2. Quantidade de calor sensível

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

3. Quantidade de calor latente

$$Q = m \cdot L$$

4. Unidades

Grandeza	Unidade		
	SI	Usual	Conversão
Q	J	cal	1 cal ≈ 4,2 J
m	kg	g	1 kg = 10^3 g
$\Delta\theta$	K	°C	$\Delta\theta_{kelvin} = \Delta\theta_{Celsius}$
C	J/K	cal/ °C	1 cal/ °C ≈ 4,2 J/K
c	J/(kg · K)	cal/(g · °C)	1 cal/(g · °C) ≈ 4,2 · 10^3 J/(kg · K)
L	J/kg	cal/g	1 cal/g ≈ 4,2 · 10^3 J/kg
$\mathcal{P}$	W (J/s)	cal/s	1 J/s ≈ 4,2 cal/s

EM CLASSE **DESENVOLVENDO HABILIDADES**

1 (Famerp-SP) Colocou-se certa massa de água a 80 °C em um recipiente de alumínio de massa 420 g que estava à temperatura de 20 °C. Após certo tempo, a temperatura do conjunto atingiu o equilíbrio em 70 °C. Considerando que a troca de calor ocorreu apenas entre a água e o recipiente, que não houve perda de calor para o ambiente e que os calores específicos do alumínio e da água sejam, respectivamente, iguais a $9{,}0 \times 10^2 \dfrac{J}{(kg \cdot °C)}$ e $4{,}2 \times 10^3 \dfrac{J}{(kg \cdot °C)}$, a quantidade de água colocada no recipiente foi:

a) 220 g.
b) 450 g.
c) 330 g.
d) 520 g.
e) 280 g.

Em se tratando de um sistema termicamente isolado

$\Sigma Q = 0 \Rightarrow Q_{água} + Q_{A\ell} = 0$

$m \cdot 4{,}2 \cdot 10^3 \cdot (70 - 80) + 0{,}420 \cdot 9{,}0 \cdot 10^2 \cdot (70 - 20) = 0$

$\therefore\ m = 0{,}450$ kg = 450 g

2 Um *pizzaiolo*, ao preparar a receita para a massa de sua *pizza*, necessita de cinco litros de água morna a 34 °C para ativação do fermento. No restaurante onde trabalha, ele dispõe de água da torneira, a 20 °C, e de um caldeirão de água em ebulição, a 100 °C.

Suponha que, ao misturar as duas porções de água, esse sistema atinja rapidamente a temperatura de equilíbrio. Nessas condições, desprezando-se a capacidade térmica do recipiente onde ocorreu essa mistura, as quantidades correspondentes de água que ele deve misturar para atingir seu objetivo devem ser:

Note e adote: massa específica da água 1 g/cm^3

a) 2,5 L da água fria e 2,5 L da água fervente.

b) 0,875 L da água fria e 4,125 L da água fervente.

c) 4,125 L da água fria e 0,875 L da água fervente.

d) 1,725 L da água fria e 3,275 L da água fervente.

e) 3,275 L da água fria e 1,725 L da água fervente.

Como 1 litro de água corresponde a 1 kg de água:

$m_1 + m_2 = 5 \quad \text{(I)}$

Considerando a água 1 (mais fria) e a água 2 (fervente) um sistema termicamente isolado:

$Q_1 + Q_2 = 0$

$(m \cdot c \cdot \Delta\theta)_1 + (m \cdot c \cdot \Delta\theta)_2 = 0$

$m_1 \cdot c \cdot (34 - 20) + m_2 \cdot c \cdot (34 - 100) = 0$

$14 \cdot m_1 - 66 \cdot m_2 = 0$

$m_1 = \frac{33}{7} \cdot m_2 \quad \text{(II)}$

Substituindo II em I, resulta em:

$\frac{33}{7} m_2 + m_2 = 5 \Rightarrow 33 \cdot m_2 + 7m_2 = 35$

$40 \cdot m_2 = 35$

$m_2 = 0{,}875 \text{ kg} \Rightarrow V_2 = 0{,}875 \text{ L}$ (água fervente)

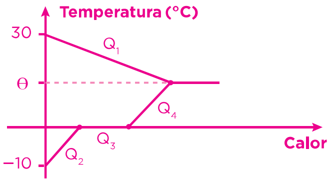
Portanto: $V_1 = 4{,}125$ L (água fria)

3 (Fuvest-SP) Em uma garrafa térmica, são colocados 200 g de água à temperatura de 30 °C e uma pedra de gelo de 50 g, à temperatura de –10 °C. Após o equilíbrio térmico,

> Note e adote:
> - calor latente de fusão do gelo = 80 $\frac{cal}{g}$;
> - calor específico do gelo = 0,5 $\frac{cal}{g \cdot °C}$;
> - calor específico da água = 1,0 $\frac{cal}{g \cdot °C}$.

a) todo o gelo derreteu e a temperatura de equilíbrio é 7 °C.
b) todo o gelo derreteu e a temperatura de equilíbrio é 0,4 °C.
c) todo o gelo derreteu e a temperatura de equilíbrio é 20 °C.
d) nem todo o gelo derreteu e a temperatura de equilíbrio é 0 °C.
e) o gelo não derreteu e a temperatura de equilíbrio é –2 °C

Calor necessário para que todo o gelo atinja 0 °C e derreta:
$Q_1 = m_g c_g \Delta\theta_g + m_g L$
$Q_1 = 50 \cdot 0,5 \cdot (0 - (-10)) + 50 \cdot 80$
$Q_1 = 4\,250$ cal
Calor necessário para que a água atinja 0 °C:
$Q_2 = m_a c_a \Delta\theta_a$
$Q_2 = 200 \cdot 1 \cdot (0 - 3)$
$Q_2 = -6\,000$ cal
Dessa forma, a água não esfriará até 0 °C, sendo a temperatura de equilíbrio $\theta > 0$ °C.



