



Lista - Equilíbrio

Luiz Claudio





1 Problemas

Problema 1. Considere uma reação endotérmica em equilíbrio, considere que ΔH e ΔS não se alteram com aumento da temperatura.



Diga se o equilíbrio se alterará e, se sim, para qual direção ele irá após as seguintes alterações no sistema:

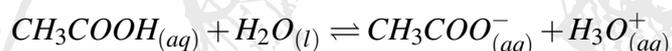
- Adição de mais reagente
- Aumento da temperatura
- Adição de catalisador
- Diminuição da pressão
- Diminuição do volume
- Adição de mais produtos
- Adição de gás inerte

Problema 2. Julgue as seguintes afirmações como sendo verdadeiras ou falsas;

I) O equilíbrio químico é um processo dinâmico, no qual, a partir de um estado inicial, as reações de ida e volta ocorrem dinamicamente até chegarem no ponto de equilíbrio, no qual ambas reações param de acontecer

II) Quando o coeficiente reacional de um equilíbrio é maior que a constante de equilíbrio a reação ocorre em direção aos reagentes

III) Na reação desprotonação do ácido acético;



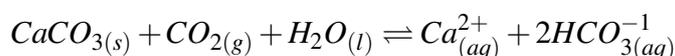
A água não participa da fórmula da constante de equilíbrio

IV) Quando um sistema em equilíbrio sofre uma perturbação, ele tende a se reorganizar de modo a aumentar ao máximo o efeito da perturbação, assim aumentando a entropia total do sistema

V) Se o ΔG da reação é maior que 0, então o quociente reacional é maior que a constante de equilíbrio

- V F V F F
- F V V F V
- F F V V V
- V V F V F
- F V V V V

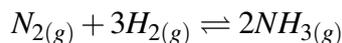
Problema 3. Considere a seguinte reação;



Prestando atenção aos estados de agregação e aos coeficientes de cada composto, dê a fórmula do K , do K_p e do K_c .



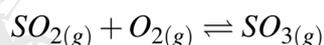
Problema 4. Conhecendo o seguinte equilíbrio entre a amônia, o hidrogênio e o nitrogênio;



Sabendo que à 25°C a constante de equilíbrio da reação vale $6,8 \cdot 10^5$, assinale o valor do ΔG° dessa reação.

- a) -328,17 J
- b) -33,28 kJ
- c) -8,0 kJ
- d) 33,28 kJ
- e) 328,17 J

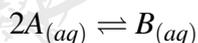
Problema 5. (Exemplo 5G.2 - Peter Atkins - 7ºed - adaptada) A chuva ácida é hoje um dos grandes problemas ambientais enfrentados pelos seres humanos. Um dos processos envolvidos nesse fenômeno é a oxidação de SO_2 para SO_3 . Esse processo é dado pela seguinte reação não balanceada;



Sabendo que em determinado momento o ΔG desse equilíbrio teve valor de $-81,97 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, calcule o valor do quociente reacional nesse instante, considerando a temperatura ambiente.

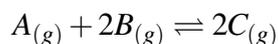
Dados: $\Delta G^\circ = -141,74 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Problema 6. Considerando os dois equilíbrios químicos;



Dê as fórmulas das constantes de equilíbrio de cada uma das reações, de suas reações inversas, e também a fórmula da constante de equilíbrio da reação formada pela soma das duas.

Problema 7. Considere que um equilíbrio homogêneo de gases tem um $K_p = 2,7 \cdot 10^{-5}$;



sabendo que tal reação ocorre sob temperatura constante de 300 K atm, assinale o valor de K_c desse equilíbrio.

- a) $3,24 \cdot 10^{-4}$
- b) $1,10 \cdot 10^{-6}$
- c) $3,24 \cdot 10^{-6}$
- d) $4,78 \cdot 10^{-5}$
- e) $6,64 \cdot 10^{-4}$

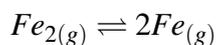


Problema 8. Um químico deseja se desafiar a dissolver o fluoreto de escândio III (ScF_3) em um copo de água de 100 ml. Sabendo que o valor da constante de equilíbrio da reação de diluição é $K_c = 5,81 \cdot 10^{-24}$ e que inicialmente ele tinha 1g desse sal, Assinale a massa de Fluoreto de Escândio III que será dissolvido, considerando que o volume não será alterado no decorrer da reação.

