

## Termoestatística

### 1a lista de exercícios: revisão de Termodinâmica

#### Pressão

1. Analise as pressões nas situações abaixo, explicando claramente seu raciocínio:
  - a. Mergulhadores da Bacia de Campos podem ir até 300 metros de profundidade. Qual a pressão da água nesta profundidade? Se um bloco de ferro, de base de  $100\text{cm}^2$  exercesse a mesma pressão sobre o chão, qual seria seu peso? E sua altura?
  - b. Na sala de 2 metros de altura, qual a variação da pressão entre o chão e o teto?
  - c. Um tonel vazio, de 1000 litros, de um metro quadrado de base, está tampado. Qual é a pressão do ar nas paredes do tambor? E no fundo do tambor? E na parte interna da tampa? Qual é a explicação para estas pressões?

#### Temperatura

2. Compare a propriedade termométrica e a imagem microscópica de um gás ideal e do etanol.
  - a. Utilize os dados abaixo para o etanol e a equação de estado dos gases para desenhar gráficos de volume x temperatura para as duas substâncias (considere o gás a pressão atmosférica). Nessa faixa de temperatura o etanol constitui uma boa substância termométrica? E o gás ideal?

| Temp.<br>(°C) | Density<br>( $\times 1000 \text{ Kg/m}^3$ ) |
|---------------|---------------------------------------------|
| 0             | 0.806                                       |
| 20            | 0.789                                       |
| 40            | 0.772                                       |
| 60            | 0.754                                       |

- b. Um litro de etanol ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ) e um litro de gás ideal encontram-se à mesma temperatura ambiente. Do ponto de vista molecular, qual é a diferença entre os dois? Utilize a densidade do etanol a  $20^\circ\text{C}$  para obter a distância intermolecular e compare com a distância intermolecular do gás ideal.

#### Calor específico

3. Discuta o significado físico da grandeza calor específico, definida matematicamente como calor/(variação de temperatura) por quantidade de massa.

a. Suponha que temos uma fonte de calor uniforme (como a chama bem regulada do fogão, sem vento). Considerando a tabela abaixo, qual a diferença de tempo para aquecer uma grama de Hélio (He) e uma grama de Nitrogênio (N<sub>2</sub>)?

b. Analise agora os números da tabela: você saberia explicar a relação entre os dados da 3ª e da 4ª colunas?

c. Ainda sobre a tabela (examine-a novamente): que diferença física importante existe em utilizarmos o calor específico por mol, em vez do calor específico por grama? Que diferenças importantes existem entre os quatro gases? E semelhanças?

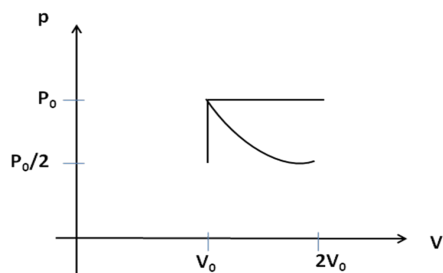
|                                   | <b>Numero de massa do átomo (H, He, N, Ne)</b> | <b>Calor específico por grama (Joule/gramax K)</b> | <b>Calor específico por mol (Joule/molxK)</b> |
|-----------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| <b>Hidrogênio (H<sub>2</sub>)</b> | 1                                              | 14,3                                               | 28,6                                          |
| <b>Helio (He)</b>                 | 4                                              | 5,2                                                | 20,8                                          |
| <b>Nitrogenio (N<sub>2</sub>)</b> | 14                                             | 1,0                                                | 28,0                                          |
| <b>Neonio (Ne)</b>                | 20,2                                           | 1,0                                                | 20,2                                          |

d. Mostre, utilizando a “1ª lei da termodinâmica” para gases, que podemos escrever o calor específico molar a volume constante como  $c_v = (1/n)(dU/dT)_v$

e. Utilizando a “1ª lei da Termodinâmica” para gases ideais, obtenha a relação entre  $c_v$  e  $c_p$ , respectivamente o calor específico molar a volume constante e o calor específico molar a pressão constante. Dado que a energia interna de um gás ideal monoatômico é dada por  $U = 3nRT/2$ , obtenha  $c_v$  e  $c_p$ . Qual dos dois,  $c_v$  ou  $c_p$ , está representado na tabela, para o gás Hélio?

### **Energia interna, calor e trabalho para um gás ideal. Teoria cinética.**

4. Considere os processos para um gás ideal monoatômico representados no diagrama p-V.



a. Preencha a tabela abaixo, com “aumenta”, “diminui”, “igual”:

|                               | <b>V</b> | <b>T</b> | <b>P</b> | <b>Intensidade do impacto do choque na parede</b> | <b>Frequência de choques na parede</b> |
|-------------------------------|----------|----------|----------|---------------------------------------------------|----------------------------------------|
| <b>Processo a V constante</b> |          |          |          |                                                   |                                        |
| <b>Processo a p constante</b> |          |          |          |                                                   |                                        |
| <b>Processo a T constante</b> |          |          |          |                                                   |                                        |

