

Termodinâmica e Física Estatística

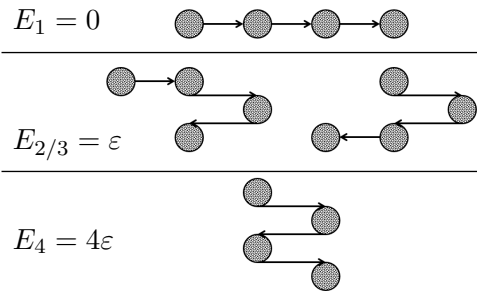
LMAC 2021/22

EXAME

Este exame terá a duração de hora e meia e deve ser resolvido numa folha de ponto devidamente identificada. Após o fim da hora e meia a folha de ponto será recolhida. Terminado o exame, poderá utilizar mais meia hora para completar um dos MAP-30 que lhe foi entregue com este enunciado. Os testes MAP-30 consistem em 10 perguntas de escolha múltipla cujas respostas devem ser inscritas na "folha de respostas MAP-30" que lhe foi entregue para o efeito. No caso de querer melhorar um dos MAP-30, leia atentamente as instruções na "folha de respostas MAP-30" que lhe foi entregue.

 CONSTANTES: $R = 8.314 \text{ J/mol K}$;

Exercício 1. [8.0 valores] Uma molécula de um certo material elástico pode ser descrita em termos de um modelo unidimensional que envolve 4 moléculas mais pequenas ligadas entre si. O ângulo de ligação entre moléculas pode ser 0° ou 180° havendo por isso 4 estados diferentes como indicado na figura. As energias dos diferentes estados são $E_1 = 0$, $E_2 = E_3 = \varepsilon$ e $E_4 = 4\varepsilon$. Considere um sistema macroscópico de N moléculas deste tipo.



- A) [2 valores] Calcule a função de partição para uma molécula.
- B) [2 valores] Para uma certa temperatura T_0 , calcule o número médio de moléculas que há nos níveis com energia ε ($E_{2/3}$).
- C) [2 valores] Calcule a energia média para o sistema completo das N moléculas. [Nota: caso precise de este valor para alíneas posteriores, utilize: $\bar{E} = ANe^{-\beta\varepsilon}/(Be^{-\beta\varepsilon} + Ce^{-4\beta\varepsilon} + C)$]
- D) [2 valores] Calcule a capacidade calorífica para um mole desta substância a alta temperatura, isto é, quando $kT \gg \varepsilon$. (Recorde que $e^x \approx 1 + x$ para $x \approx 0$)

Exercício 2. [4 valores] O volume de um sistema composto por um mol de um certo material, caracteriza-se pela seguinte equação de estado, válida na vizinhança de um estado de referência T_0, V_0 :

$$V = V_0 + a(T - T_0) + b(p - p_0)$$

- A) [2 valores] Demonstre que $\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T = \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V$
- B) [2 valores] Calcule o calor transferido para o sistema quando o volume aumenta por uma pequena quantidade $V - V_0$ a temperatura T_0 constante.

Exercício 3. [8.0 valores] Um sistema de ar condicionado, baseado numa máquina de Carnot reversível, utiliza-se para arrefecer uma vivenda. A potência total consumida pela máquina é P quando opera de forma contínua. Se a temperatura exterior é T_1 e a temperatura no interior da vivenda é T_2 , com $T_1 > T_2$:

- A) [2 valores] Deduza o valor da eficiência $\eta = Q_2/P$ em função das temperaturas T_1 e T_2 , onde Q_2 é o calor retirado da vivenda num segundo.

Como a vivenda não está perfeitamente isolada, infiltra-se calor procedente do exterior. A quantidade de calor que se infiltra por segundo é dada pela expressão $Q = A(T_1 - T_2)$, onde A é uma constante.

