



Сагоревање

аудиторне вежбе



Брзина хемијске реакције

- Промена концентрације реактаната у јединици времена.
- Концентрација је количина у јединици запремине.
- Главни утицајни чиниоци:
 - концентрација реактаната,
 - температура.
- Брзина хем.реакције управо је пропорционална производу концентрација реактаната



Брзина хемијске реакције

За хемијску реакцију:

брзина директне хем.реакције је:

$$w = k \cdot c_A^a \cdot c_B^b$$

где су:

$$w \left(\frac{\text{mol}}{\text{m}^3 \cdot \text{s}} \right)$$

брзина хем.реак.

$$k \left(\frac{\left(\frac{\text{m}^3}{\text{mol}} \right)^{(a+b-1)}}{\text{s}} \right)$$

константа брзине хем.реак.

$$c_A \left(\frac{\text{mol}}{\text{m}^3} \right)$$

концентрација материје А

$$c_B \left(\frac{\text{mol}}{\text{m}^3} \right)$$

концентрација материје В



Брзина хемијске реакције

У општем случају јединице за константу брзине хем.реакције су:

$$\text{mol}^{(1-n)} \cdot (\text{m}^3)^{(n-1)} \cdot \text{s}^{-1}$$

где је n – ред хемијске реакције:



Брзина хемијске реакције

Из дефиниције брзине хем.реакције следи:

$$w = \pm \frac{dc}{dt}$$

где се предзнак “+” користи за промену концентрације производа реакције, а предзнак “-” за промену концентрације реактанта.



Брзина хемијске реакције

Преко реда хемијске реакције брзина је:

$$w = k \cdot c^n$$

где је n ред хемијске реакције (одређује се експериментално).



Брзина хемијске реакције

Утицај температуре на брзину хем.реакције дефинисан је Arrhenius-овим законом:

$$k = k_0 e^{-\frac{E}{R_0 T}}$$

где су:

k_0

предекспоненцијални фактор, зависи само од природе хем.реакције (механизми и услови настанка реактаната)

$E \left(\frac{\text{J}}{\text{mol}} \right)$

енергија активације (одређује се експериментално)

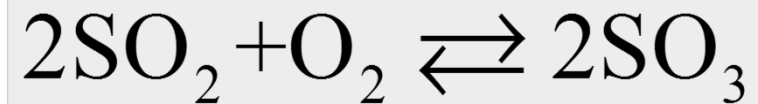
$R_0 \left(\frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \right)$

универзална гасна константа (8314)



1. задатак (текст)

Колико ће се променити брзина хемијске реакције:



ако се запремина смеше смањи три пута. Компресија је изотермска, као и сам процес реакције.

1. задатак (решење)

Брзина хемијске реакције пре смањивања запремине:

$$w_1 = k \cdot (c_{\text{SO}_2})_1^2 \cdot (c_{\text{O}_2})_1$$

Брзина хемијске реакције после смањивања запремине

$$w_2 = k \cdot (c_{\text{SO}_2})_2^2 \cdot (c_{\text{O}_2})_2$$

Услед смањења запремине три пута, концентрације сумпордиоксида и кисеоника се повећавају три пута:

$$w_2 = k \cdot [3(c_{\text{SO}_2})_1]^2 \cdot [3(c_{\text{O}_2})_1]^1 = 27k \cdot (c_{\text{SO}_2})_1^2 \cdot (c_{\text{O}_2})_1^1 = 27w_1$$

1. задатак (решење)

Однос брзина хемијских реакција биће:

$$\frac{w_2}{w_1} = 27$$

што указује да се при смањењу запремине три пута, брзина хемијске реакције повећа 27 пута.



2. задатак (текст)

За неку хемијску реакцију експериментално је нађено да је при концентрацији реактанта од $c_1 = 18 \text{ mol/m}^3$ брзина хемијске реакције $w_1 = 1,06 \cdot 10^6 \text{ mol/m}^3\text{s}$, а при концентрацији $c_2 = 49,03 \text{ mol/m}^3$, брзина је износила : $w_2 = 8,692 \cdot 10^6 \text{ mol/m}^3\text{s}$. Процес је изотермски. Израчунати:

- а) ред реакције,
- б) константу брзине хемијске реакције.



