

Introdução à Engenharia Química e Bioquímica

**Aula 10 Balanços Energéticos
MIEQB
ano lectivo de 2020/2021**

Sumário da aula

Balances energéticos a sistemas reactivos

➤ Exercícios

5.25.

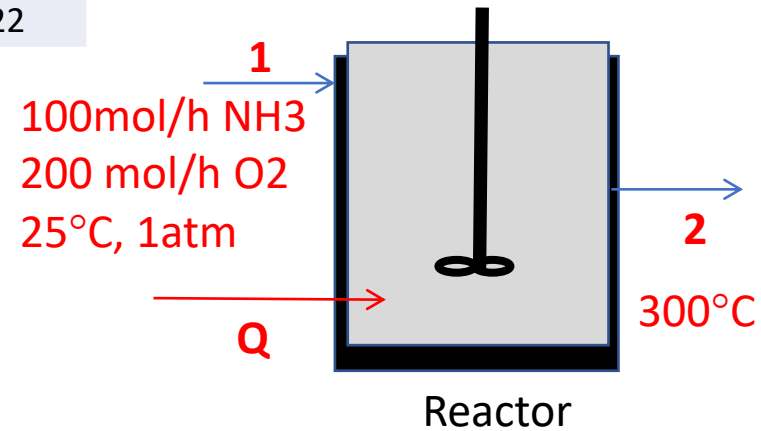
A um reactor de combustão alimentam-se 100 mol/h de NH_3 e 200 mol/h de O_2 a uma temperatura de 25 °C e à pressão atmosférica. A conversão é de 100%. Os gases efluentes do reactor estão a 300 °C.

Calcule o calor que é necessário fornecer ou retirar ao sistema, assumindo a pressão como constante.



Dados:

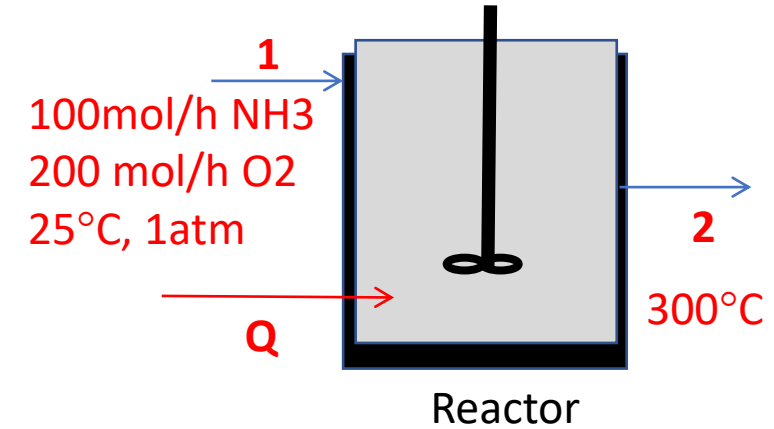
	NH_3	O_2	NO	H_2O
$\Delta H^\circ_f (\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1})$	46.19	0	90.37	-241.83
$C_p (\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \text{K}^{-1})$	8.45	7.29	7.25	8.22



5.25.



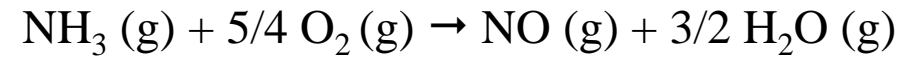
100	$5/4 \times 100$	<u>100</u>	$3/2 \times 100$
	<u>125</u>		<u>150</u>



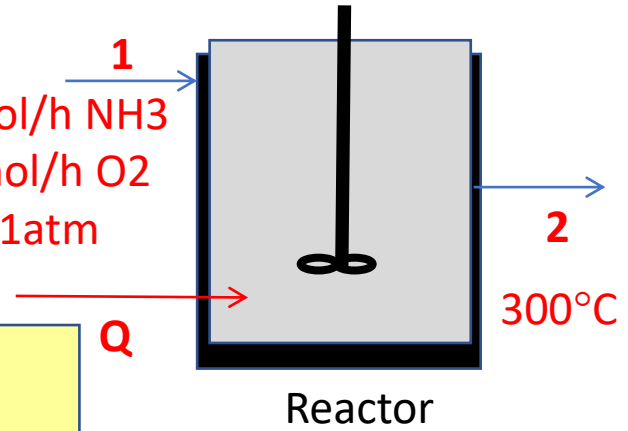
mol	1	2
NH3	100	-
O2	200	75
NO	-	100
H2O	-	150
Total	300	325

$$n_{\text{O}_2(2)} = n_{\text{O}_2(1)} - n_{\text{O}_2_{\text{reagiram}}} = 200 - \underline{125} = 75 \text{ mol}$$

5.25.



