

dr. sc. Zora Popović • Ljiljana Kovačević • Nikolina Ribarić

Kemija³

Udžbenik za treći razred gimnazije

3. izdanje



2022.



Nakladnik

ALFA d. d. Zagreb

Nova Ves 23a

Za nakladnika

Ivan Petric

Direktorica nakladništva

mr. sc. Daniela Novoselić

Urednica za Prirodu, Biologiju i Kemiju

mr. sc. Daniela Novoselić

Recenzija

dr. sc. Draginja Mrvoš Sermek

Romina Tomas Grđan, prof.

Lektura

Marijana Ivić

Korektura

Marijana Ivić

Likovno i grafičko oblikovanje

Vilim Plužarić

Ilustracije

Igor Bojan Vilagoš

Željko Popović, dipl. ing.

Fotografije

shutterstock.com

arhiva Alfe

Tehnička priprema

Alfa d. d.

Tisak

Og grafika d. o. o.

Proizvedeno u Republici Hrvatskoj, EU

Udžbenik je uvršten u Katalog odobrenih udžbenika rješenjem Ministarstva znanosti i obrazovanja Republike Hrvatske:

KLASA: UP/I-602-09/20-03/00007, URBROJ: 533-06-20-0002, od 30. travnja 2020. godine.

CIP zapis dostupan je u računalnome katalogu Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu pod brojem **001125302**

OPSEG PAPIRNATOG IZDANJA	MASA PAPIRNATOG IZDANJA	KNJIŽNI FORMAT	CIJENA
228 str.	474 g	265 mm (v) x 210 mm (š)	115,00 kn

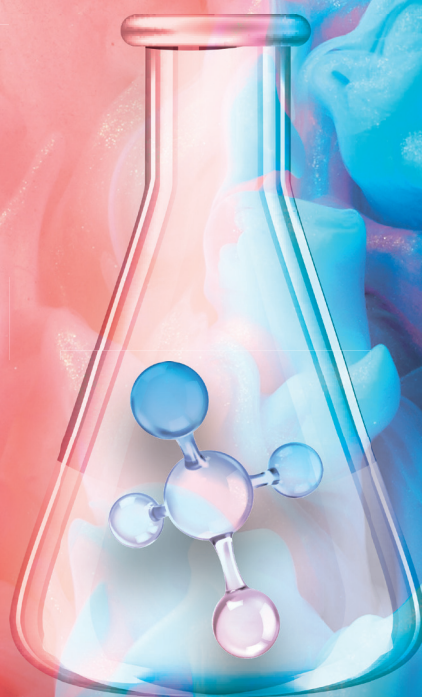
Digitalno izdanje dostupno je na digitalnoj platformi *mozaLearn* na internetskoj adresi **www.mozaweb.com/hr**

pod identifikacijskim brojem **HR-ALFA-KEM3-2192**.

©Alfa

Ova knjiga, ni bilo koji njezin dio, ne smije se umnožavati ni na bilo koji način reproducirati bez nakladnikova pismenog dopuštenja.

Mozaik Education Ltd. zadržava intelektualno vlasništvo i sva autorska prava za komercijalne nazive *mozaBook*, *mozaWeb* i *mozaLearn*, digitalne proizvode, sadržaje i usluge proizvedene neovisno o nakladniku Alfa d. d.



Kennija³



Dragi učenici,

pred vama je *Kemija 3*, udžbenik za treći razred gimnazije. Napisale smo ga prema općim i specifičnim ciljevima i načelima predmetnog kurikulumu Kemije, a propisano nastavno gradivo razvrstano je u četiri tematske cjeline na temelju četiriju obaveznih koncepata: *Tvari*, *Promjene i procesi*, *Energija* i *Prirodno-znanstveni pristup*.

Iako prva tri koncepta zapravo objedinjuju sve suštinske teme u kemiji, uključivanjem prirodno-znanstvenog pristupa omogućeno je da usvajanje sadržaja spomenutih triju koncepata ne ostane na razini suhoparnih činjenica potvrđenih formulama, već se istodobnim razvijanjem eksperimentalnih i matematičkih vještina kod vas potiču potrebe da svoja promišljanja o sličnostima i razlikama različitih prirodnih sustava, o njihovu međudjelovanju i međuovisnosti izrazite jezikom znanosti. Tako razvijate i unaprjeđujete svoju prirodoslovnu pismenost.

Tim je slijedom nastavna građa podijeljena u cjeline: *Kemijska ravnoteža*, *Kiselinske baze i soli*, *Elektrokemija* i *Organski spojevi s kisikom*.