2. задатак (решење)

а) Према дефиницији брзине хемијске реакције су:

$$w_1 = k \cdot c_1^n$$

$$w_2 = k \cdot c_2^n$$

односно ред хемијске реакције може се израчунати из:

$$n = \frac{\ln \frac{w_1}{w_2}}{\ln \frac{c_1}{c_2}} = \frac{\ln \frac{1,06 \cdot 10^6}{8,692 \cdot 10^6}}{\ln \frac{18}{49,03}} = 2,1$$



2. задатак (решење)

б) Константа брзине хемијске реакције је:

$$k = \frac{w_1}{c_1^n} = \frac{w_2}{c_2^n} = \frac{1,06 \cdot 10^6}{18^{2,1}} = 2450 \frac{\left(\frac{\text{m}^3}{\text{mol}}\right)^{1,1}}{\text{s}}$$



3. задатак (текст)

Брзина хемијске реакције на температури $t_1=450$ °C је 10 пута већа него на температури $t_2=400$ °C. Наћи енергију активације под претпоставком да је концентрација реактаната у оба случаја иста.



3. задатак (решење)

Полазимо од израза за брзине хем.реакција:

$$w_1 = k_1 \cdot c_1^n = k_0 e^{-\frac{E}{R_0 T_1}} c_1^n$$
$$w_2 = k_2 \cdot c_2^n = k_0 e^{-\frac{E}{R_0 T_2}} c_2^n$$

и датог односа брзина хем.реакција:

$$\frac{w_1}{w_2} = 10 = \frac{k_0 e^{-\frac{E}{R_0 T_1}} c_1^n}{k_0 e^{-\frac{E}{R_0 T_2}} c_2^n}$$

3. задатак (решење)

После скраћивања истих величина биће:

$$\frac{w_1}{w_2} = \frac{e^{-\frac{E}{R_0 T_1}}}{e^{-\frac{E}{R_0 T_2}}} = e^{\frac{E}{R_0} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)} = 10$$

односно:

$$\frac{E}{R_0} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) = \ln 10$$

одакле се добија коначно решење:

$$E = \frac{R_0 \ln 10}{\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}} = \frac{8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \ln 10}{\left(\frac{1}{673} - \frac{1}{723} \right) \text{K}} = 186298 \frac{\text{J}}{\text{mol}} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kmol}} \right)$$



4. задатак (текст)

За хемијску реакцију трећег реда одредити за које време изреагује 60 % реактанта на температури $T=500$ К. Почетна концентрација реактанта износи $c_0=5$ mol/m³, а константа брзине хемијске реакције $k=5 \cdot 10^6$ (m³/mol)²/s



4. задатак (решење)

Из израза за дефиницију брзине хем.реакције:

$$w = -\frac{dc}{dt} = kc^n$$

где знак “-” означава трошење реактанта током хем.реак.,
груписањем променљивих добија се израз:

$$\frac{dc}{c^n} = -kdt$$



4. задатак (решење)

Интеграљењем овог израза добија се решење:

$$\int_{c_0}^{c_k} \frac{dc}{c^n} = -\int k dt$$

где су почетна и крајња (k) концентрација дефинисане текстом задатка ($c_0, c_k=0,4c_0$), значи биће:

$$\int_{c_0}^{0,4 \cdot c_0} \frac{dc}{c^3} = -\int k dt$$



4. задатак (решење)

Решавањем интеграла добија се:

$$\int_{c_0}^{0,4 \cdot c_0} \frac{dc}{c^3} = -\int k dt$$

и заменом граница:

$$\frac{1}{2} \frac{1}{c^2} \Big|_{c_0}^{0,4 \cdot c_0} = kt$$



4. задатак (решење)

Заменом бројних вредности добија се:

$$\frac{1}{2} \frac{1}{c^2} \Big|_5^2 = kt$$

тј. коначно решење је:

$$t = \left(\frac{2k}{\frac{1}{c^2} \Big|_5^2} \right)^{-1} = \left(\frac{2 \cdot 5 \cdot 10^6}{\frac{1}{2^2} - \frac{1}{5^2}} \right)^{-1} = 0,021 \cdot 10^{-6} \text{ s}$$

