

SADRŽAJ PREDMETA

PREDAVANJA

HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

~ PRINCIPI HEMIJSKE RAVNOTEŽE

~ KISELINE, BAZE I SOLI

RAVNOTEŽA U VODENIM RASTVORIMA

~ RAVNOTEŽA U HETEROGENIM SISTEMIMA

SLABO RASTVORLJIVA JEDINJENJA

~ KOORDINACIONA JEDINJENJA

~ REAKCIJE OKSIDO-REDUKCIJE

~ HEMIJA ELEMENATA

HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

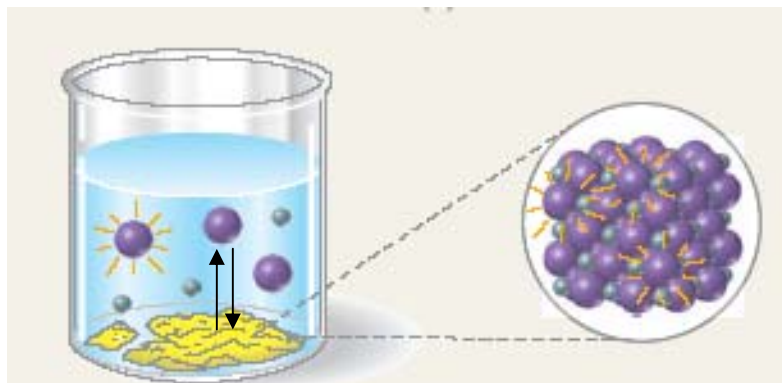
DINAMIČKA RAVNOTEŽA

1)



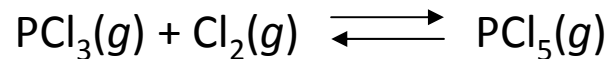
tečnost $\rightleftharpoons$ para

2)



rastvor $\rightleftharpoons$ talog

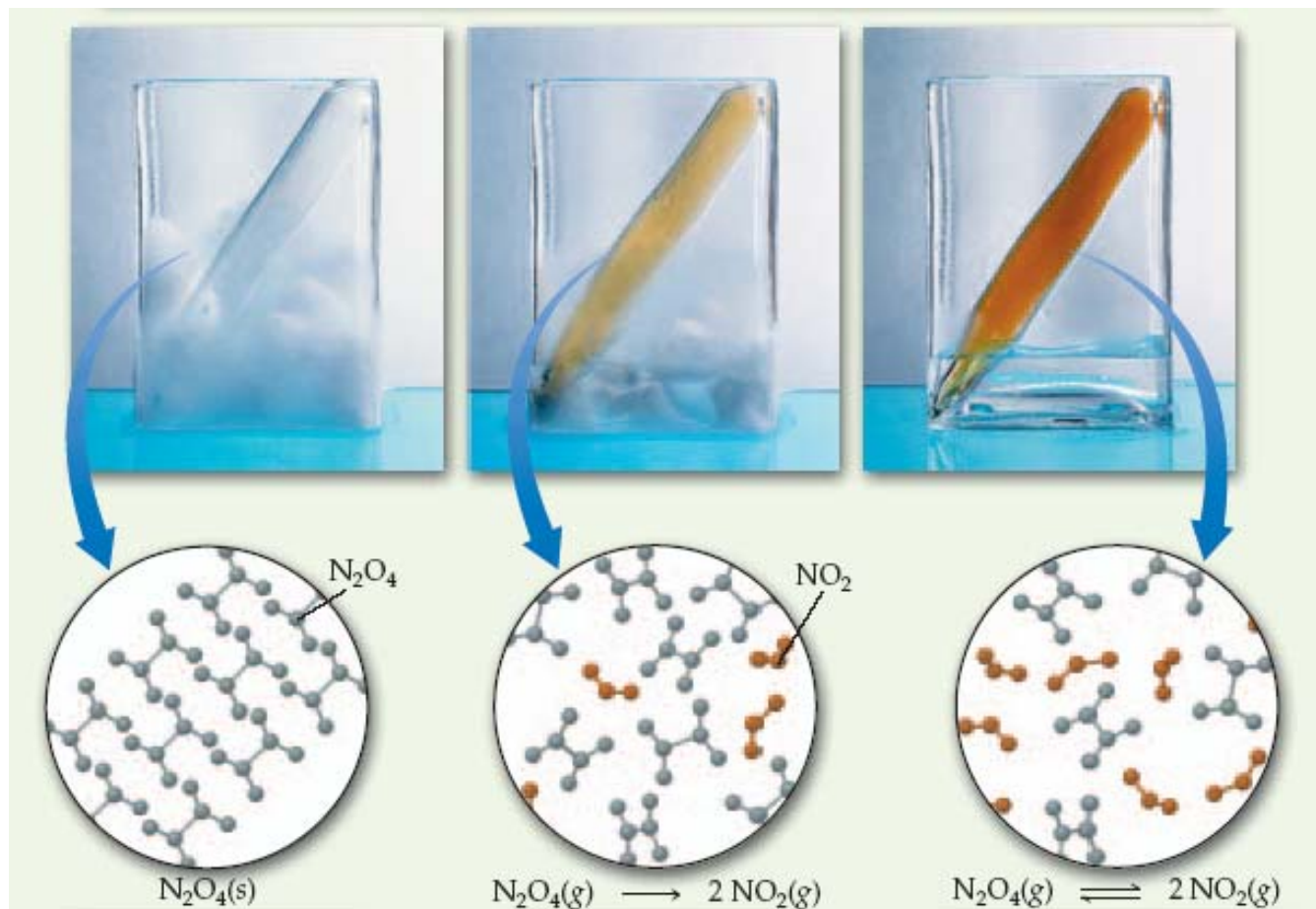
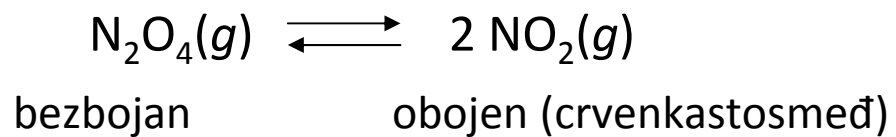
3) hemijska reakcija



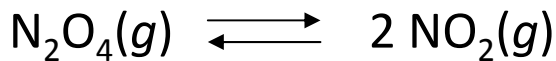
Homogena ravnoteža – ako su proizvodi i reaktanti u istoj fazi

Heterogena ravnoteža – ravnoteža uspostavljena između više faza

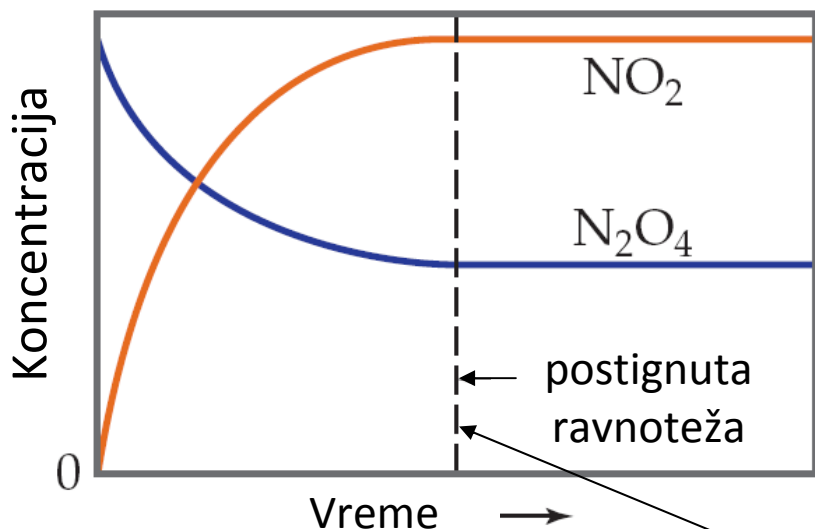
HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU



HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU



Kada se uspostavi ravnoteža nema promene koncentracije učesnika u reakciji sa vremenom – **ravnotežne koncentracije**



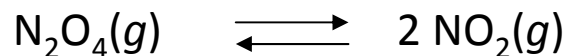
$$p = \frac{n}{V}RT$$

ravnotežni parcijalni pritisci

Vreme, s	0	20	40	60	80	100
$p(\text{N}_2\text{O}_4)$, atm	1,00	0,60	0,35	0,22	0,22	0,22
$p(\text{NO}_2)$, atm	0,00	0,80	1,30	1,56	1,56	1,56

HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

$t = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$



Eksperiment 1

	početni	ravnotežni
$p(\text{N}_2\text{O}_4), \text{atm}$	1,00	0,22
$p(\text{NO}_2), \text{atm}$	0,00	1,56

$$\frac{(p_{\text{NO}_2})^2}{p_{\text{N}_2\text{O}_4}} = \frac{(1,56)^2}{0,22} = 11 \text{ atm}$$

Eksperiment 2

	početni	ravnotežni
$p(\text{N}_2\text{O}_4), \text{atm}$	0,00	0,07
$p(\text{NO}_2), \text{atm}$	1,00	0,86

$$\frac{(p_{\text{NO}_2})^2}{p_{\text{N}_2\text{O}_4}} = \frac{(0,86)^2}{0,07} = 11 \text{ atm}$$

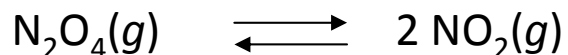
Eksperiment 3

	početni	ravnotežni
$p(\text{N}_2\text{O}_4), \text{atm}$	1,00	0,42
$p(\text{NO}_2), \text{atm}$	1,00	2,16

$$\frac{(p_{\text{NO}_2})^2}{p_{\text{N}_2\text{O}_4}} = \frac{(2,16)^2}{0,42} = 11 \text{ atm}$$

HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

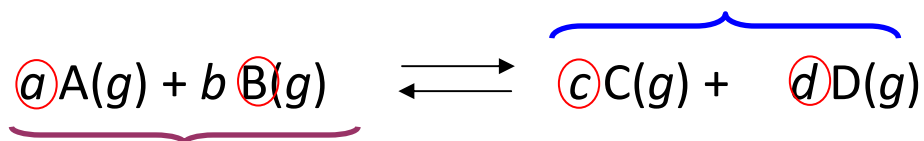
IZRAZ ZA KONSTANTU RAVNOTEŽE



$$\frac{(p_{\text{NO}_2})^2}{p_{\text{N}_2\text{O}_4}} = K$$

K – konstanta ravnoteže

Uopšteno za reakciju:



$$K = \frac{\overbrace{(p_{\text{C}})^c \cdot (p_{\text{D}})^d}}{\underbrace{(p_{\text{A}})^a \cdot (p_{\text{B}})^b}}$$

proizvodi u brojiocu

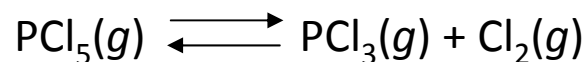
reaktanti u imeniocu

stepen – odgovarajući stehiometrijski koeficijenti

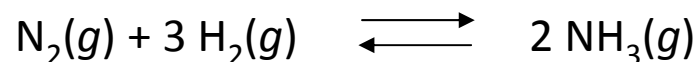
HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