- B) [2 valores] Calcule a constante A em função de T_1 , T_2 e P para a situação de equilíbrio na qual a temperatura da vivenda permanece constante e o sistema de ar condicionado funciona de forma contínua.
- C) [2 valores] O sistema de ar condicionado tem um termostato que se activa/desactiva quando necessário. Quando a temperatura exterior é de 37°C e a temperatura interior se mantém a 27°C , o aparelho funciona 30% do tempo. Encontre a temperatura exterior máxima para a qual se consegue manter a temperatura interior a 27°C .
- D) [2 valores] Calcule o calor total transferido para o exterior da vivenda por unidade de tempo, quando a temperatura exterior é de 37°C , a temperatura interior mantém-se a 27°C e o aparelho funciona durante 30% do tempo. A potência do aparelho quando este está ligado é 2 kW.

Exame 1.

$$1.A) \quad Z = 1 + 2e^{-\beta\epsilon} + e^{-4\beta\epsilon} = 1 + 2e^{-\frac{\epsilon}{kT}} + e^{-\frac{4\epsilon}{kT}}$$

$$1.B) \quad N_2 = N \cdot P_2 = N \cdot \frac{2e^{-\beta\epsilon}}{1 + 2e^{-\beta\epsilon} + e^{-4\beta\epsilon}} = 2N \frac{1}{e^{\beta\epsilon} + 2 + e^{-3\beta\epsilon}}$$

$$1.C) \quad \bar{\epsilon} = - \frac{\partial \ln Z}{\partial \beta} ; \quad \bar{E} = N \cdot \bar{\epsilon} = 2N\epsilon \cdot \frac{e^{-\beta\epsilon} + 2e^{-4\beta\epsilon}}{1 + 2e^{-\beta\epsilon} + e^{-4\beta\epsilon}}$$

$$1.D) \quad C_V = \left(\frac{\partial \bar{E}}{\partial T} \right)_V$$

$$kT \gg \epsilon \Rightarrow e^{-\beta\epsilon} \simeq 1 - \beta\epsilon \Rightarrow \bar{E} \simeq 2\epsilon N \frac{3 - 9\beta\epsilon}{4 - 6\beta\epsilon}$$

$$C_V = \frac{36\epsilon^2 R}{(4kT - 6\epsilon)^2}$$

$$2A) \quad dE = T ds - p dv = \underset{\Phi}{d(ST)} - S dT - p dv$$

$$d(TS) = T ds - S dT$$

$$d(\underbrace{E - TS}) = -S dT - p dv$$

↳ Potencial livre de Helmholtz
F

$$\left\{ \begin{array}{l} \left(\frac{\partial F}{\partial T}\right)_V = -S \\ \left(\frac{\partial F}{\partial V}\right)_T = -P \end{array} \right.$$

$$\frac{\partial^2 F}{\partial T \partial V} = \frac{\partial^2 F}{\partial V \partial T} \Rightarrow \left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T = \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V$$

$$2B) \quad ds = \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_V dT + \left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T dV = \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V dV = \frac{\partial}{\partial T} \left(P_0 + \frac{1}{b}(V - V_0) - a(T - T_0) \right) dV$$

\downarrow
T: cte

$$= -\frac{a}{b} dV$$

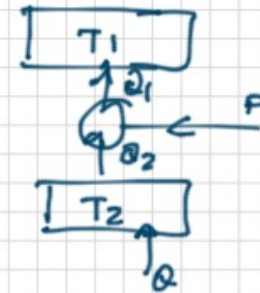
$$dQ = T ds \Rightarrow Q = \int_{V_0}^V \left(-\frac{a}{b}\right) dV = -T_0 \frac{a}{b} (V - V_0)$$

$$3.A) \quad \eta = \frac{Q_2}{P}$$

Por segundo: $Q_1 = Q_2 + P$

$$\Delta S \geq 0 \Rightarrow \frac{Q_1}{T_1} - \frac{Q_2}{T_2} > 0 \Rightarrow \frac{Q_2 + P}{T_1} - \frac{Q_2}{T_2} \geq 0$$

$$\frac{Q_2}{P} \geq \frac{T_2}{T_1 - T_2} \Rightarrow \text{Processo quasiestático: } \boxed{\eta = \frac{T_2}{T_1 - T_2}}$$