Como o sistema é termicamente isolado, tem-se:

$$\underbrace{Q_1}_{200 \cdot 1\,(\theta - 30)} + \underbrace{(Q_2 + Q_3)}_{4\,250} + \underbrace{Q_4}_{50 \cdot 1\,(\theta - 0)} = 0$$

$\therefore \ \theta = 7$ °C

4 (Ucpel-RS) Um calorímetro adiabático de capacidade térmica desprezível contém, sob pressão constante de 1 atm, 300,0 g de água a uma temperatura de 28,0 °C. Uma amostra de gelo, cuja massa é igual a M_1 e a temperatura é igual a 0,0 °C, é introduzida no calorímetro e verifica-se que o sistema atinge a temperatura de 10,0 °C no equilíbrio térmico.

Após, introduz-se uma nova amostra de gelo, de massa M_2 e temperatura igual a 0,0 °C, com o objetivo de fazer o sistema atingir o equilíbrio térmico em 0 °C, sem restar nenhuma massa de gelo ao final do processo.

Considere os seguintes dados:
Calor específico do gelo = 0,5 cal/g · °C
Calor específico da água = 1,0 cal/g · °C
Calor latente de fusão do gelo = 80 cal/g
De acordo com os dados acima, as massas M_1 e M_2 valem:

a) M_1 = 63,5 g e M_2 = 37,5 g
b) M_1 = 63,5 g e M_2 = 45,4 g
c) M_1 = 60,0 g e M_2 = 37,5 g
d) M_1 = 60,0 g e M_2 = 45,0 g
e) M_1 = 67,5 g e M_2 = 45,6 g

1º experimento:
$Q_{água} + Q_{gelo} = 0$
$(m \cdot c \cdot \Delta\theta)_{água} + (M_1 \cdot L + M_1 \cdot c \cdot \Delta\theta)_{gelo} = 0$
$300 \cdot 1 \cdot (10 - 28) + M_1 \cdot 80 + M_1 \cdot 1 \cdot (10 - 0) = 0$
$\therefore M_1 = 60$ g
2º experimento:
$Q_{água} + Q_{gelo} = 0$
$(m \cdot c \cdot \Delta\theta)_{água} + (M_1 \cdot L)_{gelo} = 0$
$360 \cdot 1 \cdot (0 - 10) + M_2 \cdot 80 = 0$
$\therefore M_2 = 45$ g

ORIENTAÇÃO DE ESTUDO

Tarefa Mínima

Aula 9
- Leia a seção *Nestas aulas*.
- Faça as questões 50 e 51 do capítulo 3 de *Termofísica* do *Caderno de Estudos*.

Aula 10
- Faça as questões 52 e 53 do capítulo 3 de *Termofísica* do *Caderno de Estudos*.

Tarefa Complementar

Aula 9
- Leia o item 4 do capítulo 3 de *Termofísica* do *Caderno de Estudos*.
- Faça as questões 54 a 56 do capítulo 3 de *Termofísica* do *Caderno de Estudos*.

Aula 10
- Faça as questões 57 e 58 do capítulo 3 de *Termofísica* do *Caderno de Estudos*.

Tarefa Desafio

Aula 10
- Faça as questões 59 e 60 do capítulo 3 de *Termofísica* do *Caderno de Estudos*.

EM CLASSE DESENVOLVENDO HABILIDADES

1 (Unicamp-SP) O CO_2 dissolvido em bebidas carbonatadas, como refrigerantes e cervejas, é o responsável pela formação da espuma nessas bebidas e pelo aumento da pressão interna das garrafas, tornando-a superior à pressão atmosférica. O volume de gás no "pescoço" de uma garrafa com uma bebida carbonatada a 7 °C é igual a 24 ml, e a pressão no interior da garrafa é de $2{,}8 \times 10^5$ Pa. Trate o gás do "pescoço" da garrafa como um gás perfeito. Considere que a constante universal dos gases é de aproximadamente $8\ \frac{J}{mol \cdot K}$ e que as temperaturas nas escalas Kelvin e Celsius se relacionam da forma T(K) = 0(°C) + 273. O número de moles de gás no "pescoço" da garrafa é igual a:

a) $1{,}2 \times 10^5$.

b) $3{,}0 \times 10^3$.

c) $1{,}2 \times 10^{-1}$.

▶d) $3{,}0 \times 10^{-3}$.

$T = 7\ °C + 273 = 280\ K$
$V = 24\ mL = 24 \cdot 10^{-6}\ m^3$
$p = 2{,}8 \cdot 10^5\ Pa$
$R = 8\ J \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$
Aplicando a equação de estado de gases ideais, vem:
$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$
$2{,}8 \cdot 10^5 \cdot 24 \cdot 10^{-6} = n \cdot 8 \cdot 280$
$n = 3{,}0 \cdot 10^{-3}\ mol$

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

Note e adote:
- 0 °C = 273 K
- Considere o ar da garrafa um gás ideal.

