moléculas, devemos somar a contribuição de cada uma delas:

$$|\vec{F}| = \frac{m}{a} (v_{x,1}^2 + v_{x,2}^2 + \dots + v_{x,N}^2)$$

Podemos multiplicar o numerador e o denominador por N que não afetará o valor de $|\vec{F}|$, já que $\frac{N}{N} = 1$, portanto:

$$|\vec{F}| = \frac{N \cdot m}{a} \cdot \left(\frac{v_{x,1}^2 + v_{x,2}^2 + \dots + v_{x,N}^2}{N} \right)$$

O termo $\left(\frac{v_{x,1}^2 + v_{x,2}^2 + \dots + v_{x,N}^2}{N} \right)$ é o *valor médio* de v_x^2 para todas as partículas. Assim, reescrevemos nossa última equação:

$$|\vec{F}| = \frac{N \cdot m}{a} \cdot \left(\frac{v_{x,1}^2 + v_{x,2}^2 + \dots + v_{x,N}^2}{N} \right) \Rightarrow |\vec{F}| = \frac{N \cdot m}{a} \cdot \overline{v_x^2}$$

Inicialmente, definimos que a velocidade das moléculas eram v e que $v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2$. Devido ao fato de o número de moléculas ser bem grande, podemos considerar que os valores médios de v_x^2 , v_y^2 e v_z^2 serão iguais, isto é:

$$\overline{v_x^2} = \overline{v_y^2} = \overline{v_z^2}$$

Logo:

$$\overline{v^2} = \overline{v_x^2} + \overline{v_y^2} + \overline{v_z^2} \Rightarrow \overline{v^2} = 3 \cdot \overline{v_x^2}$$

$$\overline{v_x^2} = \frac{1}{3} \cdot \overline{v^2}$$

Dessa forma, o módulo da força pode ser reescrito da seguinte forma:

$$|\vec{F}| = \frac{N \cdot m}{a} \cdot \overline{v_x^2} \Rightarrow |\vec{F}| = \frac{N \cdot m}{a} \cdot \frac{1}{3} \cdot \overline{v^2}$$



Logo, a pressão na nossa face de cubo é de:

$$P = \frac{|\vec{F}|}{a^2} = \frac{\left(\frac{N \cdot m}{a} \cdot \frac{1}{3} \cdot \overline{v^2}\right)}{a^2} \Rightarrow P = \frac{N \cdot m \cdot \overline{v^2}}{3a^3}$$

Como o volume do cubo é a^3 , chegamos que:

$$P = \frac{1}{3} \frac{N \cdot m \cdot \overline{v^2}}{V} \quad (eq.4)$$

Na expressão logo acima, o termo $N \cdot m$ representa a massa total de gás. Assim, $\frac{N \cdot m}{V}$ é a densidade (d) do gás. Por fim, chegamos que:

$$P = \frac{1}{3} \cdot d \cdot \overline{v^2}$$

Para finalizar, concluímos que ao medir as grandezas macroscópicas pressão e densidade, obtemos a velocidade média das moléculas do gás, uma grandeza microscópica.

A ENERGIA CINÉTICA DE UM GÁS IDEAL

PRESTE MAIS
ATENÇÃO!



A partir da equação 4, podemos escrever que:

$$P \cdot V = \frac{1}{3} (N \cdot m) \cdot \overline{v^2} \quad (eq.5)$$

Mas pela equação de Clapeyron, sabemos que:

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

Portanto, a equação 5 se torna:

$$n \cdot R \cdot T = \frac{1}{3} (N \cdot m) \cdot \overline{v^2} \quad (eq.6)$$

Dividindo os dois lados da equação por 2, temos:

$$\frac{3}{2} n \cdot R \cdot T = \frac{1}{2} (N \cdot m \cdot \overline{v^2})$$

Contudo, o termo $\frac{1}{2} (N \cdot m \cdot \overline{v^2})$ representa a energia cinética de translação total do gás, logo:

$$E_C = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot T \quad \text{ou} \quad E_C = \frac{3}{2} \cdot P \cdot V$$

Para calcular a energia cinética de translação de cada molécula, basta dividir pelo número de moléculas:



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

Entretanto, o número de moléculas pode ser escrito como $N = n \cdot N_A$, em que N_A é o número de Avogadro. Assim:

$$e_c = \frac{3}{2} \cdot \frac{n}{N} \cdot R \cdot T \Rightarrow e_c = \frac{3}{2} \cdot \left(\frac{R}{N_A}\right) \cdot T$$

O termo $\frac{R}{N_A}$ é chamada de constante de Boltzmann e é representada pela letra k minúscula. Seu valor é:

$$k = \frac{R}{N_A} \cong \frac{8,31 \frac{J}{mol \cdot K}}{6,023 \cdot 10^{23} mol^{-1}}$$

$$k \cong 1,38 \cdot 10^{-23} J/K$$

Por fim, concluímos que a energia cinética de translação de cada molécula é expressa por:

$$e_c = \frac{3}{2} \cdot k \cdot T$$

Esse resultado mostra que a energia cinética de translação, em média, em cada partícula de um gás ideal é função exclusiva de sua temperatura absoluta.

Além da energia cinética de translação, as moléculas possuem também energia cinética de rotação ou de vibração. Contudo, apenas a energia cinética de translação é relevante no cálculo da pressão exercida pelo gás sobre as paredes do recipiente.

Utilizando a equação 6 ($n \cdot R \cdot T = \frac{1}{3}(N \cdot m) \cdot \overline{v^2}$), podemos estimar a ordem de grandeza da rapidez das moléculas em um gás. Isolando o valor médio da velocidade é de:

$$n \cdot R \cdot T = \frac{1}{3}(N \cdot m) \cdot \overline{v^2} \Rightarrow \overline{v^2} = \frac{3 \cdot n \cdot R \cdot T}{N \cdot m} = \frac{3 \cdot n \cdot R \cdot T}{n \cdot N_A \cdot m} = \frac{3 \cdot R \cdot T}{n \cdot m}$$

Da química, lembramos que $n = m/\overline{M}$, em que \overline{M} é a massa molar do gás.

Logo:

$$\overline{v^2} = \frac{3 \cdot R \cdot T}{\overline{M}}$$

Portanto, a velocidade média quadrática do gás é expressa por:

$$\overline{v} = \sqrt{\frac{3 \cdot R \cdot T}{\overline{M}}}$$

Observe que a equação encontrada logo acima é semelhante a rapidez do som em um gás:

$$(v_{som})_{gás} = \sqrt{\frac{\gamma \cdot R \cdot T}{\overline{M}}}$$



Onde para o ar $\gamma = 1,4$. Esse resultado não nos surpreende, pois, uma onda sonora no ar é uma perturbação de pressão que se propaga devido as colisões entre as moléculas de ar.



O TEOREMA DA EQUIPARTIÇÃO

Quando estávamos calculando a energia cinética de translação da molécula, vimos que a energia em uma direção é $\frac{1}{2} \cdot k \cdot T$ (somando nas direções x, y e z temos $\frac{3}{2} \cdot k \cdot T$) ou, de forma equivalente, $\frac{1}{2} \cdot R \cdot T$ por mol, em que R é a constante universal dos gases e k é a constante de Boltzmann.

Vamos supor que a energia de uma molécula, analisada em apenas no movimento em uma dimensão, sofra um aumento momentâneo, por exemplo por uma colisão entre a molécula e um pistão durante uma compressão do gás, as colisões entre essa molécula e as demais irá rapidamente redistribuir a energia acrescentada.

No momento que o gás voltar ao equilíbrio, a energia acrescentada estará igualmente dividida entre as energias cinéticas de translação em cada uma das direções x, y e z . Esse fato é um caso especial do *teorema da equipartição*, um resultado importantíssimo da mecânica estatística clássica.

Nessa teoria, cada componente de posição e de quantidade de movimento (incorporado a posição angular e a quantidade de movimento angular, assunto que será visto mais a frente), que aparece como um termo quadrático na expressão da energia do sistema é chamado de *grau de liberdade*. Os graus de liberdade típicos estão associados a energia cinética de translação, de rotação e de vibração, e com a energia potencial de vibração.

Diante desses conceitos, o *teorema da equipartição* da energia afirma que:

Se uma substância está em equilíbrio, há uma energia média de $\frac{1}{2} \cdot k \cdot T$ por molécula ou $\frac{1}{2} \cdot R \cdot T$ por mol associada a cada grau de liberdade.

Esse teorema é utilizado para relacionar as capacidades térmicas medidas dos gases com sua estrutura molecular.



Exemplo:

Em um tanque termicamente isolado, temos duas seções de 30 litros, separados por uma divisória. Em uma das seções contém um mol de nitrogênio a 300 K e na outra seção contém um mol de hélio a 340 K . Quando a divisória é removida, os gases se misturam. Após a mistura, podemos afirmar que a pressão parcial do gás hélio é menor, igual ou maior do que a pressão parcial do gás hélio? A temperatura final da mistura é menor, igual ou maior que 320 K ?

Comentários:

Primeiramente, observe que o tanque está termicamente isolado, portanto, a energia total de seu conteúdo permanece inalterada. Dessa forma, se as moléculas de nitrogênio receberem energia é devido a perda de energia das moléculas de hélio. Devemos lembrar também que o hélio é monoatômico e o nitrogênio é diatômico. Após ocorrer a mistura, a temperatura de cada gás é igual à temperatura da mistura. Além disso, na teoria vimos que a temperatura de cada gás é diretamente proporcional à sua energia cinética de translação.

Diante disso, o esperado é que a energia cinética recebida pelas moléculas de nitrogênio se converta em energia cinética tanto de rotação quanto de translação. Como volume, temperatura e número de mols são os mesmos para os dois gases, pela Lei dos gases ideais as pressões parciais são iguais.

O nitrogênio é um gás diatômico e o hélio é um gás monoatômico, por isso, o nitrogênio possui mais graus de liberdade do que o hélio. Portanto, parte da energia recebida pelo nitrogênio será responsável pelo aumento na energia cinética de rotação da molécula. Por isso, a diminuição na temperatura do hélio é maior que o aumento da temperatura do nitrogênio. Portanto, a temperatura final é menor que 320 K .

O LIVRE CAMINHO MÉDIO

Se você está em um canto de uma sala e alguém abre um frasco de perfume do outro lado da sala, só depois de um tempo você perceberá o odor. Isso ocorre porque as moléculas do perfume não viajam diretamente até você, mas viajam em um caminho em ziguezague, devido as colisões com as moléculas de ar. Na verdade, a razão para você sentir o perfume do outro lado da sala é a existência de correntes de convecção de ar.

Chamamos de *livre caminho médio* a distância média λ percorrida por uma molécula entre colisões.

O livre caminho médio de uma molécula de gás depende do seu tamanho, do tamanho das moléculas vizinhas e da massa específica do gás.



Para calcular o caminho livre médio, vamos considerar o seguinte modelo:

- As colisões são elásticas.
- A molécula tem velocidade constante entre as colisões.
- As moléculas são esféricas.
- Consideraremos o caso particular de uma molécula livre enquanto as outras estão paradas (moléculas estacionárias).

Tomando uma molécula de raio r_1 se movendo com rapidez v em uma região com moléculas estacionárias. Tal molécula irá se colidir com uma outra molécula de raio r_2 se a distância entre os centros for $d = r_1 + r_2$ entre elas. Se todas as outras moléculas forem iguais, então d é o diâmetro molecular, como mostra a figura abaixo:

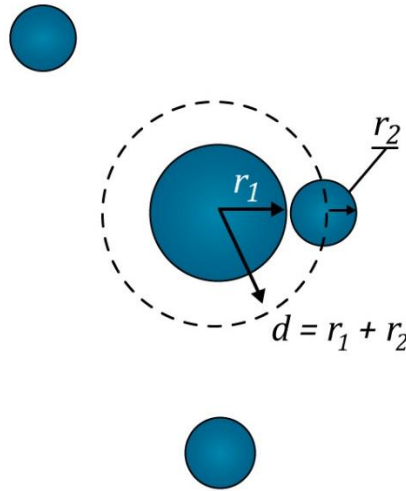


Figura 18: Esquema representativo de uma molécula (esfera central) se movendo em um gás. A molécula de raio r_1 colide com qualquer molécula de raio r_2 se os seus centros estiverem a uma distância $d = r_1 + r_2$.

Quando a molécula se move, ela colide com qualquer outra molécula cujo centro estiver em um círculo de raio d :

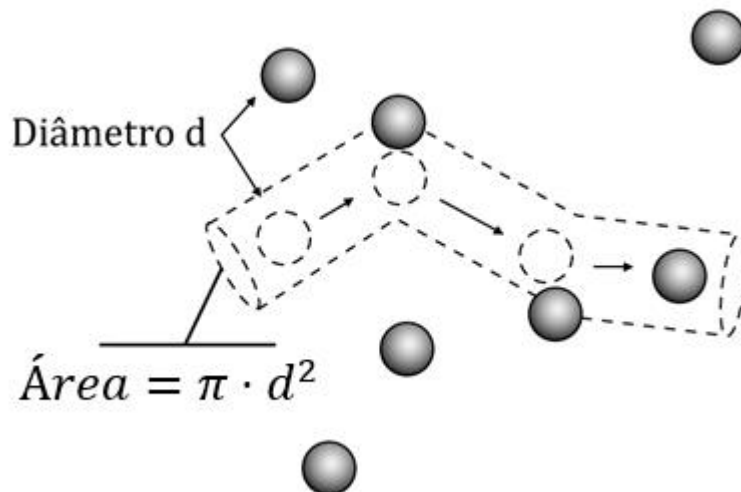


Figura 19: Esquema representativo de uma molécula se movendo com rapidez v em um gás com moléculas iguais a ela. Para um determinado intervalo de tempo (Δt), como representado na figura, a molécula irá colidir com qualquer molécula que estiver em um cilindro de volume $\pi d^2 \cdot v \cdot t$. Neste modelo, todas as colisões são supostas elásticas e todas as moléculas, exceto uma, estão em repouso, supostamente.

Dessa forma, após um intervalo de tempo Δt a molécula se desloca uma distância $v \cdot \Delta t$ e colide com todas as moléculas que estão dentro do cilindro de volume $\pi \cdot d^2 \cdot v \cdot \Delta t$. Se $n_V = N/V$ é o



número de moléculas por unidade de volume, então podemos dizer que o número de moléculas dentro do volume $\pi \cdot d^2 \cdot v \cdot \Delta t$ é de $N = n_V \cdot V = n_V \cdot \pi \cdot d^2 \cdot v \cdot \Delta t$.

Assim, o comprimento total do caminho dividido pelo número de colisões é o livre caminho médio:

$$\lambda = \frac{v \cdot \Delta t}{n_V \cdot \pi \cdot d^2 \cdot v \cdot \Delta t} = \frac{1}{n_V \cdot \pi \cdot d^2}$$

Nesse cálculo foi suposto que todas as moléculas do gás, menos uma, eram estacionárias, o que não ocorre na realidade. Por isso, a expressão correta para o livre caminho médio é:

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot n_V \cdot \pi \cdot d^2}$$

Note que o livre caminho médio não depende da temperatura do gás.

Chamamos de tempo de colisão τ o tempo médio entre colisões. O inverso do tempo de colisão, $1/\tau$, é denominado de frequência de colisões e corresponde ao número de colisões por segundo. Se a rapidez média é $v_{méd}$, então a distância média percorrida entre colisões é:

$$\lambda = v_{méd} \cdot \tau$$



Exemplo:

Calcule o caminho livre médio de uma molécula de monóxido de carbono e estime o tempo médio entre as colisões.

Dados:

- 1) a massa molar do monóxido de carbono: 28,0 g/mol.
- 2) temperatura da molécula de CO: 320 K.
- 3) pressão: 2,00 atm.
- 4) distância molecular: $3,75 \cdot 10^{-10} m$.

Comentários:

O livre caminho médio é expresso por:

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot n_V \cdot \pi \cdot d^2}$$

Por isso, devemos conhecer o número de moléculas por unidade de volume. Para isso, vamos combinar as duas equações:

$$\begin{cases} n_V = \frac{N}{V} \\ P \cdot V = N \cdot k \cdot T \end{cases} \Rightarrow n_V = \frac{N}{V} = \frac{P}{k \cdot T} \Rightarrow n_V = \frac{2 \cdot 101,3 \cdot 10^3 Pa}{(1,381 \cdot 10^{-23} J/K) \cdot (320 K)}$$

$$\therefore n_V = 4,58 \cdot 10^{25} \text{ moléculas/m}^3$$

Portanto, o livre caminho médio é de:

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot n_V \cdot \pi \cdot d^2} = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot 4,58 \cdot 10^{25} \cdot \pi \cdot (3,75 \cdot 10^{-10})^2}$$



$$\lambda = 3,50 \cdot 10^{-8} m$$

Podemos determinar a velocidade média da molécula por:

$$v_{rms} = \sqrt{\frac{3 \cdot R \cdot T}{M}} = \sqrt{\frac{3 \cdot (8,31 \frac{J}{mol \cdot K}) \cdot (320 K)}{0,0280 kg/mol}} = 533,8 m/s$$

Logo, o tempo médio entre as colisões é de:

$$\tau = \frac{\lambda}{v_{méd}} \cong \frac{\lambda}{v_{rms}} = \frac{3,50 \cdot 10^{-8} m}{533,8 m/s} = 6,55 \cdot 10^{-11} s$$

PRESTE MAIS
ATENÇÃO!



A DISTRIBUIÇÃO DE MAXWELL-BOLTZMANN

Em 1852, o físico escocês James Clerk Maxwell calculou a distribuição de velocidade das moléculas de um gás.

Para isso, Maxwell utilizou um aparato como na figura abaixo, onde foram plotados os valores medidos de rapidez para dois valores de temperatura.

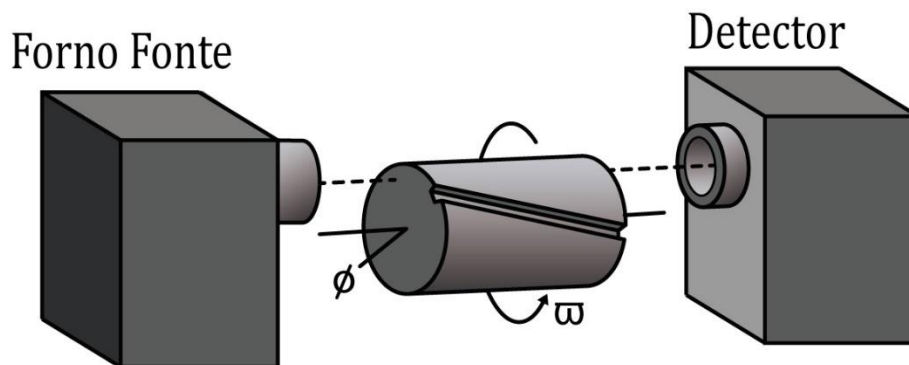


Figura 20: Esquema representativo do experimento realizado por Maxwell utilizado para estudar a distribuição de velocidade das moléculas de um gás.

No diagrama esquemático da figura acima, a substância é vaporizada em um forno e as moléculas escapam para dentro de uma câmara de vácuo, passando por um orifício na parede do forno.

As moléculas são colimadas em um feixe estreito por uma série de fendas que não são representadas no esquema. O feixe é direcionado para um detector que faz a contagem do número de moléculas incidentes sobre ele por um determinado tempo.

Existem pequenas fendas no cilindro (representamos apenas uma na nossa figura) que permitem a passagem de moléculas que possuem rapidez situada numa faixa pequena, determinada pela velocidade angular do cilindro.



Com isso, a contagem do número de moléculas que alcançam o detector para cada uma das velocidades angulares do cilindro fornece uma medida do número de moléculas em cada faixa de rapidez.

Chamamos de função distribuição de velocidades de Maxwell-Boltzmann a quantidade $f(v)$ e ao plotar $f(v)$ versus v , encontramos que:

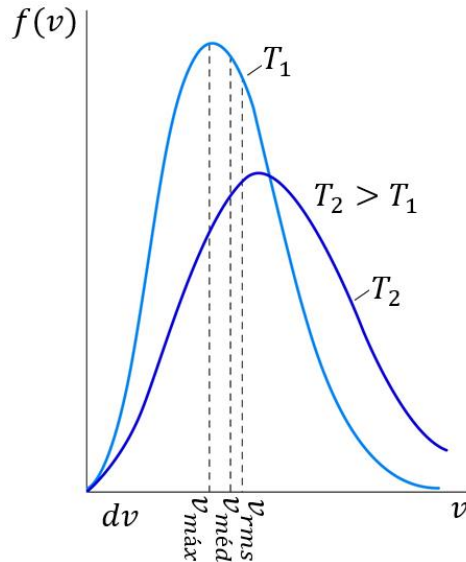


Figura 21: Gráfico da distribuição de velocidades moleculares de um gás para duas temperaturas em que $T_2 > T_1$. A área definida pelo produto $f(v) dv$ é igual à fração do número de moléculas com rapidez em uma pequena faixa dv . A rapidez média, $v_{méd}$, e a rapidez rms, v_{rms} , são ambas um pouco maiores do que a rapidez mais provável, $v_{máx}$.

As três medidas da distribuição de velocidade das moléculas de um gás são:

- Velocidade média:

$$v_{méd} = \sqrt{\frac{8 \cdot R \cdot T}{\pi \cdot \bar{M}}}$$

- Velocidade mais provável:

$$v_p = \sqrt{\frac{2 \cdot R \cdot T}{\bar{M}}}$$

- Velocidade média quadrática:

$$v_{rms} = \sqrt{\frac{3 \cdot R \cdot T}{\bar{M}}}$$



**Exemplo:**

Uma certa amostra de dióxido de carbono está a uma temperatura de 27°C . Calcule qual a velocidade média quadrática de suas moléculas.

Comentários:

Para o cálculo da massa molar do dióxido de carbono (CO_2):

$$\text{MM} = 12 + 2 \cdot 16$$

$$\text{MM} = 44 \text{ g/mol}$$

$$\text{MM} = 44 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$$

Transformando a temperatura para kelvin:

$$T_f = 27 + 273$$

$$T_f = 300 \text{ K}$$

Para o cálculo da velocidade quadrática média:

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{3 \cdot R \cdot T}{M}}$$

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{3 \cdot 8,31 \cdot 300}{44 \cdot 10^{-3}}}$$

$$\bar{v} \cong 412 \text{ m/s}$$



4. VARIÁVEIS DE ESTADO E PRINCIPAIS TRANSFORMAÇÕES

Inicialmente, para compreendermos a teoria cinética dos gases são necessárias algumas considerações:

- 1) As moléculas devem ser puntiformes, isto é, volume desprezível.
- 2) O movimento das moléculas deve ser aleatório.
- 3) As únicas interações entre as moléculas são choques perfeitamente elásticos, ou seja, não há perda de energia nos choques.
- 4) As forças intermoleculares devem ser desprezíveis.

Com isso, vamos definir alguns conceitos que serão fundamentais para o nosso estudo de gases.



PRESSÃO

Você já reparou que é mais fácil você furar a sua pele com uma agulha do que com um livro? Não importa se você aplique força enorme.

A chave para entender essa situação está no conceito de pressão. A pressão é a razão entre a força e a área na qual ela está sendo aplicada.

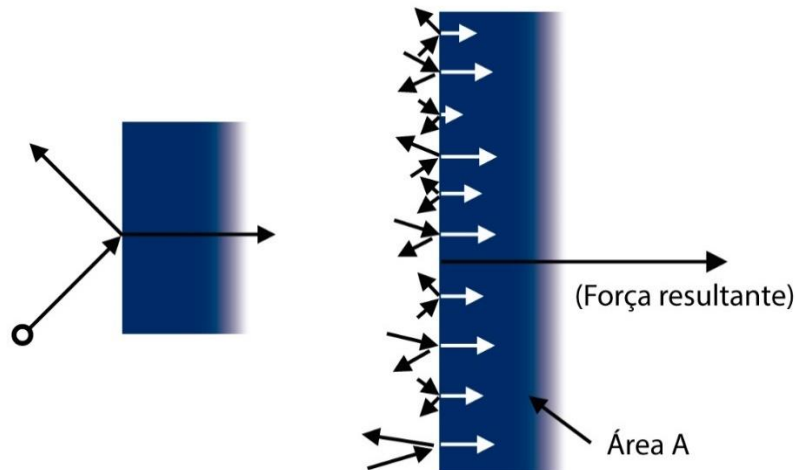


Figura 22: Representação das partículas se chocando com a parede.

Matematicamente, podemos escrever:

$$P = \frac{F}{A}$$

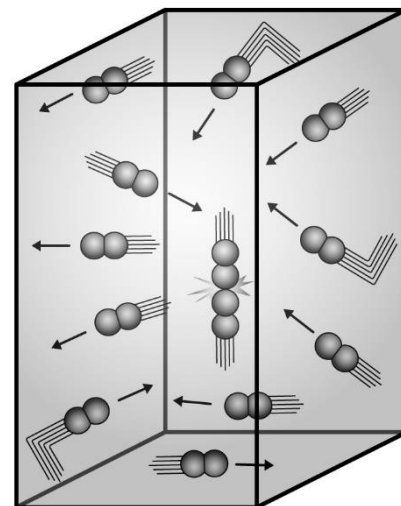


Devido ao fato de as moléculas de gás estarem sujeitas à agitação térmica, elas eventualmente se chocam entre si e com as paredes do recipiente que as contém.

A pressão interna do gás é o resultado desses choques que ocorrem entre as moléculas de gás e as paredes do recipiente.

A pressão é a variável mais importante para o estudo de um gás, pois ela diz respeito a como nós “sentimos” a substância no estado gasoso.

Por exemplo, a pressão parcial de oxigênio na atmosfera é de $0,21 \text{ atm}$ (o gás corresponde a 21% da atmosfera). Quando você vai viajar de avião – onde a pressão atmosférica é bem menor – ou quando você mergulha – onde a pressão é bem maior – a grande preocupação é de igualar a pressão parcial de oxigênio a $0,21 \text{ atm}$ ou o mais próximo possível desse valor. Desse modo, você vai conseguir respirar normalmente, seja debaixo da água ou na cabine de um avião.



TEMPERATURA

Na Física, a temperatura diz respeito ao grau de agitação das partículas. Quanto maior a temperatura, maior a agitação das partículas.

É importante destacar que, mesmo em um sólido, as partículas ainda usufruem de certa liberdade de movimentação e, por isso, os sólidos também apresentam temperatura.

No caso específico de gases, quanto maior for a temperatura maior será a sua energia interna e, conseqüentemente, a energia cinética de suas partículas.

Existe uma temperatura, denominada zero absoluto. O zero absoluto ($0\text{K} = -273,15^\circ\text{C}$) é a menor temperatura que existe, não sendo possível obter uma temperatura mais baixa.



No zero absoluto, cessa o movimento de translação das moléculas. No entanto, mesmo no zero absoluto, as moléculas ainda apresentam energia rotacional e vibracional residual.

Podemos fazer a afirmação logo acima, utilizando o Princípio da Incerteza de Heisenberg. De acordo com Heisenberg, não é possível determinar com certeza a velocidade e a posição de uma partícula simultaneamente. Se as partículas não possuíssem energia de rotação nem de vibração residual, seríamos capazes de determinar com certeza a sua velocidade, o que violaria o Princípio da Incerteza.



No entanto, você precisa saber dessa importante informação, pois é um tema que pode muito bem ser cobrado por um examinador mais impiedoso.

Lembrando que a conversão entre a escala Celsius ($T(^{\circ}\text{C})$) e a escala absoluta Kelvin ($T(\text{K})$) é dada por:

$$T(\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273,15$$

$$T(\text{K}) \cong T(^{\circ}\text{C}) + 273$$

É comum utilizar a aproximação para o zero Kelvin como -273°C .

Por exemplo, a temperatura de 27°C , que aparece muito em questões de prova, é equivalente a 300 K , pois $27 + 273 = 300\text{ K}$.

A LEI DOS GASES IDEAIS

Quando comprimimos um gás ideal, mantendo sua temperatura constante, verifica-se que sua pressão aumenta. Realizando o mesmo experimento, mas expandindo o gás ideal a temperatura constante, nota-se que a pressão diminui.

O produto da pressão pelo volume de uma amostra de gás ideal é constante, quando a temperatura não se altera. Tal resultado foi descoberto experimentalmente por Robert Boyle e é conhecido como lei de Boyle:

$$\boxed{P \cdot V = \text{constante}} \text{ (temperatura constante)}$$

Se fizermos o volume constante, ao aumentar a temperatura absoluta de uma amostra de gás, verifica-se que sua pressão também aumenta. Por outro lado, mantendo a pressão constante, quando se aumenta o volume de uma amostra de gás, sua temperatura absoluta também aumentará.

Esse resultado foi descoberto em laboratório por Jacques Charles e por Joseph Gay-Lussac. Combinando os resultados, podemos escrever que:

$$PV = C \cdot T \text{ ou } \frac{P \cdot V}{T} = C$$

Onde C é uma constante de valor positivo, a temperatura sempre na escala absoluta.

Tomando dois recipientes de mesmo volume, cada um com a mesma quantidade do mesmo gás, nas mesmas temperatura e pressão. Se duplicarmos a quantidade de gás no mesmo volume, mantendo a temperatura constante, verificamos que a pressão dobra pois dobramos a quantidade de choques com as paredes do nosso recipiente com a duplicação da quantidade de moléculas. Logo, a razão $\frac{P \cdot V}{T}$ dobrou de valor. Portanto, podemos dizer que a constante C é diretamente proporcional ao número de moléculas N de gás:

$$C = k \cdot N$$

Portanto:

$$\boxed{P \cdot V = N \cdot k \cdot T} \text{ (Lei dos gases ideais)}$$



Onde k é denominada *constante de Boltzmann*. Experimentalmente, determina-se que o valor de k é o mesmo para qualquer tipo de gás:

$$k = 1,381 \cdot 10^{-23} \text{ J/K} = 8,617 \cdot 10^{-5} \text{ eV/K}$$

Comumente, a quantidade de um gás é expressa em mol. Um mol de qualquer substância é a quantidade da substância que contém o número de Avogadro (N_A) de partículas. Como sabemos da química, $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.

Para n mols de uma substância, então o número de moléculas é:

$$N = n \cdot N_A$$

Logo, temos que:

$$P \cdot V = n \cdot N_A \cdot k \cdot T$$

Denotamos $N_A \cdot k = R$ como *constante universal dos gases*. Substituindo valores, temos que:

$$R = N_A \cdot k = 8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} = 0,08206 \frac{\text{L} \cdot \text{atm}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cong 2,0 \frac{\text{cal}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

Quando fazemos o gráfico de $\frac{PV}{nT}$ versus a pressão P para diversos gases, obtemos a seguinte figura:

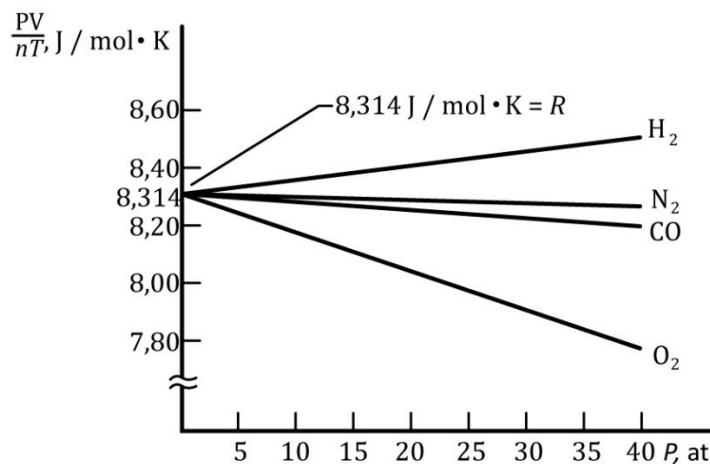


Figura 23: Gráfico de PV/nT pela P para gases reais. Ao variar a quantidade de gás, a pressão também varia. Entretanto, a razão PV/nT se aproxima do mesmo valor ($8,314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$), para todos os gases, quando suas pressões são reduzidas. Denota-se esse valor por constante universal dos gases, R .

Observe que a razão $\frac{PV}{nT}$ é praticamente constante para uma grande faixa de pressões. Note que para o oxigênio, gás que apresenta maior variação neste gráfico, temos uma variação de aproximadamente 1 por cento entre 0 e 5 atm.

Por isso, dizemos que um gás ideal é aquele que $\frac{PV}{nT}$ é constante para todas as pressões. Em um gás ideal, as funções de estado (temperatura, pressão e volume) se combinam da seguinte forma:

$$\boxed{P \cdot V = n \cdot R \cdot T} \text{ (Lei dos gases ideais)}$$

Essa equação é conhecida como Lei dos Gases Ideais ou ainda equação de Clapeyron. Podemos aplicar essa equação para gases reais que possuam pequena massa específica (logo, pequenas



pressões). Mais à frente veremos as correções que devem ser feitas quando saímos da idealidade do gás.

Note que $P \cdot V = N \cdot k \cdot T$ é equivalente a $P \cdot V = n \cdot R \cdot T$.

Com a equação de Clapeyron, vemos que basta conhecermos quaisquer duas das três variáveis de estado (P, V e T) para que o estado de uma dada quantidade de gás esteja completamente definido.

Define-se como estado normal de um gás pelos seguintes valores de pressão e temperatura:

$$P = 1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg}$$

$$T = 273 \text{ K} (0 \text{ }^\circ\text{C})$$

Geralmente, para indicar o estado normal usamos a sigla CNTP – condições normais de pressão e temperatura. Nessas condições, por exemplo, 1 mol de gás ideal ocupa um volume de 22,4 litros.

Pela equação de Clapeyron, quando fixamos a temperatura em um dado valor, o produto da pressão pelo volume para aquela quantidade de gás torna-se constante. Portanto, dizemos que $P \cdot V = cte$ para aquela temperatura trabalhada. Da matemática, sabemos que ao plotar a curva de pressão versus volume, a curva será uma hipérbole equilátera. Assim, temos as famosas isotermas.

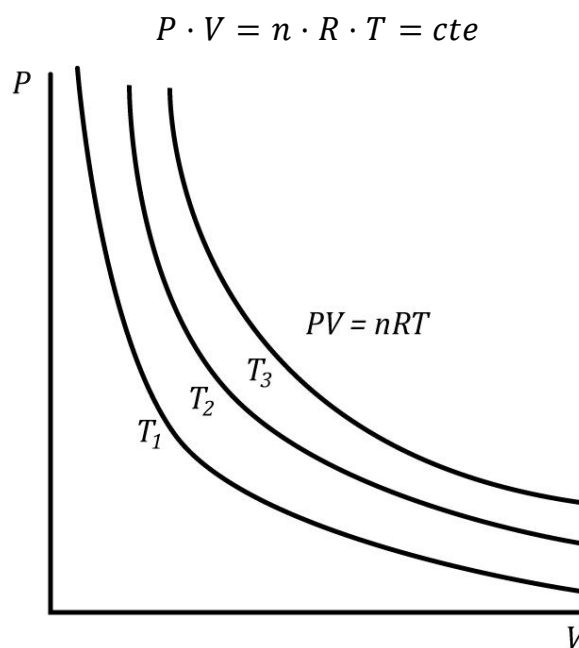


Figura 24: Gráfico da pressão pelo volume, mostrando as isotermas de acordo com as respectivas temperaturas. Podemos relacionar as temperaturas utilizando a equação de Clapeyron.

Além disso, pela matemática sabemos que $T_3 > T_2 > T_1$. Ou seja, a medida que a aumentamos a temperatura fixa com que trabalhamos nosso gás, mais longe ela estará da origem do plano $P - V$.

Por fim, devido ao fato de a molécula de gás ter volume desprezível, a pressão total exercida por uma mistura gasosa pode ser considerada a soma das pressões exercidas individualmente pelos gases da mistura, chamadas de pressões parciais. Tudo se passa como que a pressão parcial de cada gás da mistura fosse a pressão que ele exerceria quando ocupasse o recipiente sozinho.



Tal resultado – pressão total igual a soma das pressões parciais – é denominada de lei das pressões parciais.

DENSIDADE DE UM GÁS IDEAL

Dada uma amostra de um gás ideal com massa m , ocupando um volume V , por definição, a densidade do gás é:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Se um único tipo de molécula constituir o gás, a densidade (d) por ser chamada de massa específica (ρ) e a massa pode ser expressa pelo número de mol com a massa molar:

$$m = n \cdot \bar{M}$$

Pela equação de Clapeyron, temos que:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \Rightarrow P \cdot V = \frac{m}{\bar{M}} \cdot R \cdot T$$

$$\frac{P \cdot \bar{M}}{R \cdot T} = \frac{m}{V}$$

$$\therefore \boxed{\rho = \frac{P \cdot \bar{M}}{R \cdot T}}$$

4. LEI GERAL DOS GASES IDEAIS

Sem um gás perfeito sofre uma transformação em uma das três variáveis de estado (pressão P , volume V e temperatura T), sem alteração de massa, podemos utilizar a chamada Lei geral dos gases ideais.

Para isso, vamos obter essa lei por intermédio da equação de Clapeyron. Considerando que uma certa quantidade gás perfeito encontra-se no estado 1 definido por P_1 , V_1 e T_1 . Ao sofrer uma transformação para um estado 2, onde $P_1 \rightarrow P_2$, $V_1 \rightarrow V_2$ e $T_1 \rightarrow T_2$, mantendo a mesma massa, podemos aplicar a equação de Clapeyron em cada estado e verificar que:

$$P_1 \cdot V_1 = n \cdot R \cdot T_1 \Rightarrow \frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = n \cdot R$$

$$P_2 \cdot V_2 = n \cdot R \cdot T_2 \Rightarrow \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2} = n \cdot R$$

Portanto:

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

Lei geral dos gases ideais

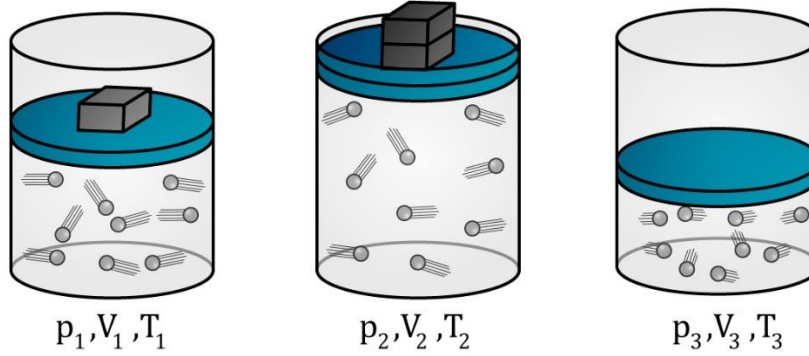


Figura 25: Três possíveis estados para o gás.

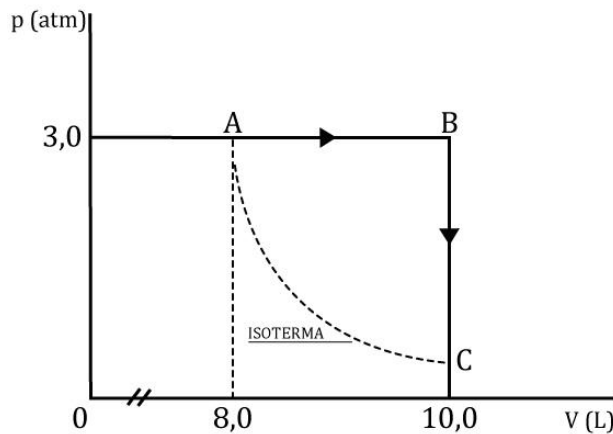
Aplicando a Lei geral dos gases para as transformações da figura logo acima, podemos escrever que:

$$\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2} = \frac{P_3 \cdot V_3}{T_3}$$



Exemplo:

Um mol de gás ideal sofre a transformação $A \rightarrow B \rightarrow C$ indicada no diagrama “pressão x volume” da figura.



É dada a constante universal dos gases: $R = 0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{l}}{\text{mol} \cdot \text{K}} = 8,3 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$

- a) qual é a temperatura do gás no estado A?
- b) qual é a pressão do gás no estado C?

Comentários:

a) pela equação de Clapeyron, podemos escrever que:

$$P_A \cdot V_A = n \cdot R \cdot T_A \Rightarrow 3 \cdot 8 = 1 \cdot 0,082 \cdot T_A \Rightarrow \boxed{T_A \cong 293 \text{ K}}$$

b) como mostrado no gráfico, a curva que liga os pontos A e C é uma isoterma, ou seja, $T_A = T_C$.

Logo, aplicando a Lei geral dos gases, temos:



$$\frac{P_A \cdot V_A}{T_A} = \frac{P_C \cdot V_C}{T_C} \Rightarrow P_A \cdot V_A = P_C \cdot V_C \Rightarrow 3 \cdot 8 = P_C \cdot 10 \Rightarrow P_C = 2,4 \text{ atm}$$

FIQUE
ATENÇÃO!



MISTURA FÍSICA DE GASES IDEAIS

Ao misturarmos vários gases ideais, de forma que não ocorram reações químicas entre as moléculas, ou seja, apenas ocorrem interações físicas entre as partículas, o número de mols da associação é a soma do número de mols de cada componente. Em outras palavras:

$$n_{mistura} = n_m = n_1 + n_2 + n_3 + \dots$$

A equação de Clapeyron fornece que:

$$n_i = \frac{P_i \cdot V_i}{R \cdot T_i}$$

Assim, temos que:

$$\frac{P_m \cdot V_m}{T_m} = \frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} + \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2} + \frac{P_3 \cdot V_3}{T_3} + \dots$$

Por exemplo, podemos pegar a mistura gasosa entre dois gases A e B, como mostra a figura abaixo:

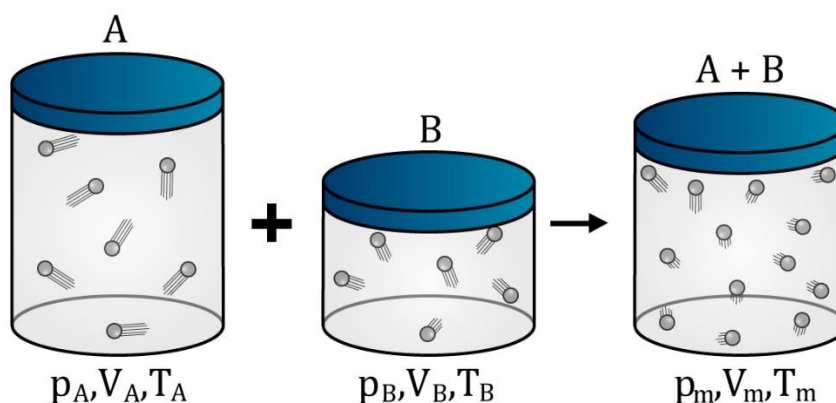


Figura 26: Mistura gasosa.

