



# **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:

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

брзина хем.реак.

константа брзине  
хем.реак.

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

концентрација  
материје А

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)

За 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  $c_0 = 5 \text{ mol/m}^3$ , а константа брзине хемијске реакције  $k=5 \cdot 10^6 \text{ (m}^3/\text{mol)}^2/\text{s}$

# 4. задатак (решење)

---

Из израза за дефиницију брзине хем.реакције:

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

где знак "-" означава трошење реактаната 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:

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

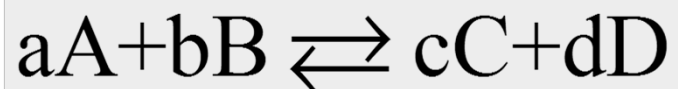
тј. коначно решење је:

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

# 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:

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

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

$$K_p = K_r p^{\Delta n}$$

где су:

$p$

укупни притисак

$T$

температура

$R_0$

универзална гасна константа

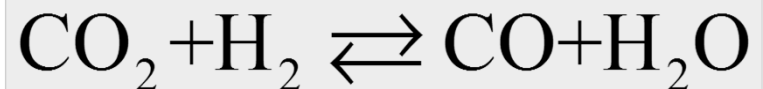
$\Delta n = (c+d)-(a+b)$

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/ Производ	Почетно стање (mol/dm <sup>3</sup> )	Стање равнотеже (mol/dm <sup>3</sup> )
CO <sub>2</sub>	0,2	x
H <sub>2</sub>	0,8	x
CO	0	0,2-x
H <sub>2</sub> O	0	0,8-x

# 1. задатак (решење)

Константа равнотеже дефинисана преко концентрација:

$$K = \frac{c_{CO} \cdot c_{H_2O}}{c_{CO_2} \cdot c_{H_2}} = \frac{(0,2 - x) \cdot (0,8 - x)}{x \cdot x} = 1$$

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:

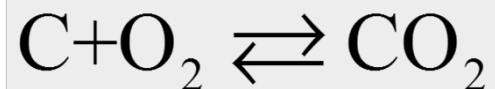
$$x = 0,16 \text{ mol/dm}^3$$

# 1. задатак (решење)

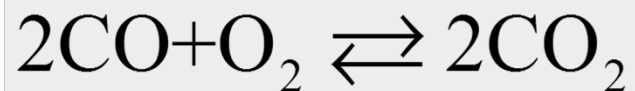
Реактант/ Производ	Почетно стање (mol/dm <sup>3</sup> )	Стање равнотеже (mol/dm <sup>3</sup> )
CO <sub>2</sub>	0,2	0,16
H <sub>2</sub>	0,8	0,16
CO	0	0,04
H <sub>2</sub> O	0	0,64

## 2. задатак (текст)

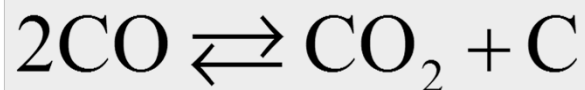
Одредити константу равнотеже за хемијску реакцију:



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



$$K_1 = 3,66 \cdot 10^{-14}$$



$$K_2 = 131$$

## 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:

$$\frac{1}{c_{\text{O}_2}} = \frac{K_1 \cdot c_{\text{CO}}^2}{c_{\text{CO}_2}^2}$$

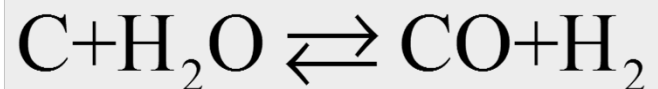
$$c_{\text{CO}_2} = K_2 \cdot c_{\text{CO}}^2$$

и сменом ових израза у израз за  $K$  добија се:

$$\begin{aligned} K &= \frac{c_{\text{CO}_2}}{c_{\text{O}_2}} = \frac{K_2 c_{\text{CO}}^2}{1} \frac{K_1 \cdot c_{\text{CO}}^2}{c_{\text{CO}_2}^2} = \frac{K_2 c_{\text{CO}}^2}{1} \frac{K_1 \cdot c_{\text{CO}}^2}{(K_2 c_{\text{CO}}^2)^2} = \\ &= \frac{K_1}{K_2} = \frac{3,66 \cdot 10^{-14}}{131} = 2,79 \cdot 10^{-16} \end{aligned}$$

## 3. задатак (текст)

Одредити равнотежни притисак угљен монооксида на температури  $t=700$  °C за хемијску реакцију:



ако је  $K_p=1,35$  Pa при притиску  $p=1,010 \cdot 10^5$  Pa 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:

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

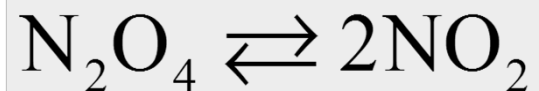
$$(p_{\text{CO}})_2 = -370,6 \text{ Pa}$$

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  $\text{N}_2\text{O}_4$  дисоцира  $a$  kmol у  $\text{NO}_2$ ,
- б) од 1 kmol  $\text{N}_2\text{O}_4$  настаје  $a$  kmol  $\text{NO}_2$ .

## 4. задатак (решење)

a)

Реактант/Производ	$\text{N}_2\text{O}_4$	$\text{NO}_2$
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	$\text{N}_2\text{O}_4$	$\text{NO}_2$
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)

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

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