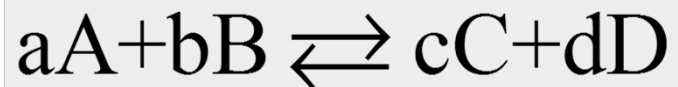


Хемијска равнотежа





Хемијска равнотежа



$$K = \frac{c_C^c \cdot c_D^d}{c_A^a \cdot c_B^b} = \frac{k_1}{k_2}$$

где су:

$$K \left(\frac{\text{mol}}{\text{m}^3} \right)^{(c+d)-(a+b)}$$

константа хем.равнотеже

$$k_1, k_2 \frac{\left(\frac{\text{m}^3}{\text{mol}} \right)^{a+b-1}}{\text{s}}; \frac{\left(\frac{\text{m}^3}{\text{mol}} \right)^{c+d-1}}{\text{s}}$$

константе брзина хем.реакција



Хемијска равнотежа

- Константа хемијске равнотеже зависи од:
 - природе хемијске реакције.
 - температуре.
- Константа хемијске равнотеже **не зависи** од:
 - притиска.



Хемијска равнотежа

Дефинисана преко
концентрација:

$$K = \frac{c_C^c \cdot c_D^d}{c_A^a \cdot c_B^b} \left(\frac{\text{mol}}{\text{m}^3} \right)^{(c+d)-(a+b)}$$

Дефинисана преко
парцијалних притисака:

$$K = \frac{p_C^c \cdot p_D^d}{p_A^a \cdot p_B^b} (\text{Pa})^{(c+d)-(a+b)}$$

Дефинисана преко
моларних удела:

$$K = \frac{r_C^c \cdot r_D^d}{r_A^a \cdot r_B^b}$$



Хемијска равнотежа

Уз помоћ ј-не стања идеалног гаса могу се успоставити везе између ових дефиниција:

$$K_c = \left(\frac{1}{R_0 T} \right)^{\Delta n} K_p \quad K_c = \left(\frac{p}{R_0 T} \right)^{\Delta n} K_r \quad K_p = K_r p^{\Delta n}$$

где су:

p

укупни притисак

T

температура

R_0

универзална гасна константа

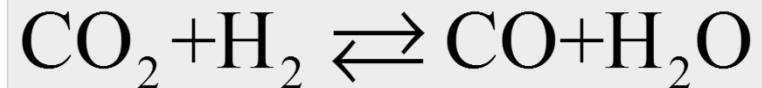
$\Delta n = (c+d)-(a+b)$

промена броја молова при хем.реакцији



1. задатак (текст)

Константа равнотеже хемијске реакције:



на $t=850\text{ }^\circ\text{C}$ износи 1. Почетне концентрације износе:

$(c_{\text{CO}_2})_0 = 0,2\text{ mol/dm}^3$ и $(c_{\text{H}_2})_0 = 0,8\text{ mol/dm}^3$. Израчунати при којим ће се концентрацијама успоставити равнотежа.

1. задатак (решење)

Реактант/Пр оизвод	Почетно стање (mol/dm ³)	Стање равнотеже (mol/dm ³)
CO ₂	0,2	x
H ₂	0,8	x
CO	0	0,2-x
H ₂ O	0	0,8-x



1. задатак (решење)

Константа равнотеже дефинисана преко концентрација:

$$K = \frac{c_{\text{CO}} \cdot c_{\text{H}_2\text{O}}}{c_{\text{CO}_2} \cdot c_{\text{H}_2}} = \frac{(0,2 - x) \cdot (0,8 - x)}{x \cdot x} = 1$$

одакле се добија ј-на:

$$x^2 = 0,2 \cdot 0,8 - 0,2 \cdot x - 0,8 \cdot x + x^2$$

чије решење је:

$$x = 0,16 \text{ mol/dm}^3$$

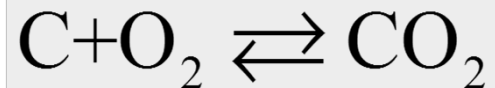
1. задатак (решење)