3.B) Equilíbrio: calor que entra na casa = calor que sai
 $Q = Q_2$

$$A(T_1 - T_2) = P\eta \Rightarrow \boxed{A = \frac{T_2 P}{(T_1 - T_2)^2}}$$

$$3.C) \quad \begin{cases} T_1 = 30^\circ\text{C} \\ T_2 = 20^\circ\text{C} \end{cases} \Rightarrow \frac{T_2}{T_1 - T_2} \cdot 0,3P = A(T_1 - T_2) \quad \left\{ \begin{array}{l} T_{\text{max}} = T_2 + \sqrt{T_2 \frac{P}{A}} \\ \boxed{T_{\text{max}} = 318 \text{ K} = 45^\circ\text{C}} \end{array} \right.$$

$$T_{\text{max}} \Rightarrow \frac{T_2}{T_{\text{max}} - T_2} \cdot P = A(T_{\text{max}} - T_2)$$

3.D)

$$Q_1 = P + Q_2 = P + \frac{T_2}{T_1 - T_2} P = 18,6 \text{ kW por segundo}$$

$\underbrace{P}_{2 \text{ kW. } 23}$

Termodinâmica e Física Estatística

LMAC 2021/22

FOLHA DE RESPOSTAS MAP-30

Assinale com uma cruz (X) a sua resposta para cada questão na tabela correspondente ao MAP-30 que pretende melhorar. Lembre-se que apenas pode realizar um MAP-30. Caso mais do que uma tabela esteja preenchida, ser-lhe-ão atribuídos zero valores. Não se esqueça de indicar o seu nome e número de Aluno(a).

Número:	Nome:
---------	-------

Respostas 1º MAP-30

1.1	A	B	C	D	E	F
1.2	A	B	C	D	E	F
1.3	A	B	C	D	E	F
1.4	A	B	C	D	E	F
2.1	A	B	C	D	E	F
2.2	A	B	C	D	E	F
2.3	A	B	C	D	E	F
2.4	A	B	C	D	E	F
3.1	A	B	C	D	E	F
3.2	A	B	C	D	E	F

Respostas 2º MAP-30

1	A	B	C	D	E	F
2.1	A	B	C	D	E	F
2.2	A	B	C	D	E	F
2.3	A	B	C	D	E	F
3.1	A	B	C	D	E	F
3.2	A	B	C	D	E	F
3.3	A	B	C	D	E	F
3.4	A	B	C	D	E	F
4	A	B	C	D	E	F
5	A	B	C	D	E	F

Respostas 3º MAP-30

1.1	A	B	C	D	E	F
1.2	A	B	C	D	E	F
1.3	A	B	C	D	E	F
2	A	B	C	D	E	F
3.1	A	B	C	D	E	F
3.2	A	B	C	D	E	F
3.3	A	B	C	D	E	F
3.4	A	B	C	D	E	F
4	A	B	C	D	E	F
5	A	B	C	D	E	F

(página em branco)

Termodinâmica e Física Estatística

LMAC 2021/22

1^o MAP-30

CONSTANTES: $R = 8.314 \text{ J/mol K}$;

Exercício 1. Um gás monoatômico está contido num recipiente cilíndrico com um volume V delimitado por um pistão, que inicialmente está fixo. O gás contém N átomos que não interagem entre si, cada um deles descrito por uma velocidade \vec{v}_i e uma posição \vec{r}_i .

1.1) [2 valores] Qual é o número de graus de liberdade necessário para descrever um microestado deste sistema?

- A) $3N$
- B) N
- C) $6N/h_0$
- D) 2^N
- E) $6N$
- F) $3N/h_0$

1.2) [2 valores] Se o gás se encontrar isolado, em equilíbrio e o pistão estiver fixo, o que se pode dizer sobre a probabilidade de encontrar o sistema em qualquer um dos seus microestados acessíveis?