▶a) 0,7 cm

b) 1,4 cm

c) 2,1 cm

d) 3,0 cm

e) 6,0 cm

Como o enunciado informa que o gás está em equilíbrio com a pressão atmosférica, supõe-se que a transformação seja isobárica. Logo:

$\frac{V}{T} = \frac{V_0}{T_0} \Rightarrow \frac{V}{301} = \frac{600}{300}$

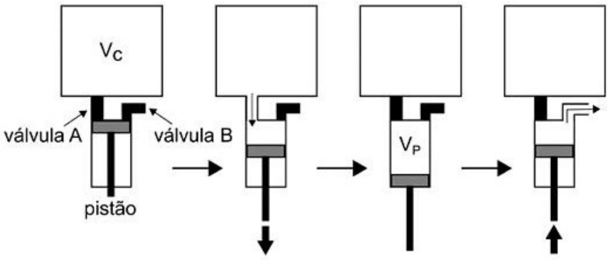
$\therefore V = 602\ cm^3$

A variação do volume é:

$\Delta V = Ah \Rightarrow 2 = 3h \Rightarrow h = \frac{2}{3}\ cm$

$\therefore h \approx 0{,}7\ cm$

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



Reprodução/UNICAMP, 2017

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

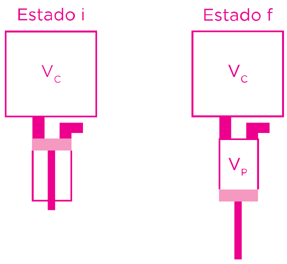
▶ a) 30,0 Pa

b) 330,0 Pa

c) 36,3 Pa

d) 3,3 Pa

Durante o ciclo descrito pelo enunciado, podem-se destacar dois estados termodinâmicos:



$\Rightarrow \ V_{final} = V_c + V_p$

Logo, como a transformação gasosa entre os estados i e f é isotérmica, tem-se: $p_i V_i = p_f V_f \Rightarrow 33 \cdot 2 = p_f \cdot 2{,}2 \therefore p_f = 30$ Pa

4 (Unicamp-SP) Alguns experimentos muito importantes em física, tais como os realizados em grandes aceleradores de partículas, necessitam de um ambiente com uma atmosfera extremamente rarefeita, comumente denominada de ultra-alto-vácuo. Em tais ambientes a pressão é menor ou igual a 10^{-6} Pa.

a) Supondo que as moléculas que compõem uma atmosfera de ultra-alto-vácuo estão distribuídas uniformemente no espaço e se comportam como um gás ideal, qual é o número de moléculas por unidade de volume em uma atmosfera cuja pressão seja $P = 3{,}2 \cdot 10^{-8}$ Pa, à temperatura ambiente T = 300 K?

Se necessário, use: número de Avogadro $N_A = 6 \cdot 10^{23}$ e a constante universal dos gases ideais R = 8 J/mol · K.

Do enunciado,
$N_A = 6 \cdot 10^{23}$; $P = 3{,}2 \cdot 10^{-8}$ Pa; T = 300 K; R = 8 J/mol · K.

Sendo **n** o número de mols, o número de partículas (N) é:

$N = nN_A \ \Rightarrow n = \dfrac{N}{N_A}$.

Aplicando a equação de Clapeyron:

$nRT = pV \Rightarrow \dfrac{N}{N_A} RT = pV \Rightarrow \dfrac{N}{V} = \dfrac{N_A\, p}{RT} = \dfrac{6 \cdot 10^{23} \cdot 3{,}2 \cdot 10^{-8}}{8 \cdot 300}$

$\therefore \dfrac{N}{V} = 8 \cdot 10^{12}$ moléculas/m^3

b) Sabe-se que a pressão atmosférica diminui com a altitude, de tal forma que, a centenas de quilômetros de altitude, ela se aproxima do vácuo absoluto. Por outro lado, pressões acima da encontrada na superfície terrestre podem ser atingidas facilmente em uma submersão aquática. Calcule a razão $\dfrac{P_{sub}}{P_{nave}}$ entre as pressões que devem suportar a carcaça de uma nave espacial (P_{nave}) a centenas de quilômetros de altitude e a de um submarino (P_{sub}) a 100 m de profundidade, supondo que o interior de ambos os veículos se encontra à pressão de 1 atm. Considere a densidade da água como ρ = 1000 kg/m^3.

> Dado:
>
> Lei de Stevin: pressão ρ de um ponto a uma profundidade **h**, no interior de um fluido homogêneo de densidade ρ em equilíbrio, em um local onde a aceleração da gravidade é **g** e a pressão atmosférica local é p_0: $p = p_0 + \rho \cdot g \cdot h$

Do enunciado,
$p_{int} = p_0 = 1$ atm; $\rho = 10^3$ kg/m^3; h = 100 m; g = 10 m/s^2.

A pressão suportada pela carcaça é o módulo da diferença entre as pressões externa e interna. Assim:

- $p_{sub} = p_{ext} - p_{int} = (p_0 + \rho g h) - p_0 \Rightarrow p_{sub} = \rho g h = 10^3 \cdot 10 \cdot 100$

$\therefore p_{sub} = 10 \cdot 10^5$ Pa

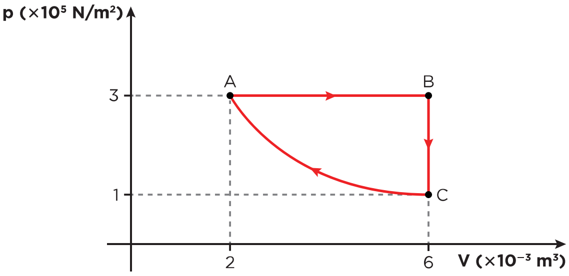
- $p_{nave} = p_{int} - p_{ext} = p_0 - 0$