U ovom udžbeniku nastavna je građa prilagođena ostvarivanju očekivanih odgojno-obrazovnih ishoda i predmetnog kurikulumu i srodnih međupredmetnih kurikulumu te su oni jasno istaknuti prije obrade svake tematske cjeline. Osim toga u udžbeniku su sadržaji koji povezuju spoznaje i iz drugih polja prirodnih znanosti (fizike, biologije) te sadržaji koji su nadogradnja znanja i usvojenih vještina iz kemije stečenih u prethodnim razredima (tzv. spiralni pristup učenju).

Zbog neraskidive veze makrosvijeta i mikrosvijeta pri tumačenju kemijskih promjena, uključeni su prikazi i na čestičnoj razini gdje je god bilo prikladno. Udžbenik sadrži i brojne dijagrame, grafove, crteže struktura molekula prema pravilima struke, shematske prikaze, tablice s nužnim podatcima. Pojedini pojmovi provjeravaju se pokusima, istraživačkim miniprojektima, a obogaćuju se i mnogim zanimljivostima.

Kao i u našim dosadašnjim udžbenicima, svaka tematska cjelina započinje motivacijskom pričom koja daje okvir za tumačenje zakonitosti kemijske struke, ali i podsjeća na to da je kemija zapravo znanost života. U tekstu su tamnije otisnuti važni (ključni) pojmovi koji su bitni za izgradnju prirodno-znanstvenih koncepata i koji vam mogu pomoći pri izradi strukturiranih bilježaka.

Pokusima se pristupa kao i dosad – s punom ozbiljnošću, što znači da se prije samog izvođenja eksperimenta skiciraju svi koraci, osiguravaju se uvjeti za njegovo provođenje te se bilježe sve opažene promjene i sva se mjerenja izvode pažljivo.

Osim pokusa povezanih s predviđenim nastavnim sadržajima u udžbeniku su i zadatci (i numerički i opisni) za provjeru usvojenog znanja te su za njihovo uspješno rješavanje dovoljni sadržaji iz udžbenika. Pomoću rubrika *Provjeri znanje* i *Zadatci za ponavljanje* samovrednovat ćete naučeno, a sadržaji rubrika *Saznajte više* i *Znate li?* nude vam mogućnost proširivanja sadržaja i povezivanja sa svakodnevnim životom.

Moguće je i proširivanje vlastitih spoznaja ponuđenim istraživačkim miniprojektima, a pritom vam savjetujemo da za dodatne informacije koristite provjerenе internetske stranice: <https://euditorij.e-skole.hr> i <https://tesla.carnet.hr>.

Elektronički udžbenik sastoji se od baze koja predstavlja digitalnu inačicu tiskanog udžbenika i digitalne nadogradnje u obliku slojeva s multimedijским i interaktivnim sadržajima. Dodani su videozapisi, snimljeni pokusi, animacije i 3D scene, odnosno dinamički 3D modeli s prikazima, animacijama, ugrađenim kvizovima te mogućnostima za doživljaj u virtualnoj stvarnosti.

Uz pomoć i iskustvo nastavnika, koji će vas provesti zanimljivim sadržajima ovog udžbenika, te uz vašu marljivost u učenju sigurne smo u uspješnu novu školsku godinu!

Autorice



POKUS



SAZNAJTE
VIŠE



ZNATE LI?

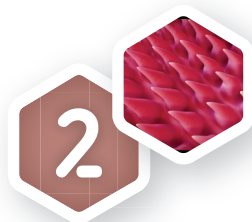


Kemijska ravnoteža



Kemijska ravnoteža	10
Značajke kemijske ravnoteže	12
Konstanta kemijske ravnoteže	13
Vrijednost konstante ravnoteže	17
Značenje konstante ravnoteže	20
Pomak kemijske ravnoteže	22
Promjena koncentracije	23
Promjena tlaka	24
Promjena temperature	26
Katalizatori	28
Ravnoteža u heterogenim sustavima	38

Kiseline, baze i soli



Kiseline i baze	44
Definicije kiselina i baza	45
Brønsted-Lowryjeva ili teorija protolitičke disocijacije	53
Lewisova teorija	56
Konstante ravnoteže pri disocijaciji kiselina i baza	58
Jakost kiselina i baza	59
Stupanj ionizacije	62
Ionski produkt vode i pH-vrijednost	65
Ostwaldov zakon razrjeđenja i račun pH-vrijednosti slabih kiselina i baza	70
Kiselinsko-bazni indikatori	73
Soli	77
Topljivost soli	79
Reakcije dobivanja soli	83
Kiselinsko-bazna titracija	85
Hidroliza soli	92
Puferske otopine	95
Regulacija kiselinsko-bazne ravnoteže u organizmu	98
Iskorištenje	104

Sadržaj

Elektrokemijski procesi



Oksido-redukcijski procesi	110
Reakcije oksidacije i redukcije	115
Pisanje izjednačenih parcijalnih jednažbi oksidacije i redukcije u vodenim otopinama	118
Elektrokemija	126
Reaktivnost metala	127
Galvanski članci i elektrokemijski izvori energije	129
Standardni elektroodni potencijali	134
Elektrokemijski izvori struje	140
Gorivi članci	145
Elektroliza	146
Faradayevi zakoni elektrolize	151
Korozija	156

Organski spojevi s kisikom



Alkoholi	162
Fenoli - za one koji žele znati više	174
Eteri - za one koji žele znati više	177
Aldehidi i ketoni	180
Karboksilne kiseline	194
Esteri	207
Amidi - za one koji žele znati više	211



Kemijska ravnoteža

Kako se ljudski organizam prilagođava životu na velikim nadmorskim visinama?

