



TERMODINÂMICA APLICADA

Prof. Antonio Carlos da Silva

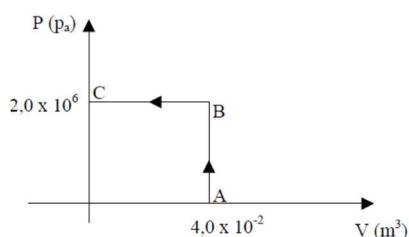
EXERCÍCIOS – SÉRIE 1

Reposição para o período de suspensão de aulas devido à pandemia de COVID 19

PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA

(exercícios referentes às duas primeiras aulas)

1- A interação das moléculas de um gás com o recipiente que o contém determina as transformações que o sistema pode sofrer. Levando em conta as variáveis de um gás perfeito num sistema termodinâmico – pressão, volume, temperatura (ou energia interna) e calor – podem-se considerar quatro transformações: isobárica, isotérmica, isométrica e adiabática. O gráfico abaixo representa a transformação de um sistema termodinâmico constituído por uma amostra de 2,0 mols de um gás monoatômico ideal.



De acordo com as leis da termodinâmica, calcule o trabalho realizado sobre o gás.

2- 20 litros de gás hidrogênio contido num recipiente de aço a 27 °C e à pressão de 50 atm é expandido reversivelmente sem variação de temperatura até um volume final de 100 litros. Calcular:

- Qual a quantidade de calor envolvida nesta expansão?
- Qual a pressão do gás no final da expansão?
- Qual o trabalho realizado durante a expansão?

3- Uma amostra de 4,5 g de metano ocupa o volume de 12,7 L a 310 K.

- Calcule o trabalho realizado quando este gás se expande isotermicamente contra uma pressão externa constante de 200 Torr até o seu volume aumentar 3,3 L.
- Calcule o trabalho se a expansão fosse realizada reversivelmente à temperatura constante.

4- A capacidade calorífica molar, à pressão constante, de um gás perfeito varia com a temperatura de acordo com a seguinte expressão:

$$C_{p,m} = 20,17 + 0,4001T \text{ (J/mol.K)}$$

Calcular a quantidade de calor, o trabalho, a energia interna e a variação de entalpia quando um mol do gás é aquecido de 0 °C (273 K) até 100 °C (373 K):

- à pressão constante.
- à volume constante.

5- Um gás ideal, $C_{v,m} = 5R/2$, é expandido adiabaticamente contra uma pressão constante de 1 atm até que seu volume seja o dobro. Se a temperatura inicial é 25 °C e a pressão inicial 5 atm, calcule a temperatura final, a quantidade de calor, o trabalho, a variação da energia interna e a variação de entalpia por mol de gás para a transformação.

EFEITOS TÉRMICOS

(exercícios referentes às aulas 3 e 4)

1- Com os dados da Tabela dada (final do arquivo), calcule os valores de ΔH_{298}^0 para as reações:

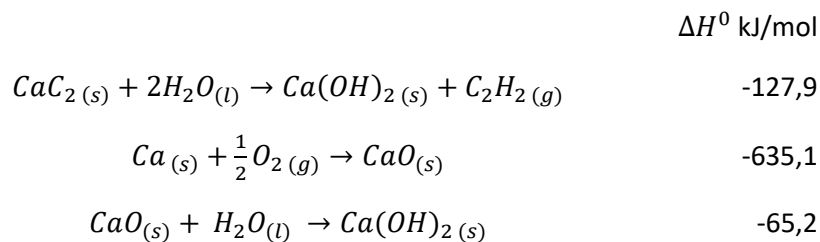
- $2\text{O}_3(\text{g}) \rightarrow 3\text{O}_2(\text{g})$.
- $\text{H}_2\text{S}(\text{g}) + \frac{3}{2}\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + \text{SO}_2(\text{g})$.
- $\text{TiO}_2(\text{s}) + 2\text{Cl}_2(\text{g}) \rightarrow \text{TiCl}_4(\text{l}) + \text{O}_2(\text{g})$.
- $\text{C}(\text{grafita}) + \text{CO}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{CO}(\text{g})$.
- $\text{CO}(\text{g}) + 2\text{H}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CH}_3\text{OH}(\text{l})$.
- $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s}) + 2\text{Al}(\text{s}) \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3(\text{s}) + 2\text{Fe}(\text{s})$.
- $\text{NaOH}(\text{s}) + \text{HCl}(\text{g}) \rightarrow \text{NaCl}(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$.
- $\text{CaC}_2(\text{s}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2(\text{s}) + \text{C}_2\text{H}_2(\text{g})$.
- $\text{CaCO}_3(\text{s}) \rightarrow \text{CaO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$.