- A) A probabilidade depende das velocidades das moléculas.
- B) É independente do tempo e todos os microestados acessíveis ao sistema são igualmente prováveis.
- C) A probabilidade de encontrar o sistema num dado microestado aumenta com a temperatura.
- D) A probabilidade é nula
- E) A probabilidade depende da pressão do sistema.
- F) Nenhuma das outras respostas é correta.

1.3)[2 valores] O pistão desloca-se de modo a que o volume do gás aumente por um factor 2. Como muda o número de microestados acessíveis ao sistema?

- A) Aumenta por um factor 2^N
- B) Diminui por um factor V^N
- C) Aumenta por um factor 2
- D) O número de microestados não muda
- E) Diminui por um factor 2^N
- F) Nenhuma das outras respostas é correta.

1.4)[2 valores] Se o pistão se deslocar rapidamente (processo irreversível), no instante imediatamente a seguir ao deslocamento do pistão, qual será a pressão média do gás:

- A) nRT/V .
- B) $p_0/2$, onde p_0 é a pressão inicial.
- C) $2p_0$, onde p_0 é a pressão inicial.
- D) O sistema precisará de um tempo para atingir o equilíbrio, pelo que a pressão média do gás não está bem definida.
- E) a pressão será maior do que no estado inicial.
- F) Nenhuma das outras respostas é correta.

Exercício 2. Um certo termómetro de parâmetro termométrico θ utiliza-se para medir a temperatura de dois sistemas macroscópicos A e A' isolados termicamente entre si e do exterior, resultando nos valores θ_0^A e $\theta_0^{A'}$, com θ_0^A diferente de $\theta_0^{A'}$. Os dois sistemas A e A' são postos em contacto térmico entre si e isolados do exterior. Passado um tempo o termómetro regista em ambos sistemas o valor θ_1 .

2.1) [2 valores] O que se pode dizer a respeito do parâmetro $\beta = 1/(kT)$ no estado inicial?

- A) $\beta_A > \beta_{A'}$
- B) $\beta_A < \beta_{A'}$
- C) $\beta_A = \beta_{A'}$
- D) $\beta_A = 2\beta_{A'}$
- E) O β_A é diferente do $\beta_{A'}$
- F) Não há informação suficiente para responder.

2.2) [2 valores] No estado final, o que se pode dizer sobre a relação entre a energia interna média \bar{E} do sistema A e a energia interna média \bar{E}' do sistema A' ?

- A) O sistema A e A' têm a mesma energia, $\bar{E} = \bar{E}'$
- B) A energia interna média por grau de liberdade é aproximadamente a igual nos dois sistemas.
- C) A energia é maior para o sistema A , $\bar{E} > \bar{E}'$
- D) A energia é maior para o sistema A' , $\bar{E} < \bar{E}'$
- E) Não há informação suficiente para responder.
- F) Nenhuma das outras respostas é correta.

2.3) [2 valores] Se a energia média no estado final de equilíbrio é \bar{E} para o sistema A , qual será a probabilidade de que esta energia flutue temporariamente a um valor $E_{\text{temp}} = 1.0001\bar{E}$?

- A) A probabilidade é calculável e tem o valor $P = 10^{-4}$.
- B) Desprezável, porque uma vez alcançado o equilíbrio o sistema não muda de microestado
- C) Desprezável, porque a largura da distribuição de probabilidade é inversamente proporcional à raiz do número de graus de liberdade do sistema macroscópico.
- D) Pelo teorema da equiprobabilidade, o sistema pode flutuar em a qualquer altura para o estado com energia E_{temp} .
- E) Não há informação suficiente para responder.
- F) Nenhuma das outras respostas é correta.

2.4) [2 valores] Qual é a entropia do sistema conjunto $A + A'$ no estado inicial?