Neki glavni gradovi država u svijetu nalaze se na vrlo velikim nadmorskim visinama. Primjerice, Mexico City, glavni grad države Meksiko na oko 2300 m nadmorske visine ili glavni grad Ekvadora, Quito na 2850 m nadmorske visine.

Kod ljudi nenaviknutih na život na takvim visinama mogu se pojaviti simptomi poput glavobolje, mučnine ili malaksalosti. Sve su to znakovi poremećaja koji nazivamo hipoksija, pojave nedostatka kisika u tjelesnim tkivima. U ozbiljnim slučajevima dolazi do pojave kome i smrti.

Stanovništvo koje živi u takvim predjelima kroz dugi niz godina prilagođeno je na normalan život i rad u okolnostima smanjene količine kisika u atmosferi. Alpinisti koji osvajaju svjetske planinske vrhove obavljaju sveobuhvatne pripreme koje uključuju višetjedne aklimatizacije na pojedinim nadmorskim visinama kako bi se organizam prilagodio.

Pojednostavljena reakcija između hemoglobina u krvi i molekule kisika prikazana je jednadžbom:



HbO₂ je oksihemoglobin, složena molekula koja sadrži vezani kisik i krvotokom na taj način putuje do tjelesnih stanica.

Koncentracijska konstanta ravnoteže za tu reakciju dana je izrazom: $K_c = \frac{[\text{HbO}_2]}{[\text{Hb}] \times [\text{O}_2]}$

Pri razini mora, tlak zraka iznosi približno 10⁵ Pa, a parcijalni tlak kisika (volumni udio kisika u suhom zraku je 21%) oko 20 % od te vrijednosti, dakle oko 2 × 10⁴ Pa.

Na visini od 3000 m zrak je puno razrijeđeniji, tlak je zraka manji, pa je i manje kisika u zraku. Približno na toj visini parcijalni tlak kisika iznosi 1,4 × 10⁴ Pa.

Prema Le Chatelierovu načelu, smanjenje koncentracije kisika "pomiče reakciju" ulijevo, u smjeru raspada oksihemoglobina. Manjak oksihemoglobina u organizmu izaziva hipoksiju.

Tijekom vremena aklimatizacije organizam se prilagođava smanjenim količinama kisika u zraku povećanom proizvodnjom hemoglobina. Taj proces može trajati tjednima, pa i mjesecima utječući na "pomak reakcije" u smjeru stvaranja oksihemoglobina. U krvi stanovnika koji obitavaju na tako velikim visinama ustanovljeno je 50 % više hemoglobina nego što je uobičajeno, tj. nego što se nalazi u krvi ljudi na „normalnim“ nadmorskim visinama.

Učenik će moći:

- napisati izraz za konstantu kemijske ravnoteže (K_c , K_p) na temelju definiranog zakona kemijske ravnoteže (KEM SŠ B.3.3.)
- objasniti značenje konstante ravnoteže (KEM SŠ D.3.3.)
- opisati položaj dinamičke ravnoteže sustava te načine mijenjanja stanja ravnoteže u promatranome sustavu primjenom Le Chatelierova načela (KEM SŠ B.3.2.)
- usporediti uvjete dinamičke ravnoteže sustava s obzirom na načine mijenjanja stanja ravnoteže (KEM SŠ B.3.2.)
- usporediti djelovanje čimbenika na ravnotežno stanje (KEM SŠ B.3.2.)
- usporediti promjene u reakcijskom sustavu na temelju podataka o utjecaju katalizatora (KEM SŠ B.3.1.)
- izračunati vrijednost konstante ravnoteže i opisati sastav ravnotežne smjese (KEM SŠ D.3.2.)
- prikupljene podatke prikazati tablicama i grafovima (KEM SŠ D.3.3.)