Реактант/П роизвод	Почетно стање (mol/dm ³)	Стање равнотеже (mol/dm ³)
CO ₂	0,2	0,16
H ₂	0,8	0,16
CO	0	0,04
H ₂ O	0	0,64

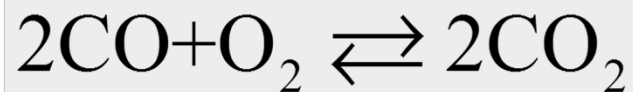


2. задатак (текст)

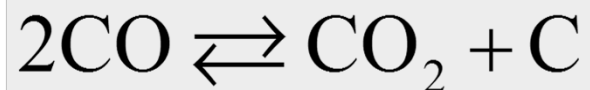
Одредити константу равнотеже за хемијску реакцију:



која се одвија на $t=1300 \text{ K}$, ако су познате вредности константи равнотеже, на истој температури, следећих хемијских реакција:



$$K_1 = 3,66 \cdot 10^{-14} \left(\text{mol/dm}^3 \right)$$



$$K_2 = 131 \left(\text{mol/dm}^3 \right)$$

2. задатак (решење)

Константе равнотеже K_1 и K_2 су дефинисане изразима:

$$K_1 = \frac{c_{\text{CO}_2}^2}{c_{\text{CO}}^2 \cdot c_{\text{O}_2}}$$

$$K_2 = \frac{c_{\text{CO}_2}}{c_{\text{CO}}^2}$$

а тражена константа равнотеже за главну реакцију:

$$K = \frac{c_{\text{CO}_2}}{c_{\text{O}_2}}$$

2. задатак (решење)

Из израза за K_1 и K_2 следи:

$$\frac{1}{c_{O_2}} = \frac{K_1 \cdot c_{CO}^2}{c_{CO_2}^2}$$

$$c_{CO_2} = K_2 \cdot c_{CO}^2$$

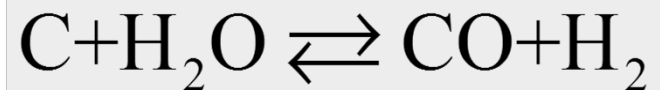
и сменом ових израза у израз за K добија се:

$$\begin{aligned} K &= \frac{c_{CO_2}}{c_{O_2}} = \frac{K_2 c_{CO}^2}{1} \frac{K_1 \cdot c_{CO}^2}{c_{CO_2}^2} = \frac{K_2 c_{CO}^2}{1} \frac{K_1 \cdot c_{CO}^2}{(K_2 c_{CO}^2)^2} = \\ &= \frac{K_1}{K_2} = \frac{3,66 \cdot 10^{-14}}{131} = 2,79 \cdot 10^{-16} \end{aligned}$$



3. задатак (текст)

Одредити равнотежни притисак угљен монооксида на температури $t=700\text{ }^\circ\text{C}$ за хемијску реакцију:



ако је $K_p=1,35$ Ра при притиску $p=1,010 \cdot 10^5$ Ра и ако су парцијални притисци угљен монооксида и водоника једнаки.

3. задатак (решење)

Константа равнотеже је дефинисана изразом:

$$K = \frac{p_{\text{CO}} \cdot p_{\text{H}_2}}{p_{\text{H}_2\text{O}}}$$

а из услова датим у тексту задатка следи да је:

$$K = \frac{p_{\text{CO}}^2}{p_{\text{H}_2\text{O}}} = 1,35$$

3. задатак (решење)

Ако се зна да је укупни притисак једнак збиру парцијалних притисака:

$$p = p_{\text{CO}} + p_{\text{H}_2} + p_{\text{H}_2\text{O}} = 2 \cdot p_{\text{CO}} + p_{\text{H}_2\text{O}}$$