1
100mol/h NH₃
200 mol/h O₂
25°C, 1atm



mol	1	2
NH ₃	100	-
O ₂	200	75
NO	-	100
H ₂ O	-	150
Total	300	325

Cond. Ref^a 25°C, 1 atm,
estado gasoso → $\Delta H_1 = 0$

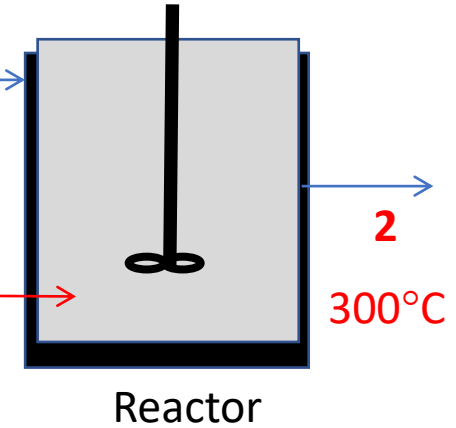
$$\cancel{\Delta H_1} + Q = \Delta H_2 + \Delta H_R$$

$$\Delta H_R = [\Delta \hat{H}_f^\circ (\text{NO}) + 3/2 \times \Delta \hat{H}_f^\circ (\text{H}_2\text{O}) - \Delta \hat{H}_f^\circ (\text{NH}_3)] \times 100 = -31.86 \times 10^6 \text{ J}$$

5.25.



100mol/h NH₃
200 mol/h O₂
25°C, 1atm



mol	1	2
NH ₃	100	-
O ₂	200	75
NO	-	100
H ₂ O	-	150
Total	300	325

Cond. Ref^a 25°C, 1 atm,
estado gasoso

$$\Delta H_1 = 0$$

$$\cancel{\Delta H_1} + Q = \Delta H_2 + \Delta H_R$$

$$\Delta H_2 = \int_{25}^{300} (75 \times C_{p_{\text{O}_2}} + 100 \times C_{p_{\text{NO}}} + 150 \times C_{p_{\text{H}_2\text{O}}}) dT = 688806.3 \text{ J}$$

$$Q = \Delta H_2 + \Delta H_R = -31.17 \times 10^6 \text{ J} = -31.1 \text{ MJ}$$

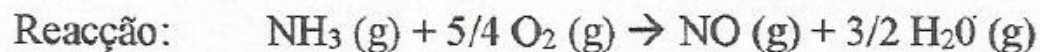


Tem de ser retirado!

Extra

A um reactor de combustão são alimentadas por hora 100 mol de NH_3 gasoso a 50°C e à pressão atmosférica. O amoníaco reage com oxigénio que é introduzido no reactor por meio de uma corrente gasosa de ar atmosférico a 25°C . A conversão de amoníaco no reactor é de 90% estando o oxigénio presente com uma % de excesso de 60%. Sabe-se que o calor retirado do reactor por unidade de hora é de 20000 KJ. Nessas condições determine:

- (5 v) ☒ a) a temperatura a que saem os gases de combustão efluentes do reactor;
- (1 v) ☐ b) caso o reactor operasse adiabaticamente o que espera que acontecesse à temperatura de saída dos gases de combustão? Justifique correctamente.

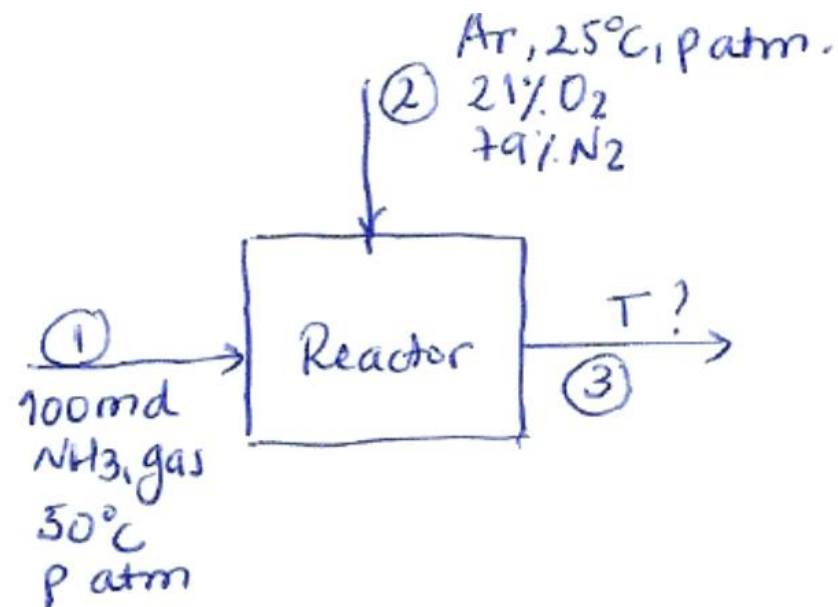


Dados:

- Calores específicos médios ($\text{cal.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$): O_2 : 7.29; N_2 : 6.98; NO : 7.25; H_2O : 8.21; NH_3 : 8.5
- Calores de formação padrão (kJ.mol^{-1}): NH_3 : 46.19; $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$: -241.83; NO : 90.37

Balanco Material

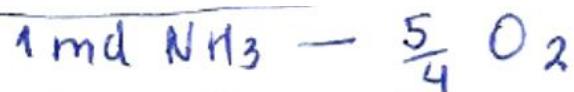
	①	②	③
NH ₃	100	—	10
O ₂	—	200	87.5
N ₂	—	752.38	752.38
NO	—	—	90
H ₂ O	—	—	135



$1 \text{ NH}_3 - 1 \text{ NO} \text{ ③ conv.} = 90\%$
 $90 - 90$
 Reagiram

10 mol NH₃ não reagiram logo $n_{\text{NH}_3} \text{ ③} = 10 \text{ mol}$

$1 \text{ NH}_3 - \frac{3}{2} \text{ H}_2\text{O} \Leftrightarrow n_{\text{H}_2\text{O}} \text{ ③} = 135 \text{ mol}$



$$100 \text{ mol} \rightarrow \frac{5}{4} \times 100 = \underline{125} \text{ O}_2 \rightarrow \text{mdes necessarias para que as 100 mdes de } \text{NH}_3 \text{ reagissem}$$

Como % excesso $\text{O}_2 = 60\%$.

$$\text{excesso} = 0.6 \times 125 = 75 \text{ md}$$

$$\text{Logo } n_{\text{O}_2} \textcircled{2} = 125 + 75 = 200 \text{ mol}$$

$$n_{\text{O}_2} \textcircled{3} = \overset{\text{o que entra}}{200} - (\text{O}_2 \text{ que reagiu}) = 200 - 112.5 = 87.5$$

Na reacção: reagem 90 md $\text{NH}_3 \rightarrow \frac{5}{4} \times 90 = 112.5 \text{ md O}_2$ que reagiram com as 90 md NH_3

Na corrente ②

$$21\% \text{ O}_2 - 200 \text{ mol}$$

$$79\% \text{ N}_2 - x$$

$$x = 752.38 \text{ mol de inerte.}$$

$$Q_{\text{retirado}} = 20000 \text{ kJ}$$

Balanco entalpico

$$\Delta H_1 + \Delta H_2 + Q = \Delta H_3 + \Delta H_R$$

\uparrow ou $\Delta H_1 + \Delta H_2 = \Delta H_3 + Q + \Delta H_R$
 $(-)$ $(+)$

x' calor retirado

$$\Delta H_1 = \int_{25}^{50} 100 C_{p \text{ NH}_3} dT = (50 - 25) \times \underbrace{100}_{\text{mol}} \times \underbrace{8.5}_{\text{cal mol}^{-1} \text{K}^{-1}} = 21250 \text{ cal}$$

$$\text{Cond. ref} \begin{cases} p_{\text{atm}} \\ T = 25^\circ \text{C} \\ \text{gas} \end{cases} \Rightarrow \Delta H_2 = 0$$

$$\Delta \hat{H}_R = \sum \text{Produtos } \delta_i \Delta H_{f,i}^\circ - \sum \text{Reagentes } \delta_i \Delta H_{f,i}^\circ$$

$$= (90.37 + \frac{3}{2} \times (-241.83)) - (46.19 + 0)$$

$$= -318.565 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_R = \underbrace{(-318.565)}_{\text{kJ/mol}} \times \underbrace{90}_{\text{mol}} = -28670.85 \text{ kJ} = -6859055.024 \text{ cal}$$

$1 \text{ cal} = 4.18 \text{ J}$

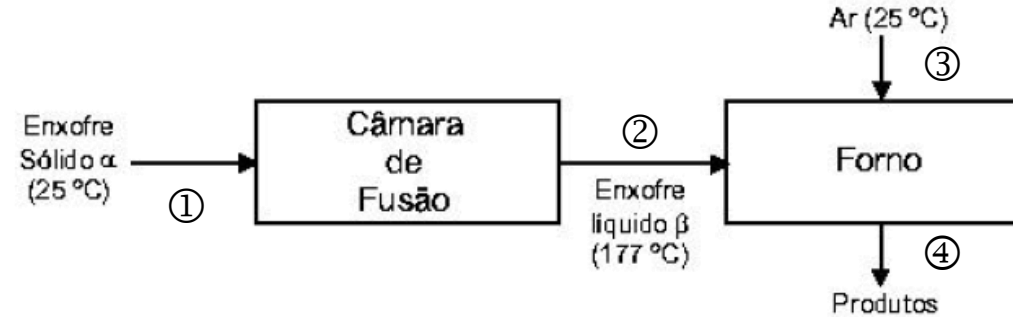
$$\begin{aligned}\Delta H_3 &= \Delta H_1 + Q - \Delta H_R \\ &= 21250 - 4784688,995 - (-6859055,024) \\ &= 2,1 \times 10^6 \text{ cal}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H_3 &= \int_{298,15}^{T_3} \left[10 \underbrace{C_{p,NH_3}}_{\text{cal/mol K}} + 87,5 C_{p,O_2} + 752,38 C_{p,N_2} + 90 C_{p,NO} + 135 C_{p,H_2O} \right] dT = 2,1 \times 10^6 \\ 7735,344 (T_3 - 298,15) &= 2,1 \times 10^6 \\ T_3 &= 271,48 + 298,15 = 569,63 \text{ K} \approx 296^\circ\text{C}\end{aligned}$$