2- A 25°C e 1 atm de pressão tem-se os dados:

| Substância | H ₂ (g) | C (grafita) | C ₆ H ₆ (l) | C ₂ H ₂ (g) |
|--|--------------------|-------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| $\Delta H_{\text{combustão}}^0$ (kJ/mol) | -285,83 | -393,51 | -3267,62 | -1299,58 |

- Calcule o ΔH^0 de formação do benzeno líquido.
- Calcule o ΔH^0 da reação: $3\text{C}_2\text{H}_2(\text{g}) \rightarrow \text{C}_6\text{H}_6(\text{l})$

3- Para as seguintes reações a 25°C:



O calor de combustão da grafita é -393,51 kJ/mol e o do $C_2H_2(g)$ é -1299,58 kJ/mol. Calcule o calor de formação $CaC_2(s)$ a 25°C.

4- Uma amostra de sacarose, $C_{12}H_{22}O_{11}$ pesando 0,1265 g é queimada em uma bomba calorimétrica. Após a reação ter sido completada, determinou-se que, para produzir eletricamente o mesmo incremento de temperatura, foram gastos 2082,3 Joules.

- Calcule o calor de combustão da sacarose.
- A partir do calor de combustão e dos dados da Tabela dada (final do arquivo), calcule o calor de formação da sacarose.

5- Queimando-se completamente 3,0539 g de álcool etílico líquido, C_2H_5OH , a 25°C numa bomba calorimétrica, o calor liberado é igual a 90,447 kJ.

- Calcule o ΔH^0 molar da combustão do álcool etílico a 25°C.
- Se o ΔH^0 de formação do $CO_2(g)$ e do $H_2O(l)$ são iguais a -393,51 kJ/mol e -285,83 kJ/mol, respectivamente, calcule o ΔH^0 de formação do álcool etílico.

Tabela - Propriedades Termodinâmicas a 298,15 K

(Fonte: Castellan, Gilbert William; Fundamentos de Físico-Química (Sistema SI); 1ª Ed., 2008.)