IZRAZ ZA KONSTANTU RAVNOTEŽE

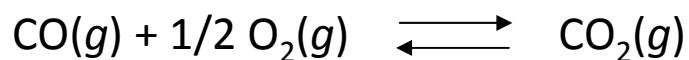
Primeri



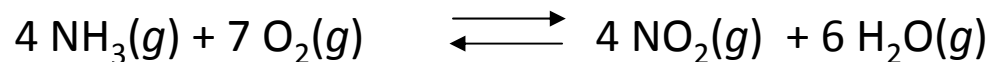
$$K = \frac{p_{\text{PCl}_3} p_{\text{Cl}_2}}{p_{\text{PCl}_5}}$$



$$K = \frac{(p_{\text{NH}_3})^2}{p_{\text{N}_2} (p_{\text{H}_2})^3}$$



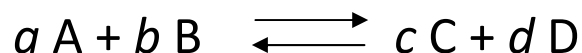
$$K = \frac{p_{\text{CO}_2}}{p_{\text{CO}} (p_{\text{O}_2})^{1/2}}$$



$$K = \frac{(p_{\text{H}_2\text{O}})^6 (p_{\text{NO}_2})^4}{(p_{\text{NH}_3})^4 (p_{\text{O}_2})^7}$$

HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

Konstanta ravnoteže izražena preko ravnotežnih koncentracija



$$K_p = \frac{(p_C)^c \cdot (p_D)^d}{(p_A)^a \cdot (p_B)^b}$$

formalna konstanta ravnoteže izražena preko parcijalnih pritisaka

$$p_A = \frac{n_A}{V} RT = [A] RT$$

slično za p_B, p_C, p_D

$$K_p = \frac{[C]^c (RT)^c [D]^d (RT)^d}{[A]^a (RT)^a [B]^b (RT)^b} = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b} (RT)^{(c+d-a-b)}$$

$$K_c = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b}$$

formalna konstanta ravnoteže izražena preko koncentracija

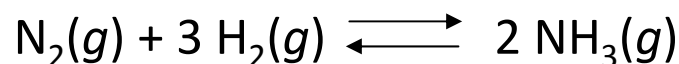
$$\sum v_i = c + d - a - b$$

$$K_p = K_c (RT)^{\sum v_i}$$

HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

Konstanta ravnoteže izražena preko ravnotežnih koncentracija

Primer



$$K_c = 8,2 \text{ mol}^{-2} \text{ dm}^6 \text{ na } 300 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$K_p = ?$$

$$\left. \begin{array}{l} K_p = K_c (RT)^{\sum v_i} \\ \sum v_i = 2 - 3 - 1 = -2 \end{array} \right\} K_p = K_c (RT)^{-2} = \frac{K_c}{(RT)^2}$$

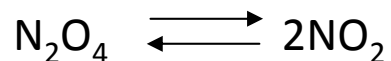
$$K_p = \frac{K_c}{(RT)^2} = \frac{8,2 \text{ mol}^{-2} \text{ dm}^6}{(0,0821 \text{ atm dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ K}^{-1})^2 (573 \text{ K})^2} = 0,0037 \text{ atm}^{-2}$$

$$R = 8,315 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} = 0,0821 \text{ dm}^3 \text{ atm mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

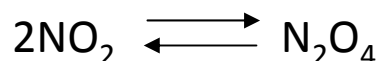
HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

Veza između hemijske jednačine i izraza za K

1. Suprotna reakcija



$$K_1 = \frac{(p_{\text{NO}_2})^2}{p_{\text{N}_2\text{O}_4}}$$



$$K_2 = \frac{p_{\text{N}_2\text{O}_4}}{(p_{\text{NO}_2})^2}$$

$$K_2 = \frac{1}{K_1} = (K_1)^{-1}$$

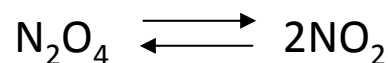
$$K_1 K_2 = 1$$

- konstanta ravnoteže suprotne reakcije jednaka je recipročnoj vrednosti konstante ravnoteže direktne reakcije

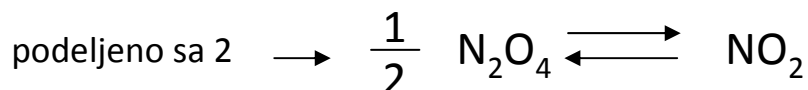
HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

Veza između hemijske jednačine i izraza za K

2. Promena koeficijenata hemijske jednačine



$$K_1 = \frac{(p_{\text{NO}_2})^2}{p_{\text{N}_2\text{O}_4}}$$



$$K_3 = \frac{p_{\text{NO}_2}}{(p_{\text{N}_2\text{O}_4})^{1/2}}$$

$$K_3 = \sqrt{K_1} = (K_1)^{1/2}$$

za jednačinu pomnoženu koeficijentom n

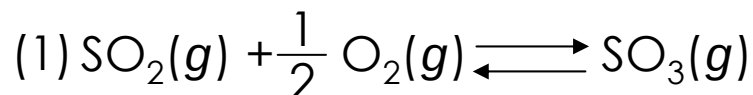
$$K_3 = K_1^n$$

- kada se stehiometrijski koeficijenti u hemijskoj jednačini pomnože faktorom n, nova konstanta ravnoteže se dobija stepenovanjem stare konstante ravnoteže tim faktorom n

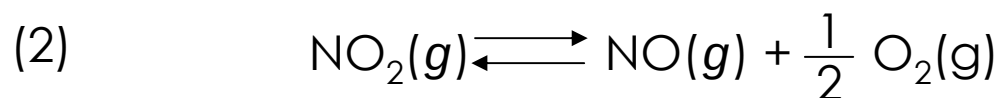
HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

Veza između hemijske jednačine i izraza za K

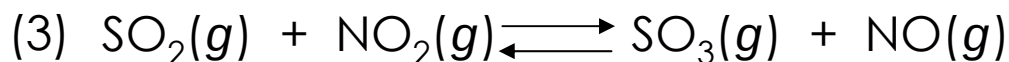
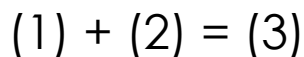
3. Sabiranje hemijskih jednačina



$$K_1 = \frac{p_{\text{SO}_3}}{p_{\text{SO}_2} (p_{\text{O}_2})^{1/2}}$$



$$K_2 = \frac{p_{\text{NO}} (p_{\text{O}_2})^{1/2}}{p_{\text{NO}_2}}$$



$$K_3 = \frac{p_{\text{SO}_3} p_{\text{NO}}}{p_{\text{SO}_2} p_{\text{NO}_2}}$$

$$K_1 K_2 = \frac{p_{\text{SO}_3}}{p_{\text{SO}_2} (p_{\text{O}_2})^{1/2}} \cdot \frac{p_{\text{NO}} (p_{\text{O}_2})^{1/2}}{p_{\text{NO}_2}} = K_3$$

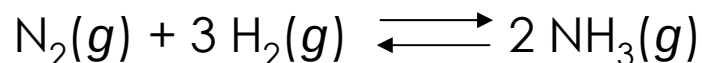
$$K_3 = K_1 K_2$$

HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

Izračunavanje konstante ravnoteže

- 1) poznati svi ravnotežni parcijalni pritisci
- 2) poznati početni uslovi i neki od ravnotežnih parcijalnih pritisaka

1) poznati svi ravnotežni parcijalni pritisci



u ravnoteži na nekoj temperaturi:

$$p_{\text{N}_2} = 0,70 \text{ atm}$$

$$p_{\text{H}_2} = 0,12 \text{ atm}$$

$$p_{\text{NH}_3} = 0,84 \text{ atm}$$

$$K = \frac{(p_{\text{NH}_3})^2}{p_{\text{N}_2} (p_{\text{H}_2})^3} = \frac{(0,84)^2}{(0,70) (0,12)^3} = 5,8 \cdot 10^2 \text{ atm}^{-2}$$

HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

Izračunavanje konstante ravnoteže

2) poznati početni uslovi i neki od ravnotežnih parcijalnih pritisaka



- početni pritisak HI 1,00 atm
- ravnotežni pritisak H₂ 0,10 atm

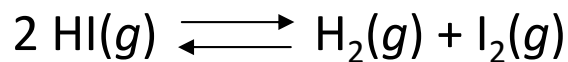
TABELA RAVNOTEŽE

	$2 \text{ HI}(g) \rightleftharpoons \text{H}_2(g) + \text{I}_2(g)$			
početni pritisak	p_o	1,00	0,00	0,00
promena	Δp	?	?	?
ravnotežni pritisak	p_r	?	0,10	?

HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

Izračunavanje konstante ravnoteže

2) poznati početni uslovi i neki od ravnotežnih parcijalnih pritisaka



- početni pritisak HI 1,00 atm

- ravnotežni pritisak H₂ 0,10 atm

$2 \text{ HI}(g) \rightleftharpoons \text{H}_2(g) + \text{I}_2(g)$				
početni pritisak	p_o	1,00	0,00	0,00
promena	Δp	$-?$	$+?$	$+?$
ravnotežni pritisak	p_r	$?$	0,10	$?$

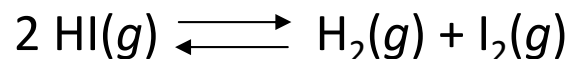
Za produkte: $p_r = p_o + \Delta p$

Za reaktante: $p_r = p_o - \Delta p$

HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

Izračunavanje konstante ravnoteže

2) poznati početni uslovi i neki od ravnotežnih parcijalnih pritisaka



- početni pritisak HI 1,00 atm

- ravnotežni pritisak H₂ 0,10 atm

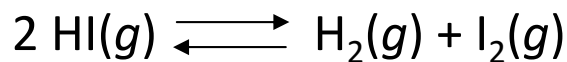
		$2 \text{ HI}(g) \rightleftharpoons \text{H}_2(g) + \text{I}_2(g)$		
početni pritisak	p_o	1,00	0,00	0,00
promena	Δp	- ?	+ 0,10	+ ?
ravnotežni pritisak	p_r	?	0,10	?

$$\left. \begin{array}{l} \text{Za H}_2: \quad p_r = 0,10 \text{ atm} \\ \text{Za produkte: } \quad p_r = p_o + \Delta p \end{array} \right\} \longrightarrow \begin{array}{l} \text{Za H}_2: \\ \Delta p = p_r - p_o = 0,10 - 0,00 = 0,10 \text{ atm} \end{array}$$

HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

Izračunavanje konstante ravnoteže

2) poznati početni uslovi i neki od ravnotežnih parcijalnih pritisaka



- početni pritisak HI 1,00 atm
- ravnotežni pritisak H₂ 0,10 atm

$2 \text{ HI}(g) \rightleftharpoons \text{H}_2(g) + \text{I}_2(g)$				
početni pritisak	p_o	1,00	0,00	0,00
promena	Δp	- ?	+0,10	+ ?
ravnotežni pritisak	p_r	?	0,10	?

promena

$$p = n \frac{RT}{V}$$

$$\Delta p(\text{HI}) \sim \Delta n(\text{HI})$$

$$\Delta p(\text{H}_2) \sim \Delta n(\text{H}_2)$$

$$\Delta p(\text{I}_2) \sim \Delta n(\text{I}_2)$$

$$\Delta n(\text{HI}) = n(\text{HI})_{\text{proreagovalo}}$$

$$\Delta n(\text{H}_2) = n(\text{H}_2)_{\text{nastalo}}$$

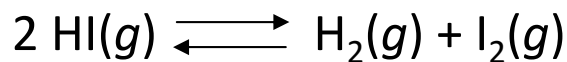
$$\Delta n(\text{I}_2) = n(\text{I}_2)_{\text{nastalo}}$$

Vezani
stehiometrijskim
odnosima

HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

Izračunavanje konstante ravnoteže

2) poznati početni uslovi i neki od ravnotežnih parcijalnih pritisaka



- početni pritisak HI 1,00 atm
- ravnotežni pritisak H₂ 0,10 atm

$2 \text{HI}(g) \rightleftharpoons \text{H}_2(g) + \text{I}_2(g)$				
početni pritisak	p_o	1,00	0,00	0,00
promena	Δp	- ?	+0,10	+0,10
ravnotežni pritisak	p_r	?	0,10	?

stehiometrijski odnosi

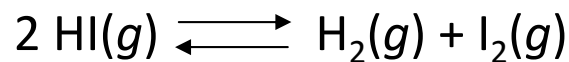
$$n(\text{H}_2)_{\text{nastalo}} = n(\text{I}_2)_{\text{nastalo}} \xrightarrow{p = n \frac{RT}{V}} \Delta p(\text{H}_2) = \Delta p(\text{I}_2) = 0,10 \text{ atm}$$

$$\Delta n(\text{H}_2) = \Delta n(\text{I}_2)$$

HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

Izračunavanje konstante ravnoteže

2) poznati početni uslovi i neki od ravnotežnih parcijalnih pritisaka



- početni pritisak HI 1,00 atm
- ravnotežni pritisak H₂ 0,10 atm

$2 \text{HI}(g) \rightleftharpoons \text{H}_2(g) + \text{I}_2(g)$				
početni pritisak	p_o	1,00	0,00	0,00
promena	Δp	- 0,20	+0,10	+0,10
ravnotežni pritisak	p_r	?	0,10	?

stehiometrijski odnosi

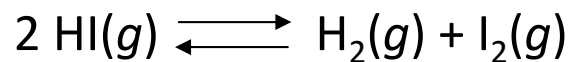
$$n(\text{HI})_{\text{noreagovalo}} = 2n(\text{I}_2)_{\text{nastalo}} \xrightarrow{p = n \frac{RT}{V}} \Delta p(\text{HI}) = 2 \Delta p(\text{I}_2) = 0,20 \text{ atm}$$

$$\Delta n(\text{HI}) = 2\Delta n(\text{I}_2)$$

HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

Izračunavanje konstante ravnoteže

2) poznati početni uslovi i neki od ravnotežnih parcijalnih pritisaka



- početni pritisak HI 1,00 atm
- ravnotežni pritisak H₂ 0,10 atm

$2 \text{ HI}(g) \rightleftharpoons \text{H}_2(g) + \text{I}_2(g)$				
početni pritisak	p_o	1,00	0,00	0,00
promena	Δp	- 0,20	+0,10	+0,10
ravnotežni pritisak	p_r	0,80	0,10	0,10

$$K = \frac{p_{\text{H}_2} p_{\text{I}_2}}{(p_{\text{HI}})^2} = \frac{(0,10) (0,10)}{(0,80)^2} = 0,016$$

U sud zapremine $1,0 \text{ dm}^3$ uneto je 131 g NOCl . Na $25 \text{ }^\circ\text{C}$ uspostavila se ravnoteža reakcije:



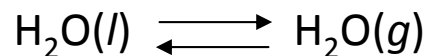
Izračunati vrednost formalne konstante ravnoteže K_c ove reakcije na $25 \text{ }^\circ\text{C}$, ako ravnotežna koncentracija NO iznosi $0,66 \text{ mol dm}^{-3}$.

$$K_c = 80 \text{ mol m}^{-3}$$

HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

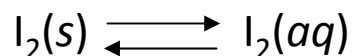
Heterogena ravnoteža

Kada je prisutno više od jedne faze – heterogena ravnoteža



Bez obzira na količinu vode ($\text{H}_2\text{O}, l$) u sudu $p(\text{H}_2\text{O}, g)$ je konstantno:

$$K = p(\text{H}_2\text{O})$$



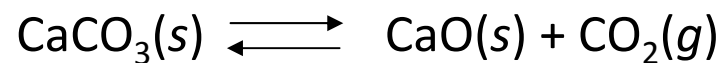
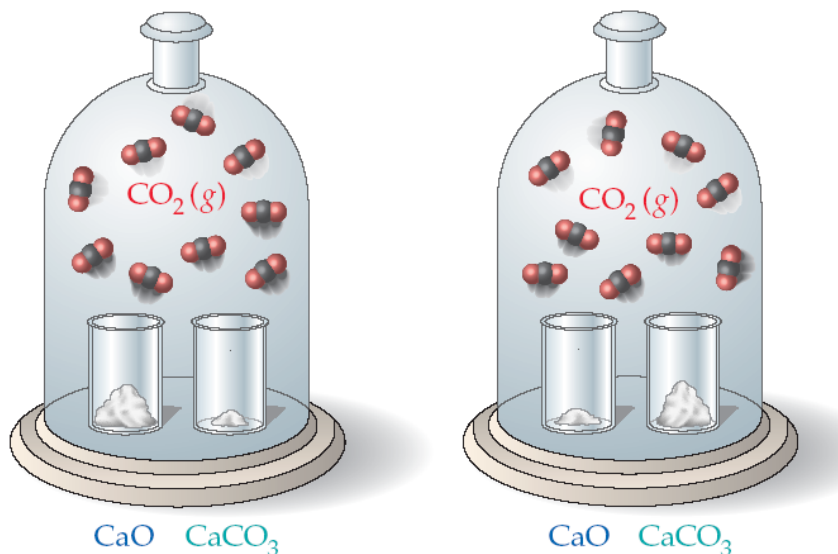
Bez obzira na količinu čvrstog joda (I_2, s) u epruveti koncentracija joda u rastvoru $[\text{I}_2]$ je konstantna:

$$K = [\text{I}_2]$$

HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

Heterogena ravnoteža

Kada je prisutno više od jedne faze – heterogena ravnoteža



Pritisak CO₂ je konstantan bez obzira na količine CaO i CaCO₃:

$$K = p(\text{CO}_2)$$

HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

Heterogena ravnoteža

Kada je prisutno više od jedne faze – heterogena ravnoteža

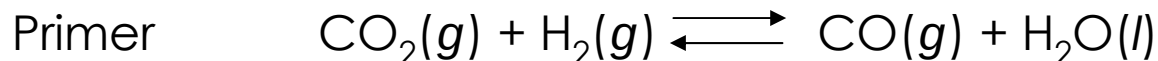
- ◆ Uspostavljanje ravnoteže ne zavisi od količine prisutne tečne ili čvrste supstance
- ◆ Izraz za konstantu heterogene ravnoteže **ne sadrži** članove za čiste **čvrste** supstance ili **tečnosti**

R a s t v o r i

- ◆ Rastvorene supstance ulaze u izraz za konstantu ravnoteže u obliku **molarnih koncentracija**
 - ◆ Rastvarač se ne pojavljuje u izrazu za konstantu ravnoteže
-

HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

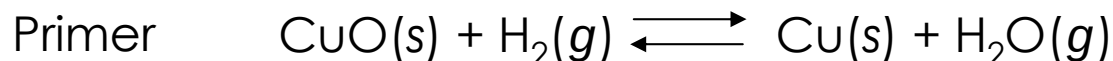
Heterogena ravnoteža



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

ravnotežni napon pare vode;
uvek ima konstantnu vrednost bez
obzira na masu tečne vode

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

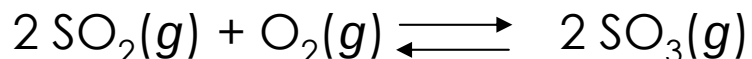


$$K = \frac{p_{\text{H}_2\text{O}}}{p_{\text{H}_2}}$$

HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

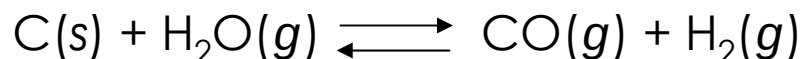
Vrednost (veličina) konstante ravnoteže

Vrednost konstante ravnoteže daje podatak o **sastavu reakcione smeše** u ravnoteži



$$K_p = \frac{(p_{\text{SO}_3})^2}{(p_{\text{SO}_2})^2 p_{\text{O}_2}} = 1,0 \text{ atm}^{-1} \text{ na } 1000 \text{ K} *$$

očekuje se značajno prisustvo i reaktanata i proizvoda u reakcionoj smeši



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

$\nearrow = 1,6 \cdot 10^{-21} \text{ atm na } 298 \text{ K}$
zanemarljiva količina proizvoda

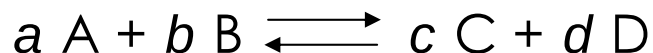
$\searrow = 10,0 \text{ atm na oko } 1100 \text{ K}$
značajno prisustvo i reaktanata i proizvoda