Pored ishoda zadanih kurikulumom predmeta kemije učenik će:

- kvalitativno zaključivati rješavajući problem, odabirati odgovarajuće jednadžbe za zadani problem, računati iznos fizičke veličine zadane grafom (FIZ SŠ C1.8.), razlikovati osnovne i izvedene mjerne jedinice i međusobno ih pretvarati (FIZ SŠ C1.8.)
- rabiti grafički ili tekstualni prikaz tijeka rješavanja problema s pomoću odabranoga računalnog programa (IKT C.4.1.; IKT C.4.4.)
- razumjeti međuovisnost živih bića i njihova okoliša (BIO SŠ B.1.1.), utjecaj ljudskoga djelovanja na dinamičku ravnotežu i sustavno ukazivati na posljedice antropogenih čimbenika na ekološke zakonitosti, aktivno sudjelovati u sprječavanju onečišćenja (BIO SŠ B.1.2.)
- argumentirano procjenjivati utjecaj tehnologije na zdravlje i okoliš (IKT A.4.4.)
- povezivati obrazovne sadržaje sa životom i svijetom oko sebe (UKU C.4/5.3.)
- objašnjavati važnost uspostavljanja prirodne ravnoteže (ODR A.4.2.), procjenjivati utjecaj eko-sustava na kvalitetu života (ODR A.4.3.), djelovati u skladu s načelima održivog razvoja s ciljem zaštite prirode i okoliša; promicati aktivno djelovanje, prosuđivati značaj održivog razvoja za opću dobrobit i kritički raspravljati o izazovima za postizavanje opće dobrobiti (ODR A.4.1.)

Kemijska ravnoteža

Kada se govori o tijeku kemijskih reakcija obično se pretpostavlja da se reakcija odvija dok se ne potroši jedan od reaktanata. Takve su reakcije **nepovratne** ili **ireverzibilne**.

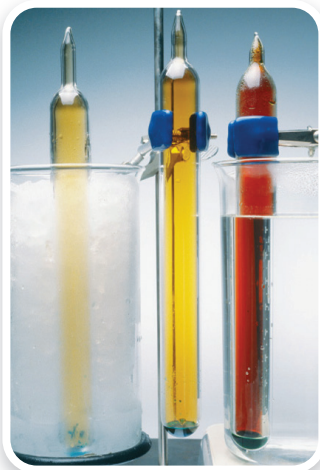
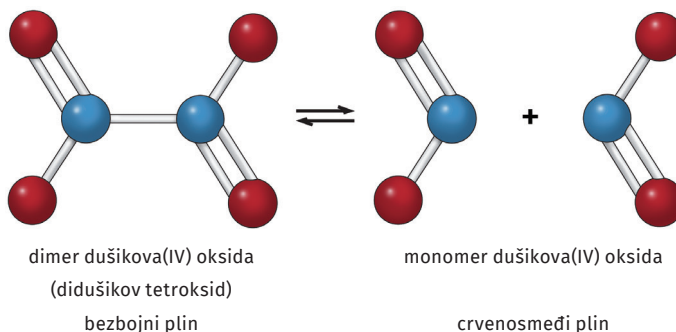
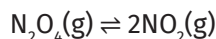
Razlikujemo sljedeće oznake:

⇌ reakcija u oba smjera
⇌ ravnoteža
→ polazna reakcija
← povratna reakcija

Međutim, neke se kemijske reakcije mogu zbivati u oba smjera, tj. uz **polaznu** (**desnosmjernu**) zbiva se i **povratna** (**lijevostmjerna**) reakcija. Takve reakcije nazivamo **reverzibilne reakcije**.

Za kemijske reakcije (pa tako i reverzibilne) dogovorno vrijedi da tvari na lijevoj strani jednadžbe nazivamo reaktantima, a one na desnoj produktima. Otuda nazivi desnosmjerna i lijevostmjerna reakcija.

Proučimo reverzibilnu reakciju sustava $\text{N}_2\text{O}_4 - \text{NO}_2$ (slika 1.1) za koju pretpostavimo da je **elementarna** (reakcija koja se zbiva u jednom koraku).



SLIKA 1.1

Ravnoteža u sustavu $\text{NO}_2\text{-N}_2\text{O}_4$ ovisi o temperaturi. NO_2 je crvenosmeđi plin koji hlađenjem dimerizira u bezbojni N_2O_4 .

Pogledajmo tablicu brojčanih podataka za sustav $\text{NO}_2\text{-N}_2\text{O}_4$ pri 25°C (tablica 1.1).