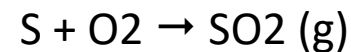
b) Se o calor não fosse retirado T 

5.26.

A figura junta representa as duas unidades iniciais do processo de produção do ácido sulfúrico



À câmara de fusão são alimentados 100 kg/h de enxofre (sólido alfa). Depois de liquefeito o enxofre é queimado com um excesso de 50% de ar, sendo a conversão do enxofre total:



Para uma base de cálculo de 1 hora de operação, calcule:

a) A quantidade de calor que é necessário fornecer à câmara de fusão, sabendo que se dão as seguintes mudanças de fase

sólido alfa → sólido beta a 368.6K

sólido beta → líquido a 392K

b) a temperatura à saída do forno, considerando que a quantidade de calor perdida através das paredes do forno é de 90×10^3 kcal/h.

Dados

Calor padrão da reacção: -70.96 kcal/mol

Calores de mudança de fase, à temperatura de transição:

Sólido alfa → sólido beta: 0.088 kcal/mol

Sólido beta → líquido: 0.293 kcal/mol

Calores específicos médios do enxofre (cal/mol.K):

Sólido alfa: 3.58; sólido beta: 3.56; líquido: 5.40

Massa molecular do enxofre: 32 g/mol

Calores específicos médios (cal/mol.K)

N₂: 7.369; O₂: 7.792; SO₂: 11.84

5.26.

Kmol	1	2	3	4
S	3.125	3.125	-	-
SO2	-	-	-	3.125
O2	-	-	4.69	1.56
N2	-	-	17.63	17.63
Total				



$$(\text{S})_1 = 100\text{kg} = 3.125\text{kmol}$$

% conversão do S = 100%
50% excesso de ar

$$(\text{SO}_2)_4 = (\text{S})_2 = (\text{S})_1 = 3.125\text{kmol}$$

$$(\text{O}_2)_3 = 1.5(\text{S})_2 = 4.69\text{kmol}$$

$$(\text{O}_2)_4 = 4.69 - 3.125 = 1.56\text{kmol}$$

5.26. a) Calor envolvido na câmara de fusão

P=1 atm
T=25°C
Sólido alfa

$$\Delta H_1 + Q = \Delta H_2$$

$$\Delta H_1 = 0 \text{ cal}$$

$$\Delta H_2 = 3125 \left[\int_{298}^{368.6} C_{p_{\alpha}} dT + \Delta H_{\alpha \rightarrow \beta} + \int_{368.6}^{392} C_{p_{\beta}} dT + \Delta H_f + \int_{392}^{450} C_{p_l} dT \right]$$

$$= 4.253 \times 10^6 \text{ cal}$$

$$Q = 4.253 \times 10^6 \text{ cal}$$

5.26. b) Temperatura à saída do forno

P=1 atm
T=25°C
Sólido alfa
Gases

$$\Delta H_2 + \Delta H_3 = \Delta H_4 + Q + \Delta H_R$$

$$Q = 90 \times 10^6 \text{ cal}$$

$$\Delta H_3 = 0 \text{ cal}$$

$$\Delta H_2 = 4.253 \times 10^6 \text{ cal}$$

$$\Delta H_R = 3125 \times (-70.96 \times 10^3) = -221.75 \times 10^6 \text{ cal}$$



$$\Delta H_4 = 136 \times 10^6 \text{ cal}$$

5.26. b) Temperatura à saída do forno

P=1 atm
T=25°C
Sólido alfa
Gases

$$\Delta H_2 + \Delta H_3 = \Delta H_4 + Q + \Delta H_R$$

$$\Delta H_4 = 136 \times 10^6 \text{ cal}$$

$$\Delta H_4 = \int_{298}^{T_4} (n_{SO_2} Cp_{SO_2} + n_{O_2} Cp_{O_2} + n_{N_2} Cp_{N_2}) dT$$



$$T_4 = 785^\circ C$$