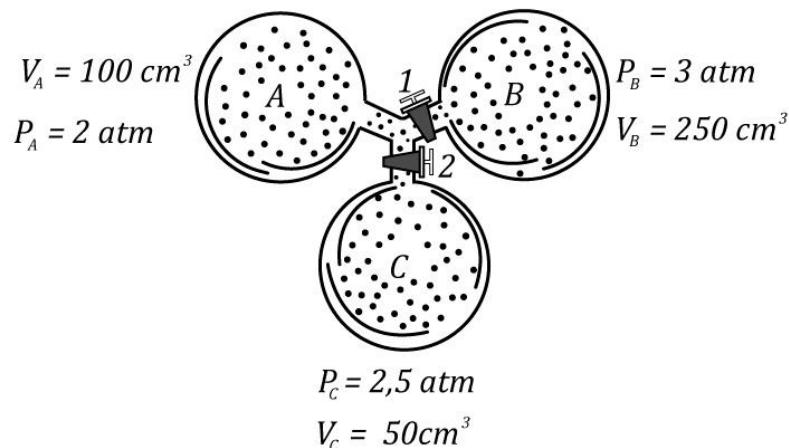
Portanto, aplicando o conceito que acabamos de ver, escrevemos que:

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



Exemplo:

Considere três recipientes contendo gases sob pressão e volume conforme mostrado na figura.



As paredes do recipiente são diatérmicas, isto é, permitem trocas de calor com o meio externo. Quando abrimos as válvulas 1 e 2, ocorrem as misturas gasosas sem que haja reação química. Se a temperatura durante o processo permanece igual a temperatura ambiente, determine a pressão final da mistura.

Comentários:

Durante a mistura, não há variação no número de mols total:

$$n_m = n_A + n_B + n_C$$

$$\frac{P_m V_m}{T_m} = \frac{P_A V_A}{T_A} + \frac{P_B V_B}{T_B} + \frac{P_C V_C}{T_C}$$

Como a temperatura permanece igual a temperatura ambiente, então:

$$P_m (V_A + V_B + V_C) = P_A V_A + P_B V_B + P_C V_C$$

$$P_m = \frac{P_A V_A + P_B V_B + P_C V_C}{V_A + V_B + V_C}$$

Ou seja, a pressão da mistura, desde que a temperatura seja constante, é a medida ponderada das pressões, tendo como pesos os volumes. Substituindo valores, encontramos que:

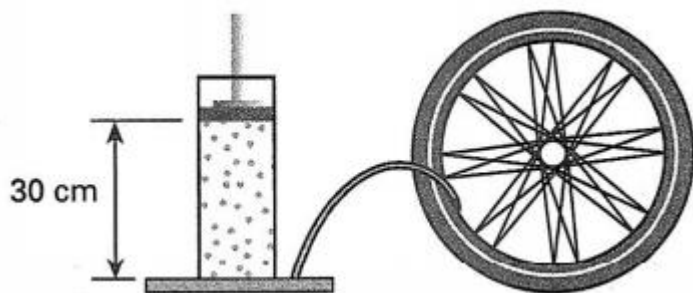
$$P_m = \frac{2 \cdot 100 + 3 \cdot 250 + 2,5 \cdot 50}{100 + 250 + 50} \cong 2,7 \text{ atm}$$

Exemplo:

(FUVEST – 1999) A figura mostra uma bomba de encher pneu de bicicleta. Quando o êmbolo está todo puxado, a uma distância de 30 cm da base, a pressão dentro da bomba é igual à pressão atmosférica normal. A área de seção transversal do pistão da bomba é 24 cm². Um ciclista quer encher ainda mais o pneu da bicicleta, que tem volume 2,4 litros e já está com uma pressão inicial de 3,0 atm. Ele empurra o êmbolo até o final de seu curso. Suponha que o volume do pneu permaneça constante e que o



processo possa ser considerado isotérmico e que o volume do tubo que liga a bomba ao pneu seja desprezível. a pressão final do pneu será, então, aproximadamente:



- a) 1,0 atm
- b) 3,0 atm
- c) 3,3 atm
- d) 3,9 atm
- e) 4,0 atm

Comentários:

De acordo com o enunciado, o processo é isotérmico. No momento em que o êmbolo é empurrado para baixo, temos que o número de mols da mistura dentro do pneu é dado pela soma do número de mols que existe no êmbolo mais o número de mols que já existe no pneu. Podemos ver como uma mistura gasosa, onde no final só existe os gases no volume do pneu. Além disso, o enunciado diz que o volume do pneu não se altera, logo, podemos escrever que:

$$P_{final} V_{pneu} = P_{emb} V_{emb} + P_{pneu} V_{pneu}$$

$$\text{Volume do êmbolo: } V = A_{base} \cdot h = 24 \text{ cm}^2 \cdot 30 \text{ cm} = 24 \cdot 30 \text{ cm}^3 = \frac{24 \cdot 30}{1000} \text{ litros}$$

Portanto:

$$P_{final} \cdot 2,4 = 1,0 \cdot \frac{24 \cdot 30}{1000} + 3 \cdot 2,4$$

$$P_{final} = 1,0 \cdot \frac{24 \cdot 30}{1000 \cdot 2,4} + 3 \cdot \frac{2,4}{2,4}$$

$$P_{final} = 0,3 + 3$$

$$P_{final} = 3,3 \text{ atm}$$

TRANSFORMAÇÕES GASOSAS USUAIS

Existem três transformações gasosas particulares bem comuns, lembrando que a massa não se altera no nosso caso:

- 1) *Isotérmica*: transformação à temperatura constante.
- 2) *Isobárica*: transformação à pressão constante.
- 3) *Isocórica ou isovolumétrica ou isométrica*: transformação à volume constante.

TRANSFORMAÇÃO ISOTÉRMICA

Em uma transformação isotérmica ($T = cte$), podemos aplicar a Lei Geral dos Gases:



$$\frac{P_1 \cdot V_1}{T} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T} \Rightarrow \boxed{P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2} \quad \text{Lei de Boyle}$$

Para uma transformação isotérmica, definida a temperatura de trabalho, o produto $P \cdot V$ define uma hipérbole chamada de *isoterma*.

Quanto maior a temperatura, mais afastada da origem se encontra a hipérbole. Tal fato é visto claramente pela equação de Clapeyron:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \Rightarrow T = cte \Rightarrow P \cdot V = k_1 \quad (\text{quanto maior } T \text{ maior } k_1)$$

Graficamente, temos que:

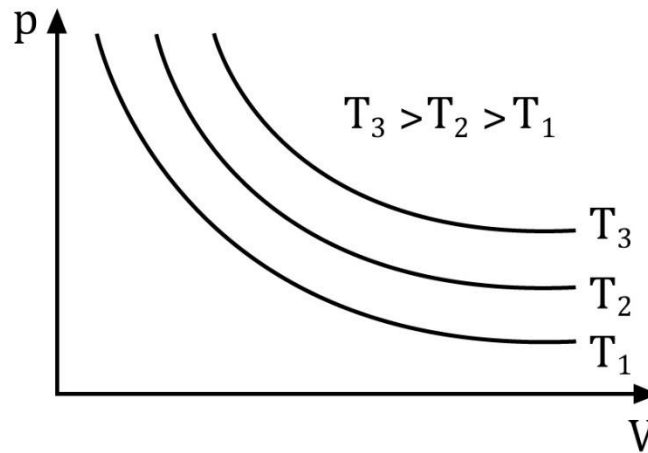


Figura 27: Gráfico da pressão pelo volume, em que $T_3 > T_2 > T_1$.

Uma forma bem comum de conseguir uma transformação isotérmica é variar a pressão e o volume do recipiente de formas bem lentas, pois assim o gás tem tempo o suficiente para entrar em equilíbrio térmico com o ambiente a cada passo da transformação.

Por exemplo, podemos pegar um êmbolo (E) que possui uma área de base A . Em um primeiro estado, o estado interno é definido pela pressão atmosférica somado à pressão exercido pela massa do êmbolo e a pressão do corpo sobre o êmbolo:

$$P_1 = P_{atm} + \frac{\text{peso de } E + \text{peso de } C}{A}$$

Nesse momento, o volume do recipiente que contém o gás é V_1 .

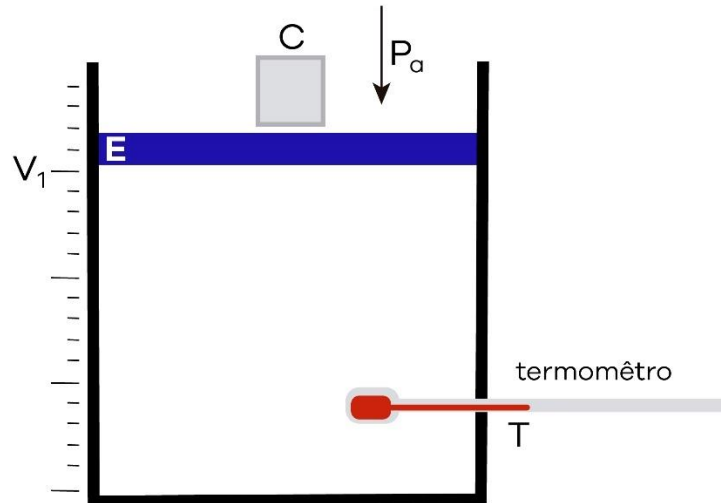


Figura 28: Desenho esquemático para o primeiro estado de uma possível transformação isotérmica.

Ao acrescentar sobre o êmbolo uma massa m_D a pressão aumenta para P_2 e o volume diminui para V_2 . Após certo tempo, a temperatura volta para T .

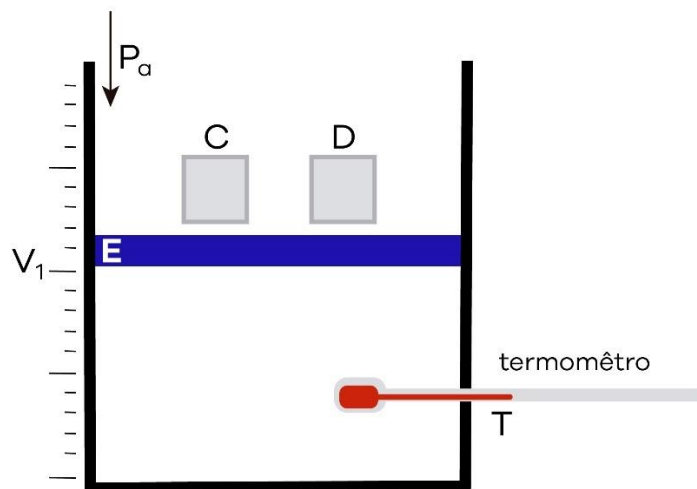


Figura 29: Desenho esquemático para o segundo estado de uma possível transformação isotérmica.

Nessa situação, a pressão P_2 pode ser escrita como:

$$P_2 = P_{atm} + \frac{\text{peso de E} + \text{peso de C} + \text{peso de D}}{A}$$

Registrando os valores de P_1, V_1, P_2 e V_2 verifica-se que:

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

Exemplo:

Um gás, confinado em um recipiente de 2L possui, em um momento inicial, uma pressão de 1,5atm. Esse fluido então sofre uma expansão isotérmica e seu recipiente agora totaliza 6L. Qual é sua pressão final em:

- a) Atm?
- b) Pa aproximadamente?

Comentários:



a) Sabemos que em transformações isotérmicas, é válido que:

$$P_i \cdot V_i = P_f \cdot V_f$$

$$1,5 \cdot 2 = P_f \cdot 6$$

$$P_f = 2 \text{ atm}$$

b) Para converter atm em Pa temos:

$$1 \text{ atm} - 10^5$$

$$2 \text{ atm} - y$$

$$\therefore y = 2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

TRANSFORMAÇÃO ISOBÁRICA

Pela Lei Geral dos Gases, em uma transformação isobárica ($P = cte$), podemos escrever que:

$$\frac{P \cdot V_1}{T_1} = \frac{P \cdot V_2}{T_2} \Rightarrow \boxed{\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}} \text{ Lei de Charles e Gay - Lussac}$$

Ou seja, em uma transformação isobárica, o volume é diretamente proporcional à sua temperatura absoluta.

Novamente, utilizando um êmbolo e um aquecedor, teremos que a pressão sobre o gás sempre será a pressão atmosférica e a pressão da massa do êmbolo:

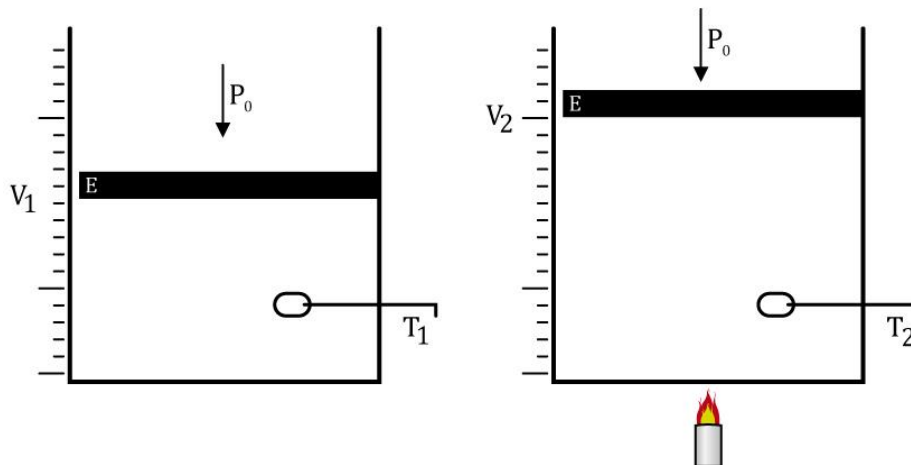


Figura 30: Desenho esquemático de uma possível transformação isobárica.

Assim temos que:

$$P = P_{atm} + \frac{\text{peso de } E}{A}$$

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

Ao plotarmos o gráfico do volume versus a temperatura absoluta do gás, verificamos que se trata de uma reta:

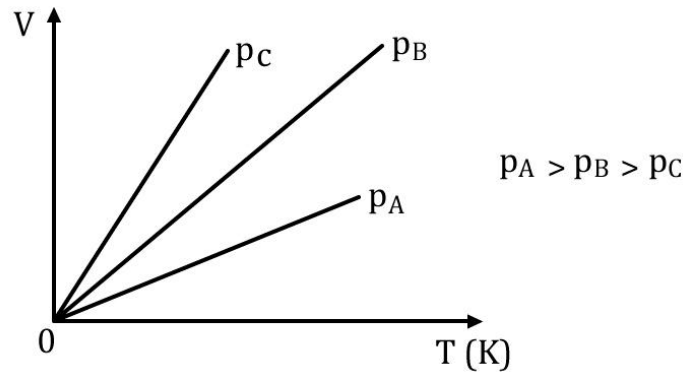


Figura 31: Gráfico do volume pela temperatura na transformação isobárica.

De acordo com a equação de Clapeyron, vemos que:

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

$$V = \left(\frac{n \cdot R}{P} \right) \cdot T$$

Como a pressão é constante, então $\frac{n \cdot R}{P}$ é constante. Logo, a relação entre V e T definem uma reta passando pela origem do nosso eixo (é importante a temperatura em Kelvin). Além disso, à medida que P aumenta, o coeficiente angular da reta ($\frac{n \cdot R}{P}$) se torna menor. Portanto, olhando o gráfico logo acima, concluímos que:

$$\boxed{P_A > P_B > P_C}$$

TRANSFORMAÇÃO ISOCÓRICA

Aplicando a Lei Geral dos Gases na transformação isocórica ($V = cte$), podemos escrever que:

$$\frac{P_1 \cdot V}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V}{T_2} \Rightarrow \boxed{\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}} \text{ Lei de Charles/Gay – Lussac}$$

Ou seja, em uma transformação isocórica, a pressão é diretamente proporcional a temperatura absoluta do gás.

Dessa forma, não alterando o volume, quando aumentarmos a temperatura absoluta do gás ideal, elevaremos a violência de cada choque das moléculas nas paredes do recipiente, resultando numa maior pressão interna.

Por outro lado, quando reduzimos a temperatura do recipiente para o zero absoluto, cessa o movimento de translação das moléculas do gás (lembrando que ainda tem energia potencial vibracional e rotacional residual, isto é, a energia nesse caso é mínima, mas não é zero). Com isso, concluímos que as moléculas não mais se chocam com as paredes do recipiente, portanto, a pressão será nula. Graficamente, temos que:

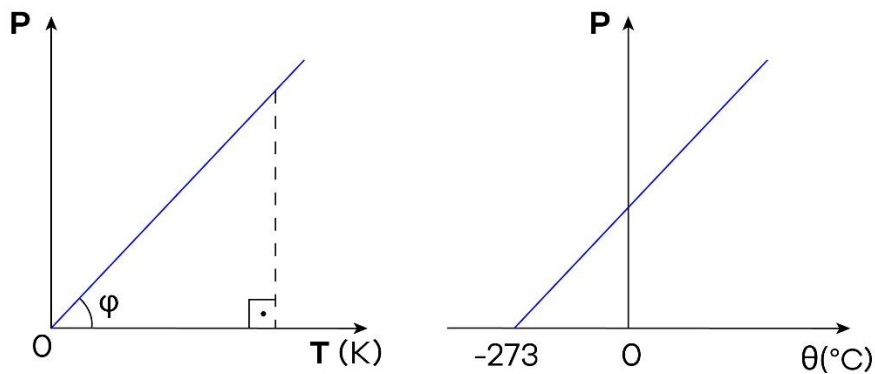


Figura 32: Gráfico da pressão pela temperatura de uma transformação isocórica para temperaturas em Kelvin e em Celsius.

Novamente, pela equação de Clapeyron, escrevemos a pressão em função da temperatura:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \Rightarrow P = \left(\frac{n \cdot R}{V} \right) \cdot T$$

Como a volume é constante, então $\frac{n \cdot R}{V}$ é constante. Logo, a relação entre P e T definem uma reta passando pela origem do nosso eixo (é importante a temperatura em Kelvin). Além disso, a medida que V aumenta, o coeficiente angular da reta ($\frac{n \cdot R}{V}$) se torna menor. Portanto, olhando o gráfico logo acima, concluímos que:

$$V_A > V_B > V_C$$

Exemplo:

Um gás X que está confinado em um recipiente A de volume 21L possui pressão igual a 3atm e temperatura igual a 210 K. Um outro recipiente B de 8,2L possui em seu interior 2 mols do mesmo gás X a 27°C.

- a) Qual a pressão do gás no recipiente B?
- b) Se misturarmos o conteúdo dos recipientes A e B em um frasco C com capacidade de 8L de armazenamento e a temperatura de equilíbrio for 127°C, qual será a pressão final dessa mistura?

Comentários:

Transformando a temperatura em graus Celsius para Kelvin do gás no recipiente B, temos:

$$T_B = 27 + 273$$

$$T_B = 300K$$

Agora, utilizando a equação de Clapeyron:

$$P_B \cdot V_B = n_B \cdot R \cdot T_B$$

$$P_B \cdot 8,2 = 0,082 \cdot 2 \cdot 300$$

$$P_B = 6 \text{ atm}$$

b)A temperatura da mistura ao final vai ser de:

$$T_t = 127 + 273$$

$$T_t = 400K$$

Para a mistura temos que:

$$n_t = n_A + n_B$$



$$\frac{P_t \cdot V_t}{R \cdot T_t} = \frac{P_A \cdot V_A}{R \cdot T_A} + n_B$$

$$\frac{P_t \cdot 8}{R \cdot 400} = \frac{3 \cdot 21}{R \cdot 210} + 2$$

$$P_t = 15 + 100R$$

$$P_t = 15 + 8,2$$

$$P_t = 23,2 \text{ atm}$$

Exemplo:

Uma panela de pressão possui uma certa quantidade de um gás em seu interior de modo que sua pressão inicial é de 1,6 atm a 47°C. Ao ser aquecida até 127°C, a panela libera uma certa massa de gás para que sua pressão continue constante. Qual a porcentagem do gás inicial liberada?

Comentários:

Transformando a temperatura inicial para kelvin:

$$T = 47 + 273$$

$$T = 320 \text{ K}$$

Seja (V) o volume da panela, então:

$$P_i \cdot V = n_i \cdot R \cdot T_i$$

$$1,6 \cdot V = n_i \cdot R \cdot 320$$

$$n_i = \frac{V}{R} \cdot 0,005$$

Transformando a temperatura final para kelvin:

$$T_f = 127 + 273$$

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

Após o aquecimento temos:

$$P_f \cdot V = n_f \cdot R \cdot T_f$$

$$1,6 \cdot V = n_f \cdot R \cdot 400$$

$$n_f = \frac{V}{R} \cdot 0,004$$

Portanto, a variação do número de mols foi:

$$\Delta n = \frac{V}{R} \cdot 0,005 - \frac{V}{R} \cdot 0,004 = \frac{V}{R} \cdot 0,001$$

Então, a porcentagem do gás inicial liberada foi de:

$$\frac{\Delta n}{n_i} = \frac{\frac{V}{R} \cdot 0,001}{\frac{V}{R} \cdot 0,005} = \frac{1}{5} = 0,2 \rightarrow 20\%$$



5. O EXPERIMENTO DE JOULE E A PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA

Por volta de 1840, James Prescott Joule (1818 – 1889) demonstrou através de um experimento a relação entre calor e energia mecânica.

A figura abaixo representa o aparato utilizado por Joule. Basicamente, ele determinou a quantidade de trabalho necessário para elevar a temperatura de uma libra de água em um grau Fahrenheit.

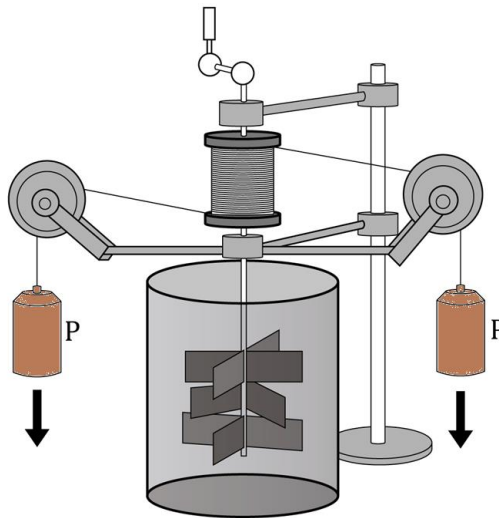


Figura 26: Desenho esquemático do experimento de Joule.

Considerando o recipiente com água (C) um sistema termicamente isolado, o dispositivo converte a energia potencial dos pesos em trabalho realizado sobre a água pelas pás. Trazendo para as unidades modernas e utilizando valores atuais, Joule descobriu que precisa de aproximadamente $4,18 J$ para aumentar a temperatura de 1 grama de água em $1^\circ C$. Essa conclusão de que $4,18 J$ de energia mecânica são equivalentes a 1 *cal* de calor é denominada de *equivalente mecânico do calor*.

De um modo geral, a termodinâmica estuda a conversão de energia não térmica (normalmente mecânica ou elétrica) para energia térmica e vice-versa.

Neste capítulo vamos abordar conceitos que são válidos para quaisquer sistemas. Entretanto, nos vestibulares e no ensino médio o estudo dá prioridade aos sistemas gasosos ideais e alguns tipos de transformações.

FIQUE
ATENTO!





A ENERGIA INTERNA DE UM GÁS IDEAL

A energia interna de um sistema é a soma de várias energias existentes em suas partículas. Nesse cálculo, são levados em consideração as energias cinéticas de translação, potencial de agregação, de ligação, nuclear, cinética de rotação, em síntese todas as energias existentes em suas moléculas.

Note que apenas uma parte dessa energia é térmica (cinética de translação e potencial de agregação). Dessa forma, quando fornecemos ou retiramos energia térmica de um sistema, provocamos uma variação de sua energia térmica. Em termodinâmica utilizamos essa variação de energia interna.

Para um gás ideal, vimos que a energia cinética de translação K das moléculas em um gás ideal depende de sua temperatura absoluta de acordo com a equação:

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

Em que n é o número de mols do gás e R é a constante universal dos gases.

Na idealidade dos gases, consideramos que as partículas são esferas de dimensões desprezíveis, não ocorrendo energia de ligação, muito menos energia de agregação. Devido ao fato de as dimensões serem desprezíveis, a energia de rotação também pode ser desprezada.

Dessa forma, a energia interna se reduz apenas a energia de cinética de translação de suas partículas. Portanto, $E_{int} = K$ e:

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

É comum utilizar a letra U para representar a energia interna de um gás ideal. Dessa forma, vemos que a energia interna dependerá apenas da temperatura do gás, e não de seu volume ou da pressão.

Caso as moléculas tiverem outros tipos de energia além da energia cinética de translação, por exemplo energia rotacional, a energia interna será maior do que $\frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot T$. Entretanto, pelo teorema da equipartição da energia, a energia média associada a qualquer grau de liberdade será $\frac{1}{2} \cdot R \cdot T$ por mol (ou $\frac{1}{2} \cdot k \cdot T$ por molécula). Observe que novamente a energia interna dependerá apenas da temperatura e não do volume ou da pressão.

Por outro lado, podemos pensar que a energia interna de um gás real precisa incluir outros tipos de energia, que dependa da pressão e do volume. De certa forma, podemos supor que neles as moléculas vizinhas de gás exerçam forças atrativas umas sobre as outras.

Portanto, é necessário um trabalho para aumentar a separação entre as moléculas. Dessa forma, caso a distância média entre as moléculas aumentar, a energia potencial associada à atração molecular também irá aumentar. Portanto, a energia interna do gás dependerá do volume, além de sua temperatura.

Para resolver esse impasse sobre a energia interna do gás depender ou não do volume, Joule realizou um experimento simples, mas interessante, utilizando um dispositivo semelhante ao da figura abaixo:

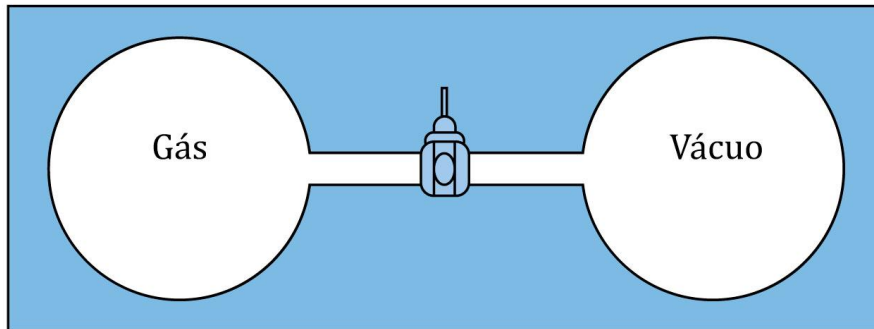


Figura 27: Expansão livre de um gás. Ao abrir a válvula, o gás se expande rapidamente para dentro da câmara de vácuo. Nesse experimento, nenhum trabalho é realizado sobre o gás e o sistema está todo termicamente isolado. Assim, as energias internas inicial e final do gás são iguais.

Inicialmente, o compartimento a esquerda contém um gás e o da direita está evacuado. A válvula na conexão está fechada. Todo o sistema está termicamente isolado da vizinha por paredes rígidas, portanto, nenhuma energia pode ser transferida para fora ou entrar no sistema e nenhuma energia pode ser transferida por trabalho realizado sobre o gás ou por ele.

Ao abrir a válvula, o gás rapidamente entra na câmara evacuada. Chamamos esse processo de *expansão livre de Joule*. O gás atinge o equilíbrio térmico com ele mesmo. Como nenhum trabalho foi realizado sobre o gás e nenhum calor foi transferido para ele, a energia interna do gás deve ser igual à energia interna inicial.

Se considerarmos que as moléculas do gás exercem forças atrativas umas sobre as outras, então a energia potencial associada a estas forças aumentará quando o volume crescer.

Pelo fato da energia se conservar, então a energia cinética de translação diminuirá, resultando em uma diminuição na temperatura do gás.

Contudo, quando Joule fez essa experiência, ele obteve que a temperatura final era igual à temperatura inicial. Posteriormente, experimentos confirmaram estes resultados para gases com massa específica pequena.

Com esse resultado, vemos que para um gás com massa específica pequena (próximo da idealidade de um gás) a temperatura depende apenas da energia interna, ou, como é comum, a energia interna depende apenas da temperatura.

Contudo, caso experimento seja realizado com uma grande quantidade de gás com uma massa específica alta, a temperatura após a expansão é levemente mais baixa do que a temperatura antes da expansão (antes de abrir a válvula). Assim, vemos que existe uma pequena atração entre as moléculas do gás real.

TRABALHO E O DIAGRAMA $P - V$ PARA UM GÁS

Na prática, em muitos motores o gás realiza trabalho expandindo-se contra um pistão móvel. Por exemplo, no motor a gasolina de um automóvel, uma mistura de vapor de gasolina e ar sofre ignição e entra em combustão.

Considere um gás ideal dentro de um cilindro com um pistão bem ajustado, suposto não haver atrito, como na figura abaixo:

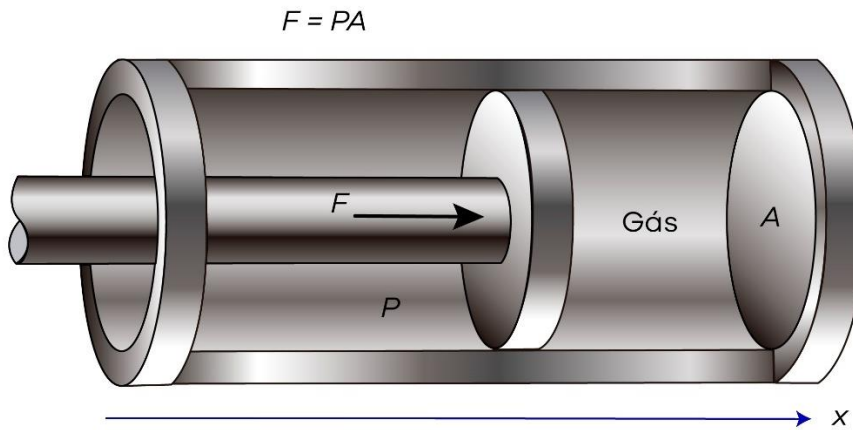


Figura 28: Pistão móvel termicamente isolado com gás confinado. Quando o gás se move uma distância dx , o volume do gás varia de $dV = A dx$. Dessa forma, o trabalho realizado pelo gás é de $P \cdot A \cdot dx = P \cdot dV$, em que P é a pressão externa.

Quando o pistão se move, o volume do gás varia. A temperatura ou a pressão, ou ambos, podem variar também, já que as três variáveis de estados estão relacionadas pela equação de estado $P \cdot V = n \cdot R \cdot T$.

Ao mover repentinamente o pistão para comprimir o gás, inicialmente a pressão será maior nas proximidades do pistão do que longe dele. Com isso, após certo tempo, o gás irá atingir novos valores de temperatura e pressão quando atingir o equilíbrio.

Antes que o equilíbrio seja restabelecido no gás, não se pode determinar as variáveis macroscópicas (T , P ou E_{int}).

Contudo, quando movemos o pistão bem lentamente, em pequenas etapas, de tal forma que permitimos o restabelecimento do equilíbrio a cada etapa, podemos comprimir ou expandir um gás sem que ele esteja distante de um estado de equilíbrio. Chamamos esse tipo de mecanismo de *processo quase-estático*, pois nele o gás passa por uma série de estados de equilíbrio.

Atenção!

Nesse tipo de processo a pressão do gás é praticamente a pressão externa, a diferença é apenas de um infinitesimal de pressão (dP). Por isso, podemos considerar que em um processo quase-estático a pressão do gás é igual a pressão externa.

Dessa forma, considere que um gás se expande quase-estaticamente. A intensidade da força F exercida pelo gás sobre o pistão é $F = P \cdot A$, em que P é a pressão do gás e A é a área do pistão. Assim, se o pistão deslocar uma pequena distância dx , o trabalho realizado pelo gás sobre o pistão é:

$$d\tau_{\text{pelo gás}} = F_x \cdot dx = P \cdot A \cdot dx$$

$$\therefore d\tau_{\text{pelo gás}} = P \cdot dV$$

Onde $dV = A \cdot dx$ é o aumento do volume do gás.

Observe que no sentido oposto, o pistão exerce uma força de magnitude $P \cdot A$ sobre o gás, durante a expansão. Sendo assim, podemos escrever que o trabalho realizado pelo pistão sobre o gás é exatamente o oposto do trabalho realizado pelo gás:

$$d\tau_{\text{sobre o gás}} = -d\tau_{\text{pelo gás}} = -P \cdot dV$$

Note que:



- Expansão: $dV > 0 \Rightarrow d\tau_{sobre\ o\ gás} < 0$ e $d\tau_{pelo\ gás} > 0$
- Compressão: $dV < 0 \Rightarrow d\tau_{sobre\ o\ gás} > 0$ e $d\tau_{pelo\ gás} < 0$

Se um gás sofre uma compressão ou uma expansão durante um processo, do volume V_i para o volume V_f , então o trabalho realizado pelo gás é:

$$\tau_{pelo\ gás} = - \int_{V_i}^{V_f} P dV$$

E dessa forma, em um gráfico $P \times V$, a área representa numericamente o módulo do trabalho:

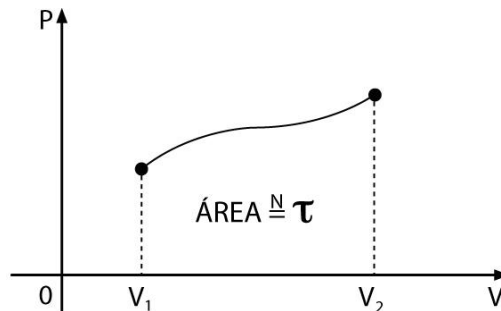


Figura 29: Gráfico da pressão pelo volume, em que a área sob a curva é numericamente igual ao trabalho do gás.

Após calcular a área do gráfico, devemos observar se o processo é uma expansão ou uma compressão e colocar o sinal do trabalho de acordo com nossa convenção.

Observação: quando o processo não é quase-estático, dizemos que ele é um *processo espontâneo* e, nesse caso, o trabalho pelo gás é calculado utilizando a pressão externa:

$$w_{pelo} = \int_{V_i}^{V_f} P_{ext} dV$$

PRESTE MAIS ATENÇÃO!



A PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA

Considere que um gás absorva uma certa quantidade de calor. Ele pode fazer duas coisas com esse calor:

- Realizar um trabalho contra a fronteira (uma forma de transferir energia para a vizinhança)
- Aumentar a sua energia interna (aumentar a agitação das moléculas e a temperatura do gás)

Sendo Q o calor absorvido, W o trabalho realizado pelo gás e ΔU a variação na energia interna



$$Q = \Delta U + W_{\text{pelo}}$$

A convenção acima é chamada de convenção Física. Podemos reescrever a Primeira Lei da seguinte forma:

$$\Delta U = Q + W_{\text{sobre}}$$

Essa convenção é chamada de convenção Química, o trabalho acima, entretanto, é o trabalho realizado sobre o gás.

Utilize a que mais lhe agradar, eu utilizo a primeira.

A primeira lei é um princípio de conservação de energia, uma contabilização energética de ganhos e perdas de um sistema.

Exemplo:

Em um processo termodinâmico, um gás perfeito se expande realizando um trabalho de 50 J , quando recebe 200 J de uma fonte de calor. Calcule a variação de energia interna sofrida pelo gás.

Comentários:

O calor é transferido para o sistema, portanto ele será positivo e o trabalho mencionado pelo enunciado é o trabalho realizado pelo gás, então, o trabalho do gás é de 50 J . Pela primeira lei temos:

$$\Delta U = Q - W$$

$$\Delta U = 200 - 50$$

$$\Delta U = 150 \text{ J}$$

Exemplo:

Em uma certa quantidade de gás ideal é realizado um trabalho de 250 J , recebendo 100 J de uma fonte de calor. Qual a variação na energia interna do gás?

Comentários:

Repare que o enunciado fornece o trabalho sobre o gás, portanto, pela nossa convenção $W = -250 \text{ J}$. Além disso, o calor que entra no sistema é transferido ao gás, ou seja, $Q = +100 \text{ J}$. Logo, pela primeira lei temos:

$$\Delta U = Q - W$$

$$\Delta U = 100 - (-250)$$

$$\Delta U = 350 \text{ J}$$

Exemplo:

(IME - 1996)

Um corpo recebe 40 joules de calor de um outro corpo e rejeita 10 joules para o ambiente. Simultaneamente, o corpo realiza um trabalho de 200 joules . Baseado na



Primeira Lei da Termodinâmica, estabeleça o que acontece com a temperatura do corpo em estudo.

Comentários:

O corpo realiza um trabalho de 200 joules, logo, $W = 200 J$. Além disso, o calor que entra no sistema é o saldo daquilo que ele recebe com aquilo que ele rejeita, ou seja, $Q = 40 - 10 = 30 J$. Pela Primeira Lei da Termodinâmica, temos:

$$\Delta U = Q - W$$

$$\Delta U = 30 - 200 = -170 J$$

Com esse resultado, vemos que a energia interna reduziu, portanto, a temperatura interna diminui.

Exemplo:

Um gás sofre uma expansão isobárica na qual sua pressão permanece constante e no valor de 5000 Pa e seu volume varia de $0,7m^3$ para $0,9m^3$. Se o fluido recebeu do meio externo 600J de energia térmica, qual a sua variação de energia interna?

Comentários:

Para uma expansão isobárica, o valor do trabalho pode ser calculado por:

$$\tau = P \cdot \Delta V$$

$$\tau = 5000 \cdot (0,9 - 0,7)$$

$$\tau = 1000 J$$

Pela primeira lei da termodinâmica:

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

$$600 = \Delta U + 1000$$

$$\Delta U = -400J$$

Portanto, houve uma perda de 400J de energia interna.

Exemplo:

Um Sistema termodinâmico constituído por um gás ideal troca calor com o meio externo no valor de 650J. Calcule a variação da energia interna no caso de:

- a) Resfriamento a volume constante
- b) Aquecimento isocórico
- c) Expansão isotérmica

Comentários:

a) No caso de volume constante, como já visto, o trabalho é nulo $\tau = 0$

Dessa forma, pela primeira lei da termodinâmica:

$$Q = \Delta U$$

Se houve um resfriamento é porque $Q < 0$, logo:

$$\Delta U = -650J$$

b) A transformação isocórica representa que o volume esteja constante, portanto, igualmente o trabalho será nulo $\tau = 0$

Dessa forma, pela primeira lei da termodinâmica:

$$Q = \Delta U$$

Se houve um aquecimento é porque $Q > 0$, logo:

$$\Delta U = +650J$$



c) Quando uma transformação é isotérmica, a variação da energia interna é nula $\Delta U = 0$

PRIMEIRA LEI APLICADA ÀS TRANSFORMAÇÕES ISOBÁRICA E ISOCÓRICA DE UM GÁS IDEAL

TRANSFORMAÇÃO ISOBÁRICA

Seja n o número de mols de uma certa quantidade de um gás perfeito que é aquecida sob pressão constante. Podemos representar esse processo pelo seguinte esquema:

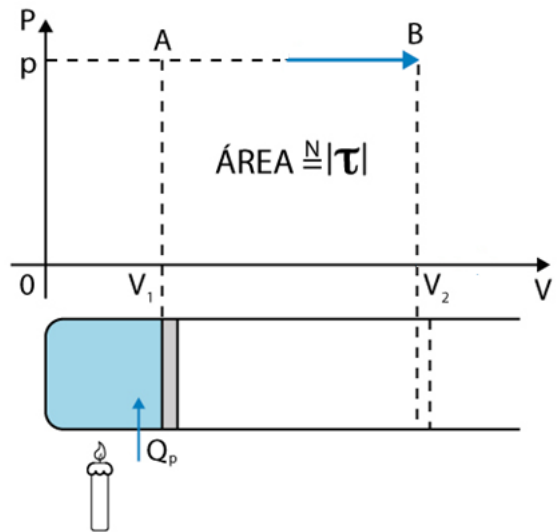


Figura 30: Diagrama P-V para uma expansão isobárica.

Dessa forma, aplicando nossa definição de trabalho, temos que:

$$W = \int_{V_i}^{V_f} P dV = P \cdot \int_{V_i}^{V_f} dV = P \cdot (V_f - V_i)$$

$$W = P \cdot \Delta V$$

Utilizando a equação de Clapeyron nos estados A e B, temos que:

$$\begin{cases} P \cdot V_A = n \cdot R \cdot T_A \\ P \cdot V_B = n \cdot R \cdot T_B \end{cases} \Rightarrow P \cdot \Delta V = n \cdot R \cdot \Delta T$$

Então, podemos escrever o trabalho do gás da seguinte maneira:

$$W = n \cdot R \cdot \Delta T$$

Por outro lado, a quantidade de calor recebida pelo gás pode ser expressão em função do seu calor específico c_p ou da capacidade calorífica C_p , sob pressão constante, de acordo com as expressões:



$$Q_p = m \cdot c_p \cdot \Delta T \text{ ou } Q_p = n \cdot C_p \cdot \Delta T$$

Note que nesse caso ocorre um aumento de temperatura ($V_B > V_A \Rightarrow T_B > T_A$), portanto, a variação da energia interna é positiva. De acordo com a primeira lei, $\Delta U = Q - W$, como o trabalho do gás é positivo e a energia interna aumentou, concluímos que a quantidade de calor recebida é maior que o trabalho realizado pelo gás ($Q > W$).

Em contrapartida, se n mols de um gás sofrer uma compressão isobárica, isto é, reduzirá o volume do sistema, então teremos que o trabalho pelo gás é negativo ($W < 0$).

Graficamente, podemos representar da seguinte forma:

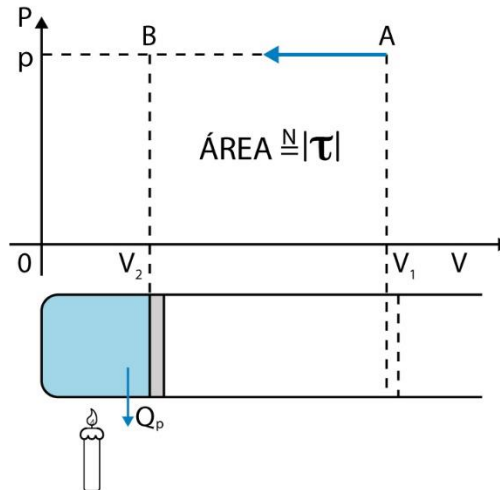


Figura 31: Diagrama P - V para uma compressão isobárica.