$\therefore P_{nave} = 1$ atm

$\Rightarrow P_{nave} = 10^5$ Pa

$\dfrac{p_{sub}}{p_{nave}} = \dfrac{10 \cdot 10^5}{10^5} \Rightarrow \dfrac{p_{sub}}{p_{nave}} = 10$

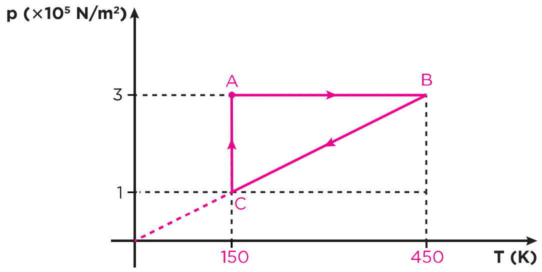
5 Meio mol de um gás ideal e monoatômico é submetido a uma sequência de transformações A → B → C → A, fechando uma transformação denominada cíclica, representada no diagrama pressão *versus* volume, abaixo.



Adote: $R = 8 \dfrac{J}{mol \cdot K}$

Nessas condições:

a) No diagrama a seguir, represente o correspondente diagrama p × T dessa sequência de transformações.



• Temperatura do gás no estado A:

$p_A \cdot V_A = n \cdot R \cdot T_A$

$3 \cdot 10^5 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0,5 \cdot 8 \cdot T_A \Rightarrow T_A = 150$ K

• Temperatura em B:

De A para B a transformação é **isobárica**. Logo:

$\dfrac{V_A}{T_A} = \dfrac{V_B}{T_B}$

V e T são diretamente proporcionais. Como o volume triplicou, a temperatura absoluta do gás também triplica. Portanto,

$T_B = 3 \cdot T_A = 450$ K

• Temperatura em C:

Note que: $p_A \cdot V_A = p_C \cdot V_C$. Logo, $T_C = T_A = 150$ K.
Ainda mais, de B para C, o volume é constante. Portanto, nessa transformação, T é diretamente proporcional a **p**. Assim, essa transformação é representada por um segmento de reta que aponta para a origem.

b) Determine as variações de energia interna (ΔU) do gás nas transformações: A → B, B → C e C → A.

Lembrando que, para um gás ideal e monoatômico:

$U = \dfrac{3}{2}nRT = \dfrac{3}{2}pV$

Tem-se: $U_A = \dfrac{3}{2}nRT_A = \dfrac{3}{2}0,5 \cdot 8 \cdot 150 = 900$ J

Como $T_B = 3 \cdot T_A$, então $U_B = 3 \cdot U_A$. Portanto: $U_B = 2\,700$ J
Como $T_C = T_A$, então $U_C = U_A$. Portanto: $U_C = 900$ J
Assim:
$\Delta U_{A \to B} = U_B - U_A = 2\,700 - 900 = 1\,800$ J
$\Delta U_{B \to C} = U_C - U_B = 900 - 2\,700 = -1\,800$ J
$\Delta U_{C \to A} = U_A - U_C = 900 - 900 = 0$

c) Determine a variação de energia interna do gás após ser submetido a um ciclo completo (ΔU_{ciclo}).

Em qualquer transformação cíclica, como os estados termodinâmicos inicial e final do gás coincidem, a temperatura inicial e a temperatura final do gás são iguais. Logo, em qualquer transformação cíclica:
$U_{final} = U_{inicial}$
Portanto, em qualquer transformação cíclica: $\Delta U_{ciclo} = 0$

ORIENTAÇÃO DE ESTUDO

Tarefa Mínima

Aula 11

- Leia a seção *Nestas aulas*.
- Faça as questões 1 a 3 do capítulo 4 de *Termofísica* do *Caderno de Estudos*.

Aula 12

- Faça as questões 8 a 11 do capítulo 4 de *Termofísica* do *Caderno de Estudos*.

Tarefa Complementar

Aula 11

- Leia os itens 1 a 7 do capítulo 4 de *Termofísica* do *Caderno de Estudos*.
- Faça as questões 4 a 7 do capítulo 4 de *Termofísica* do *Caderno de Estudos*.

Aula 12

- Leia os itens 8 a 12 do capítulo 4 de *Termofísica* do *Caderno de Estudos*.
- Faça as questões 12 a 15 do capítulo 4 de *Termofísica* do *Caderno de Estudos*.

Tarefa Desafio

Aula 11

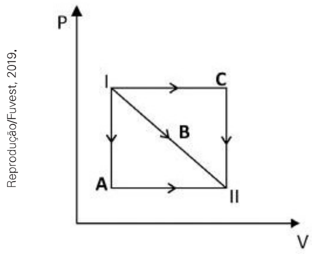
- Faça as questões 16 e 17 do capítulo 4 de *Termofísica* do *Caderno de Estudos*.

Aula 12

- Faça as questões 18 e 19 do capítulo 4 de *Termofísica* do *Caderno de Estudos*.

EM CLASSE DESENVOLVENDO HABILIDADES

1 (Fuvest-SP) No diagrama P × V da figura, **A**, **B** e **C** representam transformações possíveis de um gás entre os estados I e II.