* $K \sim 0,01 \text{ kPa}^{-1}$: nije očigledno izraženo u Pa

HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

Vrednost (veličina) konstante ravnoteže

Vrednost konstante ravnoteže daje podatak o **sastavu reakcione smeše** u ravnoteži



$$K_c = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b} \gg 1$$

reaktanti

$$K \gg 1$$

proizvodi

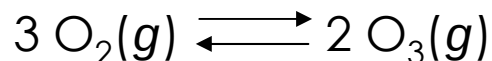


$$K_c = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b} \ll 1$$

reaktanti

$$K \ll 1$$

proizvodi

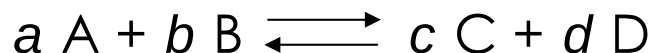


$$K_c = 6,25 \cdot 10^{-58} \text{ na } 25^\circ\text{C}$$

HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

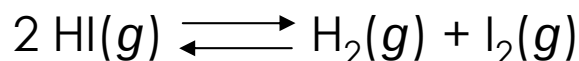
Vrednost (veličina) konstante ravnoteže

Vrednost konstante ravnoteže daje podatak o **sastavu reakcione smeše** u ravnoteži

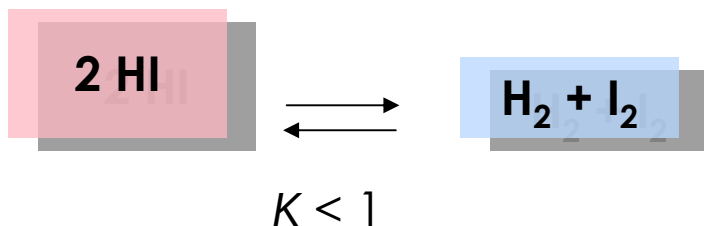


$$K_c = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b} \approx 1 \quad \text{mora se uzeti u obzir izraz za konstantu ravnoteže } (\sum v_i) \text{ i kolike su koncentracije}$$

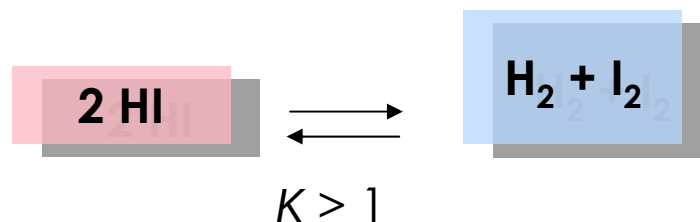
najjednostavniji slučaj: $\sum v_i = 0$



$$K_c = \frac{[\text{H}_2] [\text{I}_2]}{[\text{HI}]^2} < 1$$



$$\text{da je } K_c = \frac{[\text{H}_2] [\text{I}_2]}{[\text{HI}]^2} > 1$$



HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

Reakcioni količnik – Q (određivanje smera odigravanja reakcije)

$t = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$



Eksperiment 1

	početni	ravnotežni
$p(\text{N}_2\text{O}_4), \text{atm}$	1,00	0,22
$p(\text{NO}_2), \text{atm}$	0,00	1,56



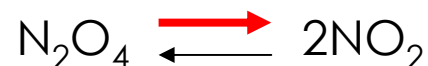
Eksperiment 2

	početni	ravnotežni
$p(\text{N}_2\text{O}_4), \text{atm}$	0,00	0,07
$p(\text{NO}_2), \text{atm}$	1,00	0,86



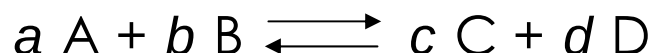
Eksperiment 3

	početni	ravnotežni
$p(\text{N}_2\text{O}_4), \text{atm}$	1,00	0,42
$p(\text{NO}_2), \text{atm}$	1,00	2,16



HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

Reakcioni količnik – Q (određivanje smera odigravanja reakcije)



$$Q = \frac{(p_C)^c \cdot (p_D)^d}{(p_A)^a \cdot (p_B)^b}$$

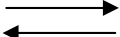
poredimo sa $K = \frac{(p_C)^c \cdot (p_D)^d}{(p_A)^a \cdot (p_B)^b}$

p_A, p_B, p_C, p_D – **početni pritisci**

p_A, p_B, p_C, p_D – **ravnotežni pritisci**

Može imati bilo koju vrednost

Ima tačno određenu vrednost za datu T

1. $Q < K$ - reakcija se odigrava u direktnom smeru 
2. $Q > K$ - reakcija se odigrava u suprotnom smeru 
3. $Q = K$ - sistem je u ravnoteži, nema vidljive promene 

HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

Reakcioni količnik – Q (određivanje smera odigravanja reakcije)



Eksperiment 1

	početni	ravnotežni
$p(\text{N}_2\text{O}_4), \text{atm}$	1,00	0,22
$p(\text{NO}_2), \text{atm}$	0,00	1,56

$$Q = \frac{(p_{\text{NO}_2})^2}{p_{\text{N}_2\text{O}_4}} = \frac{(0)^2}{1,00} = 0$$

$$K = \frac{(p_{\text{NO}_2})^2}{p_{\text{N}_2\text{O}_4}} = 11 \text{ atm}$$

$$Q < K$$



HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

Reakcioni količnik – Q (određivanje smera odigravanja reakcije)



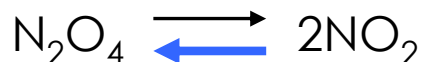
Eksperiment 2

	početni	ravnotežni
$p(\text{N}_2\text{O}_4), \text{atm}$	0,00	0,07
$p(\text{NO}_2), \text{atm}$	1,00	0,86

$$Q = \frac{(p_{\text{NO}_2})^2}{p_{\text{N}_2\text{O}_4}} = \frac{(1,00)^2}{0} \rightarrow \infty$$

$$K = \frac{(p_{\text{NO}_2})^2}{p_{\text{N}_2\text{O}_4}} = 11 \text{ atm}$$

$$Q > K$$



HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

Reakcioni količnik – Q (određivanje smera odigravanja reakcije)



Eksperiment 3

	početni	ravnotežni
$p(\text{N}_2\text{O}_4), \text{atm}$	1,00	0,42
$p(\text{NO}_2), \text{atm}$	1,00	2,16

$$Q = \frac{(p_{\text{NO}_2})^2}{p_{\text{N}_2\text{O}_4}} = \frac{(1,00)^2}{1,00} = 1 \text{ atm}$$

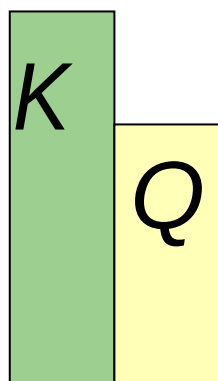
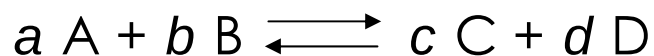
$$K = \frac{(p_{\text{NO}_2})^2}{p_{\text{N}_2\text{O}_4}} = 11 \text{ atm}$$

$$Q < K$$



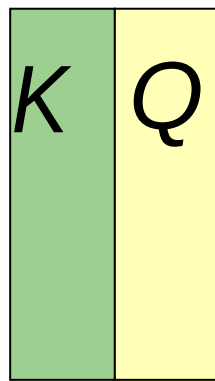
HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

Reakcioni količnik – Q (određivanje smera odigravanja reakcije)

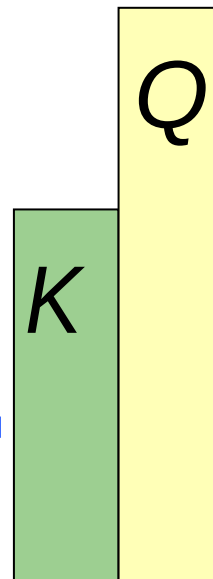


$$Q < K$$

$$Q = \frac{(p_C)^c \cdot (p_D)^d}{(p_A)^a \cdot (p_B)^b}$$



$$Q = K$$



$$Q > K$$

$$Q = \frac{(p_C)^c \cdot (p_D)^d}{(p_A)^a \cdot (p_B)^b}$$

HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

Reakcioni količnik – Q (određivanje smera odigravanja reakcije)

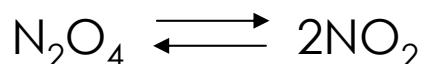


Primer:

$$t = 100\text{ }^{\circ}\text{C}, V = 2,0\text{ dm}^3$$

$$n(\text{N}_2\text{O}_4) = 0,10\text{ mol}$$

$$n(\text{NO}_2) = 0,20\text{ mol}$$

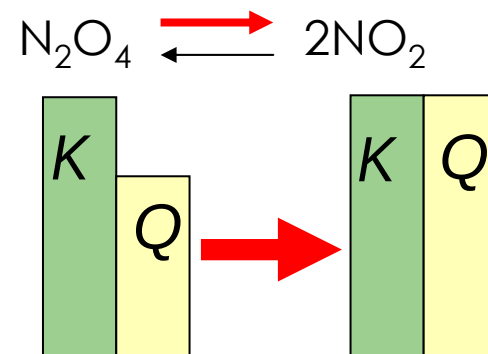


$$p_{\text{N}_2\text{O}_4} = \frac{nRT}{V} = \frac{0,10\text{ mol } 0,0821\text{ dm}^3\text{ atm mol}^{-1}\text{ K}^{-1} 373\text{ K}}{2,0\text{ dm}^3} = 1,5\text{ atm}$$

$$R = 8,315\text{ J mol}^{-1}\text{ K}^{-1} = 0,0821\text{ dm}^3\text{ atm mol}^{-1}\text{ K}^{-1}$$

$$p_{\text{NO}_2} = \frac{nRT}{V} = 3,0\text{ atm}$$

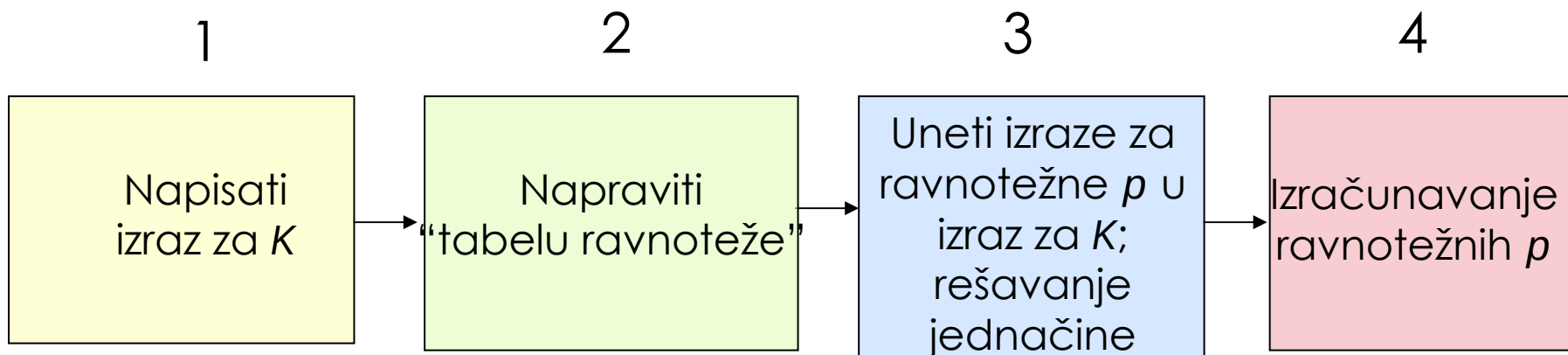
$$Q = \frac{(p_{\text{NO}_2})^2}{p_{\text{N}_2\text{O}_4}} = \frac{3,0^2}{1,5} = 6,0\text{ atm}$$
$$K(100\text{ }^{\circ}\text{C}) = 11\text{ atm}$$
$$\left. \begin{array}{l} Q = 6,0\text{ atm} \\ K = 11\text{ atm} \end{array} \right\} \rightarrow Q < K$$



HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

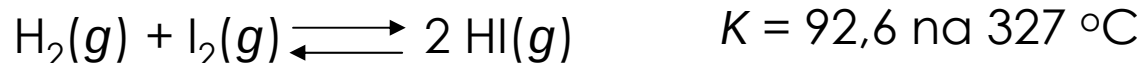
Izračunavanje ravnotežnih parcijalnih pritisaka

Korišćenje konstante ravnoteže za izračunavanje sastava reakcione smeše nakon postizanja ravnoteže



HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

Izračunavanje ravnotežnih parcijalnih pritisaka



početni pritisak I_2 1,98 atm
početni pritisak H_2 1,71 atm

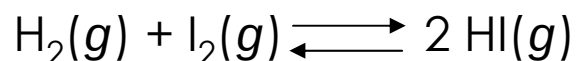
$$K = \frac{(p_{\text{HI}})^2}{p_{\text{H}_2} p_{\text{I}_2}}$$

1

Napisati
izraz za K

HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

Izračunavanje ravnotežnih parcijalnih pritisaka



$$K = 92,6 \text{ na } 327 \text{ }^\circ\text{C}$$

2

početni pritisak I_2 1,98 atm

početni pritisak H_2 1,71 atm

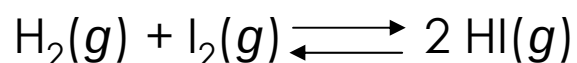
$$K = \frac{(p_{\text{HI}})^2}{p_{\text{H}_2} p_{\text{I}_2}}$$

Napraviti
"tabelu ravnoteže"

		$\text{H}_2(g) + \text{I}_2(g) \rightleftharpoons 2 \text{HI}(g)$		
početni pritisak	p_o	1,71	1,98	0,00
promena	Δp	?	?	?
ravnotežni pritisak	p_r	?	?	?

HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

Izračunavanje ravnotežnih parcijalnih pritisaka



$K = 92,6$ na $327\text{ }^\circ\text{C}$

2

početni pritisak I_2 1,98 atm
početni pritisak H_2 1,71 atm

$$K = \frac{(p_{\text{HI}})^2}{p_{\text{H}_2} p_{\text{I}_2}}$$

Napraviti
"tabelu ravnoteže"

		$\text{H}_2(g)$	+	$\text{I}_2(g)$	$\rightleftharpoons$	$2 \text{HI}(g)$
početni pritisak	p_o	1,71		1,98		0,00
promena	Δp	$-x$		$-x$		$2x$
ravnotežni pritisak	p_r					

Uvodimo nepoznatu x :

$$\Delta p(\text{H}_2) = x$$

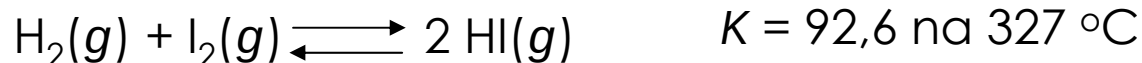
Stehiometrijski odnosi:

$$\Delta p(\text{H}_2) = \Delta p(\text{I}_2) = -x$$

$$\Delta p(\text{HI}) = 2 \Delta p(\text{H}_2) = 2x$$

HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

Izračunavanje ravnotežnih parcijalnih pritisaka



početni pritisak I_2 1,98 atm
početni pritisak H_2 1,71 atm

$$K = \frac{(p_{\text{HI}})^2}{p_{\text{H}_2} p_{\text{I}_2}}$$

2

Napraviti
"tabelu ravnoteže"

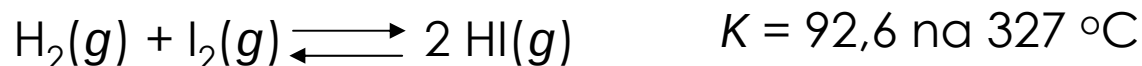
		$\text{H}_2(g)$	+	$\text{I}_2(g)$	$\rightleftharpoons$	$2 \text{HI}(g)$
početni pritisak	p_o	1,71		1,98		0,00
promena	Δp	-x		-x		2x
ravnotežni pritisak	p_r	$1,71 - x$		$1,98 - x$		2x

Za reaktante: $p_r = p_o - \Delta p$

Za produkte: $p_r = p_o + \Delta p$

HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

Izračunavanje ravnotežnih parcijalnih pritisaka



3

početni pritisak I_2 1,98 atm
početni pritisak H_2 1,71 atm

$$K = \frac{(p_{\text{HI}})^2}{p_{\text{H}_2} p_{\text{I}_2}}$$

Uneti izraze za
ravnotežne p u
izraz za K ;
rešavanje
jednačine

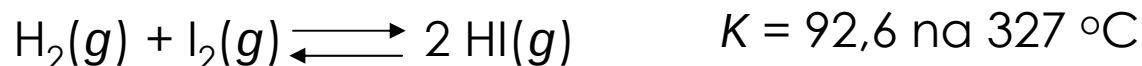
$\text{H}_2(g) + \text{I}_2(g) \rightleftharpoons 2 \text{HI}(g)$				
početni pritisak	p_o	1,71	1,98	0,00
promena	Δp	$-x$	$-x$	$2x$
ravnotežni pritisak	p_r	$1,71 - x$	$1,98 - x$	$2x$

$$K = \frac{(p_{\text{HI}})^2}{p_{\text{H}_2} p_{\text{I}_2}} = \frac{(2x)^2}{(1,71 - x)(1,98 - x)} \longrightarrow 88,6x^2 - 341,69x + 313,525 = 0$$

$x_1 = 1,504 \text{ atm} \quad x_2 = 2,352 \text{ atm}$

HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

Izračunavanje ravnotežnih parcijalnih pritisaka



3

početni pritisak I_2 1,98 atm
početni pritisak H_2 1,71 atm

$$K = \frac{(p_{\text{HI}})^2}{p_{\text{H}_2} p_{\text{I}_2}}$$

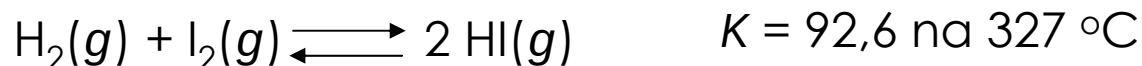
Uneti izraze za
ravnotežne p u
izraz za K ;
rešavanje
jednačine

		$\text{H}_2(g) + \text{I}_2(g) \rightleftharpoons 2 \text{HI}(g)$		
početni pritisak	p_o	1,71	1,98	0,00
promena	Δp	$-1,504$	$-1,504$	$2 \cdot 1,504$
ravnotežni pritisak	p_r	$1,71 - x$	$1,98 - x$	$2x$

$$x_1 = 1,504 \text{ atm}$$

HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

Izračunavanje ravnotežnih parcijalnih pritisaka



početni pritisak I_2 1,98 atm
početni pritisak H_2 1,71 atm

$$K = \frac{(p_{\text{HI}})^2}{p_{\text{H}_2} p_{\text{I}_2}}$$

4

Izračunavanje
ravnotežnih p

$\text{H}_2(g) + \text{I}_2(g) \rightleftharpoons 2 \text{HI}(g)$				
početni pritisak	p_o	1,71	1,98	0,00
promena	Δp	- 1,504	- 1,504	2 · 1,504
ravnotežni pritisak	p_r	1,71 - x	1,98 - x	2x

$$x_1 = 1,504 \text{ atm}$$

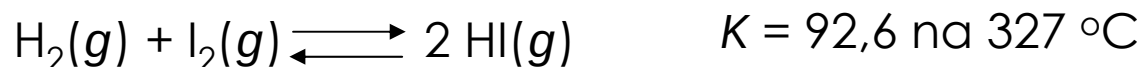
$$p_r(\text{H}_2) = 1,71 - x = 1,71 - 1,504 = 0,206 \text{ atm}$$

$$p_r(\text{I}_2) = 1,98 - x = 1,98 - 1,504 = 0,476 \text{ atm}$$

$$p_r(\text{HI}) = 2 \cdot x = 2 \cdot 1,504 = 3,01 \text{ atm}$$

HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

Izračunavanje ravnotežnih parcijalnih pritisaka



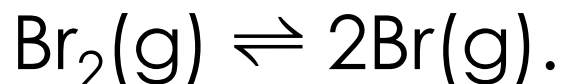
početni pritisak I_2 1,98 atm
početni pritisak H_2 1,71 atm

$$K = \frac{(p_{\text{HI}})^2}{p_{\text{H}_2} p_{\text{I}_2}}$$

$\text{H}_2(g) + \text{I}_2(g) \rightleftharpoons 2 \text{HI}(g)$				
početni pritisak	p_o	1,71	1,98	0,00
promena	Δp	- 1,504	- 1,504	2 · 1,504
ravnotežni pritisak	p_r	0,206	0,476	3,01

Provera rezultata:
$$K = \frac{(p_{\text{HI}})^2}{p_{\text{H}_2} p_{\text{I}_2}} = \frac{(3,01)^2}{(0,206) (0,476)} = 92,4$$