Nesse caso, pela equação de Clapeyron vemos que $V_B < V_A \Rightarrow T_B < T_A$, ou seja, $\Delta T < 0$. Portanto, a variação de energia interna é negativa ($\Delta U < 0$). Logo, pela primeira lei temos:

$$Q = \Delta U + W$$

$$Q = \textit{negativo} + \textit{negativo}$$

Logo, concluímos que o gás irá perder calor. Em módulo, temos que:

$$|Q| > |W|$$

De um modo geral, podemos dizer que na transformação isobárica, expansão ou contração, de uma certa quantidade de um gás perfeito, o módulo da quantidade de calor trocado é sempre maior que o módulo do trabalho realizado.

TRANSFORMAÇÃO ISOCÓRICA

Dada uma certa quantidade de um gás perfeito sendo aquecida a volume constante. A temperatura aumentará de T_A para T_B , logo a pressão também aumentará ($P_B > P_A$).

Como não há variação de volume ($dV = 0$), o gás não realiza trabalho. Portanto:

$$W = 0$$

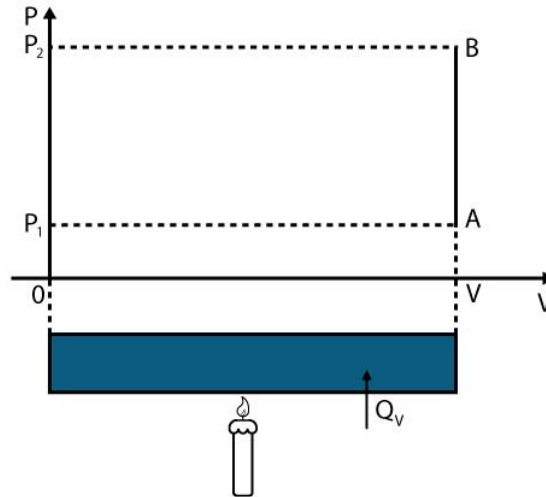


Figura 32: Aquecimento isocórico, isto é, calor trocado a volume constante.

Dado que o calor específico c_V e a capacidade calorífica C_V a volume constante, a quantidade de calor Q_V que o gás recebe ao sofrer a variação de temperatura ΔT pode ser escrita por:

$$Q_V = m \cdot c_V \cdot \Delta T \text{ ou } Q_V = n \cdot C_V \cdot \Delta T$$

De acordo com a Primeira Lei da Termodinâmica, teremos:

$$\Delta U = Q - W$$

$$\Delta U = Q - 0 = Q_V$$

Nesse resultado, consideramos um aquecimento isocórico de uma massa gasosa, portanto, $Q_V > 0 \Rightarrow \Delta U > 0$, conforme o esperado, já que ao aquecer estamos aumentando a temperatura do gás ($\Delta T = T_B - T_A > 0$).

Para o caso de um resfriamento isocórico, ou seja, retiramos calor do nosso sistema, teremos que $Q_V < 0$. Portanto, a variação da energia interna será negativa ($\Delta U < 0$). Como esperado, a temperatura diminuiria ($\Delta T < 0 \Rightarrow T_B < T_A$).

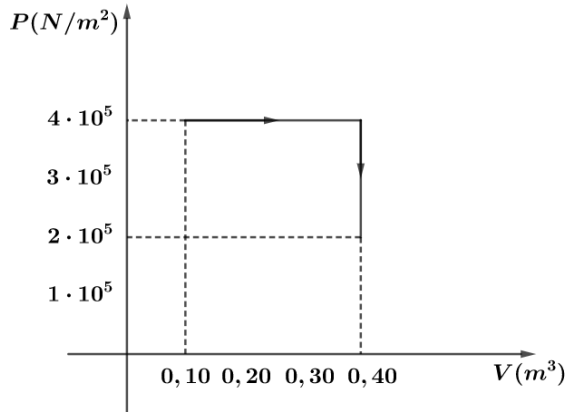
Podemos concluir que em uma transformação isocórica (aquecimento ou resfriamento), a variação de energia interna sofrida pelo gás ideal é sempre igual ao calor trocado.

ATENÇÃO
DECORE!



Exemplo:

Considere um gás ideal que sofre as seguintes transformações:



Nesse processo termodinâmico, o gás recebe $3,0 \cdot 10^5 J$ na forma de calor e $T_A = 27^\circ C$. Calcule:

- a temperatura do gás em C.
- o trabalho realizado sobre gás no processo.
- a variação de energia interna sofrida pelo gás.

Comentários:

a) Pela Lei Geral dos Gases, podemos relacionar o estado A com C:

$$\frac{P_A \cdot V_A}{T_A} = \frac{P_C \cdot V_C}{T_C} \Rightarrow \frac{4 \cdot 10^5 \cdot 0,10}{27 + 273} = \frac{2 \cdot 10^5 \cdot 0,40}{T_C}$$

$$T_C = 600 K \text{ ou } T_C = 327^\circ C$$

b) no trecho AB, temos uma transformação isobárica, onde o gás sofre expansão. Logo, o trabalho sobre é dado por:

$$\tau_{A \rightarrow B / \text{sobre}} = -P \cdot (V_B - V_A) = -4 \cdot 10^5 \cdot (0,4 - 0,1) = -1,2 \cdot 10^5 J$$

Já no trecho BC, temos uma transformação isocórica. Logo, o trabalho nesse trecho será nulo.

Portanto:

$$\tau_{A \rightarrow C / \text{sobre}} = \tau_{A \rightarrow B} + \tau_{B \rightarrow C} = -1,2 \cdot 10^5 + 0 = -1,2 \cdot 10^5 J$$

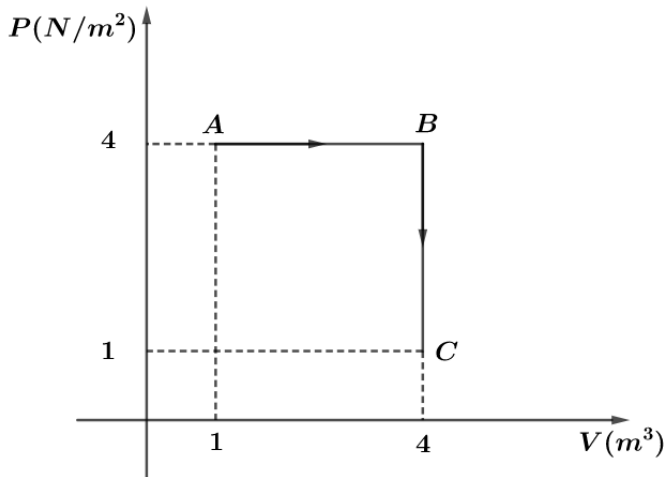
c) dado que a quantidade de calor que entra no sistema é de $2,5 \cdot 10^5$, pela primeira lei temos:

$$\Delta U = Q + \tau_{\text{sobre}} = 3,0 \cdot 10^5 + (-1,2 \cdot 10^5) = 1,8 \cdot 10^5 J$$

Exemplo:

(FUVEST – SP)

O gráfico da figura representa uma transformação reversível sofrida por uma determinada massa de gás perfeito.



- a) qual a variação da temperatura do gás entre o estado inicial A e o estado final C ?
 b) qual a quantidade de calor, em joules, recebida pelo gás na transformação ABC ?

Comentários:

a) utilizando a Lei Geral dos Gases, temos que:

$$\frac{P_A \cdot V_A}{T_A} = \frac{P_C \cdot V_C}{T_C}$$

$$\frac{4 \cdot 1}{T_A} = \frac{1 \cdot 4}{T_C} \Rightarrow T_C = T_A \Rightarrow \boxed{\Delta T = 0}$$

b) pela primeira lei, $\Delta U = Q - W$, como a temperatura de C é igual a de A , a variação de energia interna é zero ($(\Delta U)_{AC} = 0$). Portanto, o calor recebido é igual ao trabalho realizado pelo gás:

$$Q = W = (\tau_{A \rightarrow B} + \tau_{B \rightarrow C})$$

Repare que no trecho BC , temos uma isocórica, ou seja, $\tau_{B \rightarrow C} = 0$. Portanto:

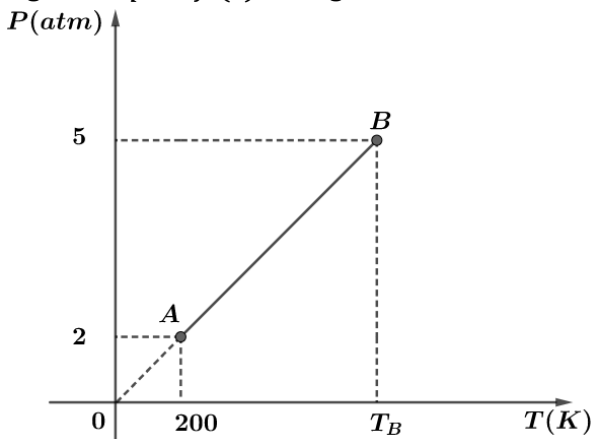
$$Q = \tau_{A \rightarrow B} = P \cdot \Delta V$$

$$Q = 4 \cdot (4 - 1) \Rightarrow \boxed{Q = 12 \text{ J}}$$

Exemplo:

(FEI – SP)

Um gás, constituído por 5 mols de moléculas, sofre uma transformação de acordo com o gráfico $p = f(t)$ da figura abaixo.



Sendo o calor molar a volume constante do gás $C_V = 5 \text{ cal}/(\text{mol} \cdot \text{K})$, determine:

- a) o tipo de transformação sofrida pelo gás.
 b) o calor e a variação da energia interna sofrida pelo gás nessa transformação.



Comentários:

a) pela equação de Clapeyron, podemos analisar como a pressão pode variar com a temperatura para um gás perfeito:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \Rightarrow P = \left(\frac{n \cdot R}{V}\right) \cdot T \Rightarrow P(T) = \left(\frac{n \cdot R}{V}\right) \cdot T$$

Se o termo $\frac{n \cdot R}{V}$ for constante, o gráfico de $P \times T$ será uma reta, como mostra o gráfico. Como n e R não se alteram nesse processo, então V permanece constante. Portanto, trata-se de uma transformação isocórica.

b) como sabemos, em uma transformação isocórica $\Delta E_{int} = Q_V$. Logo:

$$Q_V = n \cdot C_V \cdot \Delta T = 5 \cdot 5 \cdot (T_B - 200)$$

Assim, precisamos saber qual é a temperatura em B. Para isso, basta utilizar a Lei de Charles:

$$\frac{P_A}{T_A} = \frac{P_B}{T_B} \Rightarrow \frac{2}{200} = \frac{5}{T_B} \Rightarrow \boxed{T_B = 500 \text{ K}}$$

Logo:

$$Q_V = 25 \cdot (500 - 200)$$

$$\boxed{Q_V = 7500 \text{ cal}} \Rightarrow \boxed{\Delta E_{int} = 7500 \text{ cal}}$$

FIQUE
ATENTO!





A PRIMEIRA LEI APLICADA À TRANSFORMAÇÃO ISOTÉRMICA DE UM GÁS IDEAL

Considere n mols de moléculas de um gás perfeito sofrendo um processo isotérmico como esquematizado na figura abaixo:

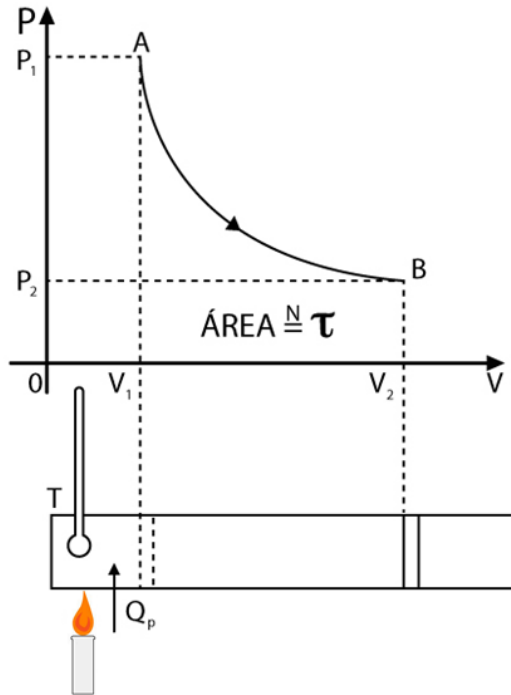


Figura 33: Gás realizando uma expansão a temperatura constante.

O termômetro T ajuda a monitorar o fato de a temperatura ser constante. Note que embora a temperatura não se altere, o gás está trocando energia com o meio ambiente, na forma de calor Q e na forma de trabalho τ .

Pela definição do trabalho sobre o gás e utilizando a equação de Clapeyron, temos:

$$W = \int_{V_i}^{V_f} P dV = \int_{V_i}^{V_f} \left(\frac{n \cdot R \cdot T}{V} \right) dV = (n \cdot R \cdot T) \int_{V_i}^{V_f} \frac{1}{V} dV = (n \cdot R \cdot T) (\ln V_f - \ln V_i)$$

$$W = (n \cdot R \cdot T) \cdot \ln \left(\frac{V_f}{V_i} \right)$$

Como $P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2 = n \cdot R \cdot T$, concluímos que:

$$\boxed{W = (n \cdot R \cdot T) \cdot \ln \left(\frac{V_f}{V_i} \right)} \quad \text{ou} \quad \boxed{W = P_1 \cdot V_1 \cdot \ln \left(\frac{V_f}{V_i} \right)} \quad \text{ou} \quad \boxed{W = P_2 \cdot V_2 \cdot \ln \left(\frac{V_f}{V_i} \right)}$$

$$\boxed{W = (n \cdot R \cdot T) \cdot \ln \left(\frac{P_i}{P_f} \right)} \quad \text{ou} \quad \boxed{W = P_1 \cdot V_1 \cdot \ln \left(\frac{P_i}{P_f} \right)} \quad \text{ou} \quad \boxed{W = P_2 \cdot V_2 \cdot \ln \left(\frac{P_i}{P_f} \right)}$$

Devido ao fato de a temperatura do gás ideal permanecer constantes, a energia interna também permanecerá. Portanto:

$$\Delta U = 0 \Rightarrow \boxed{Q = W}$$



Na expansão isotérmica, à medida que o gás recebe calor da fonte, ele deve expandir-se a fim de realizar um trabalho igual ao calor recebido, de tal forma que a sua energia interna (e , portanto, sua temperatura) permaneça inalterada.

Da mesma forma que fizemos para a expansão isotérmica, podemos fazer as mesmas conclusões para contração isotérmica, como mostrada na figura abaixo:

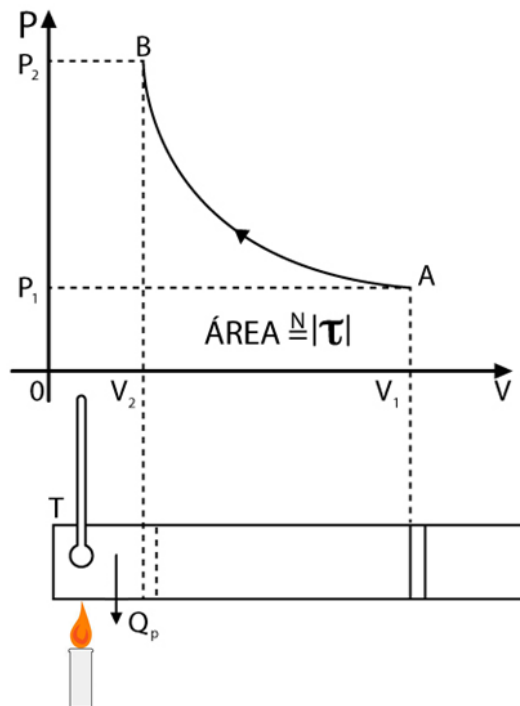


Figura 34: Gás se contraindo a temperatura constante.

Podemos concluir então que em uma transformação isotérmica (expansão ou contração), a quantidade de calor trocada pelo gás perfeito com o meio externo é igual ao trabalho realizado pelo gás, já que a variação da energia interna é nula.

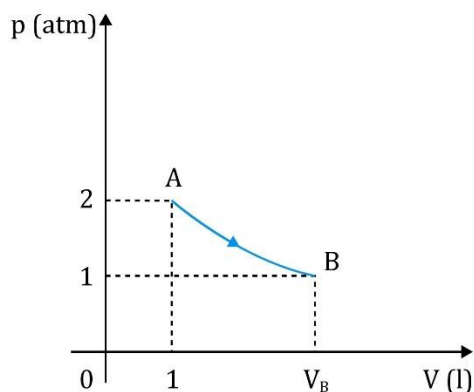
ATENÇÃO
DECORE!



Exemplo:

(FUVEST – SP)

Um mol de moléculas de um gás ideal sofre uma transformação isotérmica reversível $A \rightarrow B$, mostrada na figura.



a) determine o volume V_B .

b) sabendo que o gás efetuou um trabalho igual a 5,7 joules, qual a quantidade de calor que ele recebeu?

Dado: constante dos gases ideais = $R = 0,082 \text{ atm} \cdot \text{l} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Comentários:

a) pela Lei Geral dos Gases, temos:

$$\frac{P_A \cdot V_A}{T_A} = \frac{P_B \cdot V_B}{T_B} \Rightarrow \frac{2 \cdot 1}{T} = \frac{1 \cdot V_B}{T} \Rightarrow \boxed{V_B = 2 \text{ l}}$$

b) como vimos logo acima, em uma expansão isotérmica, $Q_{entra} = \tau_{pelo \text{ gás}}$. Portanto:

$$\boxed{Q_{entra} = 5,7 \text{ J}}$$

TOME
NOTA!



A LEI DE JOULE DOS GASES PERFEITOS

Como vimos, em um gás ideal a energia interna é função exclusiva da temperatura. Dizemos que E_{int} é uma função do estado do sistema, bem como P , V e T também são.

Considere um gás perfeito que esteja no estado inicial (P_i, V_i) . A temperatura T_i pode ser determinada pela equação de estado, $P_i \cdot V_i = n \cdot R \cdot T_i$. Assim, a energia interna também depende apenas do estado do gás, que é determinado por quaisquer duas variáveis de estado.

Note que se o gás retornar ao estado original (P_i, V_i) , a temperatura e a energia interna devem ter valores iguais aos originais. Dizemos nesse caso que a variação de temperatura e a variação de energia interna são nulas.

Dizemos então que:

A variação de energia interna de um gás ideal depende exclusivamente dos estados inicial e final, ou seja, não depende do tipo de transformação que ocorreu entre os estados.



Por outro lado, o calor e o trabalho não são funções do estado do sistema. O calor é uma medida de energia que é transferida de um sistema para outro em razão de uma diferença de temperatura (ou mudança de estado).

Já o trabalho é uma medida da energia que é transferida de um sistema para outro devido a uma aplicação de uma força exercida por um sistema sobre o outro sofre um deslocamento com uma componente que é paralela à força ($d\tau = F \cdot dx$).

Se tomarmos pequenas quantidades de calor absorvido, de trabalho realizado ou de variações de energia interna, é comum escrevermos a Primeira Lei da Termodinâmica na forma infinitesimal:

$$dU = dQ - dW$$

Nessa equação, dU é chamada de diferencial da função energia interna. No entanto, nem dQ nem dW são diferenciais de numa função, já que Q e W não são funções de estado. Na verdade, dQ apenas representa uma pequena quantidade de energia transferida para ou pelo sistema e dW representa uma pequena quantidade de energia transferida para ou pelo sistema. Nos primeiros anos de ITA ou de IME, vocês verão a rigor como escrever essas equações de acordo com a definição do Cálculo.

Uma vez que a energia interna de um gás ideal é função de estado, podemos tomar qualquer processo entre dois pontos para calcular ΔU .

Vamos pegar um processo de A para B composto de uma isoterma e uma isocórica, como representado no eixo abaixo:

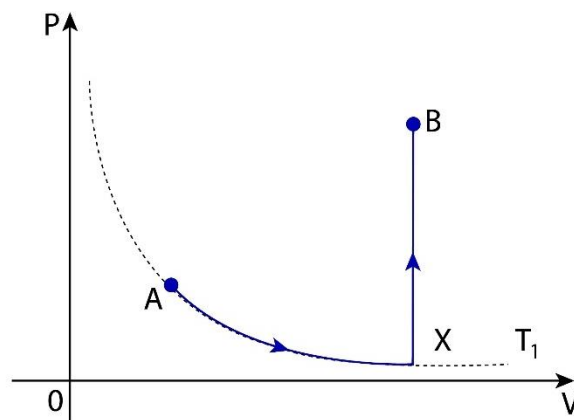


Figura 35: Cálculo da variação da energia interna, mostrando que ela é função de estado.

Considerando o estado intermediário X , a transformação AX é uma isotérmica, logo, $(\Delta U)_{A \rightarrow X} = 0$.

Na transformação isocórica XB , sabemos pela primeira lei que $(\Delta U)_{X \rightarrow B} = Q_V$, já que o trabalho é nulo na isocórica.

Dessa forma, a variação de energia interna em todo processo AXB é expressa por:

$$(\Delta U)_{A \rightarrow X \rightarrow B} = (\Delta U)_{A \rightarrow X} + (\Delta U)_{X \rightarrow B}$$

$$(\Delta U)_{A \rightarrow X \rightarrow B} = 0 + Q_V$$

$$\boxed{(\Delta U)_{A \rightarrow X \rightarrow B} = Q_V}$$

Esse resultado mostra que ao pegarmos um processo composto de uma isoterma e uma isocórica, o resultado encontrado só depende dos estados inicial e final.



Repare que se conhecermos o número de mols n do gás, o calor molar e a diferença de temperatura entre A e B ($\Delta T = T_B - T_A$), então podemos expressar a variação da energia interna como:

$$\Delta U = Q_V = n \cdot C_V \cdot \Delta T$$

ATENÇÃO
DECORE!



Exemplo:

10 mols de um gás ideal sofre um aumento de $50\text{ }^\circ\text{C}$ numa transformação termodinâmica. Dado que o calor molar a volume constante é $21\text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$, calcule a variação de energia interna do gás no processo.

Comentários:

Da termometria sabemos que $\Delta T = 50\text{ }^\circ\text{C} = 50\text{ K}$. Portanto, a variação da energia interna pode ser calculada da seguinte forma:

$$\Delta U = Q_V = n \cdot C_V \cdot \Delta T$$

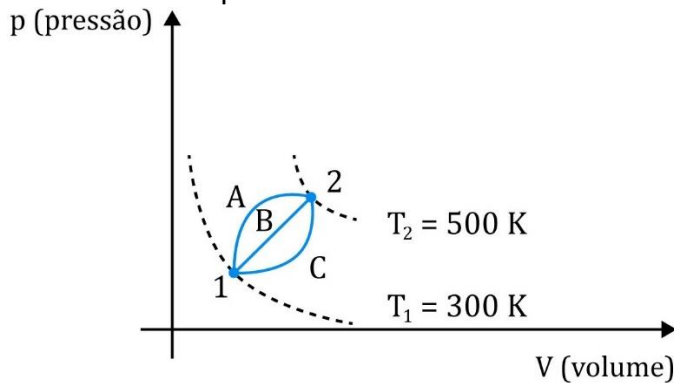
$$\Delta U = 10 \cdot 21 \cdot 50$$

$$\Delta U = 10,5\text{ kJ}$$

Exemplo:

(FATEC – SP)

Um sistema constituído de um gás perfeito passa do estado 1 para o estado 2, conforme o esquema.



Se medirmos: Q (calor fornecido), τ (o trabalho realizado), teremos que $Q = \tau + \Delta U$. Então, quando o sistema passar do estado 1 para o estado 2, pelos processos A , B e C , poderemos dizer que:

- a) o trabalho realizado pelo sistema será o mesmo para os 3 processos.
- b) o calor fornecido ao sistema será igual nos 3 processos.
- c) a variação de energia interna será a mesma nos 3 processos.
- d) no processo A o calor fornecido será menor que nos processos B e C .
- e) a variação de energia interna é maior no processo A .

Comentários:



Como vimos em teoria, trabalho e calor não são funções de estado, isto é, depende do caminho utilizado para ir de 1 a 2. Portanto, os itens *a)* e *b)* estão errados. Além disso, vimos que a energia interna de um gás ideal é função exclusiva dos estados, portanto, os itens *d)* e *e)* estão errados. Como esperado, a alternativa *c)* está correta. Note que quando ele escreve a primeira lei como $Q = W + \Delta U$, é igual a $\Delta U = Q - W$. Repare que W representa o trabalho pelo gás. Logo:

$$Q = \Delta U + W$$

ACORDE!



A CAPACIDADE TÉRMICA DOS GASES

É muito importante a determinação da capacidade térmica de uma substância, pois ela fornece informações sobre sua energia interna, que está associada à sua estrutura molecular.

Quando a substância se expande ao ser aquecida, a capacidade térmica à pressão constante C_p é maior do que a capacidade térmica a volume constante C_v . Se o calor é absorvido por uma substância, mantendo a pressão constante, então a substância se expande e realiza trabalho positivo sobre a vizinhança. Podemos representar esse processo pelo seguinte esquema:

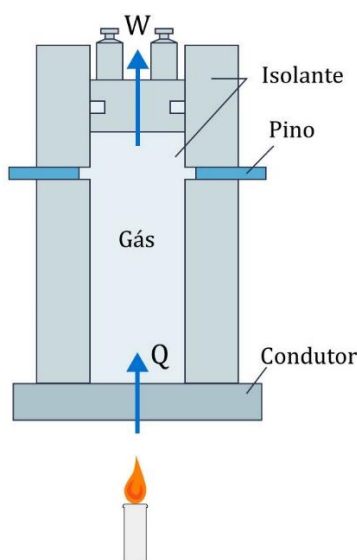


Figura 36: Calor absorvido à pressão constante. Com isso, o gás se expande, realizando trabalho sobre o pistão.

Por isso, é necessário fornecer mais calor para se obter uma dada variação de temperatura à pressão constante do que para se obter a mesma variação de temperatura à volume constante. Geralmente, para sólidos e líquidos a expansão é desprezível e, assim, para eles $C_p \approx C_v$.

Entretanto, quando um gás é aquecido a pressão constante, ele se expande rapidamente e realiza uma quantidade significativa de trabalho, tornando $C_p - C_v$ não desprezível.



Considere um gás que absorve calor a volume constante, não realizando trabalho, como na figura abaixo:

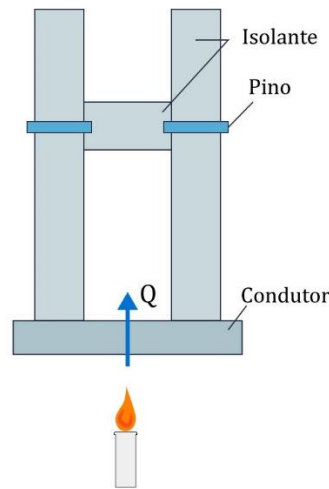


Figura 37: Para que o volume permaneça constante, foram colocados pinos para travar o deslocamento do pistão. Com isso, garantimos que o calor absorvido está a volume constante e que nenhum trabalho é realizado. Portanto, todo calor é transformado em energia interna do gás.

Dessa forma, aumentamos a energia interna do gás, já que $\Delta U = Q_V$. Ou ainda:

$$\boxed{\Delta U = Q_V = C_V \cdot \Delta T} \text{ eq 1}$$

Em que C_V é a capacidade térmica a volume constante.

Se tomarmos o limite quando ΔT tende a zero, temos que:

$$dU = C_V dT$$

$$\therefore \boxed{C_V = \frac{dE_{int}}{dT}} \text{ eq 2}$$

Esse resultado nos mostra que a capacidade térmica a volume constante é a taxa de variação da energia interna com a temperatura. Dado que E_{int} e T são funções de estado, as equações 1 e 2 valem para qualquer processo.

Podemos definir que a quantidade de calor transferido para o gás à pressão constante é dada por:

$$Q_P = C_P \cdot \Delta T$$

Onde C_P é a capacidade térmica a pressão constante.

De acordo com a primeira lei da termodinâmica, podemos escrever que em uma transformação a pressão constante temos as relações:

$$\Delta U = Q_P - W \Rightarrow Q_V = Q_P - P \cdot \Delta V \Rightarrow \boxed{C_V \cdot \Delta T = C_P \cdot \Delta T - P \cdot \Delta V}$$

Mas, pela equação de Clapeyron, podemos escrever que:

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

Portanto:

$$C_V \cdot \Delta T = C_P \cdot \Delta T - n \cdot R \cdot \Delta T$$

$$\boxed{C_P = C_V + n \cdot R} \text{ eq 3}$$



Esse resultado é conhecido como relação de Mayer e ele mostra que para um gás ideal, a capacidade térmica à pressão constante é maior do que a capacidade térmica a volume constante pela quantidade $n \cdot R$.

Se dividirmos por n a equação 3, temos as capacidades molares. Então:

$$\frac{C_p}{n} = \frac{C_v}{n} + R$$

$$\boxed{C'_p = C'_v + R}$$

Observe na tabela que a previsão para gás ideal, $C'_p = C'_v + R$, funciona muito bem para todos os gases.

Capacidades térmicas molares de vários gases a 25° C, em $J/mol \cdot K$					
Gás	C'_p	C'_v	C'_v/R	$C'_p - C'_v$	$(C'_p - C'_v)/R$
Monoatômico					
<i>He</i>	20,79	12,52	1,51	8,27	0,99
<i>Ne</i>	20,79	12,68	1,52	8,11	0,98
<i>Ar</i>	20,79	12,45	1,50	8,34	1,00
<i>Kr</i>	20,79	12,45	1,50	8,34	1,00
<i>Xe</i>	20,79	12,52	1,51	8,27	0,99
Diatômico					
<i>N₂</i>	29,12	20,80	2,50	8,32	1,00
<i>H₂</i>	28,82	20,44	2,46	8,38	1,01
<i>O₂</i>	29,37	20,98	2,52	8,39	1,01
<i>CO</i>	29,04	20,74	2,49	8,30	1,00
Poliatômico					
<i>CO₂</i>	36,62	28,17	3,39	8,45	1,02
<i>N₂O</i>	36,90	28,39	3,41	8,51	1,02
<i>H₂S</i>	36,12	27,36	3,29	8,76	1,05

Note também que a tabela mostra que C'_v é, aproximadamente, $1,5R$ para todos os gases monoatômicos, $2,5R$ para os diatômicos e mais de $2,5R$ para gases constituídos de moléculas mais complexas.



Esse resultado pode ser entendido de acordo com a teoria cinética dos gases. Se a energia interna de um gás monoatômico ideal é apenas a energia cinética de translação, temos que:

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

Da definição, de capacidade térmica a volume constante, vem:

$$C_V = \frac{dU}{dT} = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R$$

Portanto:

$$\boxed{C'_V = \frac{3}{2}R} \text{ (gás monoatômico ideal)}$$

Consequentemente:

$$C'_P = C'_V + R \Rightarrow C'_P = \frac{3}{2}R + R \Rightarrow \boxed{C'_P = \frac{5}{2}R}$$

Note ainda que a tabela possui boa conformidade com as previsões para gases monoatômicos, mas para os outros gases (diatômicos ou poliatômicos) as capacidades térmicas são maiores. Pelo teorema da equipartição, vimos que a energia interna de um gás constituído de moléculas diatômicos ou mais complexas é maior do que $\frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot T$, pois nessas moléculas existem outros tipos de energia, como energia de rotação ou de vibração, além da energia cinética de translação.

PRESTE MAIS
ATENÇÃO!



CAPACIDADES TÉRMICAS E O TEOREMA DA EQUIPARTIÇÃO

Como vimos, pelo teorema da equipartição a energia interna de n mols de um gás devem ser igual a $\frac{1}{2} \cdot n \cdot R \cdot T$ para cada grau de liberdade das moléculas do gás. Portanto, a capacidade térmica a volume constante de um gás deve ser $\frac{1}{2}nR$ vezes o número de graus de liberdade das moléculas.

Pela tabela xy , notamos que os gases diatômicos nitrogênio, oxigênio, hidrogênio e monóxido de carbono têm capacidades térmicas molares a volume constante de aproximadamente $\frac{5}{2}R$. Diante disso, dizemos que as moléculas diatômicas possuem cinco graus de liberdade.

Por volta de 1880, Rudolf Clausius presumiu que em moléculas diatômicas deveriam ter dois graus de liberdade adicionais. Hoje, sabemos que esses dois graus de liberdade, além dos três de translação, estão associados com a rotação em torno dos dois eixos, x' e y' , perpendiculares à linha que une os átomos, como mostra a figura abaixo:

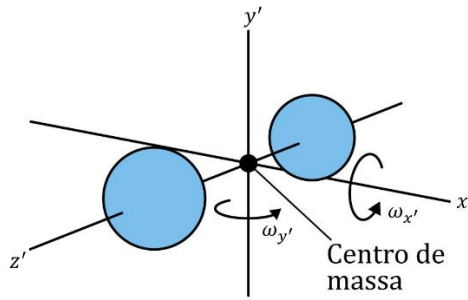


Figura 38: Modelo de haltere rígido para uma molécula diatômica, como por exemplo o CO.

Sendo assim, escrevemos a energia cinética de uma molécula diatômica como:

$$K = \frac{1}{2}mv_x^2 + \frac{1}{2}mv_y^2 + \frac{1}{2}mv_z^2 + \frac{1}{2}I_{x'}\omega_{x'}^2 + \frac{1}{2}I_{y'}\omega_{y'}^2$$

Onde $\frac{1}{2}I_{x'}\omega_{x'}^2 + \frac{1}{2}I_{y'}\omega_{y'}^2$ representa a energia cinética de rotação, em que $I_{x'}$ é o momento de inércia em relação ao eixo x' e $\omega_{x'}$ a velocidade angular em relação ao eixo x' (o mesmo vale para $I_{y'}$ e $\omega_{y'}$).

Assim, a energia interna total para n mols desse gás é:

$$U = 5 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot n \cdot R \cdot T\right) = \frac{5}{2}n \cdot R \cdot T$$

Onde a capacidade térmica a volume constante é:

$$C_V = \frac{5}{2}nR$$

Note que foi desconsiderado que os gases diatômicos giram em torno da linha que une os dois átomos. Caso eles girassem, haveria seis graus de liberdade e C_V deveria ser $6\left(\frac{1}{2}nR\right) = 3nR$, o que não está em conformidade com os resultados experimentais.

No item 1.7.3 veremos as falhas no teorema da equipartição e como podemos explicar essas diferenças de resultados.

ATENÇÃO
DECORE!



Exemplo:

Considere uma amostra de gás oxigênio de 4 mols a uma pressão inicial de 2 atm, que é aquecida de 10 °C para 110 °C. Suponha válido o modelo de gás ideal para o sistema, determine:

- a) a quantidade de calor transferido para a amostra, considerando mantido o volume constante durante o aquecimento.
- b) a quantidade de calor transferido para a amostra, considerando mantida a pressão constante.
- c) determine o trabalho que o gás realiza, para o item b).



Comentários:

a) a quantidade de calor a volume constante pode ser expressa por:

$$Q_V = C_V \Delta T = \frac{5}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T$$

$$\Delta T = 110 - 10 = 100 \text{ } ^\circ\text{C} = 100 \text{ K}$$

$$Q_V = \frac{5}{2} \cdot (4 \text{ mol}) \cdot \left(8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}}\right) (100 \text{ K})$$

$$\boxed{Q_V = 8314 \text{ J}}$$

b) para o caso da pressão constante, temos que:

$$C_P = C_V + nR = \frac{5}{2} nR + nR = \frac{7}{2} nR$$

$$Q_P = C_P \Delta T = \frac{7}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T$$

$$Q_P = \frac{7}{2} \cdot (4 \text{ mol}) \cdot \left(8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}}\right) (100 \text{ K})$$

$$\boxed{Q_P = 11639,6 \text{ J}}$$

c) podemos determinar o trabalho pela primeira lei da termodinâmica:

$$\Delta U = Q - W$$

$$W = Q - \Delta U$$

$$W = Q_P - Q_V = -8314 + 11639,6 = 3325,6 \text{ J}$$

NOVIDADE!

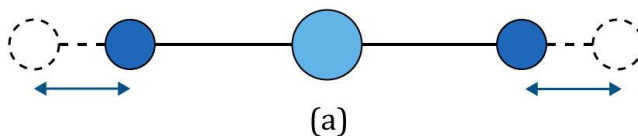


Podemos esboçar os modos vibracionais do dióxido de carbono. Observe que se a molécula não estivesse vibrando, os centros dos átomos estariam em linha reta. Quando vibram, os átomos podem se mover paralela ou perpendicularmente à linha que une os centros. Basicamente, há dois modos de estiramento nos quais os átomos se movem paralelamente à linha que passa pelos centros e um modo de flexão em que os átomos se movem perpendicularmente a esta linha.

Assim, temos que:

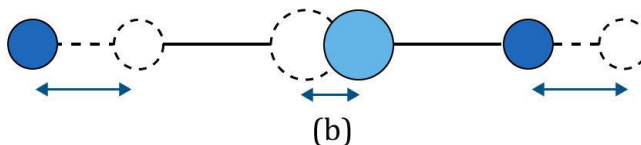
- 1) No modo de estiramento simétrico, o átomo de carbono permanece estacionário e os átomos de oxigênio oscilam defasados de 180° entre si.**

Modo de estiramento simétrico



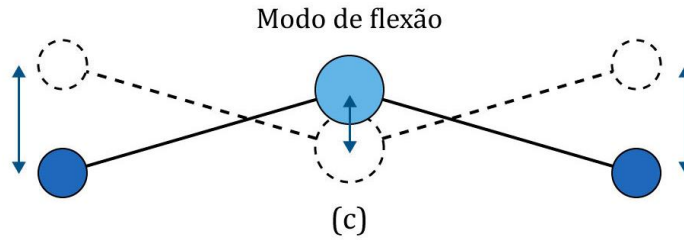
- 2) No modo de estiramento antissimétrico, os dois átomos de oxigênio vibram em fase entre si, mas defasados de 180° em relação ao movimento do átomo de carbono.**

Modo de estiramento assimétrico





- 3) No modo de flexão, os dois átomos de oxigênio vibram em fase entre si, mas defasados de 180° em relação ao movimento do átomo de carbono.



A CAPACIDADE TÉRMICA DOS SÓLIDOS

Vimos anteriormente que a maioria dos sólidos tem capacidades térmicas molares aproximadamente iguais a $3R = 24,8 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$. Este resultado é conhecido como *Lei de Dulong-Petit*.

Para compreender esta lei, podemos aplicar o teorema da equipartição ao simples modelo de um sólido, esquematizado na figura abaixo:

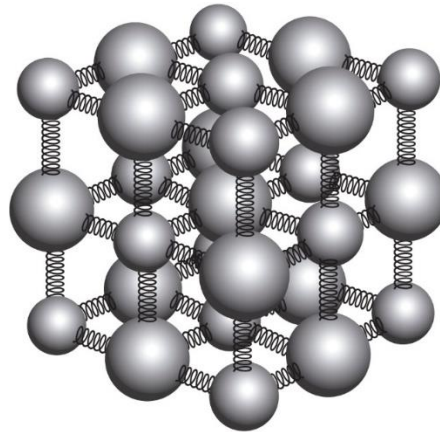


Figura 38: Modelo de um sólido com átomos ligados uns aos outros por molas. Neste caso, a energia interna da molécula é composta pela energia cinética e energia potencial de vibração.

No modelo da figura 14, o sólido possui um arranjo regular de átomos onde cada átomo tem sua posição fixa de equilíbrio e está conectado com os seus vizinhos por molas. Dessa forma, cada átomo pode vibrar nas direções x , y e z . Logo, a energia total de um átomo no sólido é:

$$U = E_{\text{cinética}} + E_{\text{elástica}}$$

$$U = \left(\frac{1}{2}m \cdot v_x^2 + \frac{1}{2}m \cdot v_y^2 + \frac{1}{2}m \cdot v_z^2 \right) + \left(\frac{1}{2}k_{ef} \cdot x^2 + \frac{1}{2}k_{ef} \cdot y^2 + \frac{1}{2}k_{ef} \cdot z^2 \right)$$

Em que k_{ef} é a constante de força efetiva das molas hipotéticas (molas imaginárias criadas para nosso modelo). Com isso, cada átomo possui seis graus de liberdade. De acordo com o teorema da equipartição, a energia interna de um mol deste sólido é:



$$U = 6 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot R \cdot T \right) = 3 \cdot R \cdot T$$

Portanto, a capacidade térmica é igual a $3R$.

Observação: a grafite é uma exceção a essa regra de Dulong-Petit, pois apresenta calor molar igual a $C'_{graf} = 2,6 \text{ cal}/(\text{mol} \cdot ^\circ\text{C})$.



FALHA DO TEOREMA DA EQUIPARTIÇÃO

O teorema da equipartição foi um sucesso ao explicar as capacidades térmicas de gases e sólidos, mas apresentou algumas falhas. Por exemplo, caso uma molécula de um gás diatômico, figura 13, girasse em torno da linha que une os átomos, deveria haver mais um grau de liberdade para a molécula. De forma análoga, existiria uma energia vibracional ao longo da linha que une os átomos, já que a molécula seria não rígida. Dessa forma, teríamos mais 2 graus de liberdade, conferindo energia cinética e potencial de vibração.

Entretanto, quando medimos os valores das capacidades térmicas em laboratório, os gases diatômicos aparentemente não giram em torno da linha que une os átomos nem vibram.

Nesses casos, o teorema da equipartição não explica o fato de moléculas monoatômicas não girarem em torno de nenhum dos três possíveis eixos perpendiculares do espaço.