Dados: $M_{ScF_3} = 101,95 \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

- a) $1,55 \cdot 10^{-6} \text{g}$
- b) $2,79 \cdot 10^{-5} \text{g}$
- c) $6,94 \cdot 10^{-6} \text{g}$
- d) $1,18 \cdot 10^{-6} \text{g}$
- e) $4,51 \cdot 10^{-5} \text{g}$

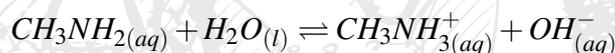
Problema 9. Considerando o seguinte equilíbrio;



Sabendo que inicialmente a pressão parcial de $Fe_{2(g)}$ é 5 atm, calcule qual será o valor das pressões parciais no equilíbrio.

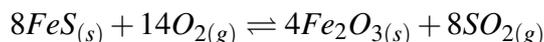
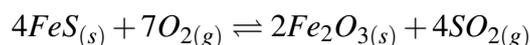
Dados: $K_{eq} = 1 \cdot 10^{-2}$

Problema 10. Considere que em um recipiente de 100 ml ocorre a reação de protonação da metilamina;



Sabendo que o valor da constante de equilíbrio é $4,4 \cdot 10^{-4}$, descubra qual será a concentração de cada um dos reagentes, com excessão da água, se inicialmente temos $4 \cdot 10^{-2}$ mol de metilamina. Agora, adicione mais $2 \cdot 10^{-2}$ mol de metilamina e calcule as novas concentrações.

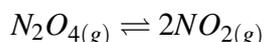
Problema 11. Considerando as seguinte reação de oxirredução entre o Sulfeto de Ferro (II);



Seja K_1 é a constante de equilíbrio da reação de cima e K_2 a constante de equilíbrio da reação de baixo, qual a relação entre as duas constantes?

- a) $K_2 = K_1^2$
- b) $K_2 = 2K_1$
- c) $K_2 = K_1^{-2}$
- d) $K_2 = \frac{1}{2}K_1$
- e) $K_2 = K_1$

Problema 12. O inverso da reação de dimerização do $NO_{2(g)}$ é dada por;

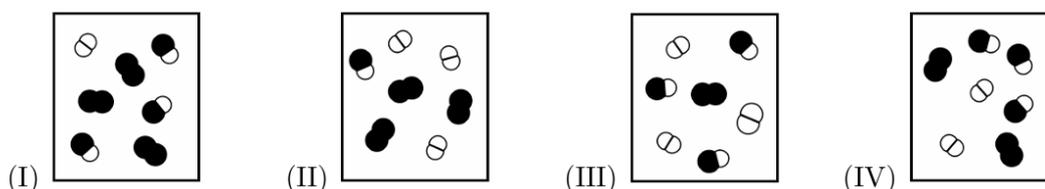


Sabendo que a constante de equilíbrio para essa reação a 25°C é 0,15 e que o $\Delta H^\circ = 57,2 \text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, calcule o valor da constante para 500 K.



Problema 13. (Questão 5J.18 - Peter Atkins - 7° ed) A vaporização de um líquido pode ser tratada como um caso especial de equilíbrio. Como a pressão de vapor de um líquido varia com a temperatura?

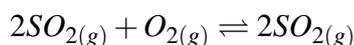
Problema 14. (Questão 60 - Vestibular ITA 2023 - fase 1) Os seguintes diagramas representam diferentes estados de equilíbrio de uma reação exotérmica do tipo $A_{2(g)} + B_{2(g)} \rightleftharpoons 2AB_{(g)}$



Assinale a opção que contém a afirmação CORRETA.