TABLICA 1.1 $\text{NO}_2\text{-N}_2\text{O}_4$ sustav pri 25°C

Početne koncentracije $c_0/(\text{mol dm}^{-3})$		Ravnotežne koncentracije $/(\text{mol dm}^{-3})$		$\frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]}$ $/(\text{mol dm}^{-3})$
$c_0(\text{NO}_2)$	$c_0(\text{N}_2\text{O}_4)$	$[\text{NO}_2]$	$[\text{N}_2\text{O}_4]$	
0,000	0,6700	0,0547	0,6430	$4,65 \times 10^{-3}$
0,0500	0,4460	0,0457	0,4480	$4,65 \times 10^{-3}$
0,0300	0,5000	0,0475	0,4910	$4,65 \times 10^{-3}$
0,0400	0,6000	0,0523	0,5940	$4,65 \times 10^{-3}$
0,2000	0,0000	0,0204	0,0898	$4,65 \times 10^{-3}$

Uočavamo da u trenutku ravnoteže postoje u reakcijskoj smjesi i molekule NO_2 i molekule N_2O_4 . Također, za bilo koje polazne koncentracije reaktanata omjer $\frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]}$ je uvijek stalan ($4,6 \times 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$).

Tijekom zbivanja kemijske reakcije opada koncentracija reaktanata, brzina polazne reakcije ($v_{\rightarrow}$) s vremenom se smanjuje. Brzina povratne reakcije ($v_{\leftarrow}$) s vremenom raste, jer raste koncentracija produkata reakcije.

Kada se brzine polazne i povratne reakcije izjednače, nastupa stanje ravnoteže.

Napomenimo da ovakvo razmatranje vrijedi samo za elementarne reakcije.

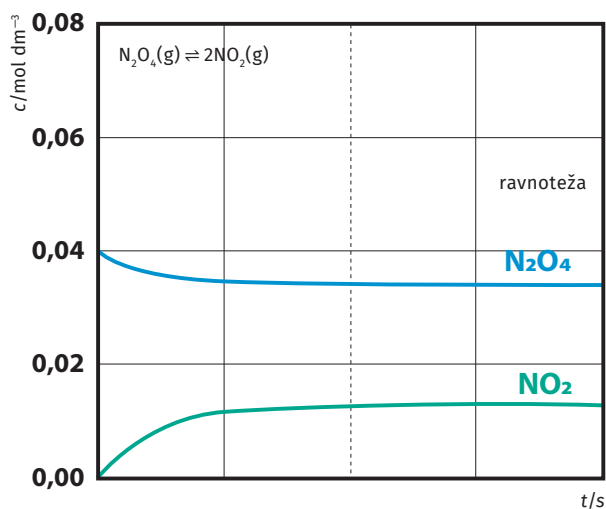
Na slici 1.2 prikazana je promjena koncentracije NO_2 i N_2O_4 u vremenu do trenutka uspostave ravnoteže.

Odnos tlaka i množinske koncentracije plina opisuje jednačba stanja idealnog plina:

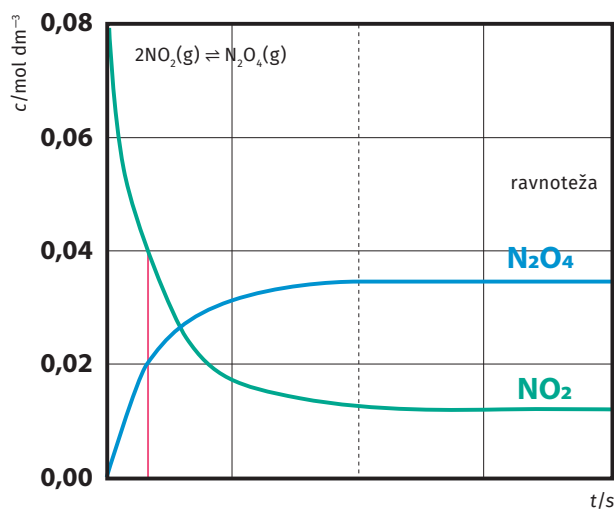
$$pV = nRT$$

iz koje slijedi:

$$c = \frac{p}{RT}$$



Na početku je prisutan samo N_2O_4 . Promjena koncentracija zbiva se tijekom vremena tako da se koncentracija N_2O_4 smanjuje, a koncentracija NO_2 raste.



Na početku je prisutan samo NO_2 . Uspostavom ravnoteže koncentracije N_2O_4 i NO_2 se ne mijenjaju se. Crta označena crvenom bojom ukazuje nam da je koncentracija NO_2 u jedinici vremena dvostruko veća od koncentracije N_2O_4 što je u skladu i sa stehiometrijom jednačbe.

SLIKA 1.2

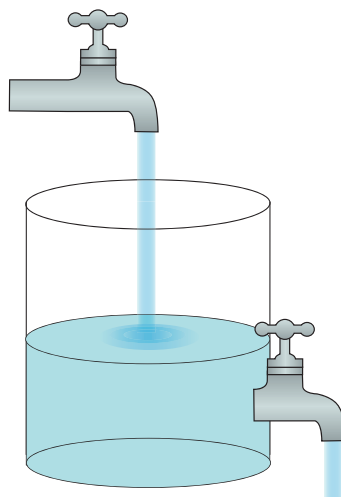
Promjena koncentracije NO_2 i N_2O_4 u vremenu do trenutka uspostave ravnoteže

Značajke kemijske ravnoteže

Kemijska ravnoteža može se uspostaviti samo u zatvorenom sustavu.