U sud zapremine $1,60 \text{ dm}^3$ uneto je $2,56 \text{ g Br}_2$. Na $1346 \text{ }^\circ\text{C}$ uspostavila se ravnoteža reakcije:



Izračunati pritisak ravnotežne smeše gasova, ako konstanta ravnoteže K_c ove reakcije na $1346 \text{ }^\circ\text{C}$ iznosi $0,0960 \text{ mol m}^{-3}$.

$$p_r = 141 \text{ kPa}$$

HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

Uticaj promene uslova na sistem u ravnoteži

Le Châtelierovo pravilo

Sistem u ravnoteži reaguje na spoljašnje promene na način kojim će ublažiti (poništiti) dejstvo te promene

1) uticaj dodatka ili uklanjanja reaktanta ili proizvoda

2) uticaj promene zapremine (pritiska) za reakcije u gasovitoj fazi

3) uticaj promene temperature

HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

Uticaj promene uslova na sistem u ravnoteži

1) uticaj dodatka ili uklanjanja reaktanta ili proizvoda

Sistem u ravnoteži reaguje na spoljašnje promene na način kojim će ublažiti (poništiti) dejstvo te promene

dodatak supstance – mora se utrošiti

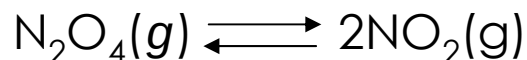
uklanjanje supstance – mora se stvoriti

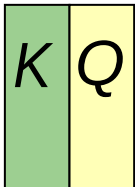
Uspostavlja se novo ravnotežno stanje, pri čemu je K nepromenjeno, a promenile su se sve ravnotežne koncentracije (pritisci)

HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

Uticaj promene uslova na sistem u ravnoteži

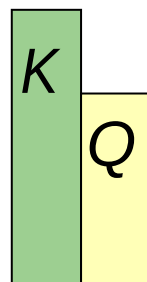
1) uticaj dodatka ili uklanjanja reaktanta ili proizvoda



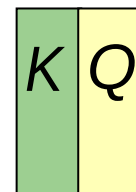
$$K = \frac{(p_{\text{NO}_2})^2}{p_{\text{N}_2\text{O}_4}} = 11 \text{ atm}$$

$$Q = K \quad Q = \frac{(p_{\text{NO}_2})^2}{p_{\text{N}_2\text{O}_4}}$$

Dodatak N_2O_4

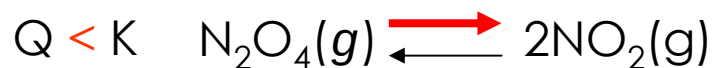
$$Q = \frac{(p_{\text{NO}_2})^2}{p_{\text{N}_2\text{O}_4}} \nearrow$$



Reakcija se odigrava u direktnom smeru sve dok se ne uspostavi novo ravnotežno stanje



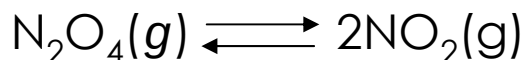
$$Q = K$$



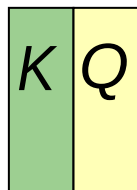
HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

Uticaj promene uslova na sistem u ravnoteži

1) uticaj dodatka ili uklanjanja reaktanta ili proizvoda



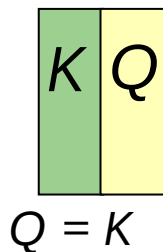
$$K = \frac{(p_{\text{NO}_2})^2}{p_{\text{N}_2\text{O}_4}} = 11 \text{ atm}$$



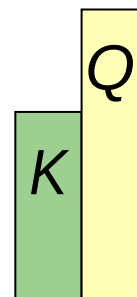
$$Q = K \quad Q = \frac{(p_{\text{NO}_2})^2}{p_{\text{N}_2\text{O}_4}}$$

Uklanjanje N_2O_4

$$Q = \frac{(p_{\text{NO}_2})^2}{p_{\text{N}_2\text{O}_4}} \quad \swarrow$$



Reakcija se odigrava u suprotnom smeru sve dok se ne uspostavi novo ravnotežno stanje



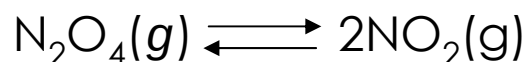
$$Q > K$$



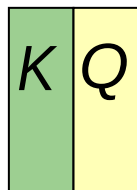
HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

Uticaj promene uslova na sistem u ravnoteži

1) uticaj dodatka ili uklanjanja reaktanta ili proizvoda



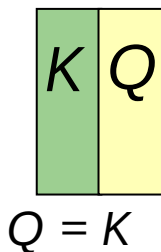
$$K = \frac{(p_{\text{NO}_2})^2}{p_{\text{N}_2\text{O}_4}} = 11 \text{ atm}$$



$$Q = K \quad Q = \frac{(p_{\text{NO}_2})^2}{p_{\text{N}_2\text{O}_4}}$$

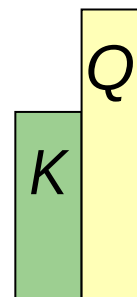
Dodatak NO_2

$$Q = \frac{(p_{\text{NO}_2})^2}{p_{\text{N}_2\text{O}_4}} \nearrow$$



$$Q = K$$

Reakcija se odigrava u suprotnom smeru sve dok se ne uspostavi novo ravnotežno stanje



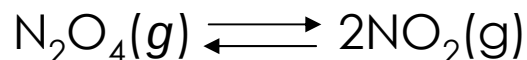
$$Q > K$$



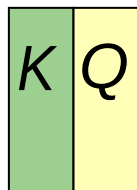
HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

Uticaj promene uslova na sistem u ravnoteži

1) uticaj dodatka ili uklanjanja reaktanta ili proizvoda



$$K = \frac{(p_{\text{NO}_2})^2}{p_{\text{N}_2\text{O}_4}} = 11 \text{ atm}$$

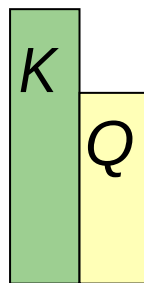


$$Q = K$$

$$Q = \frac{(p_{\text{NO}_2})^2}{p_{\text{N}_2\text{O}_4}}$$

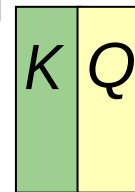
Uklanjanje NO_2

$$Q = \frac{(p_{\text{NO}_2})^2}{p_{\text{N}_2\text{O}_4}}$$



$$Q < K$$

Reakcija se odigrava u direktnom smeru sve dok se ne uspostavi novo ravnotežno stanje



$$Q = K$$



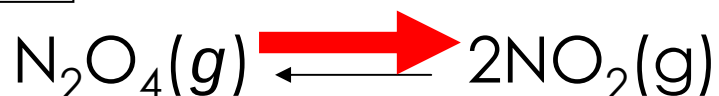
HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

Uticaj promene uslova na sistem u ravnoteži

1) uticaj dodatka ili uklanjanja reaktanta ili proizvoda

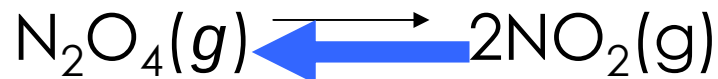
Sistem u ravnoteži reaguje na spoljašnje promene na način kojim će ublažiti (poništiti) dejstvo te promene

Dodatak N_2O_4



U direktnoj reakciji se troši reaktant, N_2O_4

Uklanjanje N_2O_4



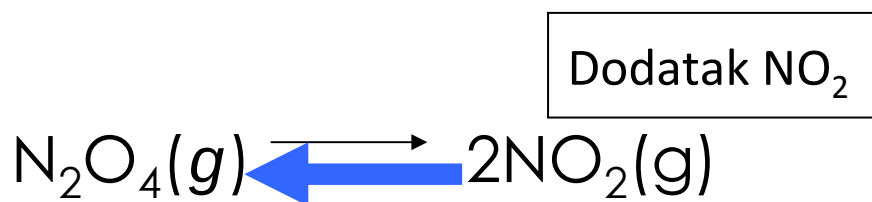
U povratnoj reakciji se stvara (nadoknađuje) reaktant, N_2O_4

HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

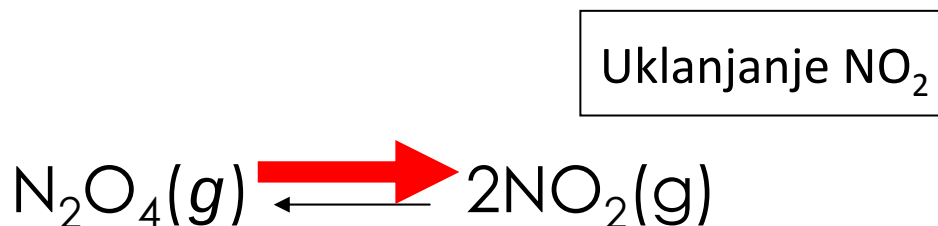
Uticaj promene uslova na sistem u ravnoteži

1) uticaj dodatka ili uklanjanja reaktanta ili proizvoda

Sistem u ravnoteži reaguje na spoljašnje promene na način kojim će ublažiti (poništiti) dejstvo te promene



U povratnoj reakciji se se troši proizvod, NO_2



U direktnoj reakciji se stvara (nadoknađuje) proizvod, NO_2

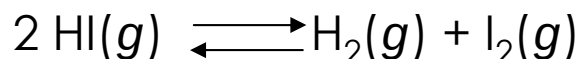
Vrednost K ostaje ista

Nove ravnotežne koncentracije (pritisci)

HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

Uticaj promene uslova na sistem u ravnoteži

1) uticaj dodatka ili uklanjanja reaktanta ili proizvoda



$2 \text{HI}(g) \rightleftharpoons \text{H}_2(g) + \text{I}_2(g)$				
početni pritisak	p_o	1,00	0,00	0,00
promena	Δp	-0,20	+0,10	+0,10
ravnotežni pritisak	p_r	0,80	0,10	0,10

$$K = \frac{p_{\text{H}_2} p_{\text{I}_2}}{(p_{\text{HI}})^2} = \frac{(0,10) (0,10)}{(0,80)^2} = 0,016$$

uspostavljena ravnoteža

Dodat HI tako da je pritisak HI porastao na 1 atm → novi početni uslovi

* Primer:

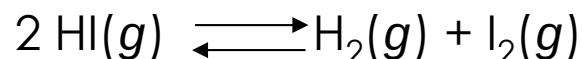
Izračunavanje konstante ravnoteže

2) poznati početni uslovi i neki od ravnotežnih parcijalnih pritisaka

HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

Uticaj promene uslova na sistem u ravnoteži

1) uticaj dodatka ili uklanjanja reaktanta ili proizvoda



		$2 \text{HI}(g) \rightleftharpoons \text{H}_2(g) + \text{I}_2(g)$		
početni pritisak	p_o	1,00	0,00	0,00
promena	Δp	-0,20	+0,10	+0,10
ravnotežni pritisak	p_r	0,80	0,10	0,10

NOVA TABELA RAVNOTEŽE

novi početni uslovi

1 atm

0,10 atm

0,10 atm

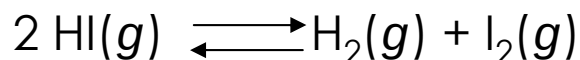
Dodat HI tako da je pritisak HI porastao na 1 atm

novi početni uslovi

HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

Uticaj promene uslova na sistem u ravnoteži

1) uticaj dodatka ili uklanjanja reaktanta ili proizvoda



NOVA TABELA RAVNOTEŽE

		$2 \text{HI}(g)$	$\rightleftharpoons$	$\text{H}_2(g)$	+	$\text{I}_2(g)$
početni pritisak	p_o	1,00		0,10		0,10
promena	Δp	$-2x$		$+x$		$+x$
ravnotežni pritisak	p_r	$1,00 - 2x$		$0,10 + x$		$0,10 + x$

$$K = \frac{p_{\text{H}_2} p_{\text{I}_2}}{(p_{\text{HI}})^2} = \frac{(0,10 + x)(0,10 + x)}{(1,00 - 2x)^2} = 0,016$$

$$x = 0,024 \text{ atm}$$

$$p_r(\text{H}_2) = 0,10 + x = 0,12 \text{ atm}$$

$$p_r(\text{I}_2) = 0,10 + x = 0,12 \text{ atm}$$

$$p_r(\text{HI}) = 1,00 - 2x = 0,95 \text{ atm}$$

HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

Uticaj promene uslova na sistem u ravnoteži

1) uticaj dodatka ili uklanjanja reaktanta ili proizvoda

Pre dodatka HI		$2 \text{ HI}(g) \rightleftharpoons \text{H}_2(g) + \text{I}_2(g)$
ravnotežni pritisak	p_r	0,80 0,10 0,10

Dodat HI tako da je pritisak
HI porastao na **1 atm**



$$K = 0,016$$

Novo ravnotežno stanje		$2 \text{ HI}(g) \rightleftharpoons \text{H}_2(g) + \text{I}_2(g)$
ravnotežni pritisak	p_r	0,95 0,12 0,12

HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

Uticaj promene uslova na sistem u ravnoteži

2) uticaj promene zapremine (pritiska) za reakcije u gasovitoj fazi

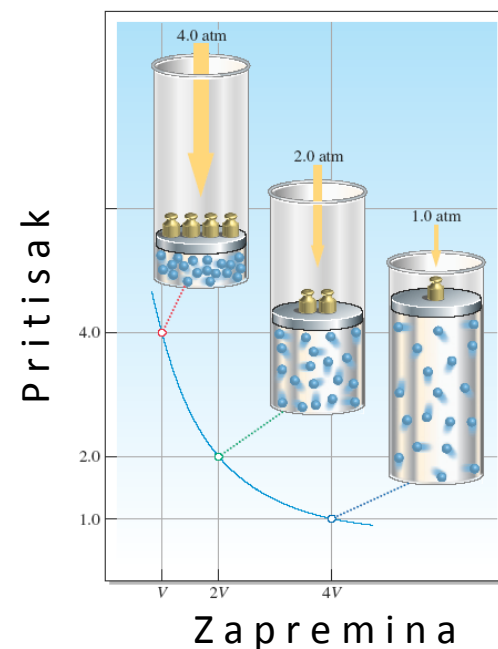
Sistem u ravnoteži reaguje na spoljašnje promene na način kojim će ublažiti (poništiti) dejstvo te promene

smanjenje zapremine $\Leftrightarrow$ povećanje pritiska

povećanje zapremine $\Leftrightarrow$ smanjenje pritiska

$$p = \frac{n}{V}RT$$

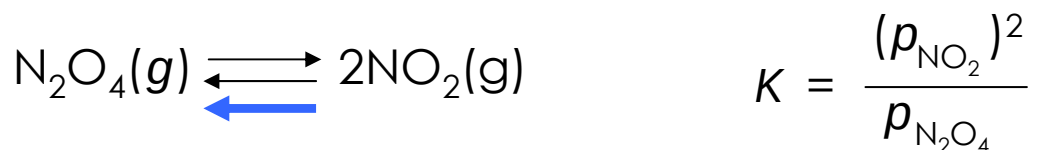
Ako se promeni pritisak dodatkom nekog gasa koji ne učestvuje u reakciji to neće imati uticaj na promenu položaja ravnoteže



HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

Uticaj promene uslova na sistem u ravnoteži

2) uticaj promene zapremine (pritiska) za reakcije u gasovitoj fazi



smanjenje zapremine $\Leftrightarrow$ povećanje pritiska

$$\nearrow p(\text{N}_2\text{O}_4) = \frac{n(\text{N}_2\text{O}_4)}{V} RT \searrow$$

$$\nearrow p(\text{NO}_2) = \frac{n(\text{NO}_2)}{V} RT \searrow$$

Smanjenjem zapremine podjednako se povećavaju parcijalni pritisci N_2O_4 i NO_2 , ali:

$$Q = \frac{(p_{\text{NO}_2})^2}{p_{\text{N}_2\text{O}_4}} > K$$

Reakcija se odigrava u suprotnom smeru

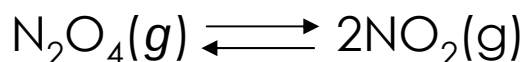
Rezultat: smanjenje ukupne količine gasova



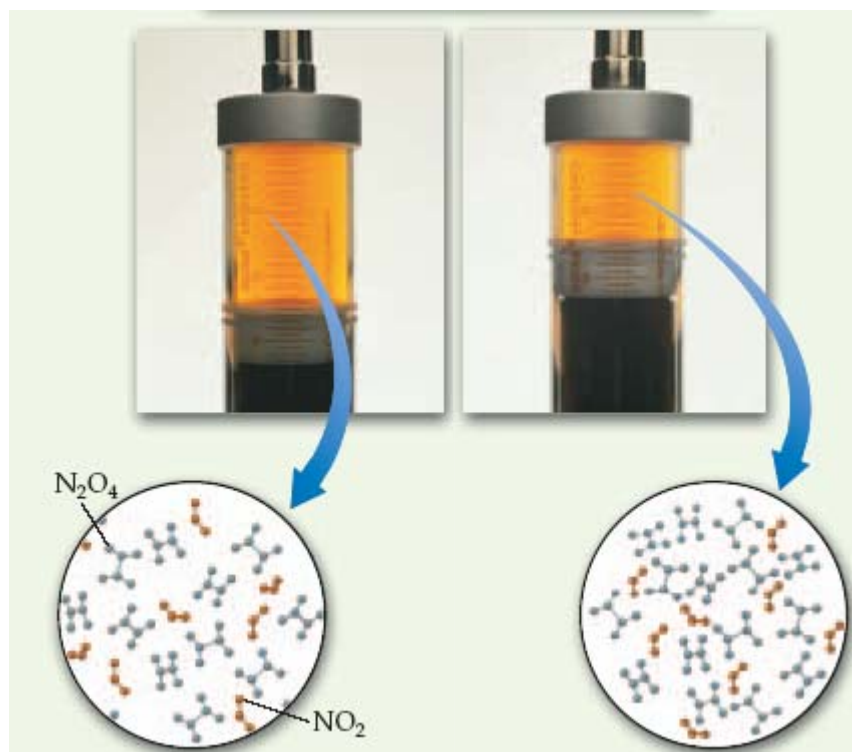
HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

Uticaj promene uslova na sistem u ravnoteži

2) uticaj promene zapremine (pritiska) za reakcije u gasovitoj fazi

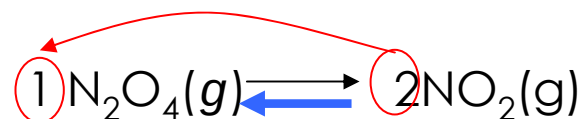


smanjenje zapremine $\Leftrightarrow$ povećanje pritiska



$$p = \frac{n}{V}RT$$

Odgovor sistema: **smanjenje**
ukupne količine gasova

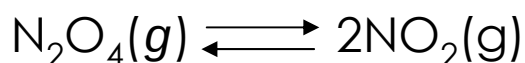


Boja postaje svetlija,
jer ima manje NO_2

HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

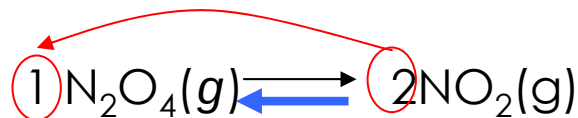
Uticaj promene uslova na sistem u ravnoteži

2) uticaj promene zapremine (pritiska) za reakcije u gasovitoj fazi



smanjenje zapremine $\Leftrightarrow$ povećanje pritiska

$$p = \frac{n}{V}RT$$



Odgovor sistema: **smanjenje**
ukupne količine gasova

$p_{\text{ukupno}}, \text{ atm}$	$n(\text{NO}_2), \text{ mol}$	$n(\text{N}_2\text{O}_4), \text{ mol}$	$n_{\text{ukupno}}, \text{ mol}$
1,0	0,92	0,08	1,00
2,0	0,82	0,13	0,95
5,0	0,64	0,22	0,86
10,0	0,50	0,29	0,79

$$K = \frac{(p_{\text{NO}_2})^2}{p_{\text{N}_2\text{O}_4}} = 11 \text{ atm} \rightarrow \text{ne menja se}$$

HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

Uticaj promene uslova na sistem u ravnoteži

2) uticaj promene zapremine (pritiska) za reakcije u gasovitoj fazi

Sistem u ravnoteži reaguje na spoljašnje promene na način kojim će ublažiti (poništiti) dejstvo te promene

smanjenje zapremine $\Leftrightarrow$ povećanje pritiska

Kada se sistem **sabija**, čime se **povećava ukupni pritisak**, reakcija se odvija u onom smeru u kome dolazi do **smanjenja ukupne količine gasova**

povećanje zapremine $\Leftrightarrow$ smanjenje pritiska

Kada se sistem **širi**, čime se **smanjuje ukupni pritisak**, reakcija se odvija u onom smeru u kome dolazi do **povećanja ukupne količine gasova**

HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

Uticaj promene uslova na sistem u ravnoteži

2) uticaj promene zapremine (pritiska) za reakcije u gasovitoj fazi

Primeri



Reakcija	Σv_i	sabijanje povećanje p_{ukupno}	širenje smanjenje p_{ukupno}
$\text{N}_2\text{O}_4(g) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(g)$	+ 1		
$\text{N}_2(g) + 3 \text{H}_2(g) \rightleftharpoons 2 \text{NH}_3(g)$	- 2		
$\text{SO}_2(g) + \frac{1}{2} \text{O}_2(g) \rightleftharpoons \text{SO}_3(g)$	$-\frac{1}{2}$		
$\text{C}(s) + \text{H}_2\text{O}(g) \rightleftharpoons \text{CO}(g) + \text{H}_2(g)$	+ 1		
$\text{N}_2(g) + \text{O}_2(g) \rightleftharpoons 2\text{NO}(g)$	0	nema promene	nema promene

HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

Uticaj promene uslova na sistem u ravnoteži

3) uticaj promene temperature

Sistem u ravnoteži reaguje na spoljašnje promene na način kojim će ublažiti (poništiti) dejstvo te promene

Potrebno je poznavati ***toplotni efekat reakcije***

Povećanje temperature

(dovođenje toplote)

favorizuje

endotermnu reakciju

(trošenje toplote)

Smanjenje temperature

(odvođenje toplote)

favorizuje

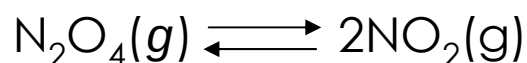
egzotermnu reakciju

(stvaranje toplote)

HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

Uticaj promene uslova na sistem u ravnoteži

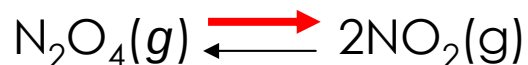
3) uticaj promene temperature



$$\Delta H^\ominus = 57,2 \text{ kJ mol}^{-1}$$

direktna reakcije je endotermna
povratna reakcija je egzotermna

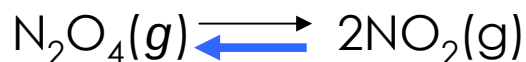
Povećanje temperature (dovođenje toplote)
favorizuje
endotermnu reakciju (trošenje toplote)



$$\Delta H^\ominus = 57,2 \text{ kJ mol}^{-1}$$

favorizovana
direktna
reakcija

Smanjenje temperature (odvođenje toplote)
favorizuje
egzotermnu reakciju (stvaranje toplote)



$$\Delta H^\ominus = 57,2 \text{ kJ mol}^{-1}$$

favorizovana
suprotna
reakcija

HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

Uticaj promene uslova na sistem u ravnoteži

3) uticaj promene temperature



povećanje temperature



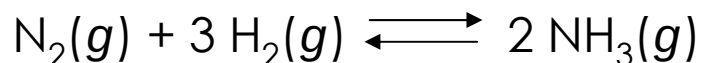
smanjenje temperature



HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

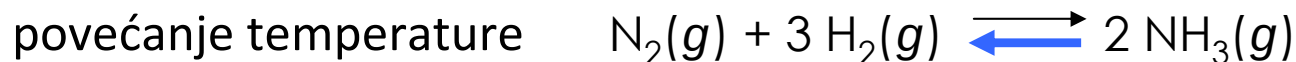
Uticaj promene uslova na sistem u ravnoteži

3) uticaj promene temperature



$$\Delta H^\ominus = -92,2 \text{ kJ mol}^{-1}$$

egzotermna reakcija



Dolazi do **promene vrednosti konstante**, jer ona zavisi od temperature

$$K = A' e^{-\Delta H^\ominus/RT}$$

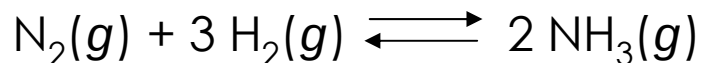
Vant Hofova jednačina

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

HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

Uticaj promene uslova na sistem u ravnoteži

3) uticaj promene temperature

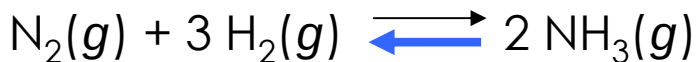


$$\Delta H^\ominus = -92,2 \text{ kJ mol}^{-1}$$

egzotermna reakcija

$$K_1 = 6 \cdot 10^5 \text{ atm}^{-2} \quad \text{na } 25^\circ\text{C}$$

povećanje temperature na 100°C



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



$$K_2 = 4 \cdot 10^2 \text{ atm}^{-2} \text{ na } 100^\circ\text{C} < K_1 = 6 \cdot 10^5 \text{ atm}^{-2} \text{ na } 25^\circ\text{C}$$

HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

Uticaj promene uslova na sistem u ravnoteži

3) uticaj promene temperature

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

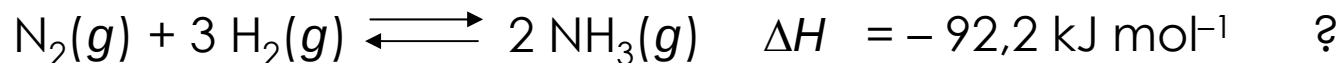
Ako je direktna reakcija **egzotermna** ($\Delta H < 0$) **konstanta** ravnoteže **opada** sa **povećanjem temperature**

Ako je direktna reakcija **endoterma** ($\Delta H > 0$) **konstanta** ravnoteže **raste** sa **povećanjem temperature**

HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

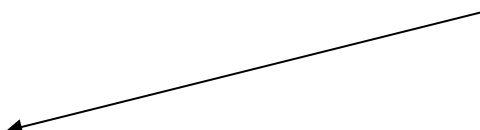
Uticaj promene uslova na sistem u ravnoteži

Kako povećati prinos amonijaka u reakciji:



$$K = 6 \cdot 10^5 \text{ atm}^{-2} \text{ na } 25 \text{ }^\circ\text{C} \quad K = \frac{(p_{\text{NH}_3})^2}{p_{\text{N}_2} (p_{\text{H}_2})^3}$$

Vrlo veliko K , ali je reakcija izuzetno spora



Povećanje temperature će ubrzati reakciju,
ali **se smanjuje K (egzotermna reakcija)**

Kompromis:

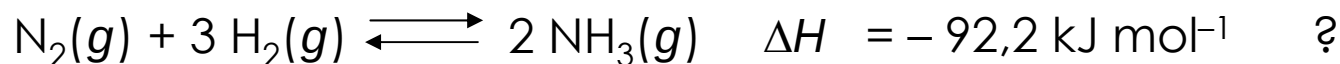
Korišćenje katalizatora (Fe , Al_2O_3 i K_2O) uz zagrevanje na oko $400 - 500 \text{ }^\circ\text{C}$

$$K = 1,4 \cdot 10^{-5} \text{ atm}^{-2} \quad \text{na } 500 \text{ }^\circ\text{C}$$

HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

Uticaj promene uslova na sistem u ravnoteži

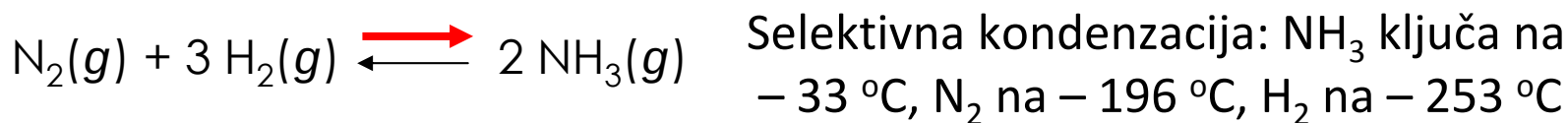
Kako povećati prinos amonijaka u reakciji:



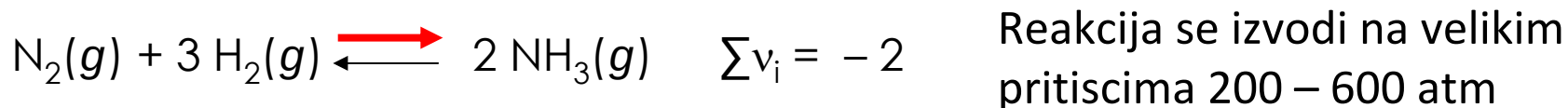
$$K = 1,4 \cdot 10^{-5} \text{ atm}^{-2} \quad \text{na } 500 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$K = \frac{(p_{\text{NH}_3})^2}{p_{\text{N}_2} (p_{\text{H}_2})^3}$$

♦ Uklanjanje amonijaka iz reakcione smeše favorizuje direktnu reakciju:



♦ Povećanje pritiska favorizuje direktnu reakciju:



Haber-Bošov postupak

HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

Veza između konstante ravnoteže i promene slobodne energije reakcije

Konstanta ravnoteže i odigravanje direktne reakcije

Postoji veza između K i ΔG	$K > 1$	$a A + b B \rightleftharpoons c C + d D$	reakcija se odigrava u pravcu stvaranja proizvoda direktna reakcija je spontana
	$K < 1$	$a A + b B \rightleftharpoons c C + d D$	reakcija se odigrava u pravcu stvaranja reaktanata direktna reakcija nije spontana

Promena slobodne energije i odigravanje direktne reakcije

Postoji veza između K i ΔG	$\Delta G < 0$	$a A + b B \rightleftharpoons c C + d D$	direktna reakcija je spontana
	$\Delta G > 0$	$a A + b B \rightleftharpoons c C + d D$	direktna reakcija nije spontana

HEMIJSKA RAVNOTEŽA U GASOVITOM STANJU

Veza između konstante ravnoteže i promene slobodne energije reakcije

Za sistem u ravnoteži:

$$\Delta G^{\ominus} = -RT \ln K$$

Važi za K_p u jedinicama $(\text{atm})^{\sum \nu_i}$ ili K_c u jedinicama $(\text{mol dm}^{-3})^{\sum \nu_i}$

$\Delta G^{\ominus}$	K	<i>stvaranje produkata</i>
$\Delta G^{\ominus} < 0$	$K > 1$	<i>produkti su favorizovaniji</i>
$\Delta G^{\ominus} > 0$	$K < 1$	<i>reaktanti su favorizovaniji</i>
$\Delta G^{\ominus} = 0$	$K = 1$	<i>redak slučaj kada je</i> $[A]^a [B]^b = [C]^c [D]^d$