



Décima Primeira Lista de Exercícios Programados de ICF2 (EP11 – ICF2)

QUESTÕES

Antes apresentarmos os problemas dos EP11, vamos destacar algumas informações que estão inseridas no Módulo 5. O objetivo é enfatizar a diferença entre troca de calor à volume constante e a troca à pressão constante. Essa diferença nos leva distinção entre a capacidade calorífica à volume constante e aquela à pressão constante. Estamos nos referindo a um sistema termodinâmico que interage termicamente com o meio exterior.

Quando a troca de calor se der a volume constante, representaremos-la por Q_V . Caso a troca aconteça à pressão constante, a notação será Q_p .

Sabemos que nos processos isovolumétricos não há realização de trabalho macroscópico W_{ext} porque não há deslocamento das fronteiras do sistema. Nos processos isobáricos, o trabalho W_{ext} é dado pelo produto da pressão pela variação do volume do sistema quando este sai do estado inicial i para o estado final f : $W_{ext} = p\Delta V = p(V_f - V_i)$. Ambos estados i e f estão em equilíbrio termodinâmico e as pressões desses estados são iguais à pressão externa.

Aplicando o Princípio da Conservação da Energia para os processos isovolumétrico e isobárico, temos:

Isovolumétrico: $Q_V = \Delta U = U_f - U_i$ ($Q_V \equiv$ calor trocado à volume constante)

Isobárico : $Q_p = \Delta U - W_{ext} = U_f - U_i - p(V_f - V_i)$ ($Q_p \equiv$ calor trocado à pressão constante)

Vemos, assim, que o calor trocado nas transformações isovolumétricas e isobáricas só depende dos estados final e inicial do sistema.

Quando o calor trocado numa transformação só depende dos estados final e inicial do sistema, podemos introduzir o conceito de capacidade calorífica C . A capacidade calorífica C de um sistema é a constante de proporcionalidade entre a quantidade de calor Q e a variação de temperatura ΔT que esta quantidade de calor produz no sistema: $Q = C\Delta T \Rightarrow C = Q / \Delta T$. **A capacidade calorífica é uma propriedade de cada substância!**

Dois corpos feitos da mesma substância têm capacidades caloríficas proporcionais às suas massas. Assim, define-se calor específico c de um corpo como sendo a capacidade calorífica por unidade de massa desse corpo: $c \equiv C / m$.

Existem situações onde a unidade mais conveniente para especificar a quantidade de substância no corpo é o mol. Nesse caso, o calor específico a ser definido é o molar: $c \equiv C / n$, onde n é o número de moles.

Quando associamos uma capacidade calorífica a qualquer substância, é importante saber não somente quanto calor é absorvido, mas também as condições sob as quais a transferência se faz. Uma transferência de calor feita à pressão constante (Q_p) para certa substância de massa m (ou número de moles n) origina uma variação de temperatura ΔT diferente quando comparada com a mesma transferência de calor feita à volume constante (Q_V) para a mesma massa m (ou número de

moles n) da substância. Então, para uma mesma massa m (ou número de moles n) e uma mesma quantidade de calor Q transferida, existe diferença entre os valores das capacidades caloríficas quando a transferência se dá à pressão constante ($Q_p = C_p \Delta T$) ou a volume constante ($Q_V = C_V \Delta T$): $C_p \neq C_V$. A diferença no valor da capacidade calorífica mais é acentuada para os gases.

À título de informação, pois será visto numa outra física mais adiante, a relação entre os calores específicos molares à pressão constante c_p e à volume constante c_V para um gás ideal é: $c_p = R + c_V$.

Vamos, agora, aos problemas.

QUESTÃO I – O gás nitrogênio no interior de um recipiente com uma das paredes móvel (por exemplo: um êmbolo) é aquecido de $10,0^\circ\text{C}$ até $50,0^\circ\text{C}$, mantendo-se a pressão constante e igual a $3,00 \times 10^5 \text{ Pa}$ (Pascal). O calor total recebido pelo gás é igual a $2,50 \times 10^4 \text{ J}$. Suponha que o nitrogênio possa ser tratado como um gás ideal.

Outros dados: a constante R dos gases, o calor específico molar à pressão constante do nitrogênio c_p e o calor específico molar à volume constante do nitrogênio c_V .

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N} / \text{m}^2$$

$$1 \text{ cm}^3 = 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$R = 8,31 \text{ J/mol K}$$

$$c_p = 29,1 \text{ J/mol K}$$

$$c_V = 20,8 \text{ J/mol K}$$

- Calcule o número de moles do gás.
- Calcule o trabalho realizado no processo e diga quem realizou esse trabalho.
- De quanto variou a energia interna do gás?
- Qual seria o calor recebido pelo gás para a mesma variação de temperatura caso o volume permanecesse constante? E a variação da energia interna?
- Faça um desenho no diagrama p versus V ilustrando cada um desses processos.

QUESTÃO II – Um grama de água (volume = 1 cm^3) se transforma em 1671 cm^3 de vapor quando ocorre o processo de ebulição a uma pressão constante de 1 atm ($1 \text{ atm} = 1,013 \times 10^5 \text{ Pa}$). O calor de vaporização para esta pressão é dado por $L = 2,256 \times 10^6 \text{ J/kg}$.

- Calcule o trabalho realizado pela água quando ela se transforma em vapor.
- Quanto calor precisa ser adicionado ao sistema durante o processo?
- Qual a variação da energia interna do sistema durante o processo ebulição?

QUESTÃO III – Durante um processo (Processo A) que leva um sistema do estado i ao estado f , o sistema absorve $16 \times 10^3 \text{ J}$ de calor e realiza $12 \times 10^3 \text{ J}$ de trabalho. Durante o processo de volta (Processo B), que leva o sistema de volta de f a i , o sistema rejeita $18 \times 10^3 \text{ J}$ de calor. Qual o trabalho realizado pelo sistema durante o processo de volta?