Além disso, na prática sabemos que as capacidades térmicas dependem da temperatura, discordando do que prevê o teorema da equipartição. O caso mais famoso é a dependência da capacidade térmica do H_2 com a temperatura, como mostrado no gráfico abaixo:

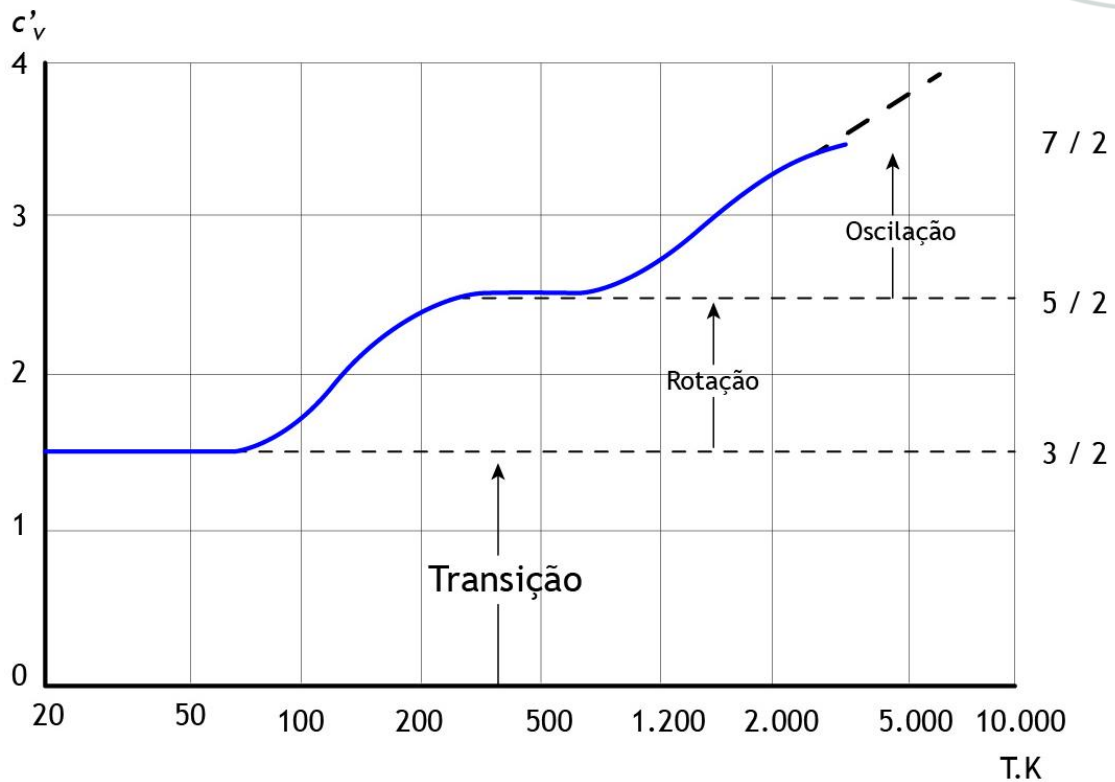


Figura 39: Variação da capacidade térmica mola do H_2 em função da temperatura. Nas regiões onde C'_v , a curva é meramente qualitativa. A título de curiosidade, 95% das moléculas de H_2 são dissociadas em hidrogênio atômico a 5000 K.

Observe que no gráfico acima, para temperatura abaixo de, aproximadamente, $70 K$, $C'_v = \frac{3}{2}R$ para o H_2 , ou seja, a molécula apresenta apenas energia cinética de translação (não rotacionam e não vibram).

Para temperaturas entre $250 K$ e $700 K$, $C'_v = \frac{5}{2}R$. Esse valor corresponde as moléculas que possuem movimento de translação e de rotação, mas não de vibração. Por fim, para temperaturas acima de $700 K$, as moléculas de H_2 começam a vibrar. Entretanto, elas se dissociam antes que o C'_v alcance o valor $\frac{7}{2}R$.

Além disso, o teorema da equipartição prevê um valor constante de $3R$ para a capacidade térmica dos sólidos. Experimentalmente, verifica-se que este resultado vale para a maioria dos sólidos a altas temperatura, mas não vale para temperaturas muito baixas.

A falha do teorema da equipartição está no fato da energia ser *quantizada*. Isto quer dizer que uma molécula pode ter apenas certos valores de energia interna, como esquematizado na figura abaixo:

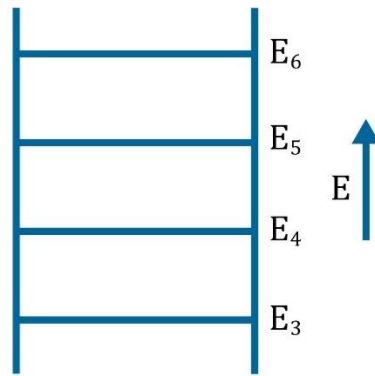


Figura 40: Diagrama de níveis de energia, mostrando que um sistema ligado pode ter certas energias discretas bem definidas.

Nesse modelo, uma molécula pode ganhar ou perder energia apenas se o pacote de energia (para ganhar ou para perder) conduza a outro nível permitido.

Dessa forma, dizemos que a energia que pode ser trocada entre moléculas de gás que colidem é da ordem de kT , energia térmica característica de uma molécula. Assim, a validade do teorema da equipartição depende do valor relativo entre kT e a diferença de níveis de energia permitidos.

Sendo assim, a condição para a validade do teorema da equipartição é:

Se a diferença entre os níveis energéticos permitidos for grande em comparação a kT , então não poderá ocorrer transferência de energia através de colisões e o teorema clássico da equipartição não será válido. Caso a diferença entre os níveis energéticos for muito menor do que kT , então a quantização da energia não será observada e o teorema da equipartição será válido.

Podemos explicar a rotação de um gás monoatômico pelo fato de o momento de inércia do átomo ser praticamente devido aos seus elétrons. Assim, suas moléculas não podem ser induzidas a girar apenas por colisões que ocorrem no gás.

Já a rotação de um gás diatômico em torno de um eixo unidos os átomos podem ser explicados também pelo do momento de inércia da molécula ser praticamente devido aos seus elétrons e de mesma ordem de grandeza que para um gás monoatômico.

Embora possua várias falhas, o teorema da equipartição possui grande importância na história da física, pois suas falhas motivaram o desenvolvimento da mecânica quântica no século XX.





A PRIMEIRA LEI APLICADA À TRANSFORMAÇÃO ADIABÁTICA DE UM GÁS IDEAL

Na transformação adiabática, dizemos que o gás perfeito não sofre troca de calor do sistema com o ambiente externo, isto é:

$$dQ = 0$$

Nesse processo, o sistema está extremamente bem isolado ou ocorre de uma forma muito rápida. Vamos considerar uma compressão adiabática quase-estática na qual um gás, confinado em um recipiente isolado termicamente, é lentamente comprimido por um pistão, que realiza trabalho sobre o gás.

Podemos representar este processo pelo diagrama PV abaixo:

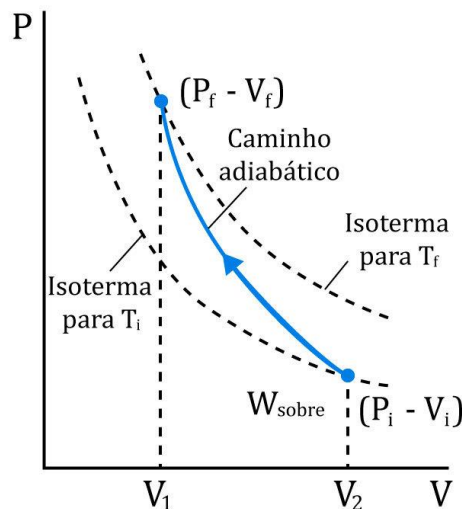


Figura 41: Gráfico da compressão adiabática quase-estática de um gás perfeito. As curvas tracejadas representam as isotermas para as temperaturas inicial e final. A curva em azul que liga os estados inicial e final da compressão adiabática é mais inclinada do que as isotermas, pois a temperatura aumenta durante a compressão.

Pela primeira lei na forma infinitesimal e utilizando a equação de estado, temos:

$$dU = dQ - dW$$

$$C_V dT = 0 - PdV$$

Lembre-se que podemos calcular a energia interna pela equação $dE_{int} = C_V dT$. Além disso, utilizando que $P = nRT/V$, temos:

$$C_V dT = -n \cdot R \cdot T \cdot \frac{dV}{V}$$

$$\frac{dT}{T} + \frac{nR}{C_V} \frac{dV}{V} = 0$$

Integrando a equação logo acima, vem:

$$\ln T + \frac{nR}{C_V} \ln V = \text{constante}$$

Utilizando o caminho contrário a “regra do tombo” em logaritmos, temos:

$$\ln T + \frac{nR}{C_V} \ln V = \ln T + \ln V^{\frac{nR}{C_V}} = \ln \left(T \cdot V^{\frac{nR}{C_V}} \right) = \text{constante}$$



Logo:

$$T \cdot V^{\frac{nR}{C_V}} = e^{\text{constante}} = \text{também é constante (eq 4)}$$

Lembrando da relação de Mayer, podemos reescrever a última equação como:

$$\frac{nR}{C_V} = \frac{C_P - C_V}{C_V} = \frac{C_P}{C_V} - 1$$

Chamamos a razão $\frac{C_P}{C_V}$ de γ , conhecida como expoente de Poisson. Então:

$$\frac{nR}{C_V} = \gamma - 1$$

Portanto, a equação 4 é escrita como:

$$\boxed{T \cdot V^{\gamma-1} = \text{constante}} \text{ (eq 5)}$$

Utilizando a equação de estado dos gases ($PV = nRT$), reescrevemos a equação 5 da forma como é mais conhecida:

$$T \cdot V^{\gamma-1} = \left(\frac{PV}{nR}\right) \cdot V^{\gamma-1} = \frac{P \cdot V^\gamma}{nR} = \text{constante}$$

Como em uma transformação gasosa não varia o número de mols dentro do recipiente, então nR é constante também. Logo, chegamos que:

$$\boxed{P \cdot V^\gamma = \text{constante}}$$

Assim, podemos calcular o trabalho realizado sobre o gás em uma compressão adiabática utilizando a primeira lei da termodinâmica:

$$dU = dQ - dW$$

Onde $dQ = 0$ e $dW = C_V dT$. Então:

$$dW = -C_V dT$$

$$W = - \int C_V dT$$

Se supormos que C_V é constante para uma dada faixa de temperatura trabalhada, podemos escrever o trabalho na compressão adiabática como:

$$W = -C_V \cdot \Delta T$$

Note que o trabalho realizado sobre o gás depende da variação da temperatura sofrida pelo gás. Além disso, em uma compressão adiabática o trabalho é realizado sobre o gás e sua interna e temperatura aumentam. Já na expansão adiabática quase-estática, trabalho é realizado pelo gás e a energia interna e a temperatura diminuem.

Utilizando a lei dos gases ideais, podemos escrever o trabalho em termos dos valores iniciais e finais de pressão e de volume:

$$\begin{aligned} \tau_{\text{adiabático}} &= -C_V \cdot \Delta T = -C_V \cdot (T_f - T_i) \\ \tau_{\text{adiabático}} &= -C_V \left(\frac{P_f V_f}{nR} - \frac{P_i V_i}{nR} \right) = -\frac{C_V}{nR} (P_f V_f - P_i V_i) \end{aligned}$$



$$\tau_{adiabático} = -\frac{1}{\gamma - 1} (P_f V_f - P_i V_i)$$

Ou ainda

$$\tau_{adiabático} = -\left(\frac{1}{\gamma - 1}\right) nR\Delta T$$

Graficamente, podemos representar da seguinte forma:

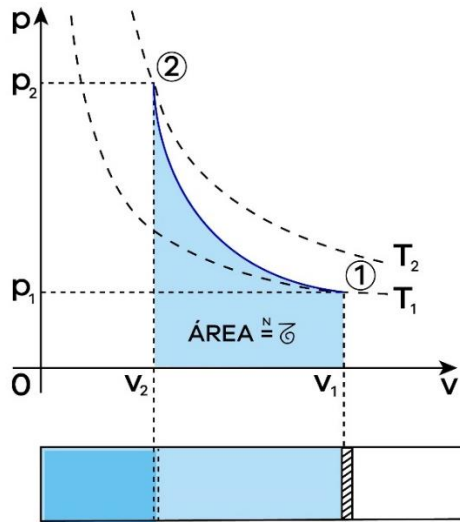


Figura 42: Compressão adiabática.

Caso tivéssemos uma expansão adiabática, teríamos o seguinte gráfico:

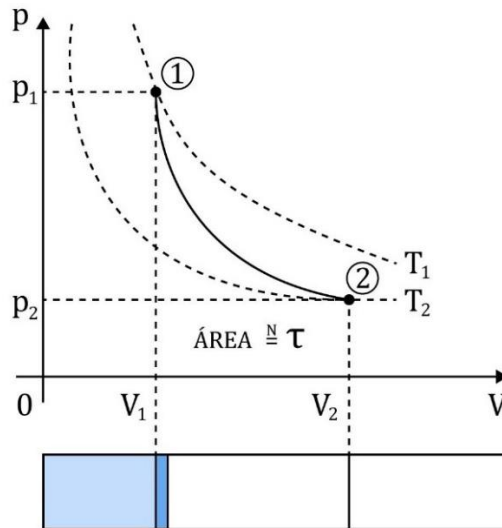


Figura 43: Expansão adiabática.

ATENÇÃO
DECORE!

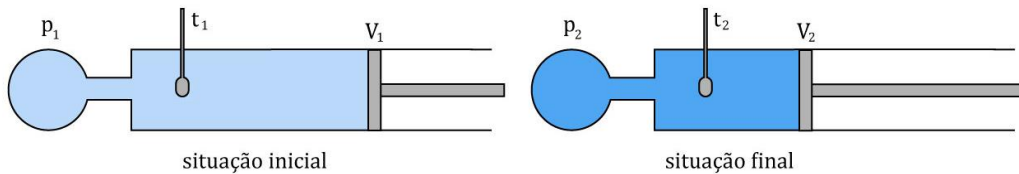




Exemplo:

(UFMG – SP)

Na figura estão indicados o volume, a temperatura e a pressão de uma certa massa de gás que sofreu uma compressão bastante rápida, durante a qual não houve troca de calor do gás com a vizinhança. As seguintes afirmativas foram feitas em relação à transformação sofrida por esse gás:



I – Durante a compressão, foi realizado sobre o gás um trabalho de módulo igual ao aumento de sua energia interna.

II - $t_1 < t_2$

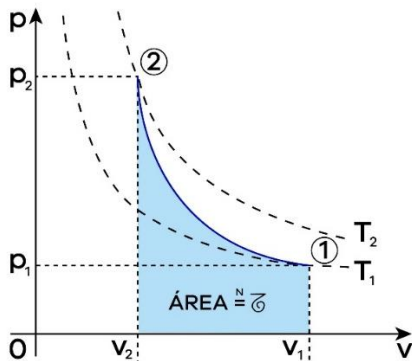
III - $P_1V_1 = P_2V_2$

A alternativa que apresenta as afirmativas certas é:

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

Comentários:

De acordo com o enunciado, o gás sofre uma compressão adiabática, portanto, lembrando do gráfico de uma compressão adiabática:



Já sabemos que a temperatura $t_2 > t_1$, portanto, o item II está correto. Notamos que a temperatura do gás aumentou, conseqüentemente, a variação da energia interna do gás é positiva, ou seja, a energia interna do gás aumentou. Logo, o item I está correto também.

Em uma transformação adiabática, temos que:

$$P_1V_1^\gamma = P_2V_2^\gamma$$

Onde $\gamma \neq 1$, portanto, o item III está errado. Assim, a alternativa correta é a letra d.

Exemplo:

Deseja-se inflar um pneu de bicicleta utilizando uma bomba manual até uma pressão do gás de 583 kPa.



Considerando a pressão atmosférica igual a 1 atm, a temperatura externa do ar é 27 °C e o volume de ar no pneu permanece constante e igual a 1,00 L. Calcule o trabalho que precisa ser realizado, se considerarmos que cada acionamento da bomba é um processo adiabático quase-estático.

Comentários:

Lembrando que para uma transformação adiabática vale a relação:

$$T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \Rightarrow T_2 = (27 + 273) \left(\frac{583 \text{ kPa}}{101,3 \text{ kPa}} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

Considerando o expoente de Poisson para o ar igual a 1,4, temos:

$$T_2 = (27 + 273) \left(\frac{583 \text{ kPa}}{101,3 \text{ kPa}} \right)^{1,4-1} \Rightarrow T_2 = 495 \text{ K} \Rightarrow \boxed{T_2 = 222 \text{ °C}}$$

Dado que o ar foi considerado como um gás diatômico, temos que o trabalho sobre o gás pode ser escrito por:

$$\tau = \frac{5}{2} nR\Delta T = \frac{5}{2} \frac{P_2 V_2}{T_2} (T_2 - T_1)$$

$$\tau = \frac{5 (583 \text{ kPa})(1,00 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3)}{2 \cdot 495 \text{ K}} (495 - 300)$$

$$\boxed{\tau = 574 \text{ J}}$$

Observação: o trabalho também pode ser calculado usando $\tau_{adiabático} = \frac{P_f V_f - P_i V_i}{\gamma - 1}$, mas o uso de $\tau_{adiabática} = C_V \Delta T$ é preferível pois está ligado diretamente a um princípio (1ª lei da termodinâmica) e, assim, é mais fácil de lembrar. Além disso, uma bomba e um pneu de bicicleta reais não estão isolados, logo, o processo de encher o pneu não está nem perto de ser adiabático.

ATENÇÃO
DECORE!



RAPIDEZ DAS ONDAS SONORAS

A rapidez do som pode ser expressão em função do módulo volumétrico adiabático de um gás ($B_{adiabático}$):

$$v_{som} = \sqrt{\frac{B_{adiabático}}{\rho}}$$

Em que ρ é a massa específica relacionada ao número de mols n e à massa molecular M por $\rho = m/V = nM/V$. Utilizando a equação de Clapeyron e fazendo as considerações devidas, chegamos que:

$$\boxed{v_{som} = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}}$$



TRANSFORMAÇÃO CÍCLICA

Chamamos de transformação cíclica aquela cuja massa gasosa do estado final é igual à do estado inicial.

Vamos pegar o exemplo do ciclo de transformações, representado pela figura abaixo, em que uma certa massa de um gás ideal, sofre as seguintes mudanças de estado:

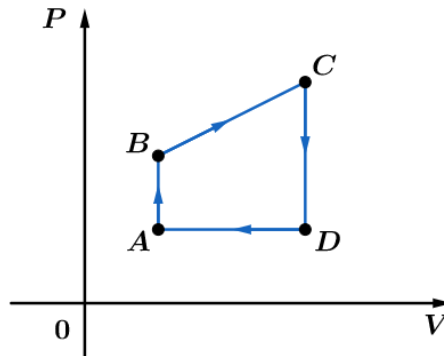


Figura 44: Representação de uma transformação cíclica qualquer, em um diagrama de pressão por volume.

Note que o gás sofre a seguinte transformação $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ ou ABCDA, isto é, o estado final é semelhante ao estado inicial. Portanto, as funções de estado iniciais e finais são iguais. Portanto, podemos dizer que a energia interna final é igual à inicial.

$$U_{final} = U_{inicial} \Rightarrow \boxed{\Delta U = 0}$$

Por outro lado, o trabalho total no ciclo é determinado pela soma dos trabalhos em cada etapa da transformação cíclica. Para o nosso exemplo, podemos escrever que:

$$\tau = \tau_{AB} + \tau_{BC} + \tau_{CD} + \tau_{DA}$$

Observe que AB e CD são isocóricas, portanto, τ_{AB} e τ_{CD} são nulos. Então apenas τ_{BC} e τ_{DA} contribuem para o trabalho total.

O trabalho realizado pelo gás na transformação BC (τ_{BC}) é positivo, já que se trata de uma expansão. Além disso, seu valor é numericamente igual a área abaixo da curva:

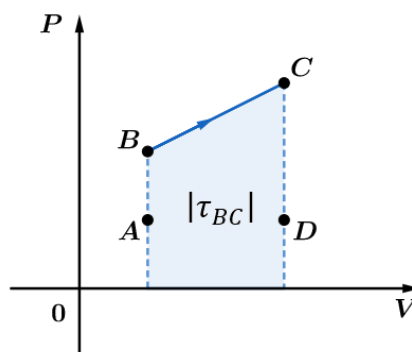


Figura 45: Trabalho sob a curva do processo $B \rightarrow C$.

Em contrapartida, o trabalho realizado pelo gás na transformação DA (τ_{DA}) é negativa, pois se trata de uma compressão. Também valerá que o módulo do trabalho é numericamente igual a área abaixo da curva:

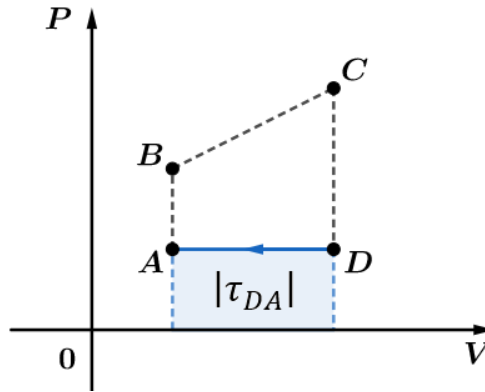


Figura 46: Módulo do trabalho sob a curva da transformação isobárica $D \rightarrow A$.

Dessa forma, o trabalho realizado pelo gás nesse ciclo é positivo, pois $|\tau_{BC}| > |\tau_{DA}|$. Logo, o trabalho do ciclo será dado por:

$$\tau_{ciclo} = |\tau_{BC}| - |\tau_{DA}|$$

$$\tau_{ciclo}$$

Note que τ é numericamente igual a área da região dentro do ciclo de transformações:

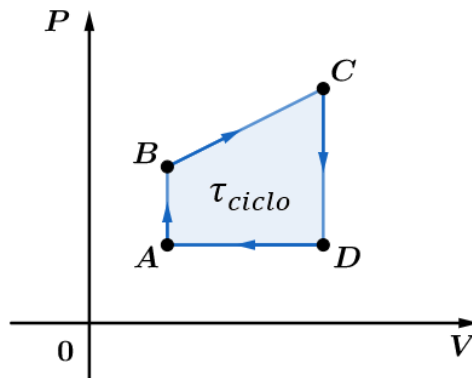


Figura 47: Trabalho do ciclo é numericamente igual à área da região interna definida pelo ciclo.

Como no nosso exemplo, o trabalho realizado pelo gás nesse ciclo está fornecendo energia mecânica para o meio ambiente.

Além do trabalho, sabemos que há trocas de calor ao longo do ciclo. No ciclo, há ganhas e perdas de calor. Como vimos, a quantidade de calor trocada em cada etapa dependerá do tipo de transformação que o gás sofreu, mas a quantidade de calor trocada ao longo de um ciclo é dada pela soma algébrica dos calores trocados em cada etapa:

$$Q = Q_{AB} + Q_{BC} + Q_{CD} + Q_{DA}$$

De acordo com a Primeira Lei da Termodinâmica, em um ciclo temos:

$$\Delta U = Q - W$$

$$\Delta U_{ciclo} = 0 \Rightarrow Q_{entra} = W$$

Esse resultado mostra que o gás troca uma quantidade calor igual ao trabalho pelo gás no ciclo. Note que se o trabalho é positivo nesse ciclo do exemplo, então o calor também deve ser positivo nesse processo cíclico. Dizemos então que o gás converte calor em energia mecânica, quando completa um ciclo no sentido horário.



Por outro lado, quando o ciclo for realizado no sentido anti-horário, como na figura 24, o trabalho pelo gás na expansão AB terá módulo menor que o trabalho realizado na contração CD ($|\tau_{AB}| < |\tau_{CD}|$). Portanto, nesse caso o trabalho resultante será negativo e terá módulo numericamente igual a área sombreada.

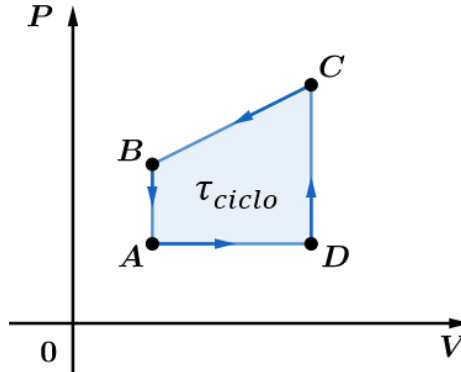


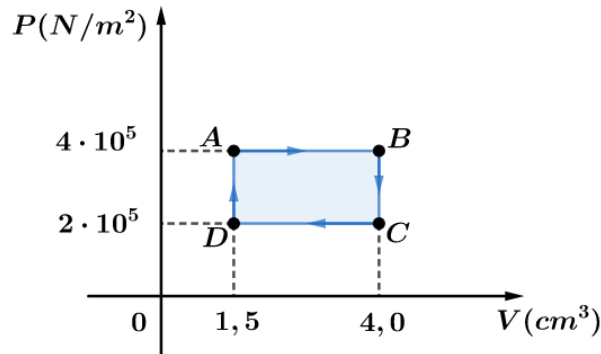
Figura 48: Trabalho pelo gás em um ciclo no sentido anti-horário. Observe que o trabalho do ciclo será negativo e terá módulo numericamente igual à área definida pela região interna ao ciclo.

Ao longo do ciclo, o calor trocado será igual ao trabalho pelo gás, portanto, ele também será negativo. Dizemos então que o gás converterá energia mecânica em calor, quando realizar um ciclo no sentido anti-horário.

Exemplo:

(FUVEST – SP)

O diagrama $P \times V$ da figura refere-se a um gás ideal passando por uma transformação cíclica através de um sistema cilindro-pistão.



- a) qual o trabalho realizado pelo gás no processo AB ?
- b) em que ponto do ciclo a temperatura do gás é menor?

Comentários:

a) O processo AB é uma transformação isobárica, portanto, o trabalho é dado por:

$$\begin{aligned} \tau &= P \cdot \Delta V = P \cdot (V_B - V_A) \\ \tau &= 4 \cdot 10^5 \cdot (4,0 \cdot (10^{-2})^3 - 1,5 \cdot (10^{-2})^3) \\ \tau &= 4 \cdot 2,5 \cdot 10^5 \cdot 10^{-6} \\ \tau &= 1 \text{ J} \end{aligned}$$

Note que essa operação é o mesmo que calcular a área abaixo do segmento \overline{AB} .

b) Como vimos, no diagrama $P \times V$, quando mais próximo da origem, menor será a temperatura. Podemos ver isso pela equação de Clapeyron:



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

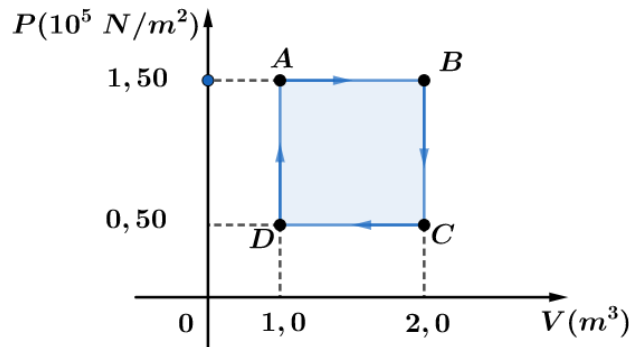
$$T = \frac{P \cdot V}{n \cdot R}$$

Quanto mais próximo da origem, menor serão os valores de pressão e de volume, logo, o produto $P \cdot V$ será menor. Em consequência a temperatura será menor, já que estamos pegando o menor numerador ($T = \frac{P \cdot V}{n \cdot R}$ e em uma transformação gasosa não alteramos o número de mols, mantendo o denominador constante). Portanto, o ponto com temperatura mais baixa no ciclo é o ponto D. Note que por esse raciocínio, o ponto com maior temperatura é o ponto B.

Exemplo:

(VUNESP – SP)

20 mols de moléculas de um gás ideal a transformação da figura. O calor específico molar a pressão constante é $C_p = 20,8 \frac{J}{mol \cdot K}$, e o calor molar específico molar a volume constante é $C_v = 12,5 \frac{J}{mol \cdot K}$.



Calcule:

- a) o trabalho (τ) realizado no ciclo;
- b) o calor fornecido ao gás em AB (Q_{AB});
- c) o calor cedido pelo gás em CD (Q_{CD});
- d) a variação de energia interna entre A e C (ΔU_{AC}).

Comentários:

a) como vimos, a área da região interna do ciclo é numericamente igual ao trabalho. Além disso, o ciclo está no sentido horário, portanto, sabemos que o trabalho é positivo. Então:

$$\tau_{\text{ciclo}} = (1,5 \cdot 10^5 - 0,5 \cdot 10^5) \cdot (2 - 1) = 1 \cdot 10^5 \text{ J}$$

$$\tau = 100 \text{ kJ}$$

b) a transformação AB é uma isobárica, portanto, o calor é trocado a pressão constante, logo:

$$Q_{AB} = n \cdot C_p' \cdot \Delta T_{AB} = n \cdot C_p' \left(\frac{P_B V_B}{nR} - \frac{P_A V_A}{nR} \right) = \frac{C_p'}{R} (P_B V_B - P_A V_A) = \frac{20,8}{8,31} (1,5 \cdot 10^5)(2 - 1)$$

$$Q_{AB} \cong 375 \text{ kJ}$$

c) semelhante ao item b, temos que:

$$Q_{CD} = n \cdot C_p' \cdot \Delta T_{CD} = \frac{C_p'}{R} (P_D V_D - P_C V_C) = \frac{20,8}{8,31} (0,5 \cdot 10^5)(1 - 2)$$

$$Q_{CD} \cong -125 \text{ kJ}$$



d) como vimos, podemos calcular a variação de energia utilizando o calor trocado a volume constante. Lembre-se que energia interna de um gás ideal é função de estado!
Logo:

$$\Delta U_{AC} = (Q_{AC})_V = n \cdot R \cdot \Delta T_{AC} = n \cdot C'_V \cdot \left(\frac{P_C V_C}{nR} - \frac{P_A V_A}{nR} \right)$$

$$\Delta U_{AC} = \frac{C'_V}{R} (P_C V_C - P_A V_A) = \frac{12,5}{8,31} (0,5 \cdot 10^5 \cdot 2 - 1,5 \cdot 10^5 \cdot 1)$$

$$\boxed{\Delta U_{AC} \cong -75 \text{ kJ}}$$

Note que a temperatura de A é maior que a temperatura de C.



Lista de questões

Nível 1

Questão 1.

Qual das grandezas termodinâmicas abaixo é uma função de estado?

- a) Calor.
- b) Trabalho.
- c) Energia Interna.
- d) Calor e Trabalho.

Questão 2.

Quando um gás é aquecido com 50 J, ele é capaz de elevar em 1 m um pistão de 1 kg. Se nesse processo há um aumento de 35 J da energia interna do gás, qual é o calor perdido pelo gás?

- a) 10 J
- b) 5 J
- c) 3 J
- d) 85 J

Questão 3.

Um gás recebe 30 J de calor de uma fonte de calor. O gás realiza um trabalho de 10 J e aumenta sua energia interna em 15 J. Portanto, o gás

- a) não perde nenhuma quantidade de calor.
- b) ganhou uma quantidade extra de 5 J de calor não mencionada no enunciado.
- c) perdeu uma quantidade de 5 J de calor não mencionada no enunciado.
- d) não é um gás ideal.

Questão 4.

Se o gás realiza uma expansão adiabática,

- a) o calor trocado pelo gás é maior que zero.
- b) o trabalho realizado pelo gás é negativo.



- c) a temperatura do gás diminui.
- d) o trabalho realizado pelo gás é nulo.

Questão 5.

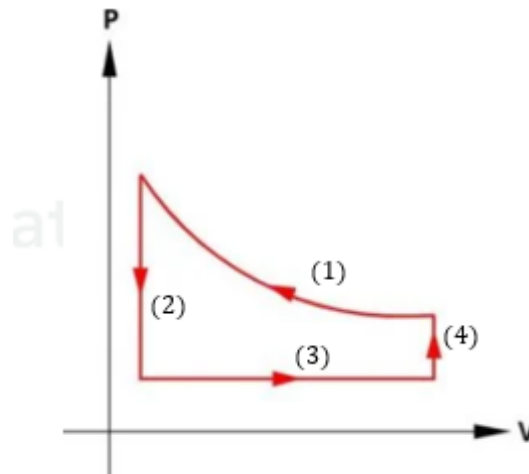
Um gás recebe 30 J de calor, realiza 20 J de trabalho e varia sua temperatura em $+20^{\circ}\text{C}$. Se o gás receber 50 J e receber 20 J de trabalho, qual será sua variação de temperatura?

- a) 60°C
- b) 140°C
- c) 20°C
- d) 120°C

Questão 6.

Um refrigerador realiza o ciclo abaixo. Considere as seguintes transformações:

- (1) Transformação adiabática.
- (2) Transformação isovolumétrica.
- (3) Transformação isobárica.
- (4) Transformação isovolumétrica.



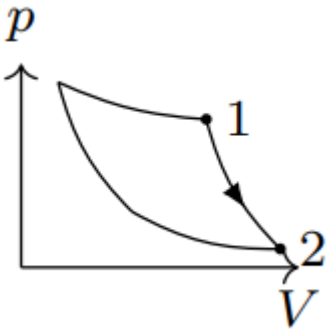
Assinale a alternativa correta:

- a) O trabalho realizado pelo refrigerador é positivo.
- b) A variação de energia interna no processo (1) é negativa.
- c) O trabalho realizado no processo (3) é positivo.
- d) No processo (3), calor é cedido pelo refrigerador.
- e) A variação de energia interna do ciclo é positiva.



Questão 7.

O ciclo termodinâmico abaixo mostra uma máquina térmica nas condições de Carnot.



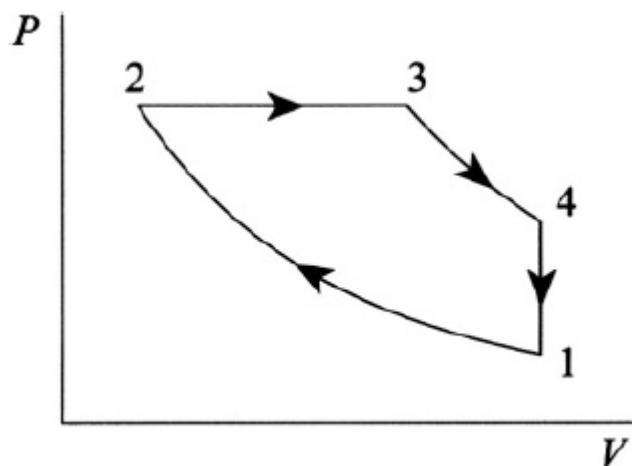
Durante o processo $1 \rightarrow 2$

- a) o trabalho realizado pelo gás é igual à variação interna dele.
- b) a variação de energia interna é nula.
- c) o trabalho realizado é negativo.
- d) a temperatura diminui.

Nível 2

Questão 1.

Considere o ciclo termodinâmico percorrido por um gás.



O processo 1-2 é uma adiabática, o processo 2-3 é uma isobárica, o processo 3-4 é uma adiabática e o processo 4-1 é uma isovolumétrica. Assinale a alternativa correta:

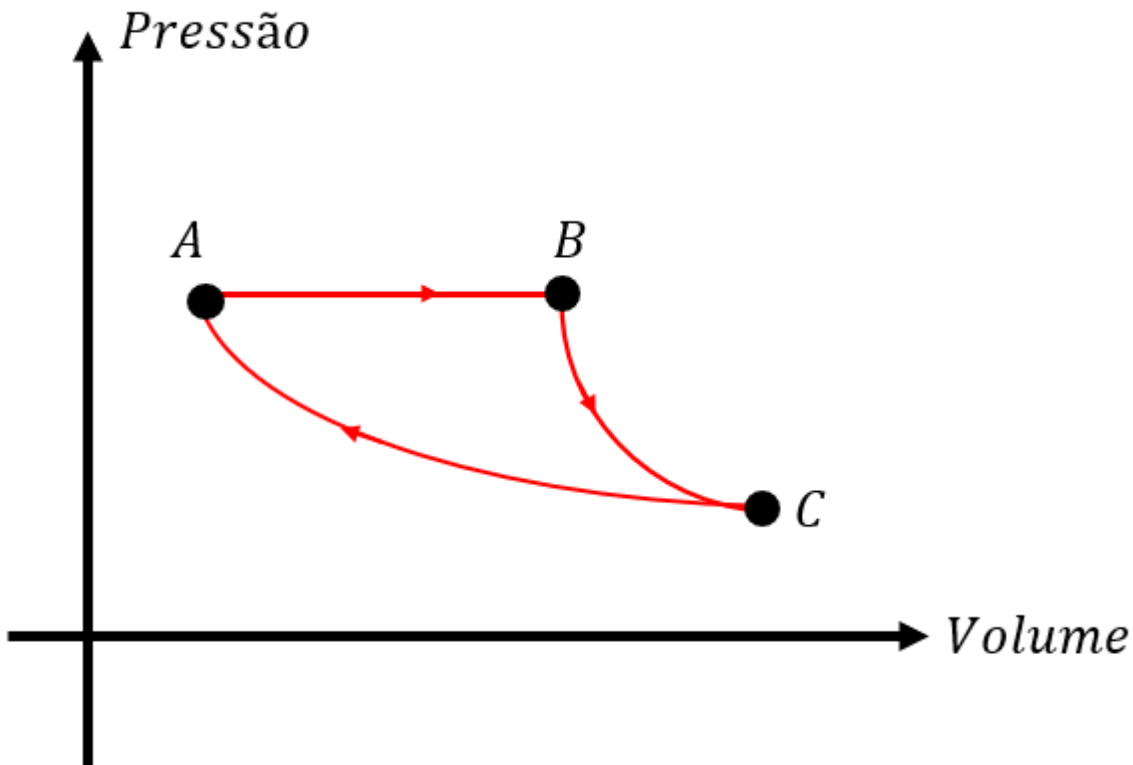
- a) O trabalho realizado no processo 2-3 é negativo.
- b) No processo 1-2 há aumento da energia interna do gás.



- c) O ciclo pode representar um refrigerador.
- d) No processo 4-1, o gás absorve calor do meio.

Questão 2.

Considere o ciclo de uma máquina térmica.



Assinale a alternativa correta

- a) A temperatura mínima é dada no ponto B
- b) A temperatura máxima ocorre no ponto B.
- c) A variação de energia interna do ciclo é positiva.
- d) O trabalho realizado pelo ciclo é zero.
- e) O calor é absorvido no processo CA.

Questão 3.

Uma bexiga elástica tem um gás de massa molar M , densidade ρ_{ar} a uma temperatura T (mesma que o ambiente). O volume da bexiga nessas condições é V e a bexiga está em equilíbrio. Se a temperatura do ambiente baixar para $T/3$ e a bexiga for levada ao alto de uma montanha cuja pressão é P_0 , qual será a variação do volume da bexiga?

- a) $V \cdot \left(\frac{R \cdot T \cdot \rho_{ar}}{3 \cdot M \cdot P_0} \right)$
- b) 0

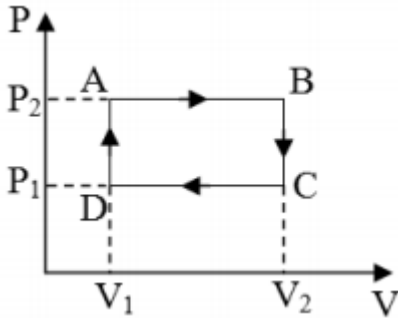


c) $V \cdot \left(\frac{R \cdot T \cdot \rho_{ar} - 3 \cdot M \cdot P_0}{3 \cdot M \cdot P_0} \right)$

d) $\frac{V}{3}$

Questão 4.

(EEAR 2021) O gráfico pressão (P) por volume (V) a seguir representa uma série de transformações termodinâmicas pelas quais passam uma amostra de gás ideal em uma máquina térmica.

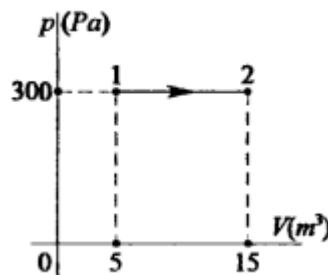


Assinale entre as alternativas, aquela que indica corretamente uma única mudança no ciclo representado no gráfico que aumentará o rendimento dessa máquina térmica.

- a) aumentar, na mesma proporção, o calor captado e emitido pela amostra
- b) diminuir, na mesma proporção, o calor captado e emitido pela amostra
- c) aumentar o valor da pressão P1
- d) diminuir o valor da pressão P1

Questão 5.

Um gás monoatômico experimenta uma expansão isobárica do estado 1 ao estado 2. Calcule a quantidade de calor fornecida ao gás para realizar esse processo.



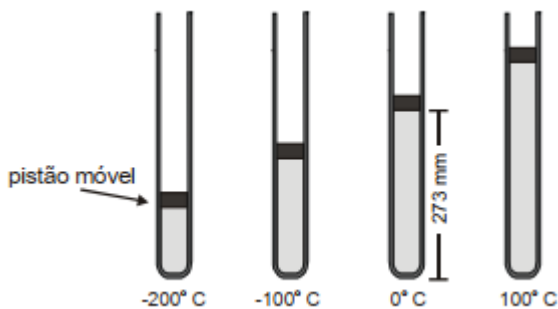
- A) 2,5 kJ
- B) 5,0 kJ
- C) 7,5 kJ
- D) 10 kJ
- E) 2 kJ



Nível 3

Questão 1.

(OBF – 2005) Para a verificação da dilatação de um gás ideal aprisiona-se uma certa quantidade do mesmo, em um tubo vertical de seção reta de 1 mm^2 de área, por meio de um pistão móvel de massa desprezível. A seguir submete-se o tubo a diferentes temperaturas em um local cuja pressão atmosférica vale 1 atm ou 760 mmHg , conforme mostra a figura.



- Qual o volume do gás a $100 \text{ }^\circ\text{C}$?
- Qual a pressão sobre o gás a $-100 \text{ }^\circ\text{C}$?

Questão 2.

(OBF – 2005) Uma caixa de isopor cúbica, cujo interior tem aresta de 50 cm , tem paredes de 1 cm de espessura e está completamente preenchida com água e com 10 kg de gelo, a $0 \text{ }^\circ\text{C}$. Se a caixa permanecer durante 5 horas em um local cuja temperatura é $40 \text{ }^\circ\text{C}$, que quantidade de gelo será derretida? Considere que a diferença de temperatura entre o exterior e o interior da caixa permaneça constante durante esse tempo e que a condutividade térmica do isopor é $k = 0,01 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{ }^\circ\text{C})$.

Questão 3.