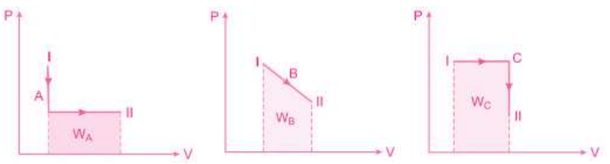
Com relação à variação ΔU da energia interna do gás e ao trabalho W por ele realizado, entre esses estados, é correto afirmar que

▶ a) $\Delta U_A = \Delta U_B = \Delta U_C$ e $W_C > W_B > W_A$.
b) $\Delta U_A > \Delta U_C > \Delta U_B$ e $W_C = W_A < W_B$.
c) $\Delta U_A < \Delta U_B < \Delta U_C$ e $W_C > W_B > W_A$.
d) $\Delta U_A = \Delta U_B = \Delta U_C$ e $W_C = W_A > W_B$.
e) $\Delta U_A > \Delta U_B > \Delta U_C$ e $W_C = W_B = W_A$.

Como a variação de temperatura é a mesma para as três transformações:

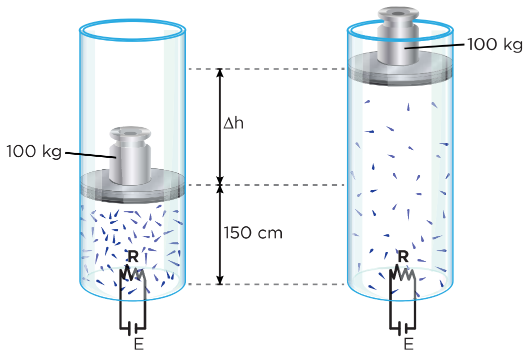
$$\Delta U_A = \Delta U_B = \Delta U_C$$

Os trabalhos são dados pelas áreas sob as curvas das transformações, de acordo com a figura abaixo, podemos concluir que:



$$W_C > W_B > W_A$$

2 Em uma maquete simuladora de um elevador a gás, um cilindro contém 1,25 mol de gás nitrogênio, inicialmente a 27 °C, fechado em sua parte superior por um êmbolo de massa desprezível, cuja área vale 100 cm^2, sobre o qual está apoiado um corpo de 100 kg. Nessa situação, o êmbolo permanece em equilíbrio, a 150 cm de altura em relação à base do cilindro.



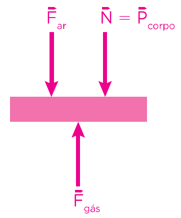
Note e adote:
- O nitrogênio pode ser considerado um gás ideal.
- $g = 10\ m/s^2$
- $R = 8\ J/(mol \cdot K)$
- Pressão atmosférica local: 10^5 Pa
- Despreze eventuais atritos.

Por meio de um circuito elétrico capaz de transferir energia térmica ao sistema de forma controlada, o gás é então aquecido lentamente até que sua temperatura atinja 127 °C, de modo que o êmbolo seja submetido a um deslocamento vertical Δh, em movimento uniforme, devido à expansão do gás. Nessas condições:

I. A intensidade da força vertical que o gás exerce sobre o êmbolo vale:

a) 100 N
b) 1 000 N
▶ c) 2 000 N
d) 5 000 N
e) 10 000 N

I. As forças que atuam no êmbolo são:



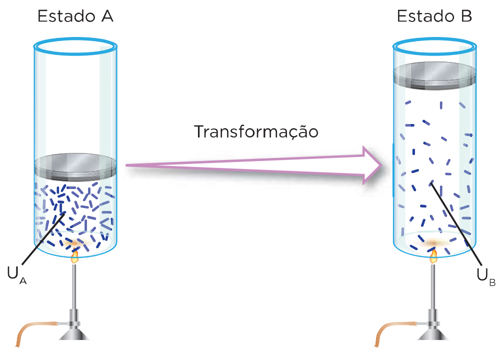
Para que haja equilíbrio:
$F_{gás} = P_{corpo} + F_{ar}$, em que $F_{ar} = p_{atm} \cdot A_{êmbolo}$ ($A_{êmbolo} = 10^{-2}\ m^2$)
Assim:
$F_{gás} = 100 \cdot 10 + 10^5 \cdot 10^{-2} \Rightarrow F_{gás} = 2 \cdot 10^3$ N

II. O trabalho realizado pela força de pressão do gás nessa transformação vale:

▶ a) 1 000 J.
b) 2 000 J.
c) 3 000 J.
d) 4 000 J.
e) 5 000 J.

II. Dado que é uma transformação isobárica:
$\tau_{i \to f}^{\vec{F}_{gás}} = p \cdot \Delta V$
Mas, nesse tipo de transformação, $p \cdot \Delta V = n \cdot R \cdot \Delta T$. Assim:
$\tau_{i \to f}^{\vec{F}_{gás}} = n \cdot R \cdot \Delta T$ (transformação isobárica)
$\tau_{i \to f}^{\vec{F}_{gás}} = 1{,}25 \cdot 8 \cdot (400 - 300) = 1000$ J

2. Primeira lei da Termodinâmica



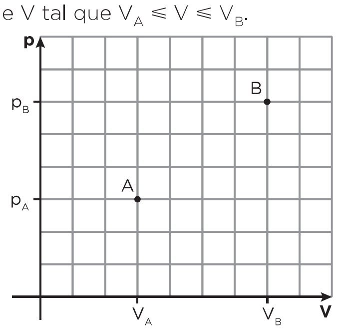
$$\Delta U_{A\to B} = Q_{A\to B} - \tau_{A\to B}$$

3. Interpretação de sinais

Grandeza	Interpretação
$Q > 0$	O gás recebe energia (térmica)
$Q < 0$	O gás cede energia (térmica)
$\tau > 0$ (expansão)	O gás cede energia (mecânica)
$\tau < 0$ (compressão)	O gás recebe energia (mecânica)
$\Delta U > 0$	O gás esquenta
$\Delta U < 0$	O gás esfria

EM CLASSE **DESENVOLVENDO HABILIDADES**

1 Certa massa de gás ideal encontra-se inicialmente em um estado termodinâmico A e, por algum processo, atinge um outro estado termodinâmico B. Por não ser conhecido o processo pelo qual o gás foi do estado A ao estado B, o diagrama a seguir apenas representa esses dois estados, sem especificar o tipo de transformação. Considere que, entre os estados A e B, o gás passa por estados de volume V tal que $V_A \leqslant V \leqslant V_B$.