- A) $S_{\text{tot}} = S_A \times S_{A'}$
- B) Não se pode calcular, por não estarem em equilíbrio térmico.
- C) $S_{\text{tot}} = 0$
- D) $S_{\text{tot}} = S_A + S_{A'}$
- E) $S_{\text{tot}} = \ln(S_A \times S_{A'})$
- F) Não há informação suficiente para responder.

Exercício 3. Considere um sistema que pode evoluir entre dois estados A e B de formas diferentes. O primeiro caminho considerado, c_1 , é quasiestático e o sistema está isolado termicamente do exterior, realizando um trabalho W_1 . No segundo caminho, c_2 , o sistema pode trocar calor com o exterior, realizando um trabalho $W_2 = 1.5W_1$.

3.1) [2 valores] Qual é a variação de energia interna ΔE_2 do sistema no caminho c_2 ?

A) $\Delta E_2 = -W_1$

B) $\Delta E_2 = 1.5\Delta E_1$, onde ΔE_1 é a variação de energia interna no caminho c_1

C) $\Delta E_2 = 0$

D) $\Delta E_2 = W_2$

E) $\Delta E_2 = W_1 + W_2$

F) $\Delta E_2 = -W_1 - W_2$

3.2) [2 valores] Qual é o calor absorvido pelo sistema no caminho c_2

A) $Q_2 = W_1 + W_2$

B) $Q_2 = W_2 - W_1$

C) $Q_2 = W_1$

D) $Q_2 = W_2$

E) $Q_2 = 0$

F) $Q_2 = -W_1 - W_2$

Termodinâmica e Física Estatística

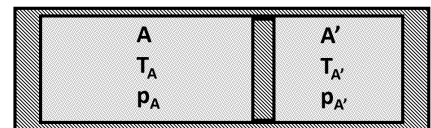
LMAC 2021/22

2º MAP-30

CONSTANTES: $R = 8.314 \text{ J/mol K}$;
EXPRESSÕES ÚTEIS: $E = \frac{3}{2} \nu RT$

Exercício 1. [2 valores] Dois sistemas A e A' estão contidos num cilindro, separados por uma parede móvel que permite trocas de calor e interação mecânica, como indicado na figura. O cilindro está isolado termicamente do exterior. A única variável mecânica relevante é o volume. Se a pressão para o sistema A é p_A e para o sistema A' $p_{A'}$, com p_A diferente de $p_{A'}$, o conjunto do sistema $A + A'$ pode estar em equilíbrio?

- A) Sim, se $T_A = T_{A'}$.
- B) Não, as pressões tem de ser as mesmas, isto é, $p_A = p_{A'}$.
- C) Sim, se se tratar de um gás ideal com $T_A = T_{A'}$.
- D) Sim, se o rácio pressão-volume for igual para os dois sistemas
- E) Não, a menos que $T_A > T_{A'}$
- F) Nenhuma das outras respostas está correta.



Exercício 2. O calor específico a volume constante para um certo gás tem o valor de $c_v = 21 \text{ J/(mol K)}$. Um contentor com 3 moles desse gás, volume inicial $V = 2 \text{ m}^3$ e temperatura $T_0 = 100 \text{ K}$, é posto em contacto com um reservatório de calor a 200 K . Passado algum tempo é alcançado um equilíbrio térmico sem que a temperatura do reservatório de calor se altere visivelmente.

2.1) [2 valores] Qual será a variação da entropia do gás no contentor?

- A) $63 \ln 2 \text{ J/K}$
- B) $21 \ln 2 \text{ J/K}$
- C) 210 J/K
- D) 6300 J/K
- E) 6100 J/K
- F) Nenhuma das outras respostas está correta.

2.2)[2 valores] Qual será a variação da entropia no reservatório de calor?

- A) -11.5 J/K
- B) 11.5 J/K
- C) $-21 \ln 2 \text{ J/K}$
- D) -2100 J/K
- E) -21 J/K
- F) Nenhuma das outras respostas está correta.