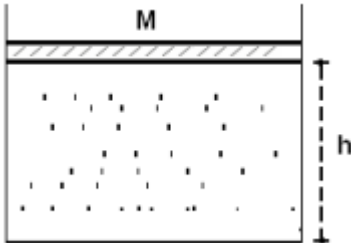
(OBF – 2006) A energia total emitida E por um corpo, por unidade de tempo t , é diretamente proporcional à superfície irradiante S e à quarta potência da temperatura absoluta T do corpo. Considere uma lâmpada incandescente que emite toda a sua energia por irradiação, que tem um filamento cuja superfície emissora é igual a $2,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$ e cuja potência dissipada é de 81 W (joules por segundo) quando seu filamento se encontra sob temperatura de $2727 \text{ }^\circ\text{C}$. De posse dessas informações:

- obtenha uma expressão que relacione E/t em função de S e T e determine o coeficiente de proporcionalidade correspondente entre esses termos;
- determine a potência que esta lâmpada dissipará quando a temperatura do filamento for igual a $1727 \text{ }^\circ\text{C}$.



Questão 4.

(OBF – 2009) Uma placa de massa M e área A é colocada sobre um pistão de massa desprezível e mesma área. O pistão está montado sobre uma câmara de gás contendo n moles de um gás ideal a uma temperatura constante T . A placa desce do repouso até parar em uma posição de equilíbrio a uma altura h como mostrado na figura 5. Determine a altura h .



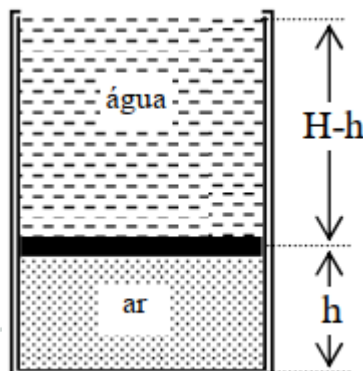
Questão 5.

(OBF – 2011) Sejam x_M e x_D as frações molares correspondentes à quantidade de um gás ideal monoatômico e diatômico, respectivamente, que compõem uma mistura gasosa não reagente. Sabendo que a pressão e volume inicial da mistura são, respectivamente, P_0 e V_0 , determine a pressão P em função do volume V da mistura quando esta é submetida a uma expansão adiabática reversível.

Obs.: A fração molar de um constituinte da mistura é a razão entre o número de mols deste constituinte e o número de mols total da mistura.

Questão 6.

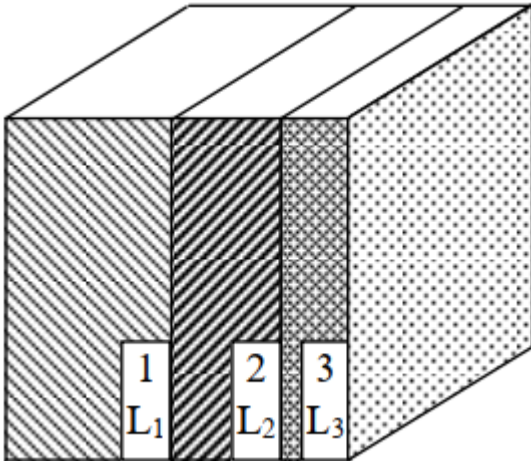
(OBF – 2012) A figura mostra um recipiente cilíndrico de área A e altura H . O recipiente possui um pistão leve e sem atrito que o separa em duas regiões. A região inferior contém um gás ideal e a região superior está cheia de água. O pistão está inicialmente posicionado a uma altura $h = H/2$ do fundo. Transfere-se calor para o gás através da parte inferior do recipiente provocando o deslocamento do pistão e, assim, fazendo com que a água transborde. Qual é a relação (T_1/T_2) entre as temperaturas do gás até que toda água transborde? Suponha que o pistão é feito de um isolante térmico e, portanto, a água não troca calor com o ar. Usar: pressão atmosférica = 10^5 Pa , densidade da água = 10^3 kg/m^3 , aceleração da gravidade = 10 m/s^2 .





Questão 7.

(OBF – 2013) A figura mostra uma parede feita de três camadas de espessuras L_1 , $L_2=0,7L_1$ e $L_3=0,35L_1$. As condutividades térmicas são k_1 , $k_2=1,4k_1$ e $k_3=0,7k_1$. As temperaturas das faces esquerda e direita, da camada 1 e 3, são respectivamente 30°C e 10°C . Qual é a diferença de temperatura entre as faces esquerda e direita da camada 2?



Questão 8.

(OBF – 2016) Em regiões frias usam-se aquecedores para aumentar a temperatura em ambientes fechados. Para que não haja desperdício de energia, é preciso levar em conta a perda de calor através das paredes e janelas da casa. Considere, por exemplo, uma janela de vidro com $0,7\text{ m}$ de largura, $1,2\text{ m}$ de altura e 12 mm de espessura e condutividade térmica de $0,8\text{ W/m.K}$. Com que potência o calor é perdido por essa janela quando a temperatura interna é 20°C e a temperatura externa é 10°C ?

Questão 9.

(OBF – 2016) Uma certa porção de gás ideal está encerrada na câmara formada por um pistão acoplado a um cilindro vertical. Inicialmente, a posição do pistão é mantida fixa através de um pino de forma que a pressão inicial do gás é $p_0 = 1,00\text{ atm}$ e seu volume é $5,00\text{ litros}$. A pressão externa ao pistão $p_{\text{ext}} = 10,0\text{ atm}$ é dada pela soma da pressão atmosférica e da pressão exercida por uma massa m que está apoiada em sua superfície externa. As paredes do cilindro são diatérmicas e o conjunto está parcialmente mergulhado em uma mistura com água e gelo em equilíbrio entre si e com a atmosfera (todos os subsistemas estão à temperatura de 0°C). Em certo momento, o pino é removido e espera-se que o sistema atinja um novo estado de equilíbrio. Qual a massa de gelo que se funde neste processo?

Questão 10.



(OBF – 2017) Na região ártica do Canadá vivem povos indígenas que constroem abrigos de caça feitos de neve compactada. Estes abrigos são conhecidos no resto do mundo como iglus. O objetivo do iglu, além de proteger contra o vento, é criar um ambiente interno de temperatura relativamente amena em comparação com a temperatura exterior muito mais baixa. Suponha uma situação de equilíbrio na qual a temperatura interior se mantém fixa graças ao calor corporal emitidos por três caçadores que estão dormindo em seu interior e que as perdas de calor se dão exclusivamente pelas paredes do iglu. Considere que o iglu pode ser aproximado por um hemisfério de raio interno R e espessura d . Se d for muito menor que R , a transmissão de calor pela superfície esférica é equivalente à que seria transmitida por uma superfície plana de área e espessuras iguais. Usando esta aproximação e desprezando as trocas de calor com o piso, estime a espessura d da parede de um iglu de raio $R = 1,60 \text{ m}$ para uma situação de equilíbrio de temperatura interna $T_i = 2^\circ\text{C}$ e temperatura externa $T_e = -38^\circ\text{C}$. Considere que o calor corporal emitido por cada caçador tem uma potência de $P = 250 \text{ W}$ e que a condutividade térmica da neve compactada é $k = 0,240 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$.

Questão 11.

(OBF – 2017) Se um recipiente que contém um gás rarefeito apresenta uma pequena abertura ocorre um fenômeno chamado efusão no qual o número de moléculas que sai do recipiente é proporcional dv onde d é a densidade do gás e v é a velocidade escalar média das moléculas. Considere um recipiente dividido em duas câmaras com uma pequena abertura entre elas e que contém um gás rarefeito. As condições são tais que ocorre o fenômeno de efusão entre uma câmara e outra. Se as câmaras 1 e 2 são mantidas, respectivamente, a temperaturas T_1 e T_2 e a pressão da câmara 1 é P_1 , qual o valor da pressão na câmara 2 na situação de equilíbrio?

Questão 12.

(ITA-1971) Dois recipientes de volumes V_1 e V_2 contêm a mesma quantidade de um mesmo gás a pressões e temperaturas absolutas p_1 e p_2 , T_1 e T_2 , respectivamente. Os dois recipientes são ligados entre si por uma torneira, que em dado momento é aberta, oferecendo ao gás o volume $V_1 + V_2$. Supondo que os dois recipientes constituam um sistema isolado, mostre que, após o novo equilíbrio, com temperatura e pressão T e p :

a)
$$\frac{T}{P} = \frac{1}{2} \left(\frac{T_1}{P_1} + \frac{T_2}{P_2} \right)$$

b)
$$\frac{T}{P} = \frac{T_1 + T_2}{P_1 + P_2}$$

c)
$$\frac{T}{P} = \frac{T_1 + T_2}{(P_1 + P_2)/2}$$

d)
$$\frac{T}{P} = \frac{(T_1 + T_2)/2}{P_1 + P_2}$$

e) nenhuma das expressões acima é correta.

Questão 13.



(ITA-1972) A pressão do vapor do éter etílico é de 760 cmHg à temperatura de $35 \text{ }^\circ\text{C}$. Colocando-se certa quantidade desse líquido na câmara evacuada de um barômetro de mercúrio de $1,00 \text{ m}$ de comprimento e elevando-se a temperatura ambiente a $35 \text{ }^\circ\text{C}$, nota-se que a coluna de mercúrio:

- a) sobe de 24 cm .
- b) permanece inalterada.
- c) desce a 24 cm do nível zero.
- d) desce a zero.
- e) desce a uma altura que é função da quantidade de éter introduzida.

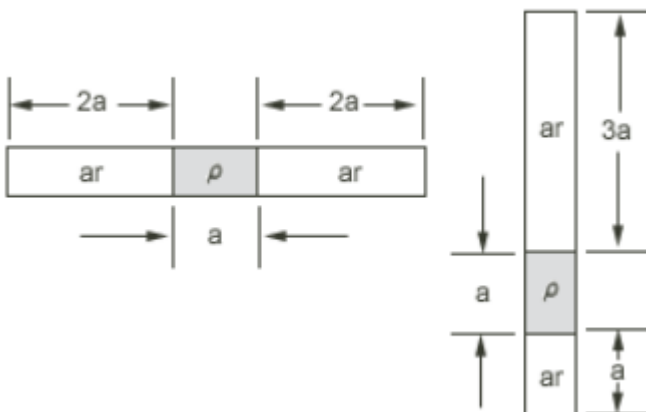
Questão 14.

(ITA-1974) A umidade relativa num ambiente gasoso (atmosfera, por exemplo) é definida como:

- a) relação entre a pressão de vapor de água existente e a pressão ambiente.
- b) relação entre o volume ocupado pelo vapor de água e o volume total do ambiente.
- c) relação entre a pressão de vapor de água existente à temperatura ambiente e a pressão de vapor de água a $0 \text{ }^\circ\text{C}$.
- d) relação entre a pressão de vapor de água existente e a pressão de vapor saturante à mesma temperatura.
- e) nenhuma das afirmações acima é verdadeira.

Questão 15.

(ITA-1986) Um tubo capilar de comprimento $5a$ é fechado em ambas as extremidades. Ele contém ar seco que preenche o espaço no tubo não ocupado por uma coluna de mercúrio de massa específica ρ e comprimento a . Quando o tubo está na posição horizontal, as colunas de ar seco medem $2a$ cada. Levando-se lentamente o tubo à posição vertical, as colunas de ar têm comprimentos a e $3a$. Nessas condições, a pressão no tubo capilar, quando em posição horizontal, é:



- a) $3g\rho a/4$.



- b) $2gpa/5$.
- c) $2gpa/3$.
- d) $4gpa/3$.
- e) $4gpa/5$.

Questão 16.

(ITA-1986) Um reservatório de 30 *litros* contém gás nitrogênio diatômico, à temperatura ambiente de 20 °C. Seu medidor de pressão indica uma pressão de 3,00 atmosferas. A válvula do reservatório é aberta momentaneamente e uma certa quantidade de gás escapa para o meio ambiente. Fechada a válvula, o gás atinge novamente a temperatura ambiente. O medidor de pressão do reservatório indica agora uma pressão de 2,40 atmosferas. Quantos gramas de nitrogênio, aproximadamente, escaparam?

- a) 10,5 *g*.
- b) 31 *g*.
- c) 15 *g*.
- d) 3 *g*.
- e) 21 *g*.

Observações:

1. O peso atômico do nitrogênio é igual a 14.

2. Se necessário, utilizar os seguintes valores para:

Constante universal para os gases: 8,31 *joules/mol · K* ou 0,082 *litros · atm/mol · K*.

Número de Avogadro: $6,02 \cdot 10^{23}$ *moléculas/mol*.

Questão 17.

(ITA-1986) Uma pessoa respira por minuto 8 *litros* de ar a 18 °C e o rejeita a 37 °C. Admitindo que o ar se comporta como um gás diatômico de massa molecular equivalente a 29, calcular a quantidade aproximada de calor fornecida pelo aquecimento do ar em 24 horas.

- a) 2,69 *kJ*.
- b) 195 *kJ*.
- c) 272 *kJ*.
- d) 552 *kJ*.
- e) nenhum dos valores acima.

Observações:

1. Desprezar aqui toda mudança de composição entre o ar inspirado e o ar expirado e admitir a pressão constante e igual a 1 *atm*.



2. A massa específica do ar a $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ sob pressão de 1 atm vale $1,24\text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

3. Se necessário, utilizar os seguintes valores para:

Constante universal dos gases: $8,31\text{ joules/mol} \cdot \text{K}$.

Volume de um mol para gás ideal: $22,4\text{ litros}$ (CNTP).

Equivalente mecânico do calor: $4,18\text{ joules/caloria}$.

Questão 18.

(ITA-1987) Uma pessoa dorme sob um cobertor de $2,5\text{ cm}$ de espessura e de condutibilidade térmica $3,3 \cdot 10^{-4}\text{ J} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. Sua pele está a $33\text{ }^{\circ}\text{C}$ e o ambiente a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. O calor transmitido pelo cobertor durante uma hora, por m^2 de superfície, é:

- a) $4,4 \cdot 10^{-3}\text{ J}$.
- b) $1,6 \cdot 10^2\text{ J}$.
- c) $4,3 \cdot 10^2\text{ J}$.
- d) $2,8 \cdot 10^2\text{ J}$.
- e) $1,6 \cdot 10^5\text{ J}$.

Questão 19.

(ITA-1988) Calcular a massa de hélio (massa molar $4,0$), contida num balão, sabendo-se que o gás ocupa um volume igual a $5,0\text{ m}^3$ e está a uma temperatura de $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$ e a uma pressão de 30 cmHg .

- a) $1,86\text{ g}$.
- b) 46 g .
- c) 96 g .
- d) 186 g .
- e) 385 g .

Questão 20.

(ITA-1991) Um recipiente continha inicialmente $10,0\text{ kg}$ de gás sob pressão de $10 \cdot 10^6\text{ N/m}^2$. Uma quantidade m de gás saiu do recipiente sem que a temperatura variasse. Determine m sabendo que a pressão caiu para $2,5 \cdot 10^6\text{ N/m}^2$.

- a) $2,5\text{ kg}$.
- b) $5,0\text{ kg}$.
- c) $7,5\text{ kg}$.
- d) $4,0\text{ kg}$.
- e) nenhuma das anteriores.

**Questão 21.**

(ITA-1993) Dois balões de vidro de volumes iguais estão ligados por meio de um tubo de volume desprezível e ambos contêm hidrogênio a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Eles estão a uma pressão de $1,013 \cdot 10^5\text{ Pa}$. Qual será a pressão do gás se um dos bulbos for imerso em água a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ e outro for mantido a $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$?

- a) a pressão permanece a mesma.
- b) $1,06 \cdot 10^5\text{ Pa}$.
- c) $2,32 \cdot 10^5\text{ Pa}$.
- d) $1,25 \cdot 10^5\text{ Pa}$.
- e) $1,20 \cdot 10^5\text{ Pa}$.

Questão 22.

(ITA-1996) Considere as seguintes afirmativas:

I. Um copo de água gelada apresenta gotículas de água em sua volta porque a temperatura da parede do copo é menor que a temperatura de orvalho do ar ambiente.

II. A névoa (chamada por alguns de vapor) que sai do bico de uma chaleira com água quente é tanto mais perceptível quanto menor for a temperatura ambiente.

III. Ao se fechar um freezer, se a sua vedação fosse perfeita, não permitindo a entrada e saída de ar do seu interior, a pressão interna ficaria inferior à pressão do ar ambiente.

- a) todas são corretas.
- b) somente I e II são corretas.
- c) somente II e III são corretas.
- d) somente I e III são corretas.
- e) nenhuma delas é correta.

Questão 23.

(ITA-1996) Uma lâmpada elétrica de filamento contém certa quantidade de um gás inerte. Quando a lâmpada está funcionando, o gás apresenta uma temperatura de $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ e a sua pressão é igual à pressão atmosférica.

I. Supondo que o volume da lâmpada varie de forma apreciável, a pressão do gás, à temperatura de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, é de aproximadamente $\frac{3}{4}$ da pressão atmosférica.

II. A presença do gás inerte (no lugar do vácuo) ajuda a reduzir o esforço que o invólucro da lâmpada é submetido devido à pressão atmosférica.

III. O gás dentro da lâmpada aumenta seu brilho pois também fica incandescente.

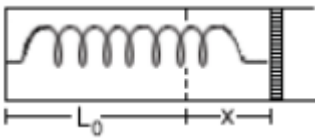


Das afirmativas acima:

- a) todas estão corretas.
- b) só a I está errada.
- c) só a II está errada.
- d) só a III está errada.
- e) todas estão erradas.

Questão 24.

(ITA - 1997) Um mol de gás perfeito está contido em um cilindro de seção S fechado por um pistão móvel, ligado a uma mola de constante elástica k . Inicialmente, o gás está na pressão atmosférica P_0 , temperatura T_0 , e o comprimento do trecho do cilindro ocupado pelo gás é L_0 , com a mola não estando deformada. O sistema gás-mola é aquecido e o pistão se desloca de uma distância x . Denotando a constante de gás por R , a nova temperatura do gás é:



- a) $T_0 + \frac{x}{R}(P_0 \cdot S + k \cdot L_0)$
- b) $T_0 + \frac{L_0}{R}(P_0 \cdot S + k \cdot x)$
- c) $T_0 + \frac{x}{R}(P_0 \cdot S + k \cdot x)$
- d) $T_0 + \frac{k \cdot x}{R}(L_0 + x)$
- e) $T_0 + \frac{x}{R}(P_0 \cdot S + k \cdot L_0 + k \cdot x)$

Questão 25.

(ITA – 1999) Considere uma mistura de gases H_2 e N_2 em equilíbrio térmico. Sobre a energia cinética média e sobre a velocidade média das moléculas de cada gás, pode-se concluir que:

- a) as moléculas de N_2 e H_2 têm a mesma energia cinética média e a mesma velocidade média.
- b) ambas têm a mesma velocidade média, mas as moléculas de N_2 têm maior energia cinética média.
- c) ambas têm a mesma velocidade média, mas as moléculas de H_2 têm maior energia cinética média.
- d) ambas têm a mesma energia cinética média, mas as moléculas de N_2 têm maior velocidade média.
- e) ambas têm a mesma energia cinética média, mas as moléculas de H_2 têm maior velocidade de média.



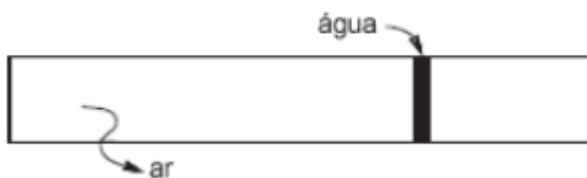
Questão 26.

(ITA-2000) Um copo de 10 cm de altura está totalmente cheio de cerveja e apoiado sobre uma mesa. Uma bolha de gás se desprende do fundo do copo e alcança a superfície, onde a pressão atmosférica é de $1,01 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. Considere que a densidade da cerveja seja igual à da água pura e que a temperatura e o número de moles do gás dentro da bolha permaneçam constantes enquanto esta sobe. Qual a razão entre o volume final (quando atinge a superfície) e inicial da bolha?

- a) 1,03.
- b) 1,04.
- c) 1,05.
- d) 0,99.
- e) 1,01.

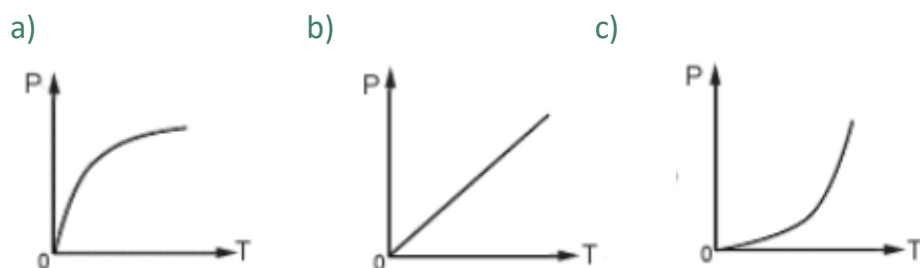
Questão 27.

(ITA-2002) Um tubo capilar fechado em uma extremidade contém uma quantidade de ar aprisionada por um pequeno volume de água. A $7,0^\circ\text{C}$ e à pressão atmosférica ($76,0 \text{ cmHg}$) o comprimento do trecho com ar aprisionado é de $15,0 \text{ cm}$. Determine o comprimento do trecho com ar aprisionado a $17,0^\circ\text{C}$. Se necessário, empregue os seguintes valores da pressão de vapor da água: $0,75 \text{ cmHg}$ a $7,0^\circ\text{C}$ e $1,42 \text{ cmHg}$ a $17,0^\circ\text{C}$.

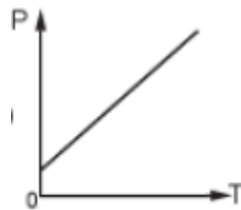


Questão 28.

(ITA-2003) Qual dos gráficos abaixo melhor representa a taxa P de calor emitido por um corpo aquecido, em função de sua temperatura absoluta T ?



- d) e)



Questão 29.

(ITA – 2005) Estime a massa de ar contida numa sala de aula. Indique claramente quais as hipóteses utilizadas e os quantitativos estimados das variáveis empregadas.

Questão 30.

(ITA-2006) Sejam o recipiente (1), contendo 1 mol de H_2 (massa molecular $M = 2$) e o recipiente (2) contendo 1 mol de He (massa atômica $M = 4$) ocupando o mesmo volume, ambos mantidos a mesma pressão. Assinale a alternativa correta.

- a) a temperatura do gás no recipiente 1 é menor que a temperatura do gás no recipiente 2.
- b) a temperatura do gás no recipiente 1 é maior que a temperatura do gás no recipiente 2.
- c) a energia cinética média por molécula do recipiente 1 é maior que a do recipiente 2.
- d) o valor médio da velocidade das moléculas no recipiente 1 é menor que o valor médio da velocidade das moléculas no recipiente 2.
- e) o valor médio da velocidade das moléculas no recipiente 1 é maior que o valor médio da velocidade das moléculas no recipiente 2.

Questão 31.

(ITA – 2008) De acordo com a Lei de Stefan-Boltzmann, o equilíbrio da atmosfera terrestre é obtido pelo balanço energético entre a energia de radiação do Sol absorvida pela Terra e a reemitida pela mesma. Considere que a energia fornecida por unidade de tempo pela radiação solar é dada por $P = A \cdot e \cdot \sigma \cdot T^4$ em que $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$; A é a área da superfície do corpo; T a temperatura absoluta, e o parâmetro e é a emissividade que representa a razão entre a taxa de radiação de uma superfície particular e a taxa de radiação de uma superfície de um corpo ideal, com a mesma área e mesma temperatura. Considere a temperatura média da Terra $\bar{T} = 287 \text{ K}$ e, nesta situação, $e = 1$. Sabendo que a emissão de gases responsáveis pelo aquecimento global reduz a emissividade, faça uma estimativa de quanto aumentará a temperatura média da Terra devido à emissão de gases responsáveis pelo aquecimento global, se a emissividade diminuir 8%.

Considere $(1 - x)^{1/4} \cong 1 - \frac{x}{4}$

Questão 32.



(ITA – 2010) A temperatura para a qual a velocidade associada à energia cinética média de uma molécula de nitrogênio, N_2 , é igual à velocidade de escape desta molécula da superfície da Terra é de, aproximadamente,

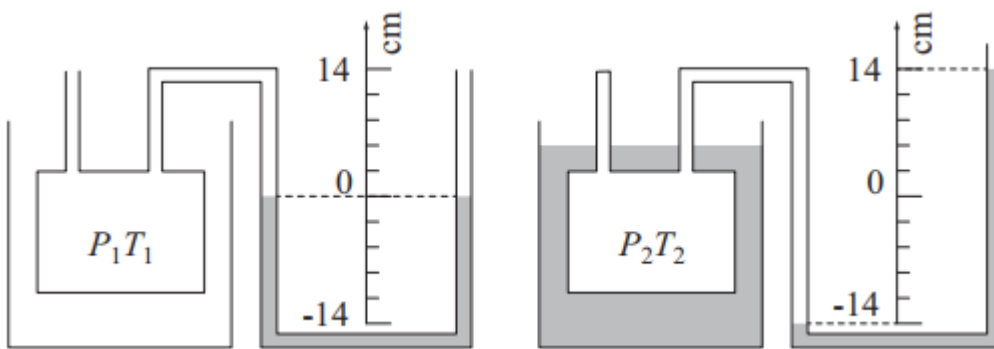
- a) $1,4 \cdot 10^5 \text{ K}$.
- b) $1,4 \cdot 10^8 \text{ K}$.
- c) $7,0 \cdot 10^{27} \text{ K}$.
- d) $7,2 \cdot 10^4 \text{ K}$.
- e) $8,4 \cdot 10^{28} \text{ K}$.

Considere: $v_{escape} = \sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot M_T \cdot R_T}{R_T^2}} = \sqrt{2 \cdot g \cdot R_T}$

Raio da terra = $6,380 \cdot 10^6 \text{ m}$

Questão 33.

(ITA – 2013) Um recipiente é inicialmente aberto para a atmosfera a temperatura de 0°C . A seguir, o recipiente é fechado e imerso num banho térmico com água em ebulição. Ao atingir o novo equilíbrio, observa-se o desnível do mercúrio indicado na escala das colunas do manômetro. Construa um gráfico $P \times T$ para os dois estados do ar no interior do recipiente e o extrapole para encontrar a temperatura T_0 quando a pressão $P = 0$, interpretando fisicamente este novo estado à luz da teoria cinética dos gases.



Questão 34.

(ITA – 2017) Suponha que a atmosfera de Vênus seja composta dos gases CO_2 , N_2 , Ar, Ne e He, em equilíbrio térmico a uma temperatura $T = 735 \text{ K}$.

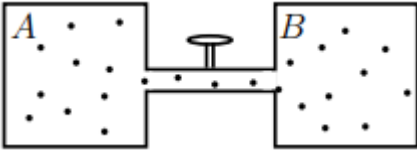
- a) Determine a razão entre a velocidade quadrática média das moléculas de cada gás e a velocidade de escape nesse planeta.
- b) Que conclusão pode ser obtida sobre a provável concentração desses gases nessa atmosfera?

Obs.: Considere Vênus com o raio igual ao da Terra e a massa igual a 0,810 vezes a desta.



Questão 35.

(ITA – 2018) Dois recipientes A e B de respectivos volumes V_A e $V_B = \beta \cdot V_A$, constantes, contém um gás ideal e são conectados por um tubo fino com válvula que regula a passagem do gás, conforme a figura. Inicialmente o gás em A está na temperatura T_A sob pressão P_A e em B , na temperatura T_B sob pressão P_B . A válvula é então aberta até que as pressões finais P_{Af} e P_{Bf} alcancem a proporção $P_{Af}/P_{Bf} = \alpha$, mantendo as temperaturas nos seus valores iniciais. Assinale a opção com a expressão de P_{Af} .



- $[(\frac{P_B T_A}{P_A T_B} + \beta)/(\beta + \frac{1 T_A}{\alpha T_B})] P_A$
- $[(\beta \frac{P_B T_A}{P_A T_B} + 1)/(1 - \frac{\beta T_A}{\alpha T_B})] P_A$
- $[(\beta \frac{P_B T_A}{P_A T_B} + 1)/(1 + \frac{\beta T_A}{\alpha T_B})] P_A$
- $[(\beta \frac{P_B T_A}{P_A T_B} + 1)/(\alpha + \beta \frac{T_A}{T_B})] P_A$
- $[(\beta \frac{P_B T_A}{P_A T_B} \pm 1)/(\alpha + \beta \frac{T_A}{T_B})] P_A$

Questão 36.

(ITA – 2019) Em um reservatório são armazenados 1 mol de gás hélio e 1 mol de gás oxigênio em equilíbrio térmico. Por meio de um orifício de dimensões muito menores que o comprimento livre médio das espécies gasosas, inicia-se um vazamento de gás para o exterior. Sobre essa situação são feitas as seguintes afirmações:

- I. No interior do reservatório, os átomos de hélio têm, em média, energia cinética menor em comparação à das moléculas de oxigênio.
- II. No interior do reservatório, os átomos de hélio têm, em média, velocidade de translação maior em comparação à das moléculas de oxigênio.
- III. A porção do gás que vaza e a que permanece no interior do reservatório tem a mesma fração molar de hélio.

Assinale a opção correta.

- a) Apenas a afirmação I é falsa.
- b) Apenas a afirmação II é falsa.
- c) Apenas a afirmação III é falsa.
- d) Há mais de uma afirmação falsa.



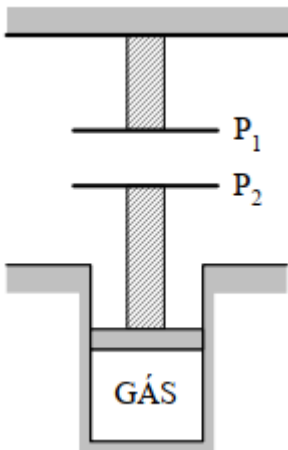
e) Todas as afirmações são verdadeiras.

Questão 37.

(ITA – 2019) Uma empresa planeja instalar um sistema de refrigeração para manter uma sala de dimensões $4,0\text{ m} \times 5,0\text{ m} \times 3,0\text{ m}$ a uma temperatura controlada em torno de $10\text{ }^\circ\text{C}$. A temperatura média do ambiente não controlado é de $20\text{ }^\circ\text{C}$ e a sala é revestida com um material de 20 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de $0,60\text{ W/m }^\circ\text{C}$. Sabendo que a eficiência do sistema de refrigeração escolhido é igual a $2,0$ e que o custo de 1 kWh é de R\$ $0,50$, estime o custo diário de refrigeração da sala.

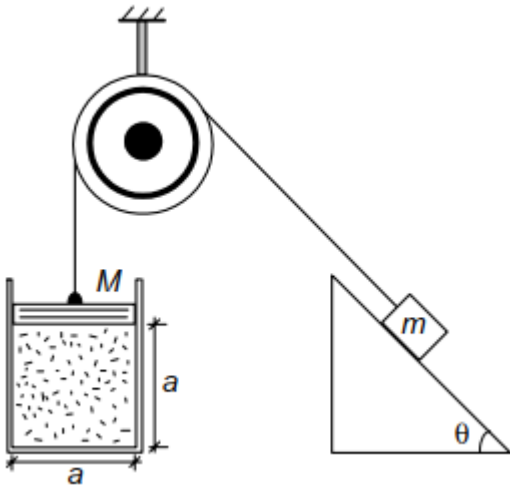
Questão 38.

(IME – 2005) Um gás ideal encontra-se, inicialmente, sob pressão de $1,0$ atmosfera e ocupa um volume de $1,0$ litro em um cilindro de raio $R = 5/\pi\text{ m}$, cujo êmbolo mantém a placa P_2 de um capacitor afastada 10 cm da placa paralela P_1 . Nessa situação, existe uma energia de $171,5\text{ }\mu\text{J}$ armazenada no capacitor, havendo entre suas placas a tensão de $5,0\text{ V}$. Determine o valor da capacitância quando o êmbolo for levantado, reduzindo a pressão isotermicamente para $0,8\text{ atm}$.



Questão 39.

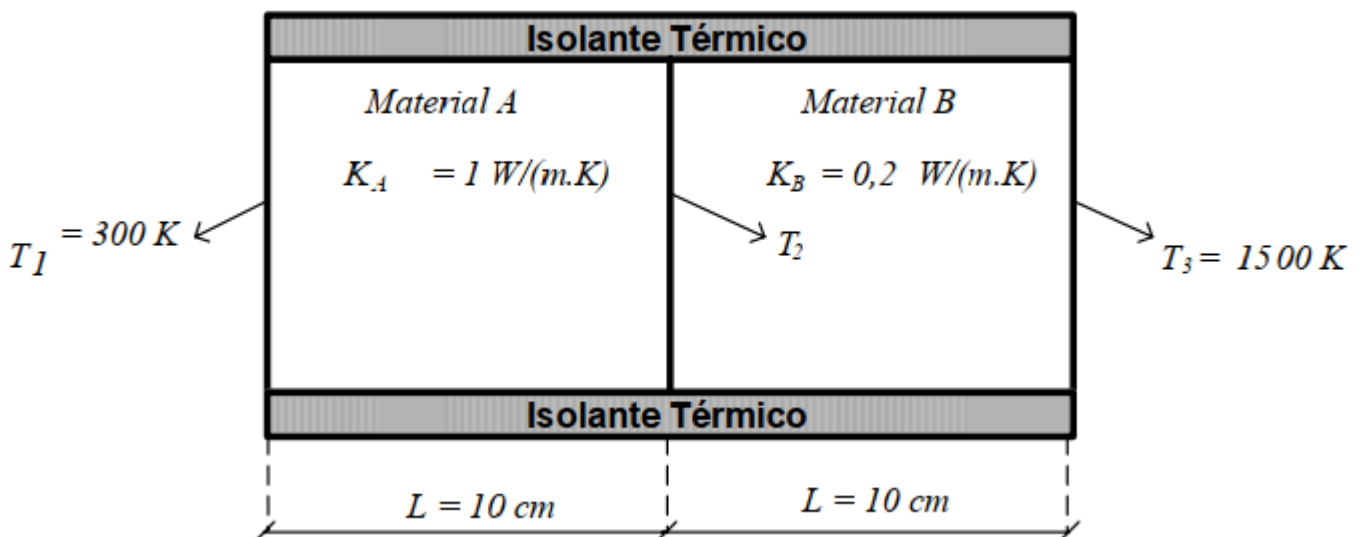
(IME – 2008)



Em um recipiente, hermeticamente fechado por uma tampa de massa M , com volume interno na forma de um cubo de lado a , encontram-se n mols de um gás ideal a uma temperatura absoluta T . A tampa está presa a uma massa m por um fio que passa por uma roldana, ambos ideais. A massa m encontra-se na iminência de subir um plano inclinado de ângulo θ com a horizontal e coeficiente de atrito estático μ . Considerando que as variáveis estejam no Sistema Internacional e que não exista atrito entre a tampa M e as paredes do recipiente, determine m em função das demais variáveis. Dados: aceleração da gravidade = g ;
constante universal dos gases perfeitos = R .

Questão 40.

(IME – 2010)



A figura composta por dois materiais sólidos diferentes A e B , apresenta um processo de condução de calor, cujas temperaturas não variam com o tempo. É correto afirmar que a temperatura T_2 da interface desses materiais, em kelvins, é: Observações:

T_1 : Temperatura da interface do material A com o meio externo

T_3 : Temperatura da interface do material B com o meio externo



K_A : Coeficiente de condutividade térmica do material A

K_B : Coeficiente de condutividade térmica do material B

- A) 400
- B) 500
- C) 600
- D) 700
- E) 800

Questão 41.

(IME – 2011)

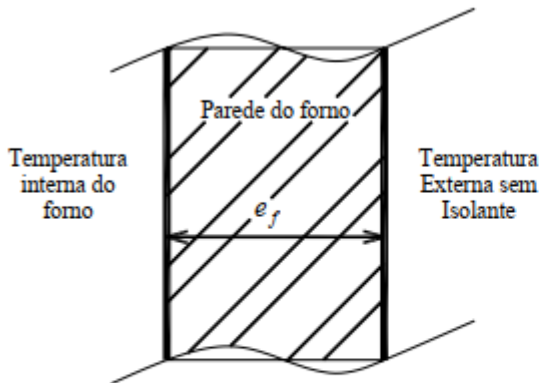


Figura 1

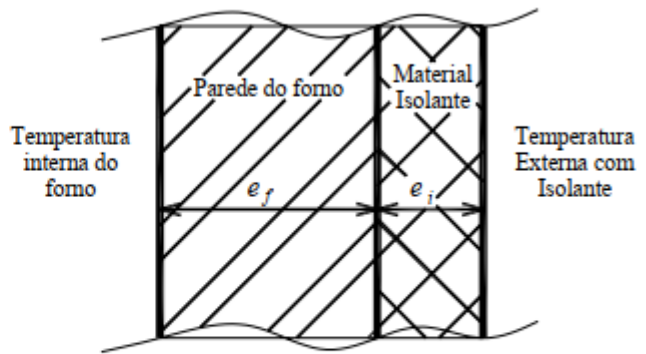


Figura 2

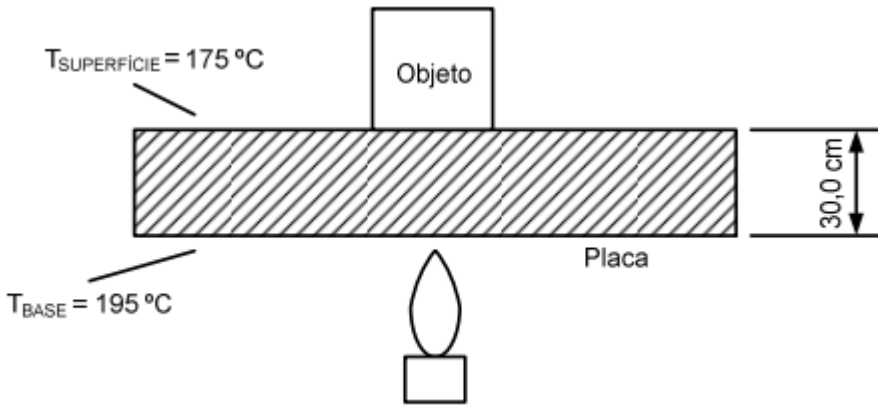
Uma fábrica foi multada pela prefeitura local, pois a temperatura externa da parede de um forno industrial encontrava-se em um nível superior ao previsto pelas normas de segurança (Figura 1). Para atender às normas recomenda-se o seguinte procedimento (Figura 2):

A parede externa do forno deve ser recoberta com um material de condutividade térmica igual a 4% da parede do forno. Isso faz com que a transferência de calor fique igual a 20% da original e que a redução de temperatura entre a superfície interna da parede do forno e a superfície externa do isolante fique 20% maior que a situação inicial.

Determine a razão entre a espessura do isolante (e_i) e a espessura da parede do forno (e_f).

Questão 42.

(IME – 2014)



Um objeto de 160 g de massa repousa, durante um minuto, sobre a superfície de uma placa de 30 cm de espessura e, ao final deste experimento, percebe-se que o volume do objeto é 1% superior ao inicial. A base da placa é mantida em 195 °C e nota-se que a sua superfície permanece em 175 °C . A fração de energia, em percentagem, efetivamente utilizada para deformar a peça é

Dados:

Condutividade térmica da placa: 50 W/m °C

Calor específico do objeto: 432 J/(kg °C)

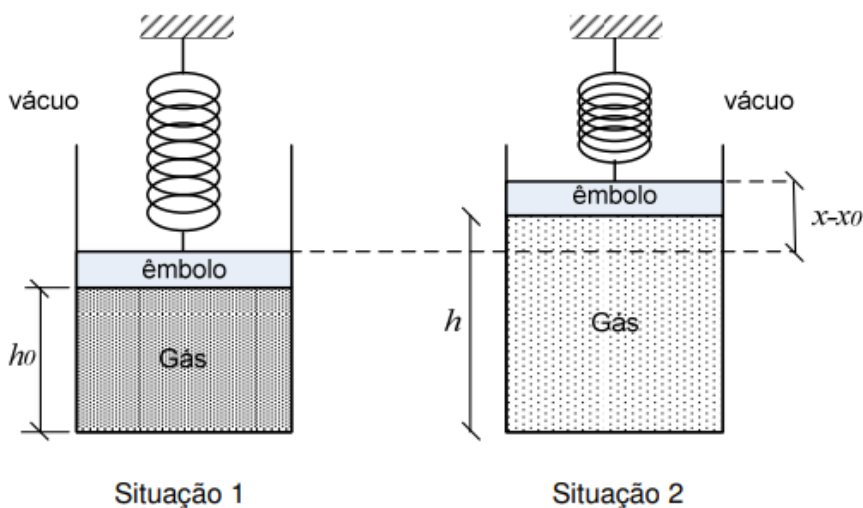
Coeficiente de dilatação linear: $1,6 \cdot 10^{-5}\text{ °C}^{-1}$

Área da placa: $0,6\text{ m}^2$

- (A) 4
- (B) 12
- (C) 18
- (D) 36
- (E) 60

Questão 43.

(IME – 2014)



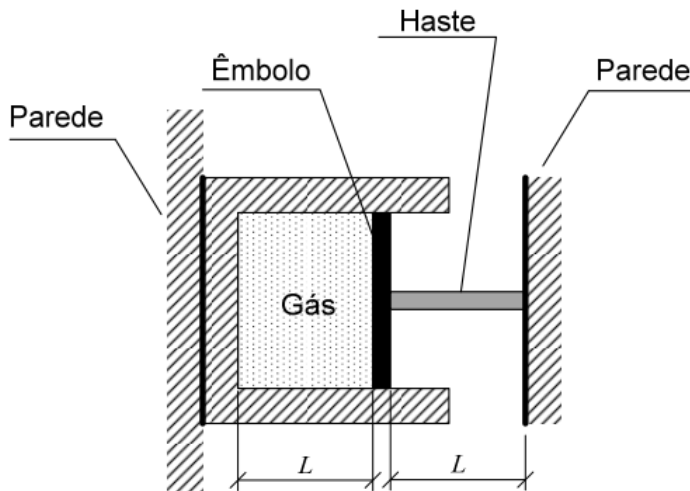


A figura acima mostra um sistema posicionado no vácuo formado por um recipiente contendo um gás ideal de massa molecular M e calor específico c em duas situações distintas. Esse recipiente é fechado por um êmbolo preso a uma mola de constante elástica k , ambos de massa desprezível. Inicialmente (Situação 1), o sistema encontra-se em uma temperatura T_0 , o êmbolo está a uma altura h_0 em relação à base do recipiente e a mola comprimida de x_0 em relação ao seu comprimento relaxado. Se uma quantidade de calor Q for fornecida ao gás (Situação 2), fazendo com que o êmbolo se desloque para uma altura h e a mola passe a estar comprimida de x , a grandeza que varia linearmente com Q é

- a) $x + h$
- b) $x - h$
- c) $(x + h)^2$
- d) $(x - h)^2$
- e) xh

Questão 44.