- Reakcija ne prestaje kada se uspostavlja ravnoteža, samo nema mjerljivih promjena koncentracija reaktanata i produkata, odnosno sudionika reakcije.
- Promjene se i dalje zbivaju na submikroskopskoj (čestičnoj) razini, ali se obje reakcije, polazna i povratna zbivaju jednakom brzinom. Zato kažemo da je to stanje **dinamičke ravnoteže** (slika 1.3).
- Reverzibilne elementarne kemijske reakcije zbivaju se dok sastav reakcijske smjese ne postane stalan, a to je u trenutku kada su brzine polazne i povratne reakcije jednake:

$$v_{\rightarrow} = v_{\leftarrow}$$



SLIKA 1.3

Mehanička analogija dinamičke ravnoteže elementarne kemijske reakcije. Razina vode u spremniku ostaje nepromijenjena jer je brzina punjenja spremnika vodom jednaka brzini pražnjenja spremnika.

Provjerite svoje znanje:

1. Opišite razliku između reakcija koje idu „do kraja“ i reakcija u kojima se uspostavlja ravnoteža.
2. Kemijska ravnoteža elementarne reakcije uspostavlja se kada:
 - a) reakcija prestaje
 - b) su svi reaktanti prešli u produkte
 - c) množinska je koncentracija reaktanata i produkata jednaka
 - d) reaktanti prelaze u produkte jednako brzo kao što produkti prelaze u reaktante.
3. Navedite značajke kemijske ravnoteže.

Konstanta kemijske ravnoteže

Promotrimo općenitu elementarnu reakciju:



Za polaznu i povratnu reakciju vrijedi zakon brzine reakcije:

$$v_{\rightarrow} = k_{\rightarrow} \times [A] \times [B]$$

$$v_{\leftarrow} = k_{\leftarrow} \times [C]$$

U ravnoteži je brzina polazne reakcije jednaka brzini povratne reakcije:

$$v_{\rightarrow} = v_{\leftarrow}$$

odnosno

$$k_{\rightarrow} \times [A] \times [B] = k_{\leftarrow} \times [C]$$

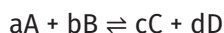
$$\frac{k_{\rightarrow}}{k_{\leftarrow}} = \frac{[C]}{[A] \times [B]}$$

Omjer dvaju koeficijenata brzine jest **konstanta ravnoteže** (K_c).

$$K_c = \frac{k_{\rightarrow}}{k_{\leftarrow}} = \frac{[C]}{[A] \times [B]}$$

Konstanta K_c naziva se **koncentracijska konstanta kemijske ravnoteže** i iskazuje se preko ravnotežnih koncentracija sudionika u reakciji.

Za općenitu reakciju:



koncentracijska konstanta ravnoteže:

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

Koncentracijska konstanta ravnoteže, pri danoj temperaturi, jednaka je omjeru umnoška ravnotežnih koncentracija produkata i umnoška ravnotežnih koncentracija reaktanata potenciranih vrijednošću njihovih stehiometrijskih koeficijenata.

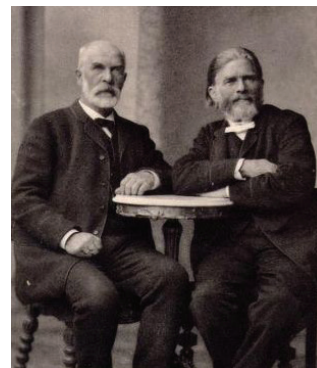
U ravnotežnom stanju omjer umnoška koncentracija produkata potenciranih na njihove stehiometrijske koeficijente i umnoška koncentracija reaktanata potenciranih na njihove stehiometrijske koeficijente je stalan.

U starijoj je kemijskoj literaturi poznat pod imenom **zakon o djelovanju masa** ili **Guldberg-Waageov zakon**, jer je koncentracija nekog sudionika kemijske reakcije proporcionalna njegovoj masi.

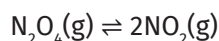
CATO MAXIMILIAN GULDBERG (1836. – 1902.) i PETER WAAGE (1833. – 1900.),

profesori matematike i kemije na Sveučilištu u Oslu.

Zajedno su istraživali kemijsku ravnotežu te matematički izrazili načelo o djelovanju masa. Shvaćanju kemijske reakcije dodali su moderno, kinetičko shvaćanje, po kojem do reakcije dolazi sudarima molekula. Razmatrali su i brzinu reakcije, razmjernu koncentraciji tvari.