2.3) [2 valores] Se o gás for levado através de um processo quasiestático a um estado final com volume $V = 3 \text{ m}^3$ e temperatura $T = 200 \text{ K}$, a variação total de entropia será:

- A) Maior que no caso descrito no enunciado.
- B) Menor que no caso descrito no enunciado.
- C) Igual à variação de entropia no caso descrito no enunciado, uma vez que a entropia não depende do volume.
- D) Igual a zero.
- E) Não há informação suficiente para responder.
- F) Nenhuma das outras respostas está correta.

Exercício 3. Considere uma mole de um gás ideal monoatômico.

3.1) [2 valores] Qual é o seu calor específico a volume constante?

- A) $c_v = 3/2R$
- B) $c_v = 5/2R$
- C) $c_v = R$
- D) $c_v = \sqrt{2}R$
- E) $c_v = 2/3R$
- F) Nenhuma das outras respostas é correta.

3.2) [2 valores] Numa expansão adiabática quasiestática deste gás, que quantidade permanece constante?

- A) PV^γ
- B) PV
- C) PT
- D) $(PT)^\gamma$
- E) Energia interna
- F) Nenhuma das outras respostas é correta.

3.3) [2 valores] Num processo no qual o gás é comprimido até um terço do volume inicial mantendo a sua temperatura constante, a energia interna final do gás é:

- A) Três vezes a energia interna inicial.
- B) Um terço da energia interna inicial.
- C) Igual à energia interna inicial.
- D) Dois terços da energia interna inicial.
- E) Não se pode saber sem mais informação.
- F) Nenhuma das outras respostas é correta.

3.4) [2 valores] Imagine uma compressão isobárica (pressão constante) deste gás, que o leva do estado A ao estado B e uma compressão adiabática que também leva o gás do estado A ao estado B. Como se compara a variação de entropia entre estes dois processos?

- A) $\Delta S_{\text{isobárico}} > \Delta S_{\text{adiabático}}$
- B) $\Delta S_{\text{isobárico}} < \Delta S_{\text{adiabático}}$
- C) $\Delta S_{\text{isobárico}} \leq \Delta S_{\text{adiabático}}$
- D) $\Delta S_{\text{isobárico}} = \Delta S_{\text{adiabático}}$
- E) $\Delta S_{\text{isobárico}} \geq \Delta S_{\text{adiabático}}$
- F) Não se pode saber sem mais informação.

Exercício 4. [2 valores] No que toca às quantidades físicas entropia e energia interna, qual das seguintes afirmações é verdadeira?

- A) A energia interna é uma quantidade relativa que depende da escolha de uma referência enquanto a entropia é uma quantidade absoluta.
- B) Tanto a entropia como a energia interna são quantidades relativas que dependem da escolha de uma referência.
- C) A entropia é uma quantidade relativa que depende da escolha de uma referência enquanto a energia interna é uma quantidade absoluta.
- D) Tanto a entropia como a energia interna são quantidades absolutas e bem definidas para cada estado do sistema.
- E) Nenhuma das outras respostas é correta.

Exercício 5. [2 valores] Considere um sistema de N átomos magnéticos, cada um de eles com spin $1/2$. Quando submetido a um campo magnético externo, cada átomo tem duas possíveis orientações, paralelo (correspondente à mínima energia) e antiparalelo. Quando a temperatura tende para zero, qual será a entropia do sistema?