- Se a constante de equilíbrio da reação, K_c , em uma determinada temperatura, é igual a 3, apenas o diagrama (I) representa o sistema no equilíbrio.
- Os diagramas (II) e (IV) podem representar a situação da reação em equilíbrio em duas temperaturas diferentes, com $T_{II} > T_{IV}$.
- Se todos os diagramas representam a reação em equilíbrio, o diagrama (III) representa a reação com a menor constante de equilíbrio.
- Se a pressão for reduzida à metade pela duplicação do volume, em temperatura constante, os diagramas (II) e (III) representam a reação em equilíbrio para o estado inicial e final, respectivamente, desse processo, com $V_{II} = 2V_{III}$.
- Se cada símbolo que representa uma molécula nos diagramas equivale a 0,20 mol e se o volume do recipiente é 1,0 L, a constante de equilíbrio da reação representada pelo diagrama (I) é 0,5.

Problema 15. (Questão 31 - Vestibular IME - 2021/2022) Considere a seguinte reação em equilíbrio:



Dados:

- $R = 8,3 \text{ J} \cdot (\text{K} \cdot \text{mol})^{-1}$;
- $\ln 1,6 = 0,47$; e
- $\ln 10 = 2,3$.

Sabe-se que a constante de equilíbrio dessa reação é $4,0 \cdot 10^{24}$, a 27°C e $2,5 \cdot 10^{10}$, a 227°C . Qual a variação de entalpia padrão da reação, em $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, considerando que ela seja constante nessa faixa de temperatura?

- 8,3
- 8,3
- 74,1
- 203,0
- 0



2 Gabarito

Problema 1. a) analisando a fórmula da constante de equilíbrio: $K = \frac{P_C \cdot P_B^2}{P_A^2}$, ao adicionar mais reagente, haverá aumento da pressão parcial de A, o que resultará numa diminuição da constante de equilíbrio, que move a reação em **direção dos produtos**

b) Seja K_1 a constante de equilíbrio da reação sob uma temperatura T_1 e K_2 a constante de equilíbrio sob a temperatura T_2 , se T_1 é maior que T_2 , então:

$$\begin{aligned} T_1 &> T_2 \\ \Rightarrow \frac{1}{T_1} &< \frac{1}{T_2} \times \left(-\frac{\Delta H}{R}\right) \\ -\frac{\Delta H}{RT_1} &> -\frac{\Delta H}{RT_2} \left(+\frac{\Delta S}{R}\right) \\ -\frac{\Delta H}{RT_1} + \frac{\Delta S}{R} &> -\frac{\Delta H}{RT_2} + \frac{\Delta S}{R} \\ \Rightarrow \ln K_1 &> \ln K_2 \\ \Rightarrow K_1 &> K_2 \end{aligned}$$

Assim, a reação andarรก em **direção dos Produtos**

c) Adição de catalisador **não altera o equilíbrio**

d) Temos do item a) que: $K = \frac{P_C \cdot P_B^2}{P_A^2}$, Logo;

$$\begin{aligned} K &= \frac{P_{tot} \cdot x_C \cdot (P_{tot} \cdot x_B)^2}{(P_{tot} \cdot x_A)^2} = K_x \cdot P_{tot} \\ K &= K_x \cdot P_{tot} \end{aligned}$$

Assim, se diminui-se a pressão, diminui-se a constante de equilíbrio, ou seja, a reação vai em **direção dos Reagentes**

e) Utilizando a equação descoberta em d):

$$\begin{aligned} K &= K_x \cdot P_{tot} \\ K &= K_x \cdot \frac{nRT}{V_{tot}} \end{aligned}$$

Logo, a diminuição do volume causa um aumento no valor da constante, ou seja, a reação anda em **direção dos Produtos**

f) analisando a fórmula da constante de equilíbrio: $K = \frac{P_C \cdot P_B^2}{P_A^2}$, ao adicionar mais produtos, haverá aumento da pressão parcial de B e C, o que resultará num aumento da constante de equilíbrio, que move a reação em **direção dos reagentes**

g) Adição de gás inerte **não altera o equilíbrio**

Problema 2. b);

I) F, já que as reação de ida e de volta nunca param de acontecer, o que acontece no equilíbrio é a igualdade das velocidades de cada reação