Na transformação de A para B, o gás trocou certa quantidade de calor Q_{AB} e houve realização de trabalho da força de pressão desse gás (τ_{AB}). Entre esses dois estados a variação de energia interna foi ΔU_{AB}.

Responda: I. τ_{AB} é positivo,pois houve uma expansão gasosa. Logo, o gás cedeu energia sob forma mecânica ao meio.

I. O τ_{AB} é positivo ou negativo? Justifique sua resposta.

II. A ΔU_{AB} é positiva ou negativa? Justifique sua resposta.

Como $p_BV_B > p_AV_A$, então $T_B > T_A$. Logo, houve um aquecimento. Portanto, a ΔU_{AB} é positiva.

III. A Q_{AB} é positiva ou negativa? Justifique sua resposta.

Na primeira lei da Termodinâmica:
$Q_{AB} = \Delta U_{AB} + \tau_{AB}$
Sendo $\Delta U_{AB} > 0$ e $\tau_{AB} > 0$, conclui-se que $Q_{AB} > 0$, ou seja, o gás deve receber energia térmica na transição entre os estados A e B.

IV. Das três grandezas envolvidas na 1ª lei da Termodinâmica (Q_{AB}, τ_{AB} e ΔU_{AB}), entre os estados A e B mencionados, pode-se concluir que:

a) τ_{AB} independe do processo que conduz o gás de A a B.

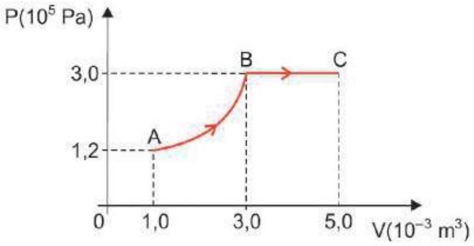
b) Q_{AB} independe do processo que conduz o gás de A a B.

c) ΔU_{AB} independe do processo que conduz o gás de A a B.

d) todas essas grandezas dependem do processo que conduz o gás de A para B.

IV. Para certa massa gasosa, o valor da energia interna U é função exclusiva da temperatura, ou seja, do produto pV. Portanto, fixados os estados, estão fixados os valores de energia interna desse gás. Logo, sua variação não depende do "caminho" (ou seja, do tipo de transformação) que conduz o gás do estado A ao estado B.
Já o valor do trabalho τ_{AB}, determinado pela área sob o diagrama $p \times V$, vai depender do tipo de transformação. Por consequência, Q_{AB} também dependerá do tipo de transformação que conduz o gás do estado A ao estado B.

2 (Fac. Albert Einstein – Medicina) Para provocar a transformação gasosa ABC, representada no diagrama P × V, em determinada massa constante de gás ideal, foi necessário fornecer-lhe 1400 J de energia em forma de calor, dos quais 300 J transformaram-se em energia interna do gás, devido ao seu aquecimento nesse processo.



Considerando não ter havido perda de energia, o trabalho realizado pelas forças exercidas pelo gás no trecho AB dessa transformação foi de

a) 600 J. b) 400 J. ▶ c) 500 J. d) 1100 J. e) 800 J.

Da primeira lei da Termodinâmica: $Q = \tau + \Delta U$

Assim, o trabalho total entre ABC é $1400 = \tau_{ABC} + 300 \Rightarrow \tau_{ABC} = 1100$ J

O trabalho do processo isobárico é: $\tau_{BC} = p \cdot \Delta V = 3{,}0 \cdot 10^5 \cdot (5{,}0 - 3{,}0) \cdot 10^{-3}$

$\tau_{BC} = 6{,}0 \cdot 10^2$ J $= 600$ J

Logo, o trabalho do processo AB é: $\tau_{AB} = \tau_{ABC} - \tau_{BC} = 1100 - 600$

$\therefore \quad \tau_{AB} = 500$ J

ORIENTAÇÃO DE ESTUDO

Tarefa Mínima

- Leia a seção *Nesta aula*.
- Faça as questões 1 a 3 do capítulo 6 de *Termofísica* do *Caderno de Estudos*.

Tarefa Complementar

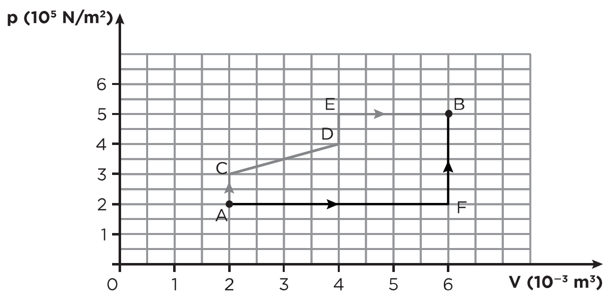
- Leia os itens 1 a 3 do capítulo 6 de *Termofísica* do *Caderno de Estudos*.
- Faça as questões 4 a 6 do capítulo 6 de *Termofísica* do *Caderno de Estudos*.