- A) 2^N
- B) $kN \ln 2$
- C) $k \ln N$
- D) Zero
- E) Não há informação suficiente para calculá-la.
- F) Nenhuma das anteriores

Termodinâmica e Física Estatística

LMAC 2021/22

3º MAP-30

CONSTANTES: $R = 8.314 \text{ J/mol K}$;

EXPRESSÕES ÚTEIS: $E = \frac{3}{2}\nu RT$; $\left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_S = -\left(\frac{\partial p}{\partial S}\right)_V$; $\left(\frac{\partial S}{\partial p}\right)_T = -\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p$;

$\left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_S = \left(\frac{\partial V}{\partial S}\right)_p$; $\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T = \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V$

Exercício 1. Três moles de um gás ideal são submetidos a uma expansão livre de Joule, estando o sistema isolado termicamente. Como consequência, o volume ocupado pelo gás aumenta por um factor $3/2$. Considere que o contentor tem capacidade calorífica desprezável. Se a temperatura e pressão iniciais forem T_0 e p_0 e a temperatura e pressão finais forem T_f e p_f :

1.1) [2 valores] Qual será a pressão p_f uma vez alcançado o equilíbrio após a expansão?

- A) $1.5p_0$
- B) $1.5p_0T_0/T_f$
- C) $(2/3)p_0$
- D) $1.5p_0T_f/T_0$
- E) $\sqrt{2/3}p_0$
- F) Nenhuma das outras respostas é correta.

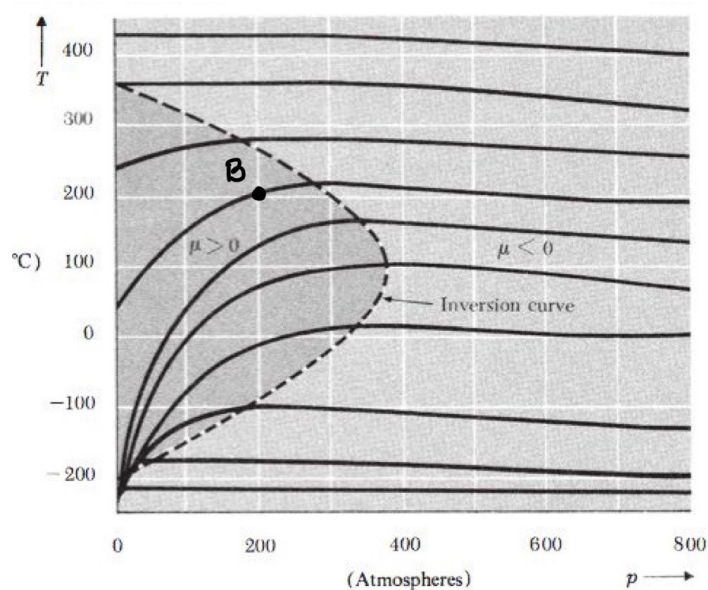
1.2) [2 valores] Qual é a variação da energia interna do gás?

- A) $3\nu RT_f/2$
- B) $3\nu RT_0/2$
- C) $5\nu RT_0/2$
- D) $3R p_0 T_0$
- E) 0
- F) Nenhuma das outras respostas é correta.

1.3) [2 valores] Qual é o trabalho realizado pelo gás nesta expansão?

- A) 0
- B) $3Rp_0T_0/(2V_0)$
- C) $Rp_0T_0 \ln 1.5$
- D) $3Rp_0T_f \ln 1.5$
- E) Não se pode calcular sem mais informação.
- F) Nenhuma das outras respostas é correta.

Exercício 2. [2 valores] A figura seguinte apresenta as curvas de entalpia constante no plano pT para um certo gás. Se esse gás se submete a um processo de Joule-Thomson (i.e. circula adiabaticamente através de uma parede porosa, com fluxo constante e em condições de equilíbrio num tubo isolado) partindo do ponto B. Se a variação de pressão neste processo é $\Delta p = 100$ atmosferas, qual será a temperatura final?



- A) $\approx 100^\circ C$
- B) $\approx 200^\circ C$
- C) $\approx 220^\circ C$
- D) $\approx 280^\circ C$
- E) $\approx 150^\circ C$
- F) Nenhuma das anteriores.