Za ravnotežu sustava N_2O_4 - NO_2



koncentracijska konstanta ravnoteže za sustav N_2O_4 - NO_2 dana je izrazom:

$$K_c = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]}$$

Međutim u plinovitim reakcijskim smjesama sastav se obično iskazuje parcijalnim tlakovima reaktanata i produkata a konstanta ravnoteže označuje se s K_p i naziva se **tlačna konstanta ravnoteže**.

Za ravnotežni sustav plinova N_2O_4 - NO_2 , stoga pišemo:

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

gdje je $p^2(\text{NO}_2)$ – parcijalni tlak NO_2 , a $p(\text{N}_2\text{O}_4)$ parcijalni tlak N_2O_4 u reakcijskoj smjesi.

Dinamičku ravnotežu, koja se odnosi na reakcije u kojima su svi reaktanti i produkti u istom agregacijskom stanju, nazivamo **homogenom ravnotežom**.

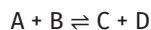
Dimenzije kako koncentracijskih tako i tlačnih konstanti ravnoteže različite su i ovise o stehiometrijskim koeficijentima reaktanata i produkata u jednadžbi kemijske reakcije.

Primjer 1

Napišite izraze za koncentracijske konstante ravnoteže sljedećih hipotetskih kemijskih reakcija i izraze za njihove dimenzije:

Odgovor:

a)



$$K_c = \frac{[C] \times [D]}{[A] \times [B]}$$

Ova konstanta ravnoteže nema dimenziju jer se tijekom reakcije broj molekula ne mijenja, koliko se utroši molekula reaktanata (2), toliko nastane molekula produkata (2), a jedinice koncentracije se pokrate.

b)



$$K_c = \frac{[C]^2}{[A] \times [B]^2}$$

$$\left[\frac{\text{mol}^2 \text{dm}^{-6}}{\text{mol dm}^{-3} \times \text{mol}^2 \text{dm}^{-6}} = \text{dm}^3 \text{mol}^{-1} \right]$$

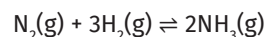
Dimenzija je ove koncentracijske konstante ravnoteže $\text{dm}^3 \text{mol}^{-1}$.

(Pri pisanju mjernih jedinica uvijek prvo pišemo jedinicu s pozitivnim eksponentom.)

Primjer 2

Napišite izraz za tlačnu konstantu ravnoteže sljedećih kemijskih reakcija:

a)



b)



Odgovor:

a)

$$K_p = \frac{p^2(\text{NH}_3)}{p(\text{N}_2) \times p^3(\text{H}_2)}$$

b)

$$K_p = \frac{p^2(\text{SO}_2) \times p(\text{O}_2)}{p^2(\text{SO}_3)}$$

Matematički je izraz koji povezuje K_c i K_p :

$$K_p = K_c (RT)^{\Delta n}$$

pri čemu vrijedi:

$\Delta n = (\text{zbroj koeficijenata produkata}) - (\text{zbroj koeficijenata reaktanata})$.

U slučaju kada je ukupan broj molekula reaktanata jednak ukupnom broju molekula produkata ($\Delta n = 0$), vrijedi: $K_p = K_c$.

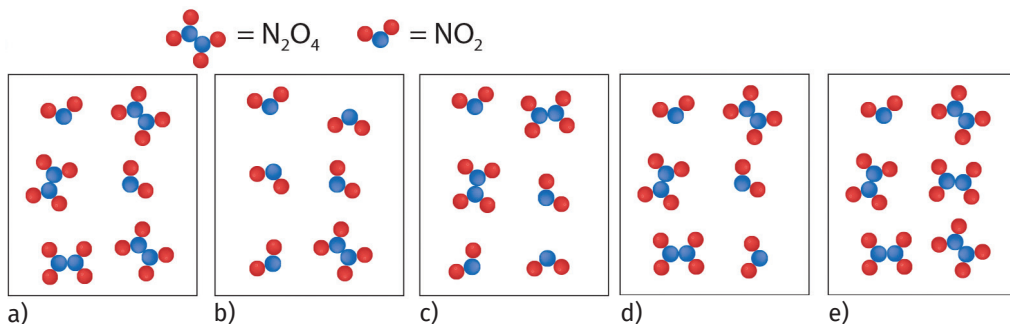


SAZNAJTE
VIŠE

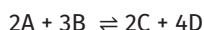
Provjerite svoje znanje:

1. Zadana je reakcija opisana jednadžbom kemijske reakcije $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{g})$

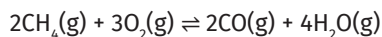
Tlačna konstanta ravnoteže pri nekoj temperaturi iznosi 8 Pa. Koja slika opisuje stanje ravnoteže?