Tab. AV.1

| Substância | $\Delta H_f^\circ/\text{kJ mol}^{-1}$ | $\Delta G_f^\circ/\text{kJ mol}^{-1}$ | $S^\circ/\text{J K}^{-1} \text{mol}^{-1}$ | $C_p^\circ/\text{J K}^{-1} \text{mol}^{-1}$ |
|------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---|---|
| O(g) | 249,17 | 231,75 | 160,946 | 21,91 |
| O ₂ (g) | 0 | 0 | 205,037 | 29,35 |
| O ₃ (g) | 142,7 | 163,2 | 238,82 | 39,20 |
| H(g) | 217,997 | 203,26 | 114,604 | 20,786 |
| H ₂ (g) | 0 | 0 | 130,570 | 28,82 |
| OH(g) | 38,95 | 34,23 | 183,64 | 29,89 |
| H ₂ O(l) | -285,830 | -237,178 | 69,950 | 75,291 |
| H ₂ O(g) | -241,814 | -228,589 | 188,724 | 33,577 |
| H ₂ O ₂ (l) | -187,78 | -120,42 | 109,6 | 89,1 |
| F(g) | 79,39 | 61,92 | 158,640 | 22,74 |
| F ₂ (g) | 0 | 0 | 202,685 | 31,30 |
| HF(g) | -273,30 | -275,40 | 173,665 | 29,13 |
| Cl(g) | 121,302 | 105,70 | 165,076 | 21,84 |
| Cl ₂ (g) | 0 | 0 | 222,965 | 33,91 |
| HCl(g) | -92,31 | -95,299 | 186,786 | 29,1 |
| Br(g) | 111,86 | 82,429 | 174,904 | 20,79 |
| Br ₂ (l) | 0 | 0 | 152,210 | 75,69 |
| Br ₂ (g) | 30,91 | 3,14 | 245,350 | 36,02 |
| HBr(g) | -36,38 | -53,43 | 198,585 | 29,14 |
| I(g) | 106,762 | 70,28 | 180,673 | 20,79 |
| I ₂ (c) | 0 | 0 | 116,139 | 54,44 |
| I ₂ (g) | 62,421 | 19,36 | 260,567 | 36,9 |
| HI(g) | 26,36 | 1,72 | 206,480 | 29,16 |
| S(c, rômboico) | 0 | 0 | 32,054 | 22,6 |
| S(c, monoclinico) | 0,33 | | | |
| S(g) | 276,98 | 238,27 | 167,715 | 23,67 |
| SO ₂ (g) | -296,81 | -300,19 | 248,11 | 39,9 |
| SO ₃ (g) | -395,7 | -371,1 | 256,6 | 50,7 |
| H ₂ S(g) | -20,6 | -33,6 | 205,7 | 34,2 |
| H ₂ SO ₄ (l) | -813,99 | -690,10 | 156,90 | 138,9 |
| N(g) | 472,68 | 455,57 | 153,189 | 20,79 |
| N ₂ (g) | 0 | 0 | 191,502 | 29,12 |
| NO(g) | 90,25 | 86,57 | 210,65 | 29,84 |
| NO ₂ (g) | 33,18 | 51,30 | 240,0 | 37,2 |
| N ₂ O(g) | 82,0 | 104,2 | 219,7 | 38,45 |
| N ₂ O ₃ (g) | 83,7 | 139,4 | 312,2 | 65,6 |
| N ₂ O ₄ (g) | 9,16 | 97,8 | 304,2 | 77,3 |

Tab. A.V.1 (Continuação)