(IME 2016)



Um êmbolo está conectado a uma haste, a qual está fixada a uma parede. A haste é aquecida, recebendo uma energia de 400 J . A haste se dilata, movimentando o êmbolo que comprime um gás ideal, confinado no reservatório, representado na figura. O gás é comprimido isotermicamente.

Diante do exposto, o valor da expressão $\frac{P_f - P_i}{P_f}$ é

Dados:

pressão final do gás: P_f ;

pressão inicial do gás: P_i ;

capacidade térmica da haste: 4 J/K ;

coeficiente de dilatação térmica linear da haste: $0,000001 \text{ K}^{-1}$.



- a) 0,01
- b) 0,001
- c) 0,0001
- d) 0,00001
- e) 0,000001

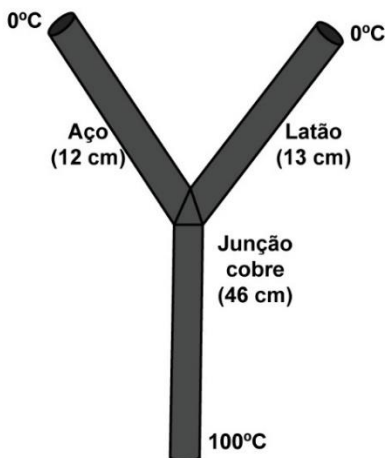
Questão 45.

(IME – 2017) Deseja-se minimizar a taxa de transferência de calor em uma parede feita de um determinado material, de espessura conhecida, submetendo-a a um diferencial de temperatura. Isso é feito adicionando-se uma camada isolante refratária de 15% da espessura da parede, de forma que cuidadosas medidas experimentais indicam que a taxa de transferência de calor passa a ser 40% em relação à situação original. Supondo que o diferencial de temperatura entre as extremidades livres da parede original e da parede composta seja o mesmo, pode-se afirmar que a condutividade térmica do material refratário é numericamente igual a

- (A) 10 % da condutividade térmica do material da parede.
- (B) 15 % da condutividade térmica do material da parede.
- (C) 4,5 % da condutividade térmica do material da parede.
- (D) 22,22 % da condutividade térmica do material da parede.
- (E) 33,33 % da condutividade térmica do material da parede.

Questão 46.

(MACK – SP) Têm-se três cilindros de secções transversais iguais de cobre, latão e aço, cujos comprimentos são, respectivamente, 46cm, 13cm e 12cm. Soldam-se os cilindros, formando o perfil em Y, indicado na figura. O extremo livre do cilindro de cobre é mantido a 100°C, e os de latão e aço a 0°C. Supor que a superfície lateral dos cilindros esteja isolada termicamente. As condutividades térmicas do cobre, do latão e do aço valem, respectivamente, 0,92, 0,26 e 0,12, expressas em $cal.cm^{-1}.s^{-1}.^{\circ}C^{-1}$. No regime estacionário de condução, a temperatura na junção é igual a:





- a) 100°C
- b) 80°C
- c) 67°C
- d) 50°C
- e) 40°C

Questão 47.

Encontre a mínima temperatura de um gás ideal que sofre um processo descrito por:

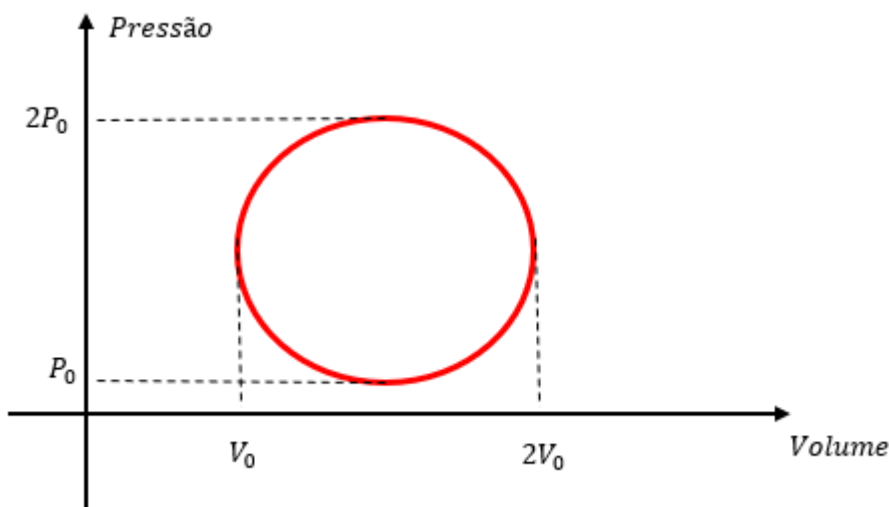
$$p = \frac{p_0}{V^2} + \alpha$$

Em que p_0 e α são constantes. P é a pressão do gás.

- a) Não há temperatura mínima
- b) $\sqrt{\frac{p_0}{\alpha}}$
- c) $2\sqrt{\frac{p_0}{\alpha}}$
- d) $2\sqrt{\alpha \cdot p_0}$
- e) $\sqrt{\alpha \cdot p_0}$

Questão 48.

Considere uma máquina térmica operando sob um ciclo circular no sentido horário mostrado abaixo. Qual é a razão entre a máxima e a mínima temperatura desse ciclo?



- a) $\frac{3-\sqrt{2}}{4}$



b) $\frac{3+\sqrt{2}}{4}$

c) $\frac{193+132\sqrt{2}}{49}$

d) $\frac{193-132\sqrt{2}}{49}$

e) $\frac{11+6\sqrt{2}}{7}$



Resolução das questões

Nível 1

Questão 1.

Qual das grandezas termodinâmicas abaixo é uma função de estado?

- a) Calor.
- b) Trabalho.
- c) Energia Interna.
- d) Calor e Trabalho.

Comentários:

Uma função de estado é uma grandeza que depende apenas do estado inicial e final de um sistema. Apenas a energia interna é uma grandeza função de estado. O calor e o trabalho dependem do caminho que é percorrido e, portanto, não são funções de estado.

Gabarito: C

Questão 2.

Quando um gás é aquecido com 50 J, ele é capaz de elevar em 1 m um pistão de 1 kg. Se nesse processo há um aumento de 35 J da energia interna do gás, qual é o calor perdido pelo gás?

- a) 10 J
- b) 5 J
- c) 3 J
- d) 85 J

Comentários:

Podemos aplicar a primeira lei da termodinâmica:

$$\begin{aligned}Q_{ganho} - Q_{perdido} &= \Delta U + \tau \\50 - Q_{perdido} &= 35 + mgh \\50 - Q_{perdido} &= 35 + 1 \cdot 10 \cdot 1 \\Q_{perdido} &= 5 J\end{aligned}$$

Gabarito: B

Questão 3.

Um gás recebe 30 J de calor de uma fonte de calor. O gás realiza um trabalho de 10 J e aumenta sua energia interna em 15 J. Portanto, o gás



- a) não perde nenhuma quantidade de calor.
- b) ganhou uma quantidade extra de 5 J de calor não mencionada no enunciado.
- c) perdeu uma quantidade de 5 J de calor não mencionada no enunciado.
- d) não é um gás ideal.

Comentários:

Pela primeira lei da termodinâmica, temos:

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

$$Q_{ganho} + Q_{perdido} = 15 + 10$$

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

$$30 + Q_{perdido} = 25$$

$$Q_{perdido} = -5 J$$

Gabarito: C

Questão 4.

Se o gás realiza uma expansão adiabática,

- a) o calor trocado pelo gás é maior que zero.
- b) o trabalho realizado pelo gás é negativo.
- c) a temperatura do gás diminui.
- d) o trabalho realizado pelo gás é nulo.

Comentários:

- a) Falsa. Em uma transformação adiabática, o calor trocado é nulo.
- b) Falsa. O trabalho realizado pelo gás é positivo, pois temos uma expansão.
- c) Verdadeira. Utilizando a primeira lei, temos:

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

$$0 = \Delta U + \tau$$

$$\Delta U = -\tau$$

$$\Delta U < 0 \rightarrow \Delta T < 0$$

- d) Falsa. O trabalho é positivo.

Gabarito: C

Questão 5.

Um gás recebe 30 J de calor, realiza 20 J de trabalho e varia sua temperatura em +20°C. Se o gás receber 50 J e receber 20 J de trabalho, qual será sua variação de temperatura?

- a) 60°C
- b) 140°C



- c) 20°C
- d) 120°C

Comentários:

Aplicando a primeira lei da termodinâmica, temos:

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

$$Q = \frac{f}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T + \tau$$

$$30 = \frac{f}{2} \cdot n \cdot R \cdot 20 + 20$$

$$10 = \frac{f}{2} \cdot n \cdot R \cdot 20$$

$$\frac{f}{2} \cdot n \cdot R = 0,5$$

Para a outra situação, temos:

$$50 = \frac{f}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T - 20$$

$$50 = 0,5 \cdot \Delta T - 20$$

$$70 = 0,5 \cdot \Delta T$$

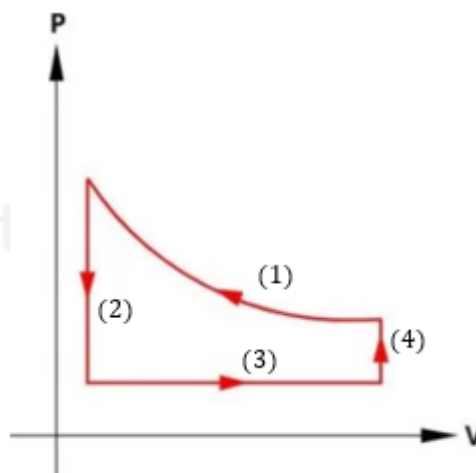
$$\Delta T = 140^{\circ}\text{C}$$

Gabarito: B

Questão 6.

Um refrigerador realiza o ciclo abaixo. Considere as seguintes transformações:

- (1) Transformação adiabática.
- (2) Transformação isovolumétrica.
- (3) Transformação isobárica.
- (4) Transformação isovolumétrica.





Assinale a alternativa correta:

- a) O trabalho realizado pelo refrigerador é positivo.
- b) A variação de energia interna no processo (1) é negativa.
- c) O trabalho realizado no processo (3) é positivo.
- d) No processo (3), calor é cedido pelo refrigerador.
- e) A variação de energia interna do ciclo é positiva.

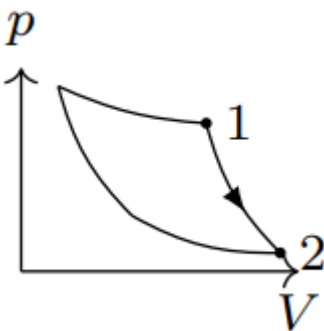
Comentários:

- a) Falso. O trabalho é negativo.
- b) Falso. O gás aumenta a temperatura e, portanto, a variação de energia interna é positiva.
- c) Verdade. O gás se expande.
- d) Falso. O calor é absorvido pelo gás.
- e) Falso. Em um ciclo, a variação de energia interna é sempre nula.

Gabarito: C

Questão 7.

O ciclo termodinâmico abaixo mostra uma máquina térmica nas condições de Carnot.



Durante o processo $1 \rightarrow 2$

- a) o trabalho realizado pelo gás é igual à variação interna dele.
- b) a variação de energia interna é nula.
- c) o trabalho realizado é negativo.
- d) a temperatura diminui.

Comentários:

a) Falsa.

O trabalho é o negativo da variação de energia interna.

b) Falsa.

Estamos indo de uma isoterma quente para uma isoterma fria.

c) Falsa.

O trabalho é positivo, pois é de expansão.



d) Verdadeira.

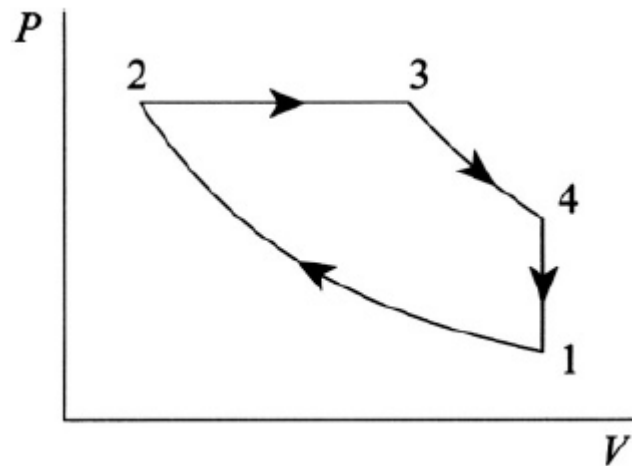
A isoterma abaixo tem temperatura menor que a isoterma acima.

Gabarito: D

Nível 2

Questão 1.

Considere o ciclo termodinâmico percorrido por um gás.



O processo 1-2 é uma adiabática, o processo 2-3 é uma isobárica, o processo 3-4 é uma adiabática e o processo 4-1 é uma isovolumétrica. Assinale a alternativa correta:

- a) O trabalho realizado no processo 2-3 é negativo.
- b) No processo 1-2 há aumento da energia interna do gás.
- c) O ciclo pode representar um refrigerador.
- d) No processo 4-1, o gás absorve calor do meio.

Comentários:

- a) Falso. O trabalho é de expansão e, portanto, é positivo.
- b) Verdadeiro. Como se trata de uma adiabática, temos:

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

$$0 = \Delta U + \tau$$

Como o trabalho é negativo (contração), a variação de energia interna é negativa.

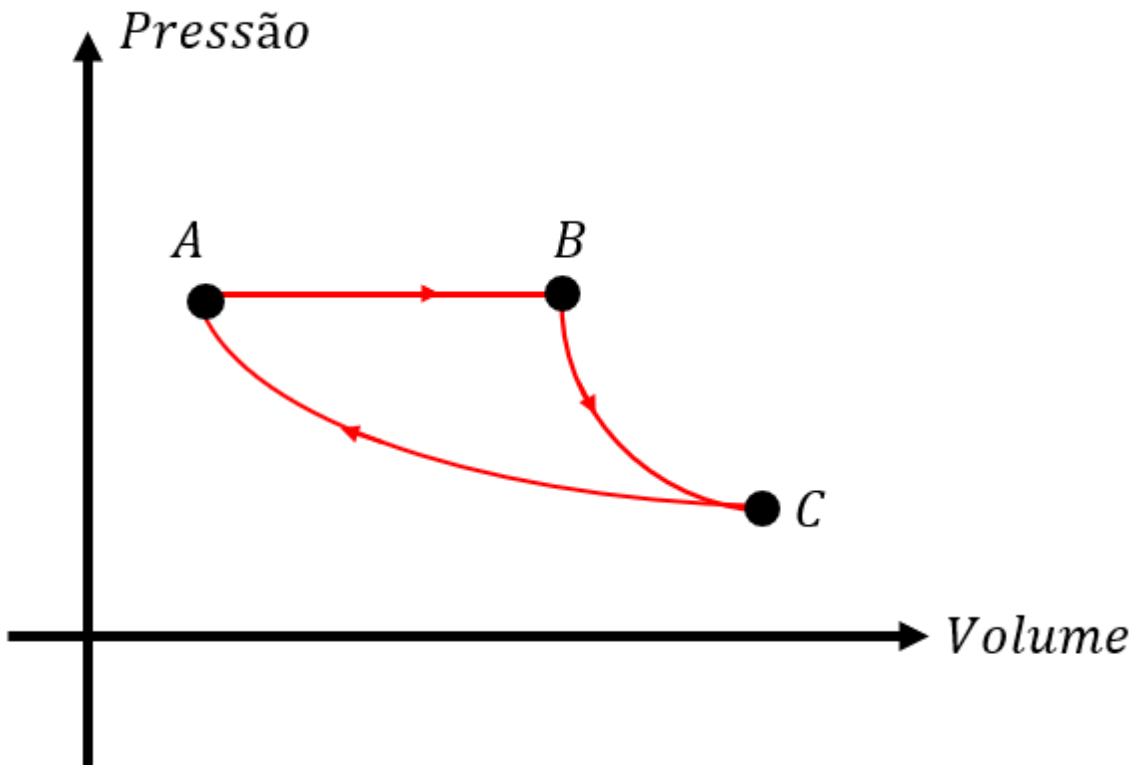
- c) Falso. O ciclo está no sentido horário e, portanto, só pode representar uma máquina térmica.
- d) Falso. No processo 4-1 há diminuição da energia interna e, portanto, o gás cede calor.



Gabarito: B

Questão 2.

Considere o ciclo de uma máquina térmica.



Assinale a alternativa correta

- a) A temperatura mínima é dada no ponto B
- b) A temperatura máxima ocorre no ponto B.
- c) A variação de energia interna do ciclo é positiva.
- d) O trabalho realizado pelo ciclo é zero.
- e) O calor é absorvido no processo CA.

Comentários:

- a) Falsa: Ocorre a temperatura máxima.
- b) Verdadeira.
- c) Falsa: Em um ciclo, a variação da energia interna é nula.
- d) Falsa: O trabalho é positivo.
- e) Falsa: O calor é rejeitado.

Gabarito: B

Questão 3.

Uma bexiga elástica tem um gás de massa molar M , densidade ρ_{ar} a uma temperatura T (mesma que o ambiente). O volume da bexiga nessas condições é V e a bexiga está em equilíbrio. Se a



temperatura do ambiente baixar para $T/3$ e a bexiga for levada ao alto de uma montanha cuja pressão é P_0 , qual será a variação do volume da bexiga?

- a) $V \cdot \left(\frac{R \cdot T \cdot \rho_{ar}}{3 \cdot M \cdot P_0} \right)$
 b) 0
 c) $V \cdot \left(\frac{R \cdot T \cdot \rho_{ar} - 3 \cdot M \cdot P_0}{3 \cdot M \cdot P_0} \right)$
 d) $\frac{V}{3}$

Comentários:

Como a bexiga é elástica, a pressão no interior da bexiga é igual a pressão externa. Podemos descobrir a pressão externa pela situação inicial. Pela densidade do gás, temos:

$$\rho_{ar} = \frac{P \cdot M}{R \cdot T}$$

$$P = \frac{R \cdot T \cdot \rho_{ar}}{M}$$

Usando a transformação gasosa, temos:

$$\frac{P \cdot V}{T} = \frac{P_0 \cdot V_F}{T/3}$$

$$\frac{R \cdot T \cdot \rho_{ar}}{M} \cdot \frac{V}{3} = P_0 \cdot V_F$$

$$V_F = V \cdot \frac{R \cdot T \cdot \rho_{ar}}{3 \cdot M \cdot P_0}$$

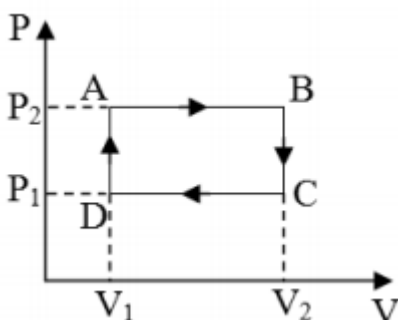
$$V_F - V = \Delta V$$

$$\Delta V = V \cdot \left(\frac{R \cdot T \cdot \rho_{ar} - 3 \cdot M \cdot P_0}{3 \cdot M \cdot P_0} \right)$$

Gabarito: C

Questão 4.

(EEAR 2021) O gráfico pressão (P) por volume (V) a seguir representa uma série de transformações termodinâmicas pelas quais passam uma amostra de gás ideal em uma máquina térmica.





Assinale entre as alternativas, aquela que indica corretamente uma única mudança no ciclo representado no gráfico que aumentará o rendimento dessa máquina térmica.

- a) aumentar, na mesma proporção, o calor captado e emitido pela amostra
- b) diminuir, na mesma proporção, o calor captado e emitido pela amostra
- c) aumentar o valor da pressão P1
- d) diminuir o valor da pressão P1

Comentários:

Quando diminuimos a pressão P1, aumentamos a área do ciclo que corresponde ao trabalho realizado. Como o rendimento é dado por

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

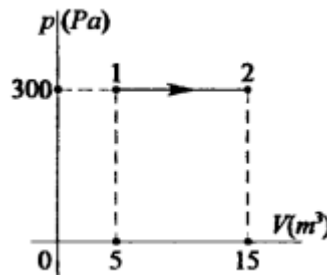
, aumentando o trabalho aumentamos o rendimento do ciclo.

Gabarito: D

Questão 5.

Um gás monoatômico experimenta uma expansão isobárica do estado 1 ao estado 2. Calcule a quantidade de calor fornecida ao gás para realizar esse processo.

- A) 2,5 kJ
- B) 5,0 kJ
- C) 7,5 kJ
- D) 10 kJ
- E) 2 kJ



Comentário:

Como se trata de uma expansão isobárica, temos:

$$Q_p = n \cdot C_p \cdot \Delta T$$

Pela equação de Clapeyron, temos:

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

Se analisarmos a variação dos dois lados da equação:

$$\Delta(P \cdot V) = \Delta(n \cdot R \cdot T)$$

Como a pressão, número de mols e R são constantes:

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

$$\rightarrow \Delta T = P \cdot \frac{\Delta V}{n \cdot R}$$

Substituindo na equação do calor:



$$Q_p = n \cdot C_p \cdot P \cdot \frac{\Delta V}{n \cdot R} = \frac{C_p}{R} \cdot P \cdot \Delta V$$

Como o gás é monoatômico, temos que:

$$C_p = \frac{5}{2}R$$

Portanto:

$$\frac{5}{2} \cdot P \cdot \Delta V$$

Do gráfico, temos:

$$P = 300 \frac{N}{m^2}$$

$$\Delta V = 15 - 5 = 10$$

Por fim:

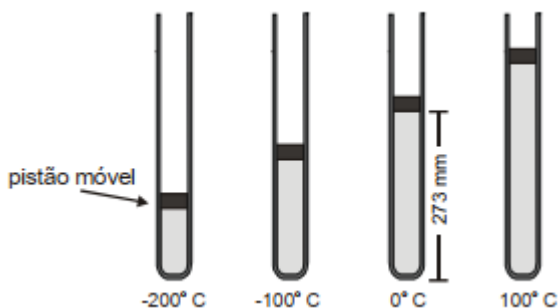
$$Q_p = \frac{5}{2} \cdot 300 \cdot 10 = 7500 = 7,5 \text{ kJ}$$

Gabarito: C

Nível 3

Questão 1.

(OBF – 2005) Para a verificação da dilatação de um gás ideal aprisiona-se uma certa quantidade do mesmo, em um tubo vertical de seção reta de 1 mm^2 de área, por meio de um pistão móvel de massa desprezível. A seguir submete-se o tubo a diferentes temperaturas em um local cuja pressão atmosférica vale 1 atm ou 760 mmHg , conforme mostra a figura.



- Qual o volume do gás a $100 \text{ }^\circ\text{C}$?
- Qual a pressão sobre o gás a $-100 \text{ }^\circ\text{C}$?

Comentários:



a) Da equação dos gases ideais temos:

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

Como não há mudança no número de mols de gás temos:

$$\frac{p \cdot V}{R \cdot T} = \text{constante}$$

Deste modo,

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{R \cdot T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{R \cdot T_2} \Rightarrow \frac{1(\text{atm}) \cdot 273(\text{mm}) \cdot S}{R \cdot 273(\text{K})} = \frac{1(\text{atm}) \cdot V_2}{R \cdot 173}$$

$$\therefore \boxed{V_2 \cong 373 \text{ mm}^3}$$

b) Como o embolo não possui massa a resultante de forças sobre ele sempre deve ser nula. Por outro lado, só atuam duas forças no embolo: Força do gás (pressão do gás) e a força atmosférica. Como ambas atuam sobre a mesma área, as pressões são iguais. Portanto, pressão atmosférica.

Gabarito: a) 373 mm³ b) pressão atmosférica local

Questão 2.

(OBF – 2005) Uma caixa de isopor cúbica, cujo interior tem aresta de 50 cm, tem paredes de 1 cm de espessura e está completamente preenchida com água e com 10 kg de gelo, a 0 °C. Se a caixa permanecer durante 5 horas em um local cuja temperatura é 40 °C, que quantidade de gelo será derretida? Considere que a diferença de temperatura entre o exterior e o interior da caixa permaneça constante durante esse tempo e que a condutividade térmica do isopor é $k = 0,01 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$.

Comentários:

Da lei de Fourier, para condução de calor temos:

$$\frac{Q}{\Delta t} = \frac{k \cdot A \cdot \Delta T}{e}$$

Em que “e” é a espessura das paredes, “k” é a condutividade térmica e “A” área efetiva do corpo.

Substituindo os devidos valores:

$$\frac{Q}{5 \cdot 60 \cdot 60(\text{s})} = \frac{0,01 \left(\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}\right) \cdot 6 \cdot 0,25(\text{m}^2) \cdot (40 - 0)(^\circ\text{C})}{0,01(\text{m})} \Rightarrow Q = 1,08 \cdot 10^6 \text{ J}$$

Todo calor que flui de fora para dentro da caixa é utilizado para o derretimento do gelo:

$$Q = m \cdot L \Rightarrow Q = 1,08 \cdot 10^6 \text{ J} = m \cdot 334,4 \left(\frac{\text{J}}{\text{g}}\right)$$

$$\boxed{m \cong 3,23 \text{ Kg}}$$

Gabarito: 3,23 kg



Questão 3.

(OBF – 2006) A energia total emitida E por um corpo, por unidade de tempo t , é diretamente proporcional à superfície irradiante S e à quarta potência da temperatura absoluta T do corpo. Considere uma lâmpada incandescente que emite toda a sua energia por irradiação, que tem um filamento cuja superfície emissora é igual a $2,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$ e cuja potência dissipada é de 81 W (joules por segundo) quando seu filamento se encontra sob temperatura de $2727 \text{ }^\circ\text{C}$. De posse dessas informações:

- obtenha uma expressão que relacione E/t em função de S e T e determine o coeficiente de proporcionalidade correspondente entre esses termos;
- determine a potência que esta lâmpada dissipará quando a temperatura do filamento for igual a $1727 \text{ }^\circ\text{C}$.

Comentários:

a) Do exposto pelo enunciado temos a seguinte lei:

$$\frac{E}{t} = k \cdot S \cdot T^4$$

Sendo k a constante de proporcionalidade.

Substituindo os valores:

$$81(\text{W}) = k \cdot 2,5 \cdot 10^{-5}(\text{m}^2) \cdot 3000^4(\text{K}^4)$$

$$k = 0,4 \cdot 10^{-7} = 4 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Deste modo, $\frac{E}{t} = 0,4 \cdot 10^{-7} \cdot S \cdot T^4$.

b) A partir da expressão deduzida do item a, substituindo os valores encontramos que:

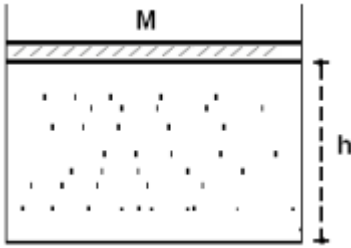
$$\frac{E}{t} = 0,4 \cdot 10^{-7} \cdot 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot 2000^4$$

$$\therefore \boxed{\frac{E}{t} = 16 \text{ W}}$$

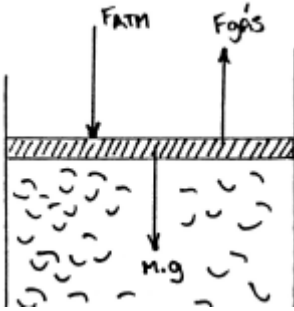
Gabarito: a) $4 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ b) 16 W

Questão 4.

(OBF – 2009) Uma placa de massa M e área A é colocada sobre um pistão de massa desprezível e mesma área. O pistão está montado sobre uma câmara de gás contendo n moles de um gás ideal a uma temperatura constante T . A placa desce do repouso até parar em uma posição de equilíbrio a uma altura h como mostrado na figura 5. Determine a altura h .



Comentários:



Como a placa tem massa desprezível a resultante de forças sobre ela deve ser nula.

$$F_{ATM} = F_{GÁS} + M \cdot g$$

Na situação final, substituindo os valores temos:

$$P_{ATM} \cdot A = \frac{n \cdot R \cdot T}{A \cdot h} \cdot A + M \cdot g$$

$$\therefore h = \frac{n \cdot R \cdot T}{P_{ATM} \cdot A - M \cdot g}$$

Gabarito: $h = \frac{n \cdot R \cdot T}{P_{ATM} \cdot A - M \cdot g}$

Questão 5.

(OBF – 2011) Sejam x_M e x_D as frações molares correspondentes à quantidade de um gás ideal monoatômico e diatômico, respectivamente, que compõem uma mistura gasosa não reagente. Sabendo que a pressão e volume inicial da mistura são, respectivamente, P_0 e V_0 , determine a pressão P em função do volume V da mistura quando esta é submetida a uma expansão adiabática reversível.

Obs.: A fração molar de um constituinte da mistura é a razão entre o número de mols deste constituinte e o número de mols total da mistura.

Comentários:

Um gás não se influencia pelo outro gás, já que são ideais:

1) Para o gás monoatômico:

A equação de Poisson em termos da pressão parcial do gás monoatômico:

$$P_{M,0} \cdot V_0^\gamma = P_M \cdot V^\gamma \Rightarrow P_M = P_{M,0} \cdot \left(\frac{V_0}{V}\right)^\gamma$$

mas: $P_{M,0} = P_0 \cdot X_M$ e para o gás monoatômico $\gamma = 5/3$, então:



$$P_M = P_0 \cdot X_M \cdot \left(\frac{V_0}{V}\right)^{5/3}$$

Analogamente, para o gás diatômico, e utilizando o fato que para esse $\gamma = 7/5$:

$$P_M = P_0 \cdot X_D \cdot \left(\frac{V_0}{V}\right)^{7/5}$$

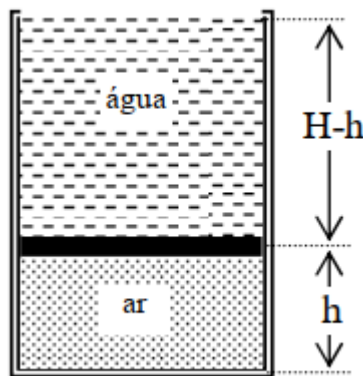
A pressão total será a soma das pressões parciais:

$$P = P_0 \cdot \left(X_M \cdot \left(\frac{V_0}{V}\right)^{5/3} + X_D \cdot \left(\frac{V_0}{V}\right)^{7/5} \right)$$

Gabarito: $P = P_0 \cdot \left(X_M \cdot \left(\frac{V_0}{V}\right)^{5/3} + X_D \cdot \left(\frac{V_0}{V}\right)^{7/5} \right)$

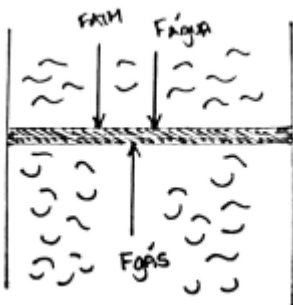
Questão 6.

(OBF – 2012) A figura mostra um recipiente cilíndrico de área A e altura H . O recipiente possui um pistão leve e sem atrito que o separa em duas regiões. A região inferior contém um gás ideal e a região superior está cheia de água. O pistão está inicialmente posicionado a uma altura $h = H/2$ do fundo. Transfere-se calor para o gás através da parte inferior do recipiente provocando o deslocamento do pistão e, assim, fazendo com que a água transborde. Qual é a relação (T_1/T_2) entre as temperaturas do gás até que toda água transborde? Suponha que o pistão é feito de um isolante térmico e, portanto, a água não troca calor com o ar. Usar: pressão atmosférica = $10^5 Pa$, densidade da água = $10^3 kg/m^3$, aceleração da gravidade = $10 m/s^2$.



Comentários:

I) Situação Inicial



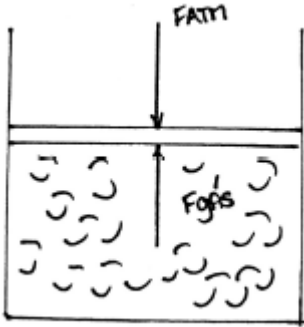


Do equilíbrio no embolo temos:

$$F_{\text{ÁGUA}} + F_{\text{ATM}} = F_{\text{GÁS}}$$

$$\rho \cdot g \cdot \frac{h}{2} \cdot A + P_{\text{ATM}} \cdot A = \frac{n \cdot R \cdot T_1}{A \cdot \frac{H}{2}} \cdot A \quad (\text{eq1})$$

II) Situação Final:



Do equilíbrio no embolo temos:

$$F_{\text{ÁGUA}} + F_{\text{ATM}} = F_{\text{GÁS}}$$

$$0 + P_{\text{ATM}} \cdot A = \frac{n \cdot R \cdot T_2}{A \cdot H} \cdot A \quad (\text{eq2})$$

Deste modo, das duas equações acima:

$$\frac{\rho \cdot g \cdot \frac{H}{2} \cdot A + P_{\text{ATM}} \cdot A}{P_{\text{ATM}} \cdot A} = \frac{2T_1}{T_2}$$

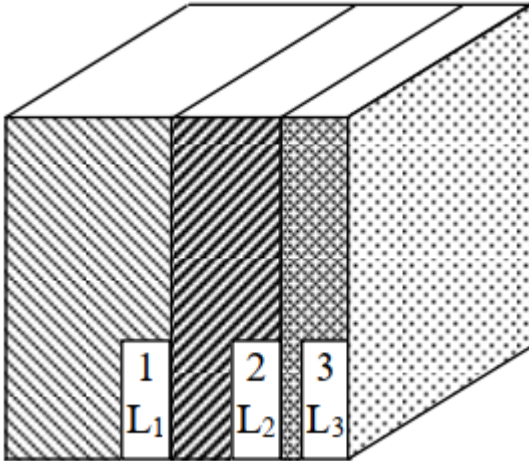
$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{\rho \cdot g \cdot H + 2P_{\text{ATM}}}{4 \cdot P_{\text{ATM}}} = \frac{1000 \cdot 10 \cdot H + 2 \cdot 100000}{4 \cdot 100000}$$

$$\therefore \boxed{\frac{T_1}{T_2} = \frac{H + 20}{40}}$$

Gabarito: $\frac{H+20}{40}$

Questão 7.

(OBF – 2013) A figura mostra uma parede feita de três camadas de espessuras L_1 , $L_2=0,7L_1$ e $L_3=0,35L_1$. As condutividades térmicas são k_1 , $k_2=1,4k_1$ e $k_3=0,7k_1$. As temperaturas das faces esquerda e direita, da camada 1 e 3, são respectivamente 30°C e 10°C . Qual é a diferença de temperatura entre as faces esquerda e direita da camada 2?



Comentários:

Da lei de Fourier, para condução de calor temos:

$$\frac{Q}{\Delta t} = \frac{k \cdot A \cdot \Delta T}{e}$$

Em que e é a espessura das paredes, k é a condutividade térmica e A área efetiva do corpo.

As paredes estão em série e, portanto, recebem o mesmo fluxo de calor.

Chamando de φ_1 o fluxo através da parede 1, φ_2 o fluxo através da parede 2 e φ_3 o fluxo através da parede 3.

$$\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3$$

$$\frac{k_1 \cdot A \cdot \Delta T_1}{e_1} = \frac{k_2 \cdot A \cdot \Delta T_2}{e_2} = \frac{k_3 \cdot A \cdot \Delta T_3}{e_3}$$

$$\frac{k_1 \cdot A \cdot \left(30 - T_{\frac{1}{2}}\right)}{e_1} = \frac{1,4k_1 \cdot A \cdot \left(T_{\frac{1}{2}} - T_{\frac{2}{3}}\right)}{0,7e_1} = \frac{0,35k_1 \cdot A \cdot \left(T_{\frac{2}{3}} - 10\right)}{0,35e_1}$$

Resolvendo as equações acima temos:

$$T_{\frac{1}{2}} = 22 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{\frac{2}{3}} = 18 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\therefore \boxed{\Delta T = 4 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

Gabarito: 4 °C

Questão 8.

(OBF – 2016) Em regiões frias usam-se aquecedores para aumentar a temperatura em ambientes fechados. Para que não haja desperdício de energia, é preciso levar em conta a perda de calor através das paredes e janelas da casa. Considere, por exemplo, uma janela de vidro com 0,7 m de largura, 1,2 m de altura e 12 mm de espessura e condutividade térmica de 0,8 W/m.K. Com que potência o calor é perdido por essa janela quando a temperatura interna é 20 °C e a temperatura externa é 10 °C?



Comentários:

Da lei de Fourier, para condução de calor temos:

$$\frac{Q}{\Delta t} = \frac{k \cdot A \cdot \Delta T}{e}$$

$$P_{perdida} = \frac{0,8 \left(\frac{W}{m} \cdot K \right) \cdot 0,7 \cdot 1,2 (m^2) \cdot (10 - 20) (^\circ C)}{0,012 (m)} = -560 J/s$$

Gabarito: –560 J/s

Questão 9.

(OBF – 2016) Uma certa porção de gás ideal está encerrada na câmara formada por um pistão acoplado a um cilindro vertical. Inicialmente, a posição do pistão é mantida fixa através de um pino de forma que a pressão inicial do gás é $p_0 = 1,00 \text{ atm}$ e seu volume é $5,00 \text{ litros}$. A pressão externa ao pistão $p_{ext} = 10,0 \text{ atm}$ é dada pela soma da pressão atmosférica e da pressão exercida por uma massa m que está apoiada em sua superfície externa. As paredes do cilindro são diatérmicas e o conjunto está parcialmente mergulhado em uma mistura com água e gelo em equilíbrio entre si e com a atmosfera (todos os subsistemas estão à temperatura de $0^\circ C$). Em certo momento, o pino é removido e espera-se que o sistema atinja um novo estado de equilíbrio. Qual a massa de gelo que se funde neste processo?

Comentários:

Podemos aproximar esse processo como sendo isotérmico, pois o processo ocorre muito rápido, assim todo trabalho sobre o sistema vira calor para o meio externo, que no caso é o sistema gelo-água:

$$Q = W_{ext} = P_{EXT} \cdot \Delta V$$

Da transformação isotérmica:

$$p_0 V_0 = p_1 V_1$$

No final temos:

$$p_1 = 10 \text{ atm} = 10 p_0 \Rightarrow V_1 = \frac{V_0}{10} = 0,5L \Rightarrow \Delta V = 4,5L$$

$$Q = \Delta m \cdot L \Rightarrow \Delta m = P_{EXT} \cdot \frac{\Delta V}{L}$$

$$\Delta m \approx 136g$$

Gabarito: 136 g

Questão 10.

(OBF – 2017) Na região ártica do Canadá vivem povos indígenas que constroem abrigos de caça feitos de neve compactada. Estes abrigos são conhecidos no resto do mundo como iglus. O objetivo do iglu, além de proteger contra o vento, é criar um ambiente interno de temperatura relativamente amena em comparação com a temperatura exterior muito mais baixa. Suponha



uma situação de equilíbrio na qual a temperatura interior se mantém fixa graças ao calor corporal emitidos por três caçadores que estão dormindo em seu interior e que as perdas de calor se dão exclusivamente pelas paredes do iglu. Considere que o iglu pode ser aproximado por um hemisfério de raio interno R e espessura d . Se d for muito menor que R , a transmissão de calor pela superfície esférica é equivalente à que seria transmitida por uma superfície plana de área e espessuras iguais. Usando esta aproximação e desprezando as trocas de calor com o piso, estime a espessura d da parede de um iglu de raio $R = 1,60 \text{ m}$ para uma situação de equilíbrio de temperatura interna $T_i = 2^\circ\text{C}$ e temperatura externa $T_e = -38^\circ\text{C}$. Considere que o calor corporal emitido por cada caçador tem uma potência de $P = 250 \text{ W}$ e que a condutividade térmica da neve compactada é $k = 0,240 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$.

Comentários:

Iremos supor que $d \ll R$. Para o equilíbrio térmico ser atingido, devemos ter equilíbrio das trocas de fluxo de calor entre homens e meio externo.

$$\begin{aligned} \varphi_{\text{HOMENS}} &= \varphi_{\text{PAREDES-EXTERNO}} \\ 3 \cdot 250(\text{W}) &= \frac{k \cdot A \cdot \Delta T}{e} \end{aligned}$$

Da suposição inicial consideremos que a área é igual a de uma placa de área A :

$$\begin{aligned} 250(\text{W}) &= \frac{k \cdot 2\pi R^2 \cdot \Delta T}{d} \\ d &= \frac{0,240 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 2,56 \cdot (2 - (-38))}{250} \\ \boxed{d \cong 0,20 \text{ m}} \end{aligned}$$

Gabarito: $d \cong 0,20 \text{ m}$

Questão 11.

(OBF – 2017) Se um recipiente que contém um gás rarefeito apresenta uma pequena abertura ocorre um fenômeno chamado efusão no qual o número de moléculas que sai do recipiente é proporcional dv onde d é a densidade do gás e v é a velocidade escalar média das moléculas. Considere um recipiente dividido em duas câmaras com uma pequena abertura entre elas e que contém um gás rarefeito. As condições são tais que ocorre o fenômeno de efusão entre uma câmara e outra. Se as câmaras 1 e 2 são mantidas, respectivamente, a temperaturas T_1 e T_2 e a pressão da câmara 1 é P_1 , qual o valor da pressão na câmara 2 na situação de equilíbrio?

Comentários:

A densidade de partículas pode ser calculada por Clapeyron:

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

Em que n é o número de mols:

$$d = \frac{P \cdot M}{RT}$$

Em que M é a massa molar do gás, sendo a velocidade média do gás proporcional da seguinte maneira:



$$\langle v \rangle \sim \sqrt{\frac{RT}{M}}$$

Na condição de equilíbrio o fluxo de partículas saindo do gás 1 é igual ao do gás 2.:

$$\Phi_1 = \Phi_2$$

E como:

$$\Phi \sim d \langle v \rangle \sim \frac{P \cdot M}{RT} \cdot \sqrt{\frac{RT}{M}}$$

Assim, para gases com a mesma massa molar:

$$\frac{P_1 \cdot M}{RT_1} \cdot \sqrt{\frac{RT_1}{M}} = \frac{P_2 \cdot M}{RT_2} \cdot \sqrt{\frac{RT_2}{M}} \Rightarrow P_2 = \sqrt{\frac{T_2}{T_1}} \cdot P_1$$

Gabarito: $\sqrt{\frac{T_2}{T_1}} \cdot P_1$

Questão 12.