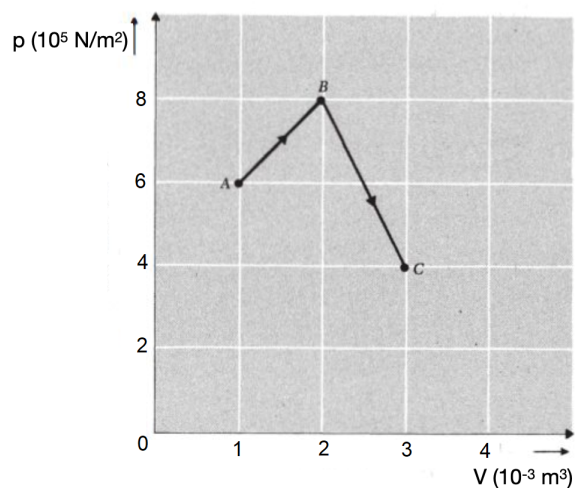
Exercício 3. A energia interna para um certo gás de Van der Waals é dada pela expressão $E = \frac{5}{2}RT - \frac{a}{V}$ e a sua equação de estado é $(p + \frac{a}{V^2})(V - b) = RT$. O volume total ocupado pelo gás é $V = 10^{-3}m^3$, e as constantes a e b tem os valores: $a = 3 \text{ Pa m}^6/\text{mol}^2$, $b = 0.04 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{mol}$.

3.1) [2 valores] Qual é o calor específico a volume constante, c_v , do gás.

- A) $(3/2)R$
- B) $(5/2)RT$
- C) $(3/2)RT$
- D) $(5/2)R$
- E) aR
- F) Nenhuma das outras respostas é correta.

3.2) [2 valores] Este gás submete-se a um processo que o leva do ponto A ao ponto B e do ponto B ao ponto C, de forma quasiestática, como indicado na figura. Qual é o trabalho efectuado pelo gás neste processo?

- A) 200 J
- B) -200 J
- C) 650 J
- D) -650 J
- E) 1300 J
- F) -1300 J



3.3) [2 valores] O calor específico a pressão constante para este gas será

- A) Zero.
- B) Igual ao calor específico a volume constante.
- C) Menor do que o calor específico a volume constante.
- D) Maior do que o calor específico a volume constante.
- E) Não se pode saber sem mais informação.
- F) Nenhuma das anteriores é correta.

3.4) [2 valores] Imagine que o trabalho realizado pelo sistema sobre o exterior entre A e C era de 400 J e que a variação de energia interna do sistema entre A e C era de 450 J. Qual seria o calor absorvido pelo sistema?

- A) 50 J
- B) -50 J
- C) 850 J
- D) -850 J
- E) 450 J
- F) -450 J

Exercício 4. [2 valores] Duas máquinas térmicas operam entre dois reservatórios a temperaturas T_1 e T_2 , com $T_1 > T_2$. Ambas utilizam um gás ideal para produzir trabalho. A primeira máquina (1) opera de forma quasiestática e reversível, enquanto a segunda máquina (2) não. Como se comparam as eficiências das máquinas 1 e 2, respectivamente η_1 e η_2 ?

- A) $\eta_1 = \eta_2$
- B) $\eta_1 > \eta_2$
- C) $\eta_1 < \eta_2$
- D) $\eta_1 = \eta_2 + 1$
- E) $\eta_2 = \eta_1 + 1$
- F) Nenhuma das outras respostas está correta.

Exercício 5. [2 valores] Conhecendo a equação de estado de um material e a sua capacidade calorífica a volume constante $C_v(T, V_0)$, é possível conhecer a capacidade calorífica para um volume V_1 ?

- A) Não, é preciso conhecer também a variação de entropia com a temperatura $(\partial c_V / \partial V)_T = (1/T) * (\partial S / \partial T)$
- B) Não, é preciso conhecer também a variação da energia interna com o volume.
- C) Sim, porque C_V não depende do volume.
- D) Sim, através da expressão $(\partial C_v / \partial V)_T = T(\partial^2 p / \partial T^2)_V$
- E) Não, é preciso conhecer a variação da energia interna e da entropia com o volume.
- F) Nenhuma das outras respostas está correta.