| Substância | $\Delta H_f^\circ/\text{kJ mol}^{-1}$ | $\Delta G_f^\circ/\text{kJ mol}^{-1}$ | $S^\circ/\text{J K}^{-1} \text{mol}^{-1}$ | $C_p^\circ/\text{J K}^{-1} \text{mol}^{-1}$ |
|--|---------------------------------------|---------------------------------------|---|---|
| $\text{N}_2\text{O}_5(\text{g})$ | 11 | 115 | 356 | 85 |
| $\text{NH}_3(\text{g})$ | -45,94 | -16,5 | 192,67 | 35,1 |
| $\text{HNO}_3(\text{l})$ | -174,1 | -80,8 | 155,6 | 109,9 |
| $\text{NOCl}(\text{g})$ | 51,7 | 66,1 | 261,6 | 44,69 |
| $\text{NH}_4\text{Cl}(\text{c})$ | -314,4 | -203,0 | 94,6 | 84,1 |
| $\text{P}(\text{g})$ | 316,5 | 278,3 | 163,085 | 20,79 |
| $\text{P}_2(\text{g})$ | 144,0 | 104 | 218,01 | 32,0 |
| $\text{P}_4(\text{c}, \alpha, \text{branco})$ | 0 | 0 | 164,4 | 95,36 |
| $\text{P}_4(\text{g})$ | -58,9 | 24,5 | 279,9 | 67,15 |
| $\text{PCl}_3(\text{g})$ | -287 | -268 | 311,7 | 71,8 |
| $\text{PCl}_5(\text{g})$ | -375 | -305 | 364,5 | 112,8 |
| $\text{C}(\text{c}, \text{grafita})$ | 0 | 0 | 5,74 | 8,53 |
| $\text{C}(\text{c}, \text{diamante})$ | 1,897 | 2,900 | 2,38 | 6,12 |
| $\text{C}(\text{g})$ | 716,67 | 671,29 | 157,988 | 20,84 |
| $\text{CO}(\text{g})$ | -110,53 | -137,15 | 197,556 | 29,12 |
| $\text{CO}_2(\text{g})$ | -393,51 | -394,36 | 213,677 | 37,11 |
| $\text{CH}_4(\text{g})$ | -74,8 | -50,8 | 186,15 | 35,31 |
| $\text{HCHO}(\text{g})$ | -117 | -113 | 218,7 | 35,4 |
| $\text{CH}_3\text{OH}(\text{l})$ | -238,7 | -166,4 | 127 | 82 |
| $\text{C}_2\text{H}_2(\text{g})$ | 226,7 | 209,2 | 200,8 | 43,9 |
| $\text{C}_2\text{H}_4(\text{g})$ | 52,3 | 68,1 | 219,5 | 43,6 |
| $\text{C}_2\text{H}_6(\text{g})$ | -84,7 | -32,9 | 229,5 | 52,6 |
| $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{l})$ | -485 | -390 | 160 | 124 |
| $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{l})$ | -277,7 | -174,9 | 161 | 111,5 |
| $\text{C}_6\text{H}_6(\text{g})$ | 82,93 | 129,66 | 26,92 | 85,29 |
| $\text{Si}(\text{c})$ | 0 | 0 | 18,81 | 20 |
| $\text{Si}(\text{g})$ | 450 | 411 | 167,870 | 22,25 |
| $\text{SiO}_2(\text{c}, \alpha\text{-quartzo})$ | -910,7 | -856,7 | 41,46 | 44,4 |
| $\text{SiH}_4(\text{g})$ | 34 | 37 | 204,5 | 46,8 |
| $\text{SiF}_4(\text{g})$ | -1614,95 | -1572,7 | 282,65 | 73,6 |
| $\text{Pb}(\text{c})$ | 0 | 0 | 64,80 | 26,4 |
| $\text{PbO}(\text{c}, \text{vermelho})$ | -219,0 | -188,9 | 66,5 | 45,8 |
| $\text{PbO}_2(\text{c})$ | -277 | -217,4 | 68,6 | 64,6 |
| $\text{PbS}(\text{c})$ | -100 | -99 | 91 | 49,5 |
| $\text{PbSO}_4(\text{c})$ | -919,94 | -813,2 | 148,49 | 103,21 |
| $\text{Al}(\text{c})$ | 0 | 0 | 28,35 | 24,4 |
| $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{c}, \alpha\text{-cor indon})$ | -1675,7 | -1582 | 50,92 | 79,0 |
| $\text{Zn}(\text{c})$ | 0 | 0 | 41,63 | 25,4 |
| $\text{Zn}(\text{g})$ | 130,42 | 95,18 | 160,875 | 20,79 |
| $\text{ZnO}(\text{c})$ | -350,46 | -318,3 | 43,64 | 40,3 |
| $\text{Hg}(\text{l})$ | 0 | 0 | 75,90 | 27,36 |
| $\text{Hg}(\text{g})$ | 61,38 | 31,85 | 174,860 | 20,79 |
| $\text{HgO}(\text{c}, \text{vermelho})$ | -90,8 | -58,56 | 70,3 | 44,1 |
| $\text{Cu}(\text{c})$ | 0 | 0 | 33,15 | 24,43 |
| $\text{CuO}(\text{c})$ | -157 | -130 | 42,6 | 42,3 |
| $\text{Cu}_2\text{O}(\text{c})$ | -169 | -146 | 93,1 | 63,6 |
| $\text{Ag}(\text{c})$ | 0 | 0 | 42,55 | 25,35 |
| $\text{Ag}_2\text{O}(\text{c})$ | -31,0 | -11,2 | 121 | 65,9 |