II) V



III) V

IV) F, Após sofrer uma perturbação um sistema tende a se reorganizar de modo a minimizar o efeito da perturbação, para que seja alcançado novamente o equilíbrio

V) V

Problema 3. $K = \frac{[Ca^{2+}] \cdot [HCO_3^{1-}]^2}{P_{CO_2}}; K_p = \frac{1}{P_{CO_2}}; K_c = \frac{[Ca^{2+}] \cdot [HCO_3^{1-}]^2}{[CO_2]}$

Problema 4. b), Utilizando a seguinte expressão:

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K = -8,3145 \text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot (25 + 273) \text{K} \cdot \ln 6,8 \cdot 10^5 = -33,28 \text{kJ}$$

Problema 5. Utilizando a seguinte expressão:

$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln Q$$

Logo;

$$RT \ln Q = \Delta G - \Delta G^\circ = -81,97 \text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1} - (-141,74 \text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) = 59,77 \text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$\ln Q = \frac{59,77 \text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}}{8,3145 \text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot (25 + 273) \text{K}} = 24,12 \Rightarrow Q = 3 \cdot 10^{10}$$

Problema 6. Sendo K_1, K_2, K_3, K_4 e K_5 os valores das constantes das constantes de equilíbrio das reações de cima, de baixo, da inversa da de cima, da inversa da de baixo e da soma das duas, respectivamente. Logo;

$$K_1 = \frac{[B]}{[A]^2}$$

$$K_2 = \frac{[E]^3}{[C]^2 \cdot [D]}$$

$$K_3 = \frac{1}{K_1} = \frac{[A]^2}{[B]}$$

$$K_4 = \frac{1}{K_2} = \frac{[C]^2 \cdot [D]}{[E]^3}$$

$$K_5 = K_1 \cdot K_2 = \frac{[B] \cdot [E]^3}{[A]^2 \cdot [C]^2 \cdot [D]}$$

Problema 7. e), Inicialmente, calculando o K_p ;

$$K_p = \frac{P_C^2}{P_A \cdot P_B^2} = \frac{(P_{tot} \cdot x_C)^2}{P_{tot} \cdot x_A \cdot (P_{tot} \cdot x_B)^2} = \frac{x_C^2}{x_A \cdot x_B^2} \cdot P_{tot}^{-1}$$

Agora, divida os números de mols pelo volume total;

$$K_p = \frac{\left(\frac{n_C}{n_{tot}}\right)^2}{\frac{n_A}{n_{tot}} \cdot \left(\frac{n_B}{n_{tot}}\right)^2} \cdot P_{tot}^{-1} = \frac{(n_C)^2}{n_A \cdot (n_B)^2} \cdot \frac{n_{tot}}{P_{tot}} = \frac{\left(\frac{n_C}{V_{tot}}\right)^2}{\frac{n_A}{V_{tot}} \cdot \left(\frac{n_B}{V_{tot}}\right)^2} \cdot \frac{n_{tot}}{P_{tot} \cdot V_{tot}}$$

Aplicando a equação de Claysius-Clapeyron, teremos;

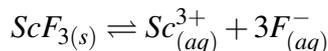
$$K_p = \frac{[C]^2}{[A] \cdot [B]^2} \cdot \frac{n_{tot}}{P_{tot} \cdot V_{tot}} = K_c \cdot \frac{n_{tot}}{n_{tot} \cdot R \cdot T} = K_c \cdot (RT)^{-1}$$

Por fim, substitua os valores de K_p , R e T

$$K_c = K_p \cdot R \cdot T = 2,7 \cdot 10^{-5} \cdot 300 \cdot 0,082 = 6,64 \cdot 10^{-4}$$



Problema 8. c), Inicialmente, escrevendo a reação de diluição:



Calculando o número de mols inicial de Fluoreto de Escândio III;

$$n = \frac{m}{M} = \frac{1g}{101,95g \cdot mol^{-1}} = 9,81 \cdot 10^{-3} mol$$

Agora, fazendo a tabela de equilíbrio;

Substância	Inicial (mol)	Variação (mol)	Final (mol)
ScF_3	$9,81 \cdot 10^{-3}$	x	$9,81 \cdot 10^{-3} - x$
Sc^{2+}	0	+x	x
F^{-}	0	+3x	3x