Tarefa Desafio

- Faça a questão 7 do capítulo 6 de *Termofísica* do *Caderno de Estudos*.

EXTRA!

■ (Unifesp) Uma massa constante de gás ideal pode ser levada de um estado inicial A a um estado final B por dois processos diferentes, indicados no diagrama p × V.



Para ocorrer, a transformação ACDEB exige uma quantidade Q_1 de calor e a transformação AFB exige uma quantidade Q_2 de calor. Sendo T_A e T_B as temperaturas absolutas do gás nos estados A e B, respectivamente, calcule:

a) o valor da razão $\frac{T_B}{T_A}$.

b) o valor da diferença $Q_1 - Q_2$, em joules.

EM CLASSE **DESENVOLVENDO HABILIDADES**

1 O domínio da tecnologia e dos conceitos relacionados à Termodinâmica permitiu que algumas nações adquirissem considerável vantagem econômica, durante o período conhecido como Primeira Revolução Industrial, cujos reflexos ecoam até o presente. Nesse sentido, para uma sociedade moderna, faz parte de uma cultura científica mínima o conhecimento de certas leis físicas que permitem interpretar os processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica. Dessa maneira, avalie as afirmações a seguir, julgando-as corretas ou não segundo as leis da Termodinâmica.

I. ( ) Uma expansão gasosa isobárica só se realiza mediante recebimento de calor por parte do gás.

II. ( ) É possível que certa massa gasosa seja submetida a uma expansão isotérmica sem que ocorram trocas de calor entre o gás e o meio.

III. ( ) Nas transformações isocóricas, a energia interna do gás só pode ser alterada por meio de trocas de energia térmica entre o gás e o meio.

I. Correta. Na expansão isobárica: $\Delta U > 0$, $\tau > 0 \Rightarrow Q > 0$

II. Incorreta. Na expansão isotérmica: $\Delta U = 0 \Rightarrow \tau = Q \neq 0$

III. Correta. Na transformação isocórica: $\tau = 0 \Rightarrow \Delta U = Q \neq 0$

2 Certa massa de gás ideal e monoatômico encontra-se no interior de um recipiente dotado de instrumentos de medida e de um dispositivo que possibilita regular o volume em seu interior. Inicialmente o gás se encontra em um estado termodinâmico A, no qual sua pressão vale $3 \cdot 10^5$ Pa e ocupa um volume de $2 \cdot 10^{-3}$ m^3.

Então, esse sistema gasoso é submetido a uma sequência de transformações descritas a seguir:

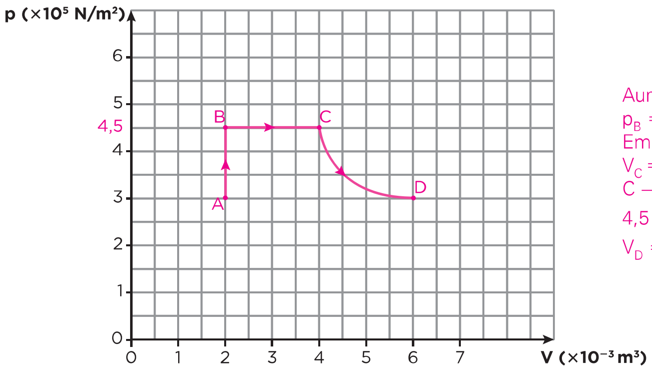
1) Do estado A ao estado B, o gás recebe calor e evolui isometricamente, aumentando em 50% sua pressão.

2) Do estado B ao estado C, o gás dobra seu volume isobaricamente.

3) Finalmente, de C ao estado final D, ele é submetido a uma expansão isotérmica até que atinja a pressão inicial. Nessa transformação, houve realização de trabalho da força de pressão, de módulo igual a 700 J.

Com relação a essa situação, pede-se:

I. Construa, no diagrama p × V, indicado abaixo, o gráfico correspondente a esta série de transformações.



Aumento de 50% na pressão:
$p_B = 1,5 \cdot p_A = 4,5 \cdot 10^5$ Pa
Em C o volume é o dobro de B. Logo:
$V_C = 2 \cdot V_B = 4 \cdot 10^{-3}$ m^3
C → D: isotérmica. Logo: $p_C \cdot V_C = p_D \cdot V_D$
$4,5 \cdot 10^5 \cdot 4 \cdot 10^{-3} = 3 \cdot 10^5 \cdot V_D$
$V_D = 6 \cdot 10^{-3}$ m^3

II. A quantidade de calor Q_{AB} que o gás troca durante a transformação de A para B vale:

a) zero.
b) 150 J.
▶ c) 450 J.
d) 600 J.
e) 900 J.

De A para B: $\tau = 0$ (isométrica). Logo, pela PLT: $Q_{AB} = \Delta U_{AB}$

$$U_A = \frac{3}{2} \cdot p_A \cdot V_A = \frac{3}{2} \cdot 3 \cdot 10^5 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 900\ J$$

$$U_B = \frac{3}{2} \cdot p_B \cdot V_B = \frac{3}{2} \cdot 4{,}5 \cdot 10^5 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 1350\ J$$

Logo: $Q_{AB} = 450\ J$

III. A quantidade de calor Q_{BC} que o gás troca durante a transformação de B para C vale:

a) zero.
b) 450 J.
c) 800 J.
d) 1 150 J.
▶ e) 2 250 J.