Tab. AV.1 (Continuação)

| Substância | $\Delta H_f^\circ/\text{kJ mol}^{-1}$ | $\Delta G_f^\circ/\text{kJ mol}^{-1}$ | $S^\circ/\text{J K}^{-1} \text{mol}^{-1}$ | $C_p^\circ/\text{J K}^{-1} \text{mol}^{-1}$ |
|--|---------------------------------------|---------------------------------------|---|---|
| AgCl(c) | -127,070 | -109,80 | 96,23 | 50,8 |
| Ag ₂ S(c, α) | -32,6 | -40,7 | 144,0 | 76,5 |
| Fe(c, α) | 0 | 0 | 27,3 | 25,1 |
| Fe _{0,947} O(c, wustita) | -266,3 | -245,1 | 57,5 | 48,1 |
| Fe ₂ O ₃ (c, hematita) | -824,2 | -742,2 | 87,4 | 103,8 |
| Fe ₃ O ₄ (c, magnetita) | -1118 | -1015 | 146 | 143,4 |
| FeS(c, α) | -100 | -100,4 | 60,3 | 50,5 |
| FeS ₂ (c, pirita) | -178 | -167 | 52,9 | 62,2 |
| Ti(c) | 0 | 0 | 30,6 | 25,0 |
| TiO ₂ (c, rutílio) | -945 | -890 | 50,3 | 55,0 |
| TiCl ₄ (l) | -803 | -737 | 252,3 | 145,2 |
| Mg(c) | 0 | 0 | 32,68 | 24,9 |
| MgO(c) | -601,5 | -569,4 | 26,95 | 37,2 |
| MgCO ₃ (c) | -1096 | -1012 | 66 | 75,5 |
| Ca(c) | 0 | 0 | 41,6 | 25,3 |
| CaO(c) | -635,09 | -604,0 | 38,1 | 42,8 |
| Ca(OH) ₂ (c) | -986,1 | -898,6 | 83,4 | 87,5 |
| CaC ₂ (c) | -60 | -65 | 70,0 | 62,7 |
| CaCO ₃ (c, calcita) | -1206,9 | -1128,8 | 93 | 81,9 |
| SrO(c) | -592 | -562 | 54 | 45,0 |
| SrCO ₃ (c) | -1220 | -1140 | 97 | 81,4 |
| BaO(c) | -554 | -525 | 70,4 | 47,8 |
| BaCO ₃ (c) | -1216 | -1138 | 112 | 85,4 |
| Na ₂ O(c) | -414,2 | -375,5 | 75,1 | 69,1 |
| NaOH(c) | -425,61 | -379,53 | 64,45 | 59,5 |
| NaF(c) | -573,65 | -543,51 | 51,5 | 46,9 |
| NaCl(c) | -411,15 | -384,15 | 72,1 | 50,5 |
| NaBr(c) | -361,06 | -348,98 | 86,8 | 51,4 |
| NaI(c) | -287,8 | -286,1 | 98,5 | 52,1 |
| Na ₂ SO ₄ (c) | -1387,1 | -1270,2 | 149,6 | 128,2 |
| Na ₂ SO ₄ · 10H ₂ O | -4327,3 | -3647,4 | 592 | |
| NaNO ₃ (c) | -467,9 | -367,1 | 116,5 | 92,9 |
| KF(c) | -567,3 | -537,8 | 66,6 | 49,0 |
| KCl(c) | -436,75 | -409,2 | 82,6 | 51,3 |
| KClO ₃ (c) | -397,7 | -296,3 | 143 | 100,2 |
| KClO ₄ (c) | -432,8 | -303,2 | 151 | 112,4 |
| KBr(c) | -393,80 | -380,7 | 95,9 | 52,3 |
| KI(c) | -327,90 | -324,89 | 106,3 | 52,9 |

g: gás; l: líquido; c: cristal.

Os valores na Tab. AV.1 foram calculados a partir dos dados de D. D. Wagman, W. H. Evans, V. B. Parker, I. Halow, S. M. Bailey e R. H. Schumm, *Selected Values of Chemical Thermodynamic Properties*, NBS Technical Notes 270-3, 4, 5, 6, 7 e 8.