(ITA-1971) Dois recipientes de volumes V_1 e V_2 contêm a mesma quantidade de um mesmo gás a pressões e temperaturas absolutas p_1 e p_2 , T_1 e T_2 , respectivamente. Os dois recipientes são ligados entre si por uma torneira, que em dado momento é aberta, oferecendo ao gás o volume $V_1 + V_2$. Supondo que os dois recipientes constituam um sistema isolado, mostre que, após o novo equilíbrio, com temperatura e pressão T e p :

a) $\frac{T}{P} = \frac{1}{2} \left(\frac{T_1}{P_1} + \frac{T_2}{P_2} \right)$

b) $\frac{T}{P} = \frac{T_1 + T_2}{P_1 + P_2}$

c) $\frac{T}{P} = \frac{T_1 + T_2}{(P_1 + P_2)/2}$

d) $\frac{T}{P} = \frac{(T_1 + T_2)/2}{P_1 + P_2}$

e) nenhuma das expressões acima é correta.

Comentários:

O número de mols do início e do final é o mesmo:

$$n_i = n_f$$

$$\frac{p_1 \cdot v_1}{RT_1} + \frac{p_2 \cdot v_2}{RT_2} = \frac{p(v_1 + v_2)}{RT} \quad (eq. 1)$$

Da hipótese do enunciado, no início, ambos os lados têm o mesmo número de mols de gás.

$$\frac{p_1 \cdot v_1}{RT_1} = \frac{p_2 \cdot v_2}{RT_2} \quad (eq. 2)$$

Substituindo 2 em 1 temos a relação:



$$\frac{T}{P} = \frac{1}{2} \left(\frac{T_1}{p_1} + \frac{T_2}{p_2} \right)$$

Gabarito: A

Questão 13.

(ITA-1972) A pressão do vapor do éter etílico é de 760 cmHg à temperatura de $35 \text{ }^\circ\text{C}$. Colocando-se certa quantidade desse líquido na câmara evacuada de um barômetro de mercúrio de $1,00 \text{ m}$ de comprimento e elevando-se a temperatura ambiente a $35 \text{ }^\circ\text{C}$, nota-se que a coluna de mercúrio:

- a) sobe de 24 cm .
- b) permanece inalterada.
- c) desce a 24 cm do nível zero.
- d) desce a zero.
- e) desce a uma altura que é função da quantidade de éter introduzida.

Comentários:

Ao colocar-se o éter etílico na câmara evacuada o mercúrio irá vaporizar-se até que sua pressão de vapor atinja seu valor naquela temperatura (pressão máxima de vapor). Deste modo, o nível irá descer proporcionalmente a quantidade de líquido inserida na câmara.

Gabarito: E

Questão 14.

(ITA-1974) A umidade relativa num ambiente gasoso (atmosfera, por exemplo) é definida como:

- a) relação entre a pressão de vapor de água existente e a pressão ambiente.
- b) relação entre o volume ocupado pelo vapor de água e o volume total do ambiente.
- c) relação entre a pressão de vapor de água existente à temperatura ambiente e a pressão de vapor de água a $0 \text{ }^\circ\text{C}$.
- d) relação entre a pressão de vapor de água existente e a pressão de vapor saturante à mesma temperatura.
- e) nenhuma das afirmações acima é verdadeira.

Comentários:

Por definição de umidade relativa temos a razão:

$$U_R = \frac{p_{\text{VAPOR NO AMBIENTE}}}{p_{\text{vapor máxima}}}$$

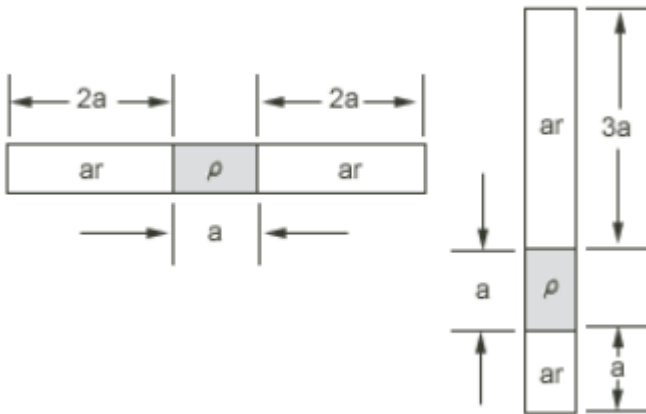
A pressão máxima de vapor é uma variável que depende exclusivamente do tipo de gás e da temperatura ambiente.

Gabarito: D

Questão 15.



(ITA-1986) Um tubo capilar de comprimento $5a$ é fechado em ambas as extremidades. Ele contém ar seco que preenche o espaço no tubo não ocupado por uma coluna de mercúrio de massa específica ρ e comprimento a . Quando o tubo está na posição horizontal, as colunas de ar seco medem $2a$ cada. Levando-se lentamente o tubo à posição vertical, as colunas de ar têm comprimentos a e $3a$. Nessas condições, a pressão no tubo capilar, quando em posição horizontal, é:



- a) $3g\rho a/4$.
- b) $2g\rho a/5$.
- c) $2g\rho a/3$.
- d) $4g\rho a/3$.
- e) $4g\rho a/5$.

Comentários:

Na posição horizontal, as duas porções de ar ocupam mesmo volume, estão à mesma temperatura e à mesma pressão.

$$\begin{cases} P_0 = P \\ V_0 = 2 \cdot a \cdot S \\ T_0 = T \end{cases}$$

Quando colocamos lentamente na posição vertical, ocorrem duas transformações gasosas isotérmicas:

O volume superior sofre uma expansão isotérmica:

$$P_{sup} V = P_0 \cdot V_0$$

$$P_{sup} 3 \cdot a \cdot S = P \cdot 2 \cdot a \cdot S \quad \therefore \quad P_{sup} = 2P/3$$

O volume inferior sofre uma contração isotérmica:

$$P_{inf} V = P_0 \cdot V_0$$

$$P_{inf} a \cdot S = P \cdot 2 \cdot a \cdot S \quad \therefore \quad P_{inf} = 2P$$

Do equilíbrio do sistema, temos que a pressão na parte inferior é resultado da pressão da parte superior acrescido com o peso do mercúrio:



$$P_{inf} = P_{sup} + \frac{a \cdot S \cdot \rho \cdot g}{S}$$

$$2P = \frac{2P}{3} + a \cdot \rho \cdot g \Rightarrow \boxed{P = \frac{3 \cdot a \cdot \rho \cdot g}{4}}$$

Gabarito: A

Questão 16.

(ITA-1986) Um reservatório de 30 *litros* contém gás nitrogênio diatômico, à temperatura ambiente de 20 °C. Seu medidor de pressão indica uma pressão de 3,00 atmosferas. A válvula do reservatório é aberta momentaneamente e uma certa quantidade de gás escapa para o meio ambiente. Fechada a válvula, o gás atinge novamente a temperatura ambiente. O medidor de pressão do reservatório indica agora uma pressão de 2,40 atmosferas. Quantos gramas de nitrogênio, aproximadamente, escaparam?

- a) 10,5 *g*.
- b) 31 *g*.
- c) 15 *g*.
- d) 3 *g*.
- e) 21 *g*.

Observações:

1. O peso atômico do nitrogênio é igual a 14.
2. Se necessário, utilizar os seguintes valores para:

Constante universal para os gases: 8,31 *joules/mol · K* ou 0,082 *litros · atm/mol · K*.

Número de Avogadro: $6,02 \cdot 10^{23}$ *moléculas/mol*.

Comentários:

O número de mols de nitrogênio inicial:

$$p \cdot v = n \cdot R \cdot T$$

$$3(\text{atm}) \cdot 30 \text{ (L)} = n_i \cdot 0,082 \left(\frac{\text{atm} \cdot \text{l}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \right) \cdot 293 \text{ (K)}$$

$$n_i = 3,745 \text{ mols}$$

O número de mols de nitrogênio final:

$$p \cdot v = n \cdot R \cdot T$$

$$2,4(\text{atm}) \cdot 30 \text{ (L)} = n_f \cdot 0,082 \left(\frac{\text{atm} \cdot \text{l}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \right) \cdot 293 \text{ (K)}$$

$$n_f = 2,996 \text{ mols}$$

Deste modo, a variação do número de mols é: $\Delta n = 0,749 \text{ mols}$

$$m = \Delta n \cdot M = 0,749 \cdot 28$$



$$\therefore m = 21 \text{ g}$$

Gabarito: E

Questão 17.

(ITA-1986) Uma pessoa respira por minuto 8 *litros* de ar a 18 °C e o rejeita a 37 °C. Admitindo que o ar se comporta como um gás diatômico de massa molecular equivalente a 29, calcular a quantidade aproximada de calor fornecida pelo aquecimento do ar em 24 horas.

- a) 2,69 *kJ*.
- b) 195 *kJ*.
- c) 272 *kJ*.
- d) 552 *kJ*.
- e) nenhum dos valores acima.

Observações:

1. Desprezar aqui toda mudança de composição entre o ar inspirado e o ar expirado e admitir a pressão constante e igual a 1 *atm*.

2. A massa específica do ar a 18 °C sob pressão de 1 *atm* vale 1,24 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

3. Se necessário, utilizar os seguintes valores para:

Constante universal dos gases: 8,31 *joules /mol · K*.

Volume de um mol para gás ideal: 22,4 *litros*(CNTP).

Equivalente mecânico do calor: 4,18 *joules /caloria*.

Comentários:

A transformação pode ser entendida pela primeira lei da termodinâmica:

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

Para uma pressão constante temos:

$$Q_P = \frac{f}{2} n \cdot R \cdot \Delta T + P \cdot \Delta V = \frac{f}{2} n \cdot R \cdot \Delta T + n \cdot R \cdot \Delta T = \left(\frac{f}{2} + 1 \right) \cdot n \cdot R \cdot \Delta T$$

$$Q_P = \left(\frac{f}{2} + 1 \right) \cdot \frac{m}{M} \cdot R \cdot \Delta T = \left(\frac{f}{2} + 1 \right) \cdot \frac{V \cdot d}{M} \cdot R \cdot \Delta T$$

Assumindo que a densidade varia muito pouco:

$$Q = \Delta t \cdot Q_P = \left(\frac{f}{2} + 1 \right) \cdot \frac{V \cdot d}{M} \cdot R \cdot \Delta T \cdot \Delta t$$

$$Q = \left(\frac{5}{2} + 1 \right) \cdot \frac{8 \cdot 1,24}{29} \cdot 8,31 \cdot (37 - 18) \cdot (60 \cdot 24) \cong 272 \text{ kJ}$$

$$Q = 272 \text{ kJ}$$

Gabarito: B

Questão 18.



(ITA-1987) Uma pessoa dorme sob um cobertor de 2,5 cm de espessura e de condutibilidade térmica $3,3 \cdot 10^{-4} \text{ J} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$. Sua pele está a 33°C e o ambiente a 0°C . O calor transmitido pelo cobertor durante uma hora, por m^2 de superfície, é:

- a) $4,4 \cdot 10^{-3} \text{ J}$.
- b) $1,6 \cdot 10^2 \text{ J}$.
- c) $4,3 \cdot 10^2 \text{ J}$.
- d) $2,8 \cdot 10^2 \text{ J}$.
- e) $1,6 \cdot 10^5 \text{ J}$.

Comentários:

Podemos quantificar o fluxo de calor pelo cobertor como:

$$\frac{Q}{\Delta t} = \frac{k \cdot A \cdot \Delta T}{e}$$

Substituindo os dados do enunciado temos:

$$\frac{Q}{1.60.60 \text{ (s)}} = \frac{10^{-4} \left(\frac{\text{J}}{\text{cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}} \right) \cdot A \cdot (33 - 0)(^\circ\text{C})}{2,5 \text{ (cm)}}$$

$$\boxed{\frac{Q}{A} = 1,6 \cdot 10^5 \text{ J}}$$

Gabarito: E

Questão 19.

(ITA-1988) Calcular a massa de hélio (massa molar 4,0), contida num balão, sabendo-se que o gás ocupa um volume igual a $5,0 \text{ m}^3$ e está a uma temperatura de -23°C e a uma pressão de 30 cmHg .

- a) 1,86 g.
- b) 46 g.
- c) 96 g.
- d) 186 g.
- e) 385 g.

Comentários:

Usando a equação dos gases ideais temos:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \Rightarrow p \cdot V = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T$$

Substituindo os dados do enunciado temos:



$$\frac{300 \text{ (atm)} \cdot 5 \cdot 10^3 \text{ (L)}}{760} = \frac{m \cdot 0,082 \left(\frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \right) \cdot 250 \text{ (K)}}{4 \left(\frac{\text{g}}{\text{mol}} \right)}$$

$$m \cong 385 \text{ g}$$

Gabarito: E

Questão 20.

(ITA-1991) Um recipiente continha inicialmente $10,0 \text{ kg}$ de gás sob pressão de $10 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$. Uma quantidade m de gás saiu do recipiente sem que a temperatura variasse. Determine m sabendo que a pressão caiu para $2,5 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$.

- a) $2,5 \text{ kg}$.
- b) $5,0 \text{ kg}$.
- c) $7,5 \text{ kg}$.
- d) $4,0 \text{ kg}$.
- e) nenhuma das anteriores.

Comentários:

Usando a equação dos gases ideais temos:

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

Como a temperatura é mantida constante,

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{Rn_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{Rn_2} = \text{constante}$$

Substituindo os valores,

$$\frac{10 \cdot 10^6 \cdot V}{\frac{10R}{M}} = \frac{2,5 \cdot 10^6 V}{\frac{mR}{M}}$$

$$m = 2,5 \text{ Kg}$$

Assim $7,5 \text{ Kg}$ de gás vazou.

Gabarito: C

Questão 21.

(ITA-1993) Dois balões de vidro de volumes iguais estão ligados por meio de um tubo de volume desprezível e ambos contêm hidrogênio a $0 \text{ }^\circ\text{C}$. Eles estão a uma pressão de $1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. Qual será a pressão do gás se um dos bulbos for imerso em água a $100 \text{ }^\circ\text{C}$ e outro for mantido a $-40 \text{ }^\circ\text{C}$?

- a) a pressão permanece a mesma.



- b) $1,06 \cdot 10^5 \text{ Pa}$.
- c) $2,32 \cdot 10^5 \text{ Pa}$.
- d) $1,25 \cdot 10^5 \text{ Pa}$.
- e) $1,20 \cdot 10^5 \text{ Pa}$.

Comentários:

A quantidade de mols no início é:

$$n_0 = \frac{V \cdot p_1}{RT_1} + \frac{V p_2}{RT_2} = \frac{2,026 \cdot 10^5 V}{273R} \quad (\text{eq. 1})$$

A quantidade final de gás é:

$$n_f = \frac{pV}{373R} + \frac{pV}{233R} \quad (\text{eq. 2})$$

Como não há vazamento de gás temos $n_f = n_0$. Igualando eq1 e eq2 temos:

$$\boxed{p = 1,06 \cdot 10^5 \text{ Pa}}$$

Gabarito: B**Questão 22.**

(ITA-1996) Considere as seguintes afirmativas:

- I. Um copo de água gelada apresenta gotículas de água em sua volta porque a temperatura da parede do copo é menor que a temperatura de orvalho do ar ambiente.
- II. A névoa (chamada por alguns de vapor) que sai do bico de uma chaleira com água quente é tanto mais perceptível quanto menor for a temperatura ambiente.
- III. Ao se fechar um freezer, se a sua vedação fosse perfeita, não permitindo a entrada e saída de ar do seu interior, a pressão interna ficaria inferior à pressão do ar ambiente.

- a) todas são corretas.
- b) somente I e II são corretas.
- c) somente II e III são corretas.
- d) somente I e III são corretas.
- e) nenhuma delas é correta.

Comentários:

I) CORRETA. Como a temperatura da água é menor (“água gelada”), as gotículas de água presentes no ar atmosférico condensam-se na superfície do copo.

II) CORRETA. Quanto menor a temperatura do ambiente maior será a taxa de condensação e, portanto, mais visível será a névoa.

III) CORRETA. O gás no interior da geladeira tem sua temperatura diminuída. Como não há variação do volume e da quantidade de gás (vedação perfeita), a pressão será diminuída.



Gabarito: A

Questão 23.

(ITA-1996) Uma lâmpada elétrica de filamento contém certa quantidade de um gás inerte. Quando a lâmpada está funcionando, o gás apresenta uma temperatura de $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ e a sua pressão é igual à pressão atmosférica.

I. Supondo que o volume da lâmpada varie de forma apreciável, a pressão do gás, à temperatura de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, é de aproximadamente $\frac{3}{4}$ da pressão atmosférica.

II. A presença do gás inerte (no lugar do vácuo) ajuda a reduzir o esforço que o invólucro da lâmpada é submetido devido à pressão atmosférica.

III. O gás dentro da lâmpada aumenta seu brilho pois também fica incandescente.

Das afirmativas acima:

- a) todas estão corretas.
- b) só a I está errada.
- c) só a II está errada.
- d) só a III está errada.
- e) todas estão erradas.

Comentários:

Para a situação inicial temos:

$$P_{ATM} \cdot V = n \cdot R \cdot 398 \quad (eq1)$$

I) CORRETA.

A quantidade de gás não varia dentro do bulbo da lâmpada:

$$P \cdot V' = n \cdot R \cdot 298 \quad (eq2)$$

Da equação (1):

$$\frac{P \cdot V'}{298} = \frac{P_{ATM} \cdot V}{398}$$

Do enunciado temos que $V' = V$:

$$\frac{298 P_{ATM} \cdot V}{398 \cdot P} = V$$

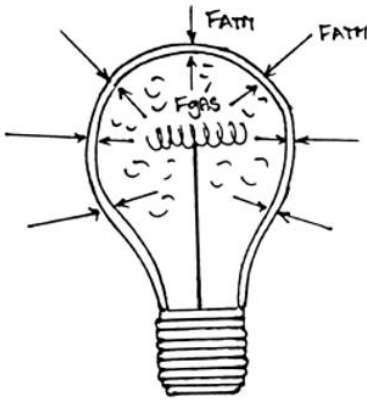
$$P = \frac{298}{398} P_{ATM}$$

Aproximando $\frac{298}{398}$ de $\frac{3}{4}$, temos que:

$$\therefore P = \frac{3}{4} P_{ATM}$$



II) CORRETA.



A força do gás diminui a resultante de forças sobre a parede do bulbo.

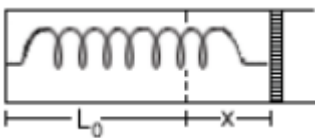
III) FALSO.

A emissão de luz por um gás está associada as transições eletrônicas dos elétrons em sua camada eletrosfera. Para tal fenômeno é necessária grande excitação, o que não ocorre no exemplo dado.

Gabarito: D

Questão 24.

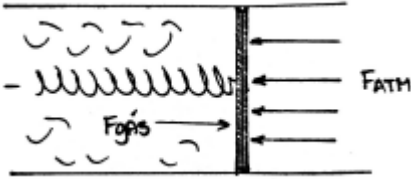
(ITA - 1997) Um mol de gás perfeito está contido em um cilindro de seção S fechado por um pistão móvel, ligado a uma mola de constante elástica k . Inicialmente, o gás está na pressão atmosférica P_0 , temperatura T_0 , e o comprimento do trecho do cilindro ocupado pelo gás é L_0 , com a mola não estando deformada. O sistema gás-mola é aquecido e o pistão se desloca de uma distância x . Denotando a constante de gás por R , a nova temperatura do gás é:



- a) $T_0 + \frac{x}{R}(P_0 \cdot S + k \cdot L_0)$
- b) $T_0 + \frac{L_0}{R}(P_0 \cdot S + k \cdot x)$
- c) $T_0 + \frac{x}{R}(P_0 \cdot S + k \cdot x)$
- d) $T_0 + \frac{k \cdot x}{R}(L_0 + x)$
- e) $T_0 + \frac{x}{R}(P_0 \cdot S + k \cdot L_0 + k \cdot x)$

Comentários:

No início só há duas forças atuando sobre o embolo. Veja figura abaixo.



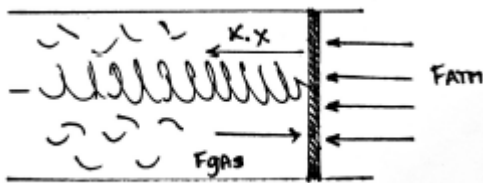
Do equilíbrio das forças:

$$F_{GÁS} = F_{ATM}$$

$$P_{GÁS} \cdot S = P_{ATM} \cdot S$$

$$P_0 = \frac{RT_0}{S \cdot L_0} \quad (eq1)$$

Na situação final temos:



$$Kx + F_{ATM} = F_{GÁS}$$

$$Kx + P_0 \cdot S = \frac{R \cdot T \cdot S}{(L_0 + x) \cdot S} \quad (eq2)$$

Das equações (1) e (2) temos:

$$T = T_0 + \frac{x}{R} (P_0 \cdot S + K \cdot L_0 + K \cdot x)$$

Gabarito: E

Questão 25.

(ITA – 1999) Considere uma mistura de gases H_2 e N_2 em equilíbrio térmico. Sobre a energia cinética média e sobre a velocidade média das moléculas de cada gás, pode-se concluir que:

- a) as moléculas de N_2 e H_2 têm a mesma energia cinética média e a mesma velocidade média.
- b) ambas têm a mesma velocidade média, mas as moléculas de N_2 têm maior energia cinética média.
- c) ambas têm a mesma velocidade média, mas as moléculas de H_2 têm maior energia cinética média.
- d) ambas têm a mesma energia cinética média, mas as moléculas de N_2 têm maior velocidade média.
- e) ambas têm a mesma energia cinética média, mas as moléculas de H_2 têm maior velocidade de média.

Comentários:

Para um gás ideal temos que a energia cinética é dada por:



$$E_{\text{Cinética}} = \frac{3}{2} K \cdot T$$

Onde K é a constante de Boltzmann e T é a temperatura. Como os gases estão em equilíbrio apresentam mesma temperatura. Deste modo possuem mesma energia cinética média. A velocidade média para um gás ideal é dada por:

$$v = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

Pela expressão acima, para uma mesma temperatura, tem maior velocidade o gás que possui menor massa molar. Portanto, o hidrogênio tem a maior velocidade.

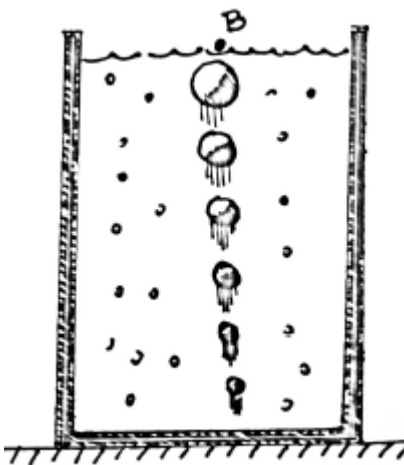
Gabarito: E

Questão 26.

(ITA-2000) Um copo de 10 cm de altura está totalmente cheio de cerveja e apoiado sobre uma mesa. Uma bolha de gás se desprende do fundo do copo e alcança a superfície, onde a pressão atmosférica é de $1,01 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. Considere que a densidade da cerveja seja igual à da água pura e que a temperatura e o número de moles do gás dentro da bolha permaneçam constantes enquanto esta sobe. Qual a razão entre o volume final (quando atinge a superfície) e inicial da bolha?

- a) 1,03.
- b) 1,04.
- c) 1,05.
- d) 0,99.
- e) 1,01.

Comentários:



A pressão na superfície da cerveja (P_B) é a própria pressão atmosférica.

$$P_B = P_{\text{ATM}}$$

A pressão no fundo do copo obedece a lei de Stevin:



$$P_A = P_B + \rho \cdot g \cdot h$$

$$P_A = P_{ATM} + \rho \cdot g \cdot h$$

A temperatura e o número de mols da bolha são constantes. Da lei dos gases ideais podemos fazer a seguinte relação:

$$P_{ATM} V_F = (P_{ATM} + \rho \cdot g \cdot h) \cdot V_0$$

$$\frac{V_F}{V_0} = \frac{1,01 \cdot 10^5 + 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{1,01 \cdot 10^5}$$

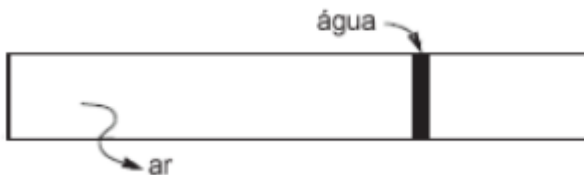
$$\frac{V_F}{V_0} = \frac{1,01 + 0,001}{1,01}$$

$$\frac{V_F}{V_0} \cong 1,01$$

Gabarito: E

Questão 27.

(ITA-2002) Um tubo capilar fechado em uma extremidade contém uma quantidade de ar aprisionada por um pequeno volume de água. A $7,0^\circ\text{C}$ e à pressão atmosférica ($76,0 \text{ cmHg}$) o comprimento do trecho com ar aprisionado é de $15,0 \text{ cm}$. Determine o comprimento do trecho com ar aprisionado a $17,0^\circ\text{C}$. Se necessário, empregue os seguintes valores da pressão de vapor da água: $0,75 \text{ cmHg}$ a $7,0^\circ\text{C}$ e $1,42 \text{ cmHg}$ a $17,0^\circ\text{C}$.



Comentários:

Considerando a seção do capilar como S . Do equilíbrio das forças na água temos:

$$F_{AR} + F_{VAPOR} = F_{ATM} \quad \rightarrow \quad P_{AR} \cdot S + P_{VAPOR} \cdot S = P_{ATM} \cdot S$$

$$P_{AR} = P_{ATM} - P_{VAPOR} \quad (eq1)$$

Primeira situação:

$$Temperatura = 7^\circ\text{C}$$

$$P_{AR(1)} = 76 - 0,75 = 75,25 \text{ mmHg}$$

Segunda situação:

$$Temperatura = 17^\circ\text{C}$$

$$P_{AR(2)} = 76 - 1,42 = 74,58 \text{ mmHg}$$

Aplicando a lei dos gases ideais para as duas situações temos:

$$\frac{P_{AR(1)} V_1}{T_1} = \frac{P_{AR(2)} V_2}{T_2} \quad \rightarrow \quad \frac{75,25 \cdot S \cdot 15}{280} = \frac{74,58 \cdot S \cdot L_2}{290}$$

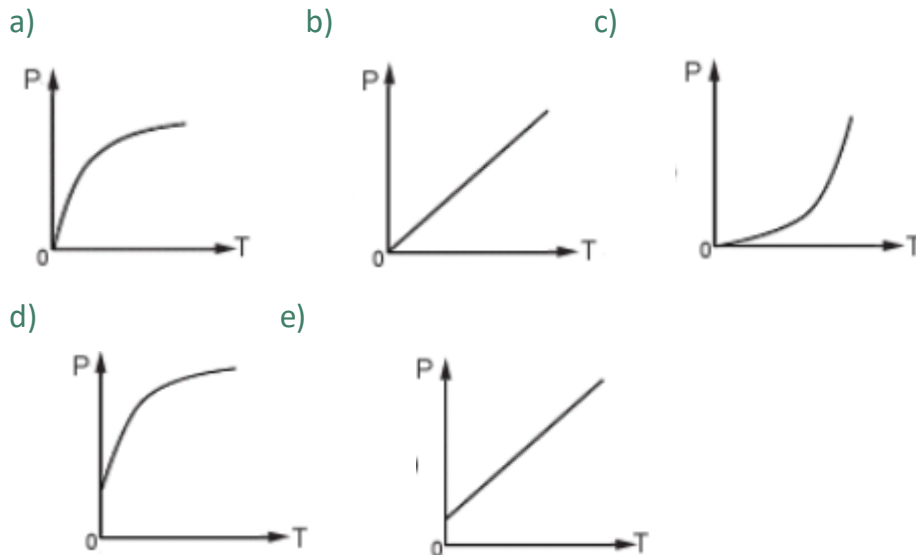


$$\therefore L_2 = 15,67 \text{ cm}$$

Gabarito: 15,67 cm

Questão 28.

(ITA-2003) Qual dos gráficos abaixo melhor representa a taxa P de calor emitido por um corpo aquecido, em função de sua temperatura absoluta T ?



Comentários:

Pela lei de Stefan-Boltzmann temos:

$$P = \sigma \cdot e \cdot A \cdot T^4$$

Em que:

σ – constante de Stefan – Boltzmann

e – emissividade do corpo (No caso de um corpo negro $e = 1$)

A – área do corpo que irradia

T – temperatura do corpo que irradia

Deste modo, P é proporcional a T^4 . A única alternativa que esboça essa relação é a alternativa (C).

Gabarito: C

Questão 29.

(ITA – 2005) Estime a massa de ar contida numa sala de aula. Indique claramente quais as hipóteses utilizadas e os quantitativos estimados das variáveis empregadas.

Comentários:

Considerações razoáveis de uma sala de aula:

Largura = 5 m;



Comprimento = 10 m;

Altura = 3 m; e

Temperatura = 25°C.

Considerando a composição do ar atmosférico como 80% de Nitrogênio e 20% de Oxigênio, sua massa molar média pode ser calculada como:

$$\bar{M} = 32.0,2 + 28.0,8 = 28,8 \frac{g}{mol}$$

Da equação dos gases ideais temos:

$$p.V = n.R.T$$

$$1(atm). 150. 10^3 (L) = \frac{m}{28,8} \cdot 0,082 \left(\frac{atm.L}{mol.K} \right) \cdot 298 (K)$$

$$\therefore \boxed{m \approx 176 Kg} \text{ de Ar}$$

Gabarito: 176 Kg

Questão 30.

(ITA-2006) Sejam o recipiente (1), contendo 1 mol de H_2 (massa molecular $M = 2$) e o recipiente (2) contendo 1 mol de He (massa atômica $M = 4$) ocupando o mesmo volume, ambos mantidos a mesma pressão. Assinale a alternativa correta.

- a) a temperatura do gás no recipiente 1 é menor que a temperatura do gás no recipiente 2.
- b) a temperatura do gás no recipiente 1 é maior que a temperatura do gás no recipiente 2.
- c) a energia cinética média por molécula do recipiente 1 é maior que a do recipiente 2.
- d) o valor médio da velocidade das moléculas no recipiente 1 é menor que o valor médio da velocidade das moléculas no recipiente 2.
- e) o valor médio da velocidade das moléculas no recipiente 1 é maior que o valor médio da velocidade das moléculas no recipiente 2.

Comentários:

Analisando a equação de Clapeyron:

$$p.V = n.R.T$$

Do enunciado da questão temos:

$$P_1 = P_2; V_1 = V_2; n_1 = n_2$$

E pela equação de Clapeyron concluímos que $T_1 = T_2$.

A energia cinética média de uma molécula monoatômica é dada por $E_C = \frac{3}{2} \cdot k.T$, enquanto a energia de uma molécula diatômica é dada por $E_C = \frac{5}{2} \cdot k.T$ (a energia de rotação não é desprezada).

Como temos $T_1 = T_2$, então $E_C(\text{Hidrogênio}) > E_C(\text{Helio})$, pois $\frac{5}{2} \cdot k.T > \frac{3}{2} \cdot k.T$.

A velocidade média de partículas gasosas pode ser calculada como:



$$\frac{1}{2} M \cdot \bar{v}^2 = \frac{f}{2} \cdot k \cdot T,$$

Em que f é o grau de liberdade da molécula. Então:

$$\bar{v}(H_2) = \frac{5 \cdot k \cdot T}{2}$$

$$\bar{v}(He) = \frac{3 \cdot k \cdot T}{4}$$

$$\therefore \bar{v}(H_2) > \bar{v}(He)$$

Desta maneira, há duas alternativas corretas.

Gabarito: C e E.

Questão 31.

(ITA – 2008) De acordo com a Lei de Stefan-Boltzmann, o equilíbrio da atmosfera terrestre é obtido pelo balanço energético entre a energia de radiação do Sol absorvida pela Terra e a reemitida pela mesma. Considere que a energia fornecida por unidade de tempo pela radiação solar é dada por $P = A \cdot e \cdot \sigma \cdot T^4$ em que $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$; A é a área da superfície do corpo; T a temperatura absoluta, e o parâmetro e é a emissividade que representa a razão entre a taxa de radiação de uma superfície particular e a taxa de radiação de uma superfície de um corpo ideal, com a mesma área e mesma temperatura. Considere a temperatura média da Terra $\bar{T} = 287 \text{ K}$ e, nesta situação, $e = 1$. Sabendo que a emissão de gases responsáveis pelo aquecimento global reduz a emissividade, faça uma estimativa de quanto aumentará a temperatura média da Terra devido à emissão de gases responsáveis pelo aquecimento global, se a emissividade diminuir 8%.

Considere $(1 - x)^{1/4} \cong 1 - \frac{x}{4}$

Comentários:

Através da lei de Stefan-Boltzmann, temos:

$$P = A \cdot e \cdot \sigma \cdot T^4$$

Podemos verificar que para o sistema estudado a potência a área e a constante de Boltzmann são valores constantes. Assim, podemos reescrever a equação da seguinte maneira:

$$\frac{P}{A \cdot \sigma} = e \cdot T^4 = \text{constante}$$

Comparando as duas situações do problema temos:

$$e \cdot T^4 = e' \cdot T'^4, \text{ sendo } e' = e - 0,08e$$

Substituindo:

$$(287)^4 \cdot e = T'^4 \cdot (1 - 0,08) \cdot e \rightarrow 287 = T'(1 - 0,08)^{1/4}$$

Da desigualdade fornecida no problema $((1 - 0,08)^{1/4} \cong 1 - \frac{1}{4} \cdot 0,08)$, vem:

$$287 = T' \left(1 - \frac{1}{4} \cdot 0,08\right)$$

$$\therefore T' \cong 293\text{K} \rightarrow \Delta T = 293 - 287$$



$$\Delta T = 6 K$$

Gabarito: 6 K

Questão 32.

(ITA – 2010) A temperatura para a qual a velocidade associada à energia cinética média de uma molécula de nitrogênio, N_2 , é igual à velocidade de escape desta molécula da superfície da Terra é de, aproximadamente,

- a) $1,4 \cdot 10^5 K$.
- b) $1,4 \cdot 10^8 K$.
- c) $7,0 \cdot 10^{27} K$.
- d) $7,2 \cdot 10^4 K$.
- e) $8,4 \cdot 10^{28} K$.

Considere: $v_{escape} = \sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot M_T \cdot R_T}{R_T^2}} = \sqrt{2 \cdot g \cdot R_T}$

Raio da terra = $6,380 \cdot 10^6 m$

Comentários:

Do enunciado temos a velocidade de escape:

$$v_{escape} = \sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot M_T \cdot R_T}{R_T^2}} = \sqrt{2 \cdot g \cdot R_T} = \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 6,380 \cdot 10^6} = 11,18 m/s$$

A energia cinética média para um gás diatômico (Nitrogênio) é:

$$E = \frac{5}{2} \cdot k \cdot T = \frac{3}{2} \cdot k \cdot T (\text{translação}) + \frac{2}{2} \cdot k \cdot T (\text{rotação})$$

Porém, a energia utilizada para que haja a fuga da terra é apenas a de translação. Sabendo que N é o número de partículas temos:

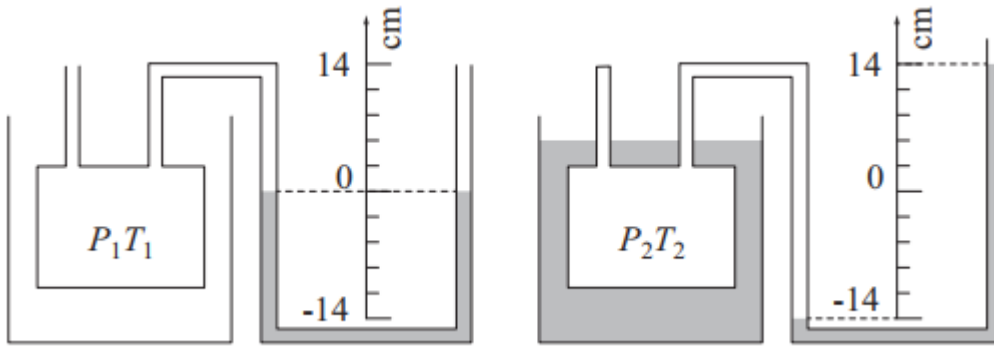
$$\frac{3}{2} \cdot k \cdot T = \frac{1}{2} m \cdot \bar{v}^2 \Rightarrow T = \frac{m \cdot \bar{v}^2}{3k} = \frac{(N \cdot m) \cdot \bar{v}^2}{3 \cdot (N \cdot k)} = \frac{MM \cdot \bar{v}^2}{3 \cdot R} = \frac{28 \cdot (11180)^2}{3 \cdot 8,3}$$

$$\therefore T = 1,4 \cdot 10^5 K$$

Gabarito: A

Questão 33.

(ITA – 2013) Um recipiente é inicialmente aberto para a atmosfera a temperatura de $0^\circ C$. A seguir, o recipiente é fechado e imerso num banho térmico com água em ebulição. Ao atingir o novo equilíbrio, observa-se o desnível do mercúrio indicado na escala das colunas do manômetro. Construa um gráfico $P \times T$ para os dois estados do ar no interior do recipiente e o extrapole para encontrar a temperatura T_0 quando a pressão $P = 0$, interpretando fisicamente este novo estado à luz da teoria cinética dos gases.



Comentários:

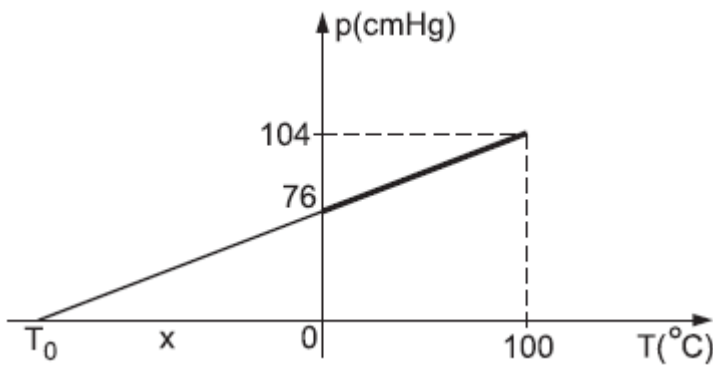
Através da Lei de Stevin, e observando o desnível das colunas do manômetro temos:

$$p_1 = 1 \text{ atm} = 76 \text{ cm Hg}$$

$$p_2 = p_1 + p_{\text{desnível}} \rightarrow p_2 = 76 + 28 = 104 \text{ cm Hg}$$

Considerando que o volume permaneça constante, a pressão varia linearmente com a temperatura.

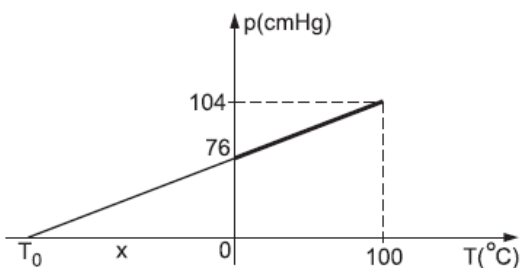
Podemos observar o seguinte gráfico:



Podemos calcular a distância x da seguinte maneira: Semelhança de triângulos.

$$\frac{x}{76} = \frac{x + 100}{104} \rightarrow x = -271,43 \text{ } ^\circ\text{C}$$

De acordo com a teoria cinética dos gases, essa temperatura deveria corresponder à menor temperatura possível para um sistema. Essa é a temperatura em que todas as moléculas cessam seu movimento de translação. O zero absoluto teórico corresponde a $-273,15 \text{ } ^\circ\text{C}$. Assim, o experimento realizou com erro relativamente baixo o cálculo desta temperatura.





Gabarito: De acordo com a teoria cinética dos gases, essa temperatura deveria corresponder à menor temperatura possível para um sistema.

Questão 34.

(ITA – 2017) Suponha que a atmosfera de Vênus seja composta dos gases CO_2 , N_2 , Ar, Ne e He, em equilíbrio térmico a uma temperatura $T = 735$ K.

- a) Determine a razão entre a velocidade quadrática média das moléculas de cada gás e a velocidade de escape nesse planeta.
- b) Que conclusão pode ser obtida sobre a provável concentração desses gases nessa atmosfera?

Obs.: Considere Vênus com o raio igual ao da Terra e a massa igual a 0,810 vezes a desta.

Comentários:

a) Primeiramente iremos calcular a velocidade de escape para o Planeta Vênus:

$$V_E = \sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot M_V}{R_V}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 6,7 \cdot 10^{11} \cdot 0,81 \cdot 6 \cdot 10^{24}}{6,4 \cdot 10^6}} \cong 10,1 \cdot 10^3 \text{ m/s}$$

Para um gás ideal, a velocidade quadrática média, ou também chamada de RMS é dada por: ^

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{3 \cdot R \cdot T}{M}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 8,3 \cdot 735}{M}} \cong \frac{135,2 \text{ m}}{\sqrt{M} \text{ s}}, \text{ em que } M \text{ é massa molar do gás}$$

Faremos a seguinte tabela:

GÁS	MASSA MOLAR (KG/MOL)	V_{RMS}/V_E
CO_2	0,044	0,062
N_2	0,028	0,080
Ar	0,040	0,067
Ne	0,020	0,095
He	0,004	0,210

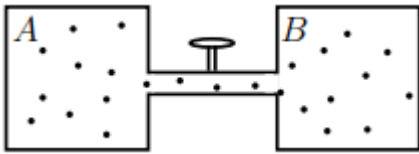
b) Da tabela exposta no item (a), podemos perceber que o gás Hélio possui a maior razão entre a velocidade RMS e a velocidade de escape. Assim, dentre os gases, ele tem a maior tendência de escapar da atmosfera ao longo do tempo. Dessa maneira, espera-se que o Hélio esteja em baixa proporção na atmosfera considerada.



Gabarito: a) Vide tabela e $v_E = 10,1 \cdot 10^3 \text{ m/s}$ b) O hélio está em baixa concentração na atmosfera de Vênus.

Questão 35.

(ITA – 2018) Dois recipientes A e B de respectivos volumes V_A e $V_B = \beta \cdot V_A$, constantes, contêm um gás ideal e são conectados por um tubo fino com válvula que regula a passagem do gás, conforme a figura. Inicialmente o gás em A está na temperatura T_A sob pressão P_A e em B , na temperatura T_B sob pressão P_B . A válvula é então aberta até que as pressões finais P_{Af} e P_{Bf} alcancem a proporção $P_{Af}/P_{Bf} = \alpha$, mantendo as temperaturas nos seus valores iniciais. Assinale a opção com a expressão de P_{Af} .