Na transformação isobárica:

$$\tau = p \cdot \Delta V \text{ e } \Delta U = \frac{3}{2} \cdot p \cdot \Delta V$$

Na PLT: $Q = \Delta U + \tau = \frac{3}{2} \cdot p \cdot \Delta V + p \cdot \Delta V = \frac{5}{2} \cdot p \cdot \Delta V$

Logo: $Q_{BC} = \frac{5}{2} \cdot 4{,}5 \cdot (4 - 2) \cdot 10^{-3} = 2250\ J$

IV. A quantidade de calor Q_{CD} trocada entre o gás e o meio na transformação isotérmica C → D foi de:

a) zero.
▶ b) +700 J.
c) −700 J.
d) +900 J.
e) −900 J.

Na transformação isotérmica: $\Delta U = 0 \Rightarrow Q = \tau$, em que $\tau > 0$, pois houve uma expansão.
Logo: $Q = +700\ J$

3 Certa massa de gás ideal se encontra inicialmente em um estado termodinâmico de equilíbrio A, podendo ser submetido a uma transformação gasosa.

Com relação às possíveis trocas de energia em certas transformações, avalie as afirmações a seguir, julgando-as corretas ou incorretas.

I. ( ) Em uma transformação cíclica, o trabalho da força de pressão do gás, na fase de expansão, em módulo, é igual ao trabalho na fase de compressão, resultando em um trabalho global nulo.

II. ( ) Expansões ou compressões rápidas podem ser consideradas transformações adiabáticas.

III. ( ) Em uma expansão adiabática, ocorre uma diminuição de energia interna do sistema gasoso.

I. Incorreta. O trabalho na transformação cíclica não é nulo, pois o valor médio da pressão na fase de expansão não é igual ao valor médio da pressão na fase de compressão.

II. Correta. O termo *rápido* pode ser entendido como "não dá tempo para que ocorram trocas de calor".

III. Correta. Expansão significa perda de energia. Se não há reposição sob forma de calor, a energia interna do sistema diminui.

4 (Fuvest-SP) Um mol de um gás ideal monoatômico é resfriado adiabaticamente de uma temperatura inicial T_1 até uma temperatura final $\frac{T_1}{3}$.

Com base nessas informações, responda:

a) O gás sofreu expansão ou compressão ao final do processo? Justifique sua resposta.

b) Encontre o valor do trabalho realizado pelo gás nesse processo em termos da constante universal dos gases ideais R e de T_1.

c) Encontre a razão entre as pressões final e inicial do gás após o processo.

> Note e adote:
> - Em um processo adiabático, não há troca de calor com o ambiente.
> - Energia interna por mol de um gás ideal monoatômico: $U = \frac{3RT}{2}$.
> - Para o processo adiabático em questão, vale a relação $PV^{\frac{5}{3}}$ = constante.

a) De acordo com a 1ª lei da Termodinâmica: $Q = \tau + \Delta U$

De acordo com o enunciado: transformação adiabática $\Rightarrow Q = 0$

Como $\Delta U = \frac{3}{2} nR\Delta T$ e $\Delta T < 0 \Rightarrow \Delta U < 0$

Logo:

$0 = \tau + \Delta U \Rightarrow \tau = -\Delta U$

$\therefore \ \tau > 0$

Portanto, o **gás sofreu expansão**.

b) Da expressão obtida anteriormente:

$\tau = -\Delta U = -\frac{3}{2} nR\Delta T$

$\tau = -\frac{3}{2} \cdot 1 \cdot R\left(\frac{T_1}{3} - T_1\right)$

$\therefore \ \tau = RT_1$

c) Como $PV^{5/3}$ = constante, devemos ter que: $P_fV_f^{5/3} = P_1V_1^{5/3}$

Da equação de Clapeyron com n = 1, vem: $PV = 1 \cdot RT \Rightarrow V = \frac{RT}{P}$

Substituindo na expressão anterior: $P_f\left(\frac{RT_f}{P_f}\right)^{5/3} = P_1\left(\frac{RT_1}{P_1}\right)^{5/3} \Rightarrow \frac{T_f^{5/3}}{P_f^{2/3}} = \frac{T_1^{5/3}}{P_1^{2/3}} \Rightarrow$

$\Rightarrow \left(\frac{P_f}{P_1}\right)^{2/3} = \left(\frac{T_1/3}{T_1}\right)^{5/3} \Rightarrow \frac{P_f}{P_1} = \left(\frac{1}{3}\right)^{5/2} = \frac{1}{\sqrt{3^5}} \therefore \frac{P_f}{P_1} = \frac{\sqrt{3}}{27}$

ORIENTAÇÃO DE ESTUDO

Tarefa Mínima

Aula 15

- Leia a seção *Nestas aulas*.
- Faça as questões 1 a 3 do capítulo 7 de *Termofísica* do *Caderno de Estudos*.

Aula 16

- Faça as questões 7 a 10 do capítulo 7 de *Termofísica* do *Caderno de Estudos*.

Tarefa Complementar

Aula 15

- Leia os itens 1 a 4 do capítulo 7 de *Termofísica* do *Caderno de Estudos*.
- Faça as questões 4 a 6 do capítulo 7 de *Termofísica* do *Caderno de Estudos*.

Aula 16

- Leia os itens 5 e 6 do capítulo 7 de *Termofísica do Caderno de Estudos*.
- Faça as questões 11 a 14 do capítulo 7 de *Termofísica* do *Caderno de Estudos*.

Tarefa Desafio

Aula 16

- Faça as questões 15 a 17 do capítulo 7 de *Termofísica* do *Caderno de Estudos*.