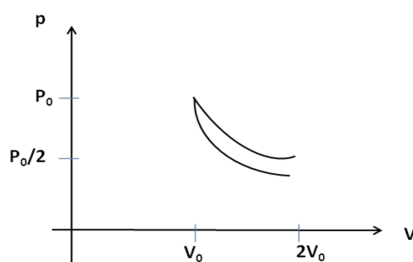
Explique o raciocínio que você usou para preencher a 5ª e a 6ª colunas.

b. Obtenha expressões para cada uma das grandezas da tabela. Explique.

|                               | <b>Variação da energia interna do gás</b> | <b>Trabalho</b> | <b>Calor</b> | <b>Energia cinética média de uma molécula</b> |
|-------------------------------|-------------------------------------------|-----------------|--------------|-----------------------------------------------|
| <b>Processo a V constante</b> |                                           |                 |              |                                               |
| <b>Processo a p constante</b> |                                           |                 |              |                                               |
| <b>Processo a T constante</b> |                                           |                 |              |                                               |

## Entropia e gás ideal

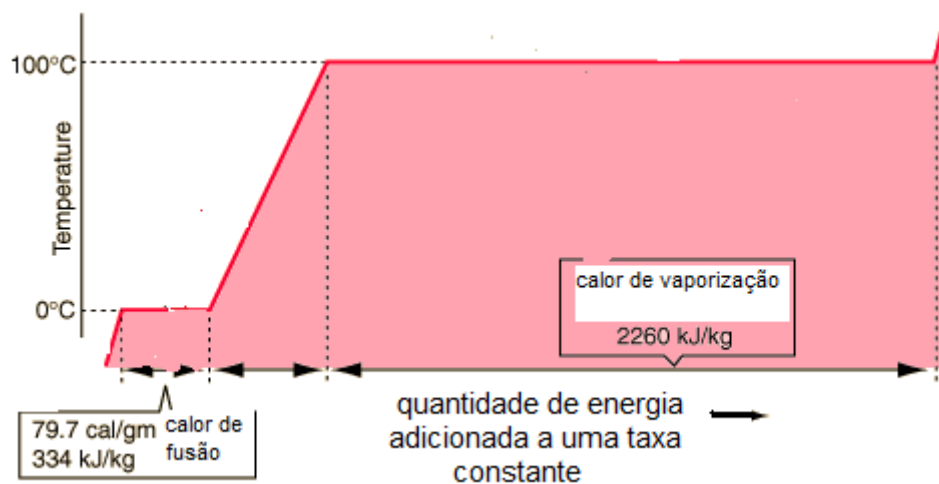
5. A entropia de um sistema é definida matematicamente, para um processo reversível, como  $dS=dQ/T$ .
- Obtenha a variação de entropia de um gás ideal a partir desta definição.
  - Como você interpreta microscopicamente a variação de entropia devido à variação de volume? E a variação de entropia devido à variação de temperatura?
  - Considere os processos adiabático e isotérmico descritos no diagrama p-V abaixo. Discuta qual dos dois leva à maior variação de entropia? Explique.



6. Considere o ciclo de Carnot, constituído de duas isotermas e duas adiabáticas, entre as temperaturas  $T_q$  e  $T_f$ .
- Desenhe o ciclo no diagrama p-V. Se é dado que os volumes na expansão a temperatura alta são  $V_1$  e  $V_2$ , obtenha os volumes  $V_3$  e  $V_4$ , a partir de  $T_q$ ,  $T_f$ ,  $V_1$  e  $V_2$ . Coloque as temperaturas e volumes dos estados 1 a 4 numa tabela.
  - Descreva qualitativamente a variação de entropia nos 4 processos: 1-2, 2-3, 3-4, e 4-1.
  - Agora desenhe um gráfico de entropia X temperatura, para o ciclo de Carnot. Identifique as 4 etapas do ciclo neste diagrama.

## Entropia e transição de fase

7. O gráfico abaixo representa a temperatura de uma quantidade de água, no aquecimento e em transições de fase, em função da energia fornecida.



- Identifique no gráfico as fases da água nos intervalos de temperatura correspondentes, as regiões de transição de fases e as regiões de aquecimento.
- Calcule a variação da entropia na fusão e na vaporização a partir dos dados da figura.
- Adotando para a água o calor específico por massa a pressão constante de  $1 \text{ cal/grama} \cdot ^\circ\text{C}$ , calcule a variação da entropia no aquecimento da água de  $0^\circ\text{C}$  a  $100^\circ\text{C}$ .
- Desenhe um gráfico da entropia da água em função da temperatura a partir dos dados obtidos nos itens b) e c).

### Entropia e 2ª lei da Termodinâmica

- Um gás ideal monoatômico ocupa dois compartimentos de mesmo volume (E e D), com uma parede interna (entre os dois compartimentos) fixa que permite a troca de calor. No volume à esquerda (E), encontram-se dois mols de gás. No volume à direita (D), temos um mol de gás.
  - O que acontece com a parede interna, se soltarmos o pino que mantém ela fixa?
  - Que sinal você espera para a variação de entropia do sistema E? e do sistema D? e do sistema E+D? Explique.
  - Obtenha uma expressão para a variação de entropia do sistema E. Repita para o sistema D. Analise se sua resposta para o item anterior está coerente com os resultados obtidos neste item.
  - Discuta brevemente a relação deste processo com a lei física para a irreversibilidade dos processos reais (2ª lei da termodinâmica).