- $[(\frac{P_B T_A}{P_A T_B} + \beta)/(\beta + \frac{1 T_A}{\alpha T_B})] P_A$
- $[(\beta \frac{P_B T_A}{P_A T_B} + 1)/(1 - \frac{\beta T_A}{\alpha T_B})] P_A$
- $[(\beta \frac{P_B T_A}{P_A T_B} + 1)/(1 + \frac{\beta T_A}{\alpha T_B})] P_A$
- $[(\beta \frac{P_B T_A}{P_A T_B} + 1)/(\alpha + \beta \frac{T_A}{T_B})] P_A$
- $[(\beta \frac{P_B T_A}{P_A T_B} \pm 1)/(\alpha + \beta \frac{T_A}{T_B})] P_A$

Comentários:

Considerando as situações final e inicial temos:

GÁS	PRESSÃO INICIAL	VOLUME INICIAL	Nº MOL S INICIAL	TEMPERATURA INICIAL	PRESSÃO FINAL	VOLUME FINAL	Nº MOL S FINAL	TEMPERATURA FINAL
A	P_A	V_A	n_A	T_A	$P_{A,F}$	V_A	$n_{A,F}$	T_A
B	P_B	V_B	n_B	T_B	$P_{B,F}$	V_B	$n_{B,F}$	T_B

Das informações da tabela, podemos extrair quatro equações:

$$\text{GÁS A NO INICIO: } P_A \cdot V_A = n_A \cdot R \cdot T_A \quad (\text{eq1})$$

$$\text{GÁS A NO FINAL: } P_{A,F} \cdot V_A = n_{A,F} \cdot R \cdot T_A \quad (\text{eq2})$$



$$GÁS B NO INICIO: P_B \cdot V_B = n_B \cdot R \cdot T_B \quad (eq3)$$

$$GÁS B NO FINAL: P_{B,F} \cdot V_B = n_{B,F} \cdot R \cdot T_B \quad (eq4)$$

Não há variação no número de mols da situação inicial para a final e, portanto:

$$n_A + n_B = n_{A,F} + n_{B,F} \quad (eq5)$$

Do enunciado temos:

$$P_{A,F} = \alpha \cdot P_{B,F} \quad (eq6)$$

$$V_B = \beta \cdot V_A \quad (eq7)$$

Substituindo equações (7), (6), (1), (2), (3) e (4) na equação (5) temos:

$$\frac{P_A \cdot V_A}{R \cdot T_A} + \frac{P_B \cdot \beta \cdot V_A}{R \cdot T_B} = \frac{P_{A,F} \cdot V_A}{R \cdot T_A} + \frac{\frac{P_{A,F}}{\alpha} \cdot \beta \cdot V_A}{R \cdot T_B}$$

Isolando $P_{A,F}$:

$$P_{A,F} = P_A \cdot \left(\frac{1 + \frac{P_B \cdot \beta \cdot T_A}{P_A \cdot T_B}}{1 + \frac{\beta \cdot T_A}{\alpha \cdot T_B}} \right)$$

Gabarito: C

Questão 36.

(ITA – 2019) Em um reservatório são armazenados 1 mol de gás hélio e 1 mol de gás oxigênio em equilíbrio térmico. Por meio de um orifício de dimensões muito menores que o comprimento livre médio das espécies gasosas, inicia-se um vazamento de gás para o exterior. Sobre essa situação são feitas as seguintes afirmações:

- I. No interior do reservatório, os átomos de hélio têm, em média, energia cinética menor em comparação à das moléculas de oxigênio.
- II. No interior do reservatório, os átomos de hélio têm, em média, velocidade de translação maior em comparação à das moléculas de oxigênio.
- III. A porção do gás que vaza e a que permanece no interior do reservatório tem a mesma fração molar de hélio.

Assinale a opção correta.

- a) Apenas a afirmação I é falsa.
- b) Apenas a afirmação II é falsa.
- c) Apenas a afirmação III é falsa.
- d) Há mais de uma afirmação falsa.
- e) Todas as afirmações são verdadeiras.

Comentários:



I) CORRETA. Sabendo que a energia cinética média de uma molécula é dada por $f \cdot \frac{1}{2}KT$, em que f é o número de graus de liberdade da molécula, o gás hélio, que é monoatômico, possui energia cinética média igual a $\frac{3}{2}KT$ (3 graus referentes à translação). Por outro lado, o oxigênio, que é diatômico, possui energia cinética média igual a $\frac{5}{2}KT$ (3 graus referentes à translação e 2 de rotação). Então, o hélio tem energia cinética média menor que a molécula de oxigênio, quando eles estão a uma mesma temperatura.

Observação: vale a pena lembrar que para temperaturas superiores a 1000 K, devem ser considerados 7 graus de liberdade para as moléculas diatômicas, já que em temperaturas muito altas devem ser considerados mais 2 graus devido à vibração dos átomos constituintes da molécula.

Se a questão tivesse considerado apenas energia cinética média de translação, o átomo de hélio teria a mesma energia que a molécula de oxigênio.

II) CORRETA. A expressão da velocidade quadrática média é $V_{RMS} = \sqrt{\frac{3.R.T}{M}}$. Na mesma condição de temperatura, $M_{He} < M_{O_2}$ e, portanto, $V_{He} > V_{O_2}$.

III) FALSA. Como $V_{He} > V_{O_2}$, o hélio possui maior taxa de vazamento que o gás oxigênio. Assim, as frações molares no interior tornam-se distintas.

Gabarito: C

Questão 37.

(ITA – 2019) Uma empresa planeja instalar um sistema de refrigeração para manter uma sala de dimensões $4,0\text{ m} \times 5,0\text{ m} \times 3,0\text{ m}$ a uma temperatura controlada em torno de $10\text{ }^\circ\text{C}$. A temperatura média do ambiente não controlado é de $20\text{ }^\circ\text{C}$ e a sala é revestida com um material de 20 cm de espessura e coeficiente de condutibilidade térmica de $0,60\text{ W/m }^\circ\text{C}$. Sabendo que a eficiência do sistema de refrigeração escolhido é igual a $2,0$ e que o custo de 1 kWh é de R\$ $0,50$, estime o custo diário de refrigeração da sala.

Comentários:

Consideraremos uma sala de dimensões $a = 3\text{ m}$, $b = 4\text{ m}$ e $c = 5\text{ m}$.

A área total da sala é o dobro soma das áreas de três retângulos distintos (a,b), (a,c) e (b,c).

$$A = 2(a \cdot b + b \cdot c + a \cdot c) = 2 \cdot (12 + 20 + 15) = 94\text{ m}^2.$$

A sala absorve do meio uma certa quantidade de energia. Podemos estabelecer o fluxo dessa energia como:

$$\varphi = \frac{k \cdot A \cdot \Delta T}{l} = \frac{0,6 \cdot 94 \cdot (20 - 10)}{0,2} = 2820\text{ W}$$

A máquina de refrigeração realiza um trabalho para que a temperatura da sala seja mantida constante:

$$e = \frac{|Q_R|}{|W|} = 2 \rightarrow |W| = \frac{|Q_R|}{2}$$

Em que $|Q_R|$ é o calor retirado da sala pela máquina de refrigeração.



Para que ocorra equilíbrio, o fluxo de perda de calor deve o mesmo que o fluxo de entrada de calor:

$$\frac{|W|}{\Delta t} = \frac{|Q_R|}{2 \cdot \Delta t} = \frac{\varphi}{2} = \frac{2820}{2}$$

O custo para um dia de funcionamento será:

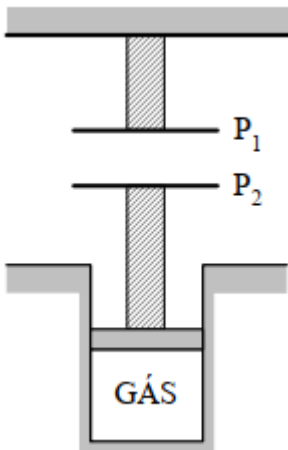
$$Custo = \frac{|W|}{\Delta t} \cdot (24Hrs) \cdot (Valor Kwh)$$

$$Custo = R\$ 16,92$$

Gabarito: R\$ 16, 92

Questão 38.

(IME – 2005) Um gás ideal encontra-se, inicialmente, sob pressão de 1,0 atmosfera e ocupa um volume de 1,0 litro em um cilindro de raio $R = 5/\pi$ m, cujo êmbolo mantém a placa P2 de um capacitor afastada 10 cm da placa paralela P1. Nessa situação, existe uma energia de 171,5 μ J armazenada no capacitor, havendo entre suas placas a tensão de 5,0 V. Determine o valor da capacitância quando o êmbolo for levantado, reduzindo a pressão isotermicamente para 0,8 atm.



Comentários:

Como não há variação do número de mols, podemos escrever:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \Rightarrow 1,1 = 0,8 \cdot V_2 \Rightarrow V_2 = 1,25 L$$

Há variação na altura do embolo. Podemos calcular a variação da posição do embolo da seguinte maneira:

$$\pi \cdot R^2 \cdot \Delta h = \Delta V$$

$$\pi \cdot \left(\frac{25}{\pi}\right)^2 \cdot \Delta h = 0,25 \Rightarrow \Delta h = 0,00314 \text{ cm}$$

Calculando a capacitância inicial do capacitor:

$$E = \frac{C \cdot U^2}{2} \Rightarrow C = \frac{2 \cdot E}{U^2} = 13,72 \cdot 10^{-6} F$$



Para uma distância inicial de 10 cm.

A variação de altura diminui a distância das placas: A nova distância entre as placas é

$$d = 10 - 0,00314 \cong 9,997 \text{ cm}$$

Como a área e o meio não mudam, podemos escrever:

$$\frac{C'}{C} = \frac{d}{d'}, \text{ pois } C = \frac{\epsilon \cdot A}{d}$$

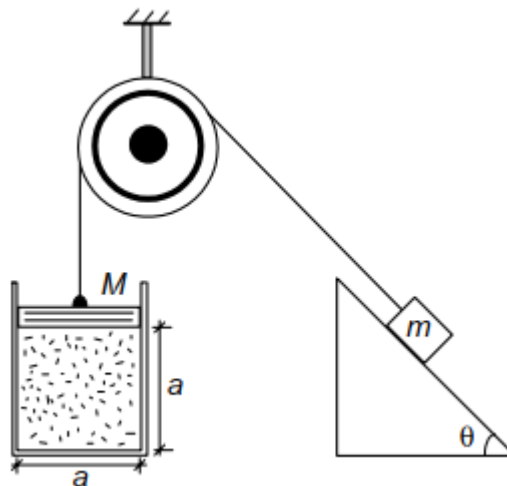
$$\frac{C'}{13,72 \cdot 10^{-6}} = \frac{10 \text{ cm}}{9,997 \text{ cm}}$$

$$C' \cong 13,73 \mu F$$

Gabarito: 13,73 μF

Questão 39.

(IME – 2008)

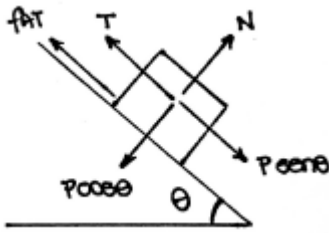


Em um recipiente, hermeticamente fechado por uma tampa de massa M , com volume interno na forma de um cubo de lado a , encontram-se n mols de um gás ideal a uma temperatura absoluta T . A tampa está presa a uma massa m por um fio que passa por uma roldana, ambos ideais. A massa m encontra-se na iminência de subir um plano inclinado de ângulo θ com a horizontal e coeficiente de atrito estático μ . Considerando que as variáveis estejam no Sistema Internacional e que não exista atrito entre a tampa M e as paredes do recipiente, determine m em função das demais variáveis. Dados: aceleração da gravidade = g ;

constante universal dos gases perfeitos = R .

Comentários:

Primeiramente devemos decompor as forças no bloco, na direção do plano inclinado e na direção normal ao plano inclinado.



Como o bloco está em equilíbrio a resultante de forças nas duas direções é nula:

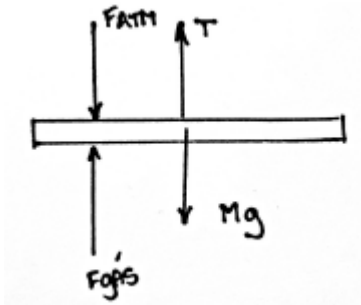
$$\text{Direção do plano: } \sum \vec{F}_{Tangencial} = \vec{0} : \quad T = fat_{m\acute{a}x} + m \cdot g \cdot \text{sen}\theta \quad (\text{eq. 1})$$

$$\text{Normal ao plano: } \sum \vec{F}_{Normal} = \vec{0} : \quad N = m \cdot g \cdot \text{cos}\theta \quad (\text{eq. 2})$$

A força de atrito máxima é dada por:

$$fat_{m\acute{a}x} = \mu \cdot N$$

Para a tampa de massa M temos o seguinte diagrama de forças:



Como a tampa está em equilíbrio, a resultante de forças sobre ela também deve ser nula.

$$T + F_{ATM} = M \cdot g + F_{G\acute{A}S} = M \cdot g + p_{G\acute{A}S} \cdot a^2 \quad (\text{eq. 3})$$

Para o gás temos

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

$$p_{G\acute{A}S} \cdot a^3 = n \cdot R \cdot T \Rightarrow p_{G\acute{A}S} = \frac{n \cdot R \cdot T}{a^3} \quad (\text{eq. 4})$$

Sendo p_0 a pressão atmosférica e substituindo equação (4) em (3) temos:

$$T + \frac{n \cdot R \cdot T}{a} = M \cdot g + P_0 \cdot a^2 \quad (\text{eq. 5})$$

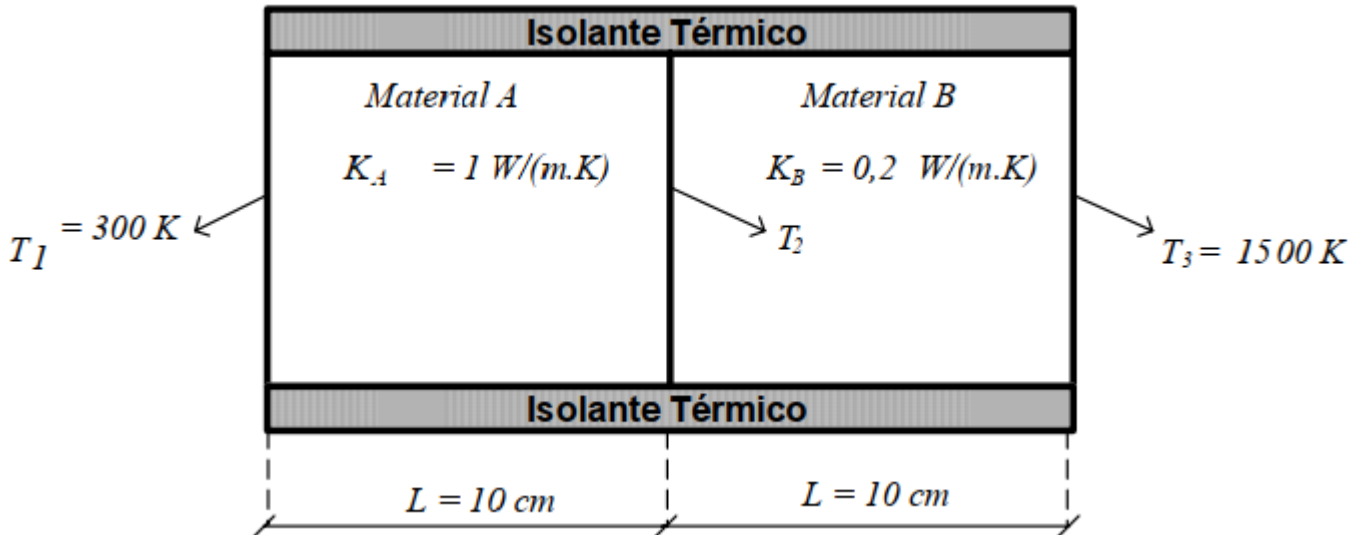
Substituindo equação (5) e equação (2) em equação (1)

$$m = \frac{M \cdot g \cdot a - n \cdot R \cdot T + p_0 \cdot a^3}{g \cdot a(\mu \cdot \text{cos}\theta + \text{sen}\theta)}$$

Gabarito: $m = \frac{M \cdot g \cdot a - n \cdot R \cdot T + p_0 \cdot a^3}{g \cdot a(\mu \cdot \text{cos}\theta + \text{sen}\theta)}$

Questão 40.

(IME – 2010)



A figura composta por dois materiais sólidos diferentes A e B , apresenta um processo de condução de calor, cujas temperaturas não variam com o tempo. É correto afirmar que a temperatura T_2 da interface desses materiais, em kelvins, é: Observações:

T_1 : Temperatura da interface do material A com o meio externo

T_3 : Temperatura da interface do material B com o meio externo

K_A : Coeficiente de condutividade térmica do material A

K_B : Coeficiente de condutividade térmica do material B

- A) 400
- B) 500
- C) 600
- D) 700
- E) 800

Comentários:

Os dois sólidos estão dispostos em série (possuem mesmo fluxo de calor entre eles).

O fluxo que atravessa o material A é o mesmo que atravessa o material B .

$$\varphi_A = \varphi_B \Rightarrow \frac{k_A \cdot A \cdot (T_2 - 300)}{l_A} = \frac{k_B \cdot A \cdot (1500 - T_2)}{l_B}$$

$$\frac{1 \cdot A \cdot (T_2 - 300)}{0,1} = \frac{0,2 \cdot A \cdot (1500 - T_2)}{0,1}$$

$$1,2T_2 = 600$$

$$\therefore \boxed{T_2 = 500K}$$

Gabarito: B

Questão 41.

(IME – 2011)

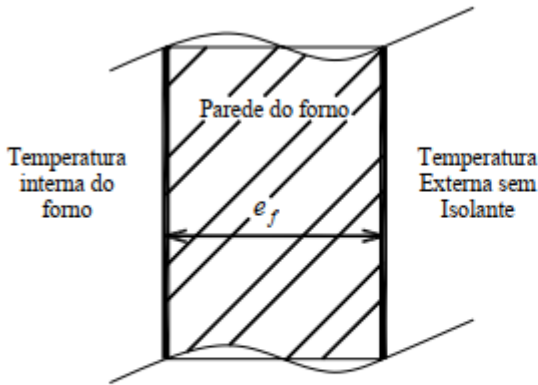


Figura 1

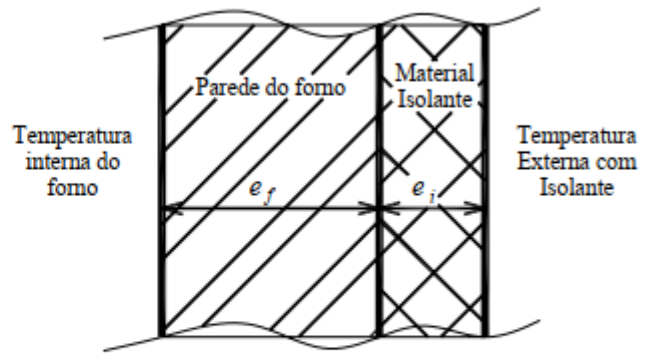


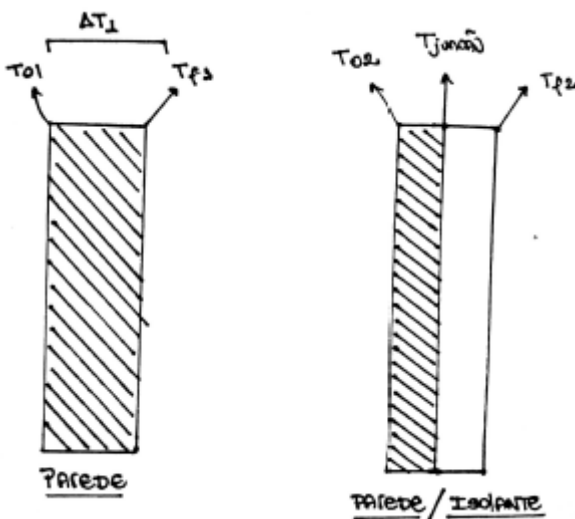
Figura 2

Uma fábrica foi multada pela prefeitura local, pois a temperatura externa da parede de um forno industrial encontrava-se em um nível superior ao previsto pelas normas de segurança (Figura 1). Para atender às normas recomenda-se o seguinte procedimento (Figura 2):

A parede externa do forno deve ser recoberta com um material de condutividade térmica igual a 4% da parede do forno. Isso faz com que a transferência de calor fique igual a 20% da original e que a redução de temperatura entre a superfície interna da parede do forno e a superfície externa do isolante fique 20% maior que a situação inicial.

Determine a razão entre a espessura do isolante (e_i) e a espessura da parede do forno (e_f).

Comentários:



Na primeira situação, utilizando a equação de Fourier temos:

$$\Delta T_1 = \frac{\varphi_1 \cdot l_{parede}}{k_{parede} \cdot A} \quad (eq. 1)$$

Na segunda situação, recobrendo a parede com o material isolante, temos que os fluxos são iguais. A consideração do fluxo ser igual é causa de o sistema estar em regime permanente.

$$(\varphi_A = \varphi_B = \varphi_2)$$



$$\varphi_A = \frac{k_{parede} \cdot A \cdot (T_{02} - T_{junção})}{l_{parede}} \Rightarrow T_{02} - T_{junção} = \frac{\varphi_2 \cdot l_{parede}}{k_{parede} \cdot A} \quad (eq. 2)$$

$$\varphi_B = \frac{k_{isolante} \cdot A \cdot (T_{junção} - T_{f2})}{l_{isolante}} \Rightarrow -T_{junção} + T_{f2} = -\frac{\varphi_2 \cdot l_{isolante}}{k_{isolante} \cdot A} \quad (eq. 3)$$

Subtraindo as equações (2) e (3):

$$T_{02} - T_{f2} = \frac{\varphi_2}{A} \left(\frac{l_{parede}}{k_{parede}} + \frac{l_{isolante}}{k_{isolante}} \right)$$

Do enunciado temos que $\Delta T_2 = 1,2\Delta T_1$ e $\varphi_2 = 0,2\varphi_1$. Substituindo os dados e a equação (1):

$$1,2 \cdot \frac{\varphi_1 \cdot l_{parede}}{k_{parede} \cdot A} = 0,2 \cdot \frac{\varphi_1}{A} \left(\frac{l_{parede}}{k_{parede}} + \frac{l_{isolante}}{k_{isolante}} \right)$$

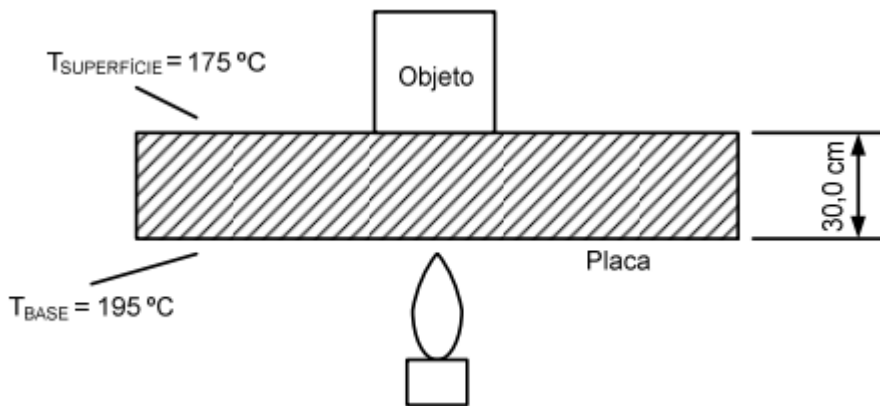
Substituindo $k_{isolante} = 0,04 \cdot k_{parede}$ na equação acima temos:

$$\frac{l_{isolante}}{l_{parede}} = 0,2$$

Gabarito: 0,2

Questão 42.

(IME – 2014)



Um objeto de 160 g de massa repousa, durante um minuto, sobre a superfície de uma placa de 30 cm de espessura e, ao final deste experimento, percebe-se que o volume do objeto é 1% superior ao inicial. A base da placa é mantida em 195 °C e nota-se que a sua superfície permanece em 175 °C. A fração de energia, em percentagem, efetivamente utilizada para deformar a peça é

Dados:

Condutividade térmica da placa: 50 W/m °C

Calor específico do objeto: 432 J/(kg °C)

Coeficiente de dilatação linear: $1,6 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

Área da placa: 0,6 m²

(A) 4

(B) 12



- (C) 18
- (D) 36
- (E) 60

Comentários:

Ao receber calor através da placa o objeto se dilata.

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta T \Rightarrow \frac{1}{100} = 3,1,6 \cdot 10^{-5} \cdot \Delta T_0 \Rightarrow \Delta T_0 = \frac{1000}{4,8} \text{ } ^\circ\text{C}$$

Nem todo calor fornecido pela placa é absorvido pelo objeto. O calor absorvido pelo objeto é o calor que o faz variar sua temperatura.

$$Q_0 = m \cdot c \cdot \Delta T_0 \Rightarrow Q_0 = \frac{0,16 \cdot 432 \cdot 1000}{4,8}$$

$$Q_0 = 14,4 \text{ kJ}$$

O calor que a barra transfere por conduto é dado pela equação de Fourier:

$$\frac{Q_c}{\Delta t} = \frac{k \cdot A \cdot \Delta T}{e} \Rightarrow \frac{Q_c}{60} = \frac{50 \cdot 0,6 \cdot 20}{0,3} \Rightarrow Q_c = 120 \text{ kJ}$$

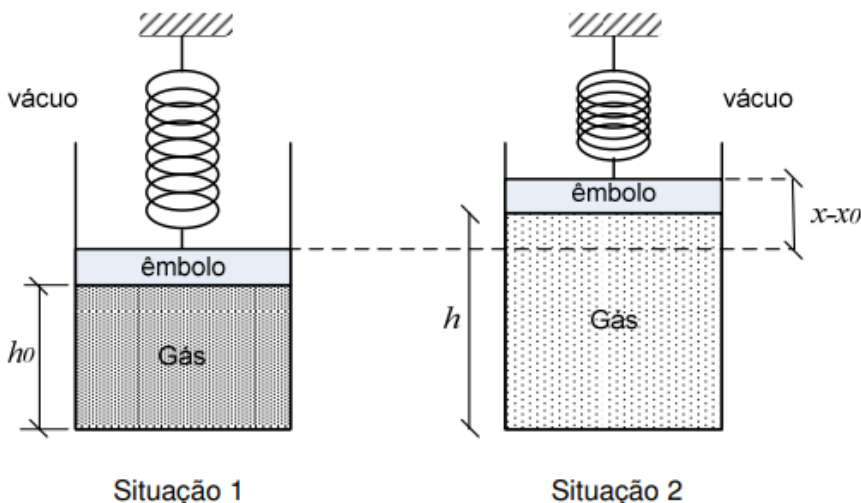
Fazendo a razão Q_0/Q_c , temos:

$$\frac{Q_0}{Q_c} = 12\%$$

Gabarito: B

Questão 43.

(IME – 2014)



A figura acima mostra um sistema posicionado no vácuo formado por um recipiente contendo um gás ideal de massa molecular M e calor específico c em duas situações distintas. Esse recipiente é fechado por um êmbolo preso a uma mola de constante elástica k , ambos de massa desprezível. Inicialmente (Situação 1), o sistema encontra-se em uma temperatura T_0 , o êmbolo está a uma altura h_0 em relação à base do recipiente e a mola comprimida de x_0 em relação ao seu



comprimento relaxado. Se uma quantidade de calor Q for fornecida ao gás (Situação 2), fazendo com que o êmbolo se desloque para uma altura h e a mola passe a estar comprimida de x , a grandeza que varia linearmente com Q é

- a) $x + h$
- b) $x - h$
- c) $(x + h)^2$
- d) $(x - h)^2$
- e) xh

Comentários:

Da equação dos gases ideais temos:

$$\frac{P_0 \cdot V_0}{T_0} = \frac{P_F \cdot V_F}{T_F} \quad (eq1)$$

Do Equilíbrio das forças, temos que a força elástica é igual a força produzida pelo gás:

$$P_0 \cdot V_0 = k \cdot x_0 \cdot h_0 \quad (eq2)$$

$$P_F \cdot V_F = k \cdot x \cdot h \quad (eq3)$$

Substituindo equações (2) e (3) em (1):

$$\frac{k \cdot x_0 \cdot h_0}{T_0} = \frac{k \cdot x \cdot h}{T_F} = \frac{k(x \cdot h - x_0 \cdot h_0)}{\Delta T}$$

Assim,

$$\Delta T = T_0 \cdot \frac{(x \cdot h - x_0 \cdot h_0)}{x_0 \cdot h_0}$$

Da calorimetria temos:

$$Q = m \cdot C \cdot \Delta T$$

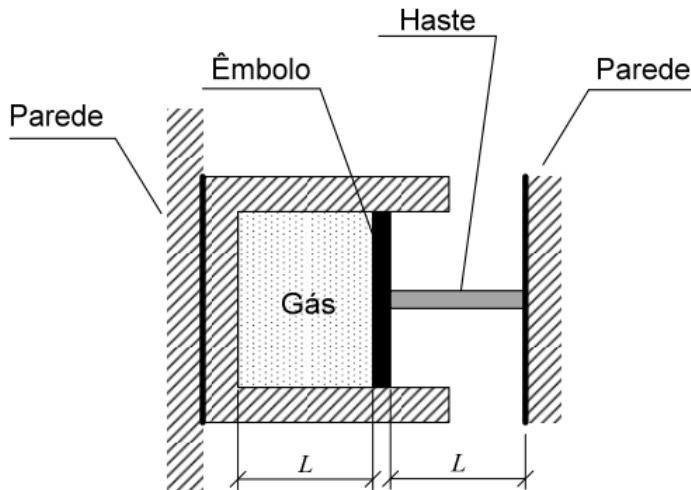
Substituindo ΔT , vem:

$$Q = \frac{m \cdot C \cdot T_0}{x_0 \cdot h_0} \cdot x \cdot h - m \cdot C \cdot T_0$$

Gabarito: E

Questão 44.

(IME 2016)



Um êmbolo está conectado a uma haste, a qual está fixada a uma parede. A haste é aquecida, recebendo uma energia de 400 J . A haste se dilata, movimentando o êmbolo que comprime um gás ideal, confinado no reservatório, representado na figura. O gás é comprimido isotermicamente.

Diante do exposto, o valor da expressão $\frac{P_f - P_i}{P_f}$ é

Dados:

pressão final do gás: P_f ;

pressão inicial do gás: P_i ;

capacidade térmica da haste: 4 J/K ;

coeficiente de dilatação térmica linear da haste: $0,000001 \text{ K}^{-1}$.

- a) 0,01
- b) 0,001
- c) 0,0001
- d) 0,00001
- e) 0,000001

Comentários:

Primeiramente, calculemos a variação de temperatura ocasionada pelo aquecimento da barra:

$$Q = C \cdot \Delta T \Rightarrow 400 = 4 \cdot \Delta T \Rightarrow \Delta T = 100 \text{ K}$$

Devido a variação de temperatura a barra sofre dilatação térmica linear:

$$\Delta l = \Delta l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

Substituindo os valores, temos:

$$\Delta l = 10^{-4} L$$

Da hipótese do enunciado a temperatura é mantida constante na compressão do gás:

$$P_F \cdot V_F = P_i \cdot V_i$$



Deste modo, vem:

$$\frac{P_F - P_i}{P_F} = \frac{A.L - (A.L - 10^{-4}.A.L)}{A.L} \Rightarrow \boxed{\frac{P_F - P_i}{P_F} = 10^{-4}}$$

Gabarito: C

Questão 45.

(IME – 2017) Deseja-se minimizar a taxa de transferência de calor em uma parede feita de um determinado material, de espessura conhecida, submetendo-a a um diferencial de temperatura. Isso é feito adicionando-se uma camada isolante refratária de 15% da espessura da parede, de forma que cuidadosas medidas experimentais indicam que a taxa de transferência de calor passa a ser 40% em relação à situação original. Supondo que o diferencial de temperatura entre as extremidades livres da parede original e da parede composta seja o mesmo, pode-se afirmar que a condutividade térmica do material refratário é numericamente igual a

- (A) 10 % da condutividade térmica do material da parede.
- (B) 15 % da condutividade térmica do material da parede.
- (C) 4,5 % da condutividade térmica do material da parede.
- (D) 22,22 % da condutividade térmica do material da parede.
- (E) 33,33 % da condutividade térmica do material da parede.

Comentários:

Podemos modelar o problema utilizando a equação de Fourier:

$$\varphi = \frac{k.A.\Delta T}{e}$$

Podemos reescrever a equação e introduzir o conceito de resistência térmica:

$$\Delta T = \varphi \cdot \frac{e}{k.A} \quad (eq. 1)$$

$$resistência\ térmica = \frac{e}{k.A}$$

No início, sem o isolante temos:

$$\Delta T = \varphi \cdot \frac{e}{k.A}$$

Ao introduzirmos a camada de isolante, ela e a parede formam em série uma camada isolante resultante. A resistência térmica resultante é dada por:

$$resistência\ térmica\ resultante = \frac{e}{k.A} + \frac{0,15e}{k'.A}$$

Como o fluxo na situação final é 40% do inicial, temos:

$$\Delta T = 0,4\varphi \cdot \left(\frac{e}{k.A} + \frac{0,15e}{k'.A} \right) \quad (eq. 2)$$

Igualando as equações (1) e (2):

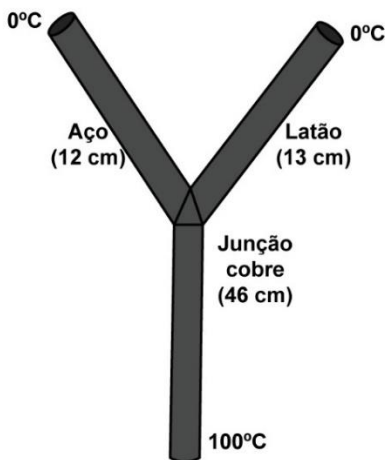


$$\frac{1}{k} = \frac{0,4}{k} + \frac{0,06}{k'} \Rightarrow \boxed{k' = 0,1k}$$

Gabarito: A

Questão 46.

(MACK – SP) Têm-se três cilindros de secções transversais iguais de cobre, latão e aço, cujos comprimentos são, respectivamente, 46cm , 13cm e 12cm . Soldam-se os cilindros, formando o perfil em Y, indicado na figura. O extremo livre do cilindro de cobre é mantido a 100°C , e os de latão e aço a 0°C . Supor que a superfície lateral dos cilindros esteja isolada termicamente. As condutividades térmicas do cobre, do latão e do aço valem, respectivamente, $0,92$, $0,26$ e $0,12$, expressas em $\text{cal} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$. No regime estacionário de condução, a temperatura na junção é igual a:



- a) 100°C
- b) 80°C
- c) 67°C
- d) 50°C
- e) 40°C

Comentários:

Para a seguinte disposição das barras temos:

$$\varphi_{\text{COBRE}} = \varphi_{\text{LATÃO}} + \varphi_{\text{AÇO}}$$

Em que T é a temperatura da Junção:

$$\frac{0,92 \cdot A \cdot (100 - T)}{46} = \frac{0,26 \cdot A \cdot (T - 0)}{13} + \frac{0,12 \cdot A \cdot (T - 0)}{12}$$

$$-0,02 \cdot (T - 100) = 0,02T + 0,01T$$

$$\boxed{T = 40^\circ\text{C}}$$

Gabarito: E

Questão 47.

Encontre a mínima temperatura de um gás ideal que sofre um processo descrito por:



$$p = \frac{p_0}{V^2} + \alpha$$

Em que p_0 e α são constantes. P é a pressão do gás.

a) Não há temperatura mínima

b) $\sqrt{\frac{p_0}{\alpha}}$

c) $2\sqrt{\frac{p_0}{\alpha}}$

d) $2\sqrt{\alpha \cdot p_0}$

e) $\sqrt{\alpha \cdot p_0}$

Comentários:

Utilizando a equação dos gases ideais, temos:

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

$$\left(\frac{p_0}{V^2} + \alpha\right) \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$T(V) = \frac{1}{nR} \left(\alpha V + \frac{p_0}{V}\right)$$

Para encontrar o valor máximo, podemos fazer uma desigualdade das médias

$$\frac{\alpha V + \frac{p_0}{V}}{2} \geq \sqrt{\alpha V \cdot \frac{p_0}{V}} = \sqrt{\alpha \cdot p_0}$$

$$\frac{T(V) \cdot nR}{2} \geq \sqrt{\alpha \cdot p_0}$$

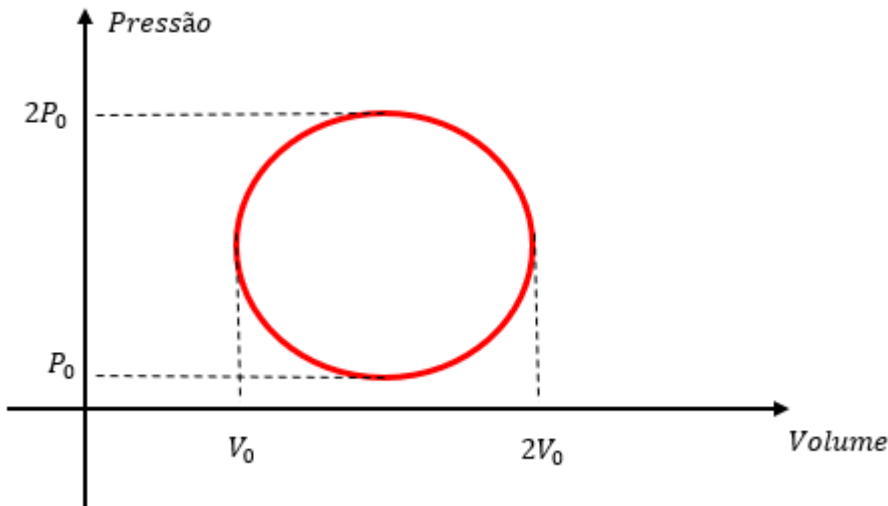
$$T(V) \geq 2\sqrt{\alpha \cdot p_0}$$

$$\boxed{T_{min} = 2\sqrt{\alpha \cdot p_0}}$$

Gabarito: D

Questão 48.

Considere uma máquina térmica operando sob um ciclo circular no sentido horário mostrado abaixo. Qual é a razão entre a máxima e a mínima temperatura desse ciclo?



- a) $\frac{3-\sqrt{2}}{4}$
- b) $\frac{3+\sqrt{2}}{4}$
- c) $\frac{193+132\sqrt{2}}{49}$
- d) $\frac{193-132\sqrt{2}}{49}$
- e) $\frac{11+6\sqrt{2}}{7}$

Comentários:

Como temos uma circunferência, podemos encontrar sua equação. Mas, antes podemos afirmar que:

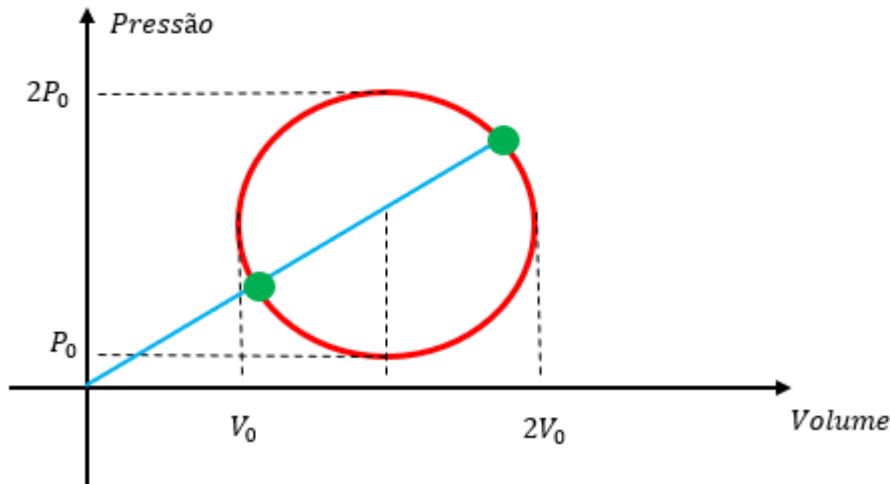
$$2V_0 = 2P_0$$

$$V_0 = P_0$$

Dessa maneira, temos:

$$\left(V - \frac{3P_0}{2}\right)^2 + \left(P - \frac{3P_0}{2}\right)^2 = P_0^2$$

Para encontrar a temperatura máxima e mínima devemos encontrar os pontos que a reta $P = V$ encontra a circunferência.



$$\left\{ \begin{aligned} \left(V - \frac{3P_0}{2} \right)^2 + \left(P - \frac{3P_0}{2} \right)^2 &= P_0^2 \\ P &= V \end{aligned} \right.$$

$$\left(V - \frac{3P_0}{2} \right)^2 + \left(V - \frac{3P_0}{2} \right)^2 = P_0^2$$

$$2 \left(V - \frac{3P_0}{2} \right)^2 = P_0^2$$

$$V - \frac{3P_0}{2} = \pm \frac{P_0\sqrt{2}}{2}$$

$$V_{\text{máx}} = \frac{3 + \sqrt{2}}{2} ; V_{\text{mín}} = \frac{3 - \sqrt{2}}{2}$$

$$P_{\text{máx}} = \frac{3 + \sqrt{2}}{2} ; P_{\text{mín}} = \frac{3 - \sqrt{2}}{2}$$

Portanto, temos:

$$P_{\text{máx}} V_{\text{máx}} = nRT_{\text{máx}}$$

$$T_{\text{máx}} = \frac{1}{nR} \left(\frac{3 + \sqrt{2}}{2} \right)^2$$

$$P_{\text{mín}} V_{\text{mín}} = nRT_{\text{mín}}$$

$$T_{\text{mín}} = \frac{1}{nR} \left(\frac{3 - \sqrt{2}}{2} \right)^2$$

Assim, temos:

$$\frac{T_{\text{máx}}}{T_{\text{mín}}} = \left(\frac{3 + \sqrt{2}}{3 - \sqrt{2}} \right)^2$$

$$\frac{T_{\text{máx}}}{T_{\text{mín}}} = \frac{193 + 132\sqrt{2}}{49}$$



Gabarito: C



Considerações finais

Querido aluno(a),

Se as dúvidas persistirem, não se esqueça de acessar o Fórum de Dúvidas! Responderei suas dúvidas o mais rápido possível!



Você também pode me encontrar nas redes sociais! 😊

Conte comigo,
Vinícius Fulconi



@viniciusfulconi



vinicius.fulconi