Antes de escrever a expressão da constante de equilíbrio, calcule a concentração de Sc^{2+} e F^{-} ;

$$[Sc^{2+}] = \frac{n}{V} = \frac{x mol}{0,1L} = 10xM; [F^{-}] = \frac{n}{V} = \frac{3x mol}{0,1L} = 30xM$$

Escrevendo a expressão da constante;

$$K_c = [Sc^{2+}] \cdot [F^{-}]^3 = 10x \cdot (30x)^3 = 2,7 \cdot 10^5 x^4$$

$$x^4 = \frac{5,81 \cdot 10^{-24}}{2,7 \cdot 10^5} \Rightarrow x = \left(\frac{5,81 \cdot 10^{-24}}{2,7 \cdot 10^5} \right)^{-4} = 6,81 \cdot 10^{-8}$$

Logo, a massa de Fluoreto de Escândio consumida foi de;

$$m = M \cdot n = 101,95g \cdot mol^{-1} \cdot 6,81 \cdot 10^{-8} mol = 6,94 \cdot 10^{-6} g$$

Problema 9. Inicialmente, fazendo a tabela de equilíbrio: Agora, escrevendo a expressão da cons-

Substância	Inicial (atm)	Variação (atm)	Final (atm)
Fe_2	5	-x	5 - x
Fe	0	+2x	2x

tante de equilíbrio:

$$K = \frac{P_{Fe}}{P_{Fe_2}} = \frac{(2x)^2}{5-x} \Rightarrow 1 \cdot 10^{-2}(5-x) = 4x^2$$

$$4x^2 + 1 \cdot 10^{-2}x - 5 \cdot 10^{-2} = 0$$

Resolvendo a equação, $x = 0,11 atm$

Portanto, os valores das pressões parciais serão:

$$P_{Fe_2} = (5 - x) = (5 - 0,11) atm = \mathbf{4,89 atm}; P_{Fe} = 2x = 0,11 \cdot 2 atm = \mathbf{0,22 atm}$$



Substância	Inicial (mol/L)	Variação (mol/L)	Final (mol/L)
CH_3NH_2	$4 \cdot 10^{-1}$	-x	$4 \cdot 10^{-1} - x$
$CH_3NH_3^+$	0	+x	x
OH^-	0	+x	x

Problema 10. Inicialmente, calculando a concentração inicial de metilamina;

$$[Met.] = \frac{n}{V} = \frac{4 \cdot 10^{-2} \text{ mol}}{0,1 \text{ L}} = 4 \cdot 10^{-1} \text{ M}$$

Agora, fazendo a tabela de equilíbrio; Antes de escrever a expressão da constante, podemos fazer uma aproximação no valor da concentração final de metilamina. Já que $400 \cdot K < [Met.]$, podemos desconsiderar o valor x da variação já que será muito pequeno em comparação ao valor da concentração inicial. Assim: $[Met.] = 4 \cdot 10^{-1} - x = 4 \cdot 10^{-1} \text{ M}$ Escrevendo a expressão da constante;

$$K = \frac{[HMet.^+] \cdot [OH^-]}{[Met.]} = \frac{x \cdot x}{4 \cdot 10^{-1}} = \frac{x^2}{4 \cdot 10^{-1}}$$

$$x^2 = 4 \cdot 10^{-1} \cdot 4,4 \cdot 10^{-4} \Rightarrow x = 1,33 \cdot 10^{-2} \text{ M}$$

Assim, as concentrações de cada composto são: $[Met.] = 4 \cdot 10^{-1} - 1,33 \cdot 10^{-2} = 0,39 \text{ M}$; $[HMet.^+] = [OH^-] = 1,33 \cdot 10^{-2} \text{ M}$