2. Napišite izraz za konstantu kemijske ravnoteže:



3. Ispravno napisan izraz za tlačnu konstantu ravnoteže polazne reakcije:



jest:

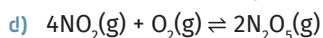
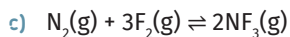
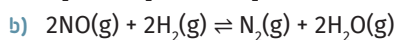
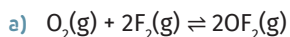
a) $K_p = \frac{p^2(\text{CO}) + p^4(\text{H}_2\text{O})}{p^2(\text{CH}_4) + p^3(\text{O}_2)}$

b) $K_p = \frac{p^2(\text{CH}_4) + p^3(\text{O}_2)}{p^2(\text{CO}) + p^4(\text{H}_2\text{O})}$

c) $K_p = \frac{p^2(\text{CO}) \times p^4(\text{H}_2\text{O})}{p^2(\text{CH}_4) \times p^3(\text{O}_2)}$

d) $K_p = \frac{p^2(\text{CH}_4) \times p^3(\text{O}_2)}{p^2(\text{CO}) \times p^4(\text{H}_2\text{O})}$

4. Napišite izraze za K_c i K_p za svaku od navedenih reakcija i izvedite dimenzije (mjerne jedinice) za ove fizičke veličine:



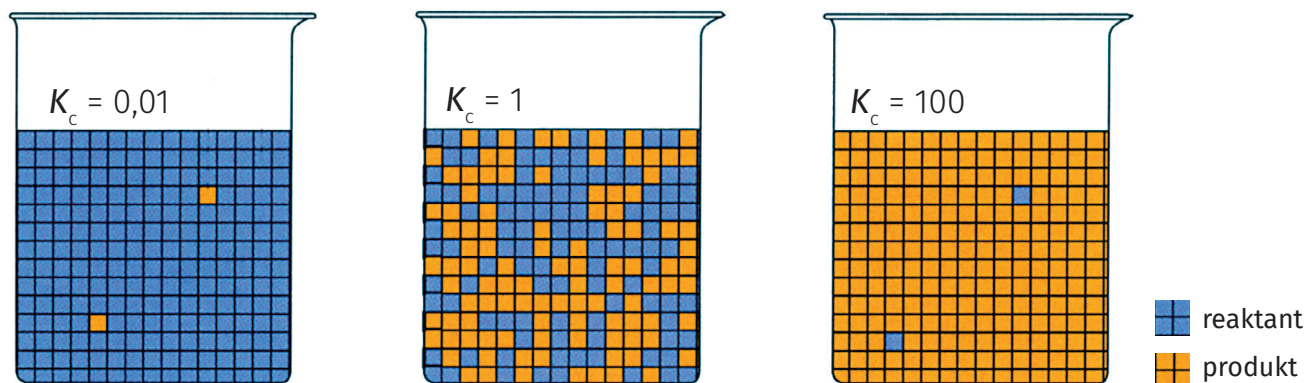
Napišite matematički izraz koji povezuje K_c i K_p za neku od reakcija (a) - (d).

5. Konstanta ravnoteže reakcije izgaranja butana dana je izrazom: $K_c = \frac{[\text{CO}_2]^8 \times [\text{H}_2\text{O}]^{10}}{[\text{C}_4\text{H}_{10}]^2 \times [\text{O}_2]^{13}}$
Napišite termokemijsku jednadžbu kemijske reakcije.

Vrijednost konstante ravnoteže

Vrijednost konstante ravnoteže određuje sastav reakcijske smjese u ravnoteži.

Crtežima je shematski prikazan sastav ravnotežne smjese s obzirom na vrijednost konstante ravnoteže za neku hipotetsku reakciju $A \rightarrow B$.



Za reakciju čija je vrijednost $K_c = 0,01$ (ili manja) ravnoteža je pomaknuta ulijevo, u smjeru reaktanata. U ravnotežnoj reakcijskoj smjesi velika je koncentracija neizreagiranih reaktanata, a koncentracija je produkata neznatna.

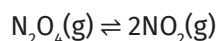
Za reakciju čija je vrijednost $K_c = 1$ vrijedi da u reakcijskoj smjesi ima i molekula reaktanata i molekula produkata u jednakim koncentracijama.

Za reakciju čija je vrijednost $K_c = 100$ i više ravnoteža je pomaknuta udesno, u smjeru produkata. U ravnotežnoj reakcijskoj smjesi koncentracija je neizreagiranih reaktanata neznatna, a koncentracija je produkata velika.

Što je veća konstanta ravnoteže, to je veća koncentracija produkata reakcije u odnosu prema koncentraciji reaktanata. To znači da je ravnoteža više pomaknuta u smjeru stvaranja produkata reakcije.

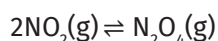
Vrijednosti konstante ravnoteže kreću se od 10^{-50} (reakcija se praktički ne zbiljava) do 10^{50} (reakcija je praktički završila).

Za navedenu reakciju:



vrijednost