Из ове ј-не парцијални притисак водене паре може да се изрази:

$$p_{\text{H}_2\text{O}} = p - 2 \cdot p_{\text{CO}}$$

па се сменом у израз за константу равнотеже добија:

$$\frac{p_{\text{CO}}^2}{p - 2 \cdot p_{\text{CO}}} = 1,35 \quad \Rightarrow \quad p_{\text{CO}}^2 = 1,35 \cdot p - 2,7 \cdot p_{\text{CO}}$$



3. задатак (решење)

Ово је заправо квадратна ј-на облика:

$$p_{\text{CO}}^2 + 2,7 \cdot p_{\text{CO}} - 1,35 \cdot p = 0$$

из које се сменом бројних вредности за познате величине добија:

$$p_{\text{CO}}^2 + 2,7 \cdot p_{\text{CO}} - 1,35 \cdot 1,010 \cdot 10^5 = 0$$

$$p_{\text{CO}}^2 + 2,7 \cdot p_{\text{CO}} - 1,3635 \cdot 10^5 = 0$$

чија су решења:

$$p_{\text{CO}_{1/2}} = \frac{-2,7 \pm \sqrt{2,7^2 + 4 \cdot 1,3536 \cdot 10^5}}{2}$$



3. задатак (решење)

Решења квадратне ј-не су:

$$(p_{\text{CO}})_1 = 367,9 \text{ Pa}$$

$$(p_{\text{CO}})_2 = -370,6 \text{ Pa}$$

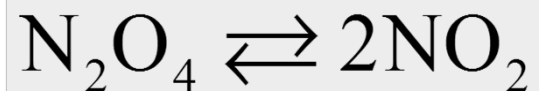
али се за решење задатка због физичке природе парцијалних притисака може узети само позитивно решење тако да је коначно решење задатка:

$$p_{\text{CO}} = 367,9 \text{ Pa}$$



4. задатак (текст)

Дисоцијација азот тетраоксида у азот диоксид одвија се по реакцији:



Одредити константу равнотеже K_p у функцији параметра a и укупног притиска p ако:

- а) од 1 kmol N_2O_4 дисоцира a kmol у NO_2 ,
- б) од 1 kmol N_2O_4 настаје a kmol NO_2 .



4. задатак (решење)

a)

Реактант/Производ	N_2O_4	NO_2
Почетно стање	1	0
Стање равнотеже	1-a	2a

$$\sum n_i = 1 - a + 2a = 1 + a$$



4. задатак (решење)

$$p_{\text{N}_2\text{O}_4} = \frac{n_{\text{N}_2\text{O}_4}}{\sum n_i} p = \frac{1-a}{1+a} p$$

$$p_{\text{NO}_2} = \frac{n_{\text{NO}_2}}{\sum n_i} p = \frac{2a}{1+a} p$$

$$K_p = \frac{p_{\text{NO}_2}^2}{p_{\text{N}_2\text{O}_4}} = \frac{\left(\frac{2a}{1+a} p\right)^2}{\frac{1-a}{1+a} p} = \frac{4a^2}{(1-a)(1+a)} p = \frac{4a^2}{1-a^2} p$$



4. задатак (решење)

б)

Реактант/Производ	N_2O_4	NO_2
Почетно стање	1	0
Стање равнотеже	$1-a/2$	a

$$\sum n_i = 1 - \frac{a}{2} + a = 1 + \frac{a}{2}$$



4. задатак (решење)

$$p_{\text{N}_2\text{O}_4} = \frac{n_{\text{N}_2\text{O}_4}}{\sum n_i} p = \frac{1 - \frac{a}{2}}{1 + \frac{a}{2}} p = \frac{2 - a}{2 + a} p = \frac{2 - a}{2 + a} p$$
$$p_{\text{NO}_2} = \frac{n_{\text{NO}_2}}{\sum n_i} p = \frac{a}{1 + \frac{a}{2}} p = \frac{2a}{2 + a} p$$

$$K_p = \frac{p_{\text{NO}_2}^2}{p_{\text{N}_2\text{O}_4}} = \frac{\left(\frac{2a}{2+a} p\right)^2}{\frac{2-a}{2+a} p} = \frac{4a^2}{(2+a)(2-a)} p = \frac{4a^2}{4-a^2} p$$