Adicionar $2 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$ após alcançar o equilíbrio vai resultar no mesmo estado final de uma situação onde adicionamos os $4 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$ e $2 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$ ao mesmo tempo. Assim, fazendo os mesmos passos para $6 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$, teremos a expressão da constante do seguinte modo;

$$K = \frac{[HMet.^+] \cdot [OH^-]}{[Met.]} = \frac{x \cdot x}{6 \cdot 10^{-1}} = \frac{x^2}{6 \cdot 10^{-1}}$$

$$x^2 = 6 \cdot 10^{-1} \cdot 4,4 \cdot 10^{-4} \Rightarrow x = 1,62 \cdot 10^{-2} \text{ M}$$

Assim, as concentrações de cada composto são: $[Met.] = 4 \cdot 10^{-1} - 1,62 \cdot 10^{-2} = 0,384 \text{ M}$; $[HMet.^+] = [OH^-] = 1,62 \cdot 10^{-2} \text{ M}$

Problema 11. a), Inicialmente calculando o valor de K_1 e K_2 :

$$K_1 = \frac{P_{SO_2}^4}{P_{O_2}^7}$$

$$K_2 = \frac{P_{SO_2}^8}{P_{O_2}^{14}}$$

Agora, mechendo na expressão de K_2 ;

$$K_2 = \frac{P_{SO_2}^8}{P_{O_2}^{14}} = \left(\frac{P_{SO_2}^4}{P_{O_2}^7} \right)^2 = K_1^2$$

Logo;

$$K_2 = K_1^2$$



Problema 12. Utilizando a equação de Van't Hoff:

$$\ln \left(\frac{K_2}{K_1} \right) = \frac{-\Delta H^\circ}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

Substituindo os valores;

$$\ln \left(\frac{K_2}{0,15} \right) = \frac{-57,2 \cdot 10^3 \text{J} \cdot \text{mol}^{-1}}{8,3145 \text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}} \left(\frac{1}{500 \text{K}} - \frac{1}{(25 + 273,15) \text{K}} \right) = 11,43$$

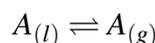
Logo;

$$\frac{K_2}{0,15} = e^{11,43} \Rightarrow K_2 = e^{11,43} \cdot 0,15 = 1,38 \cdot 10^4$$

Portanto:

$$K_2 = 1,38 \cdot 10^4$$

Problema 13. A pressão de vapor de um líquido pode ser definida como a pressão da fase gasosa quando em equilíbrio com sua fase líquida. Logo, a pressão parcial da fase gasosa, quando em equilíbrio, é igual a pressão de vapor do líquido naquela temperatura. Assim, inicialmente escreva a reação de vaporização de um líquido A;



Escrevendo a expressão da constante de equilíbrio;

$$K = \frac{P_{A(g)}}{1} = P_{A(g)} = P_{\text{vapor}}$$

Substituindo isso na equação de Van't Hoff;

$$\ln \left(\frac{K_2}{K_1} \right) = \frac{-\Delta H^\circ}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

$$\ln \left(\frac{P_{\text{vapor}, T_2}}{P_{\text{vapor}, T_1}} \right) = \frac{-\Delta H^\circ}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

Portanto, a pressão de vapor de um líquido varia de acordo com a temperatura segundo a seguinte expressão:

$$\ln \left(\frac{P_{\text{vapor}, T_2}}{P_{\text{vapor}, T_1}} \right) = \frac{-\Delta H^\circ}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

Problema 14. b)

Problema 15. d), Inicialmente, utilizando a equação de Van't Hoff;

$$\ln \left(\frac{K_2}{K_1} \right) = \frac{-\Delta H^\circ}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

$$\ln \left(\frac{2,5 \cdot 10^{10}}{4,0 \cdot 10^{24}} \right) = \frac{-\Delta H^\circ}{8,3 \text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}} \left(\frac{1}{(227 + 273) \text{K}} - \frac{1}{(27 + 273) \text{K}} \right)$$

$$-\Delta H^\circ = 8,3 \cdot \ln \left(\frac{2,5 \cdot 10^{10}}{4,0 \cdot 10^{24}} \right) \cdot \left(\frac{1}{(227 + 273)} - \frac{1}{(27 + 273)} \right)^{-1} \cdot 10^{-3} \text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1} = 203,0 \text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Logo;

$$\Delta H^\circ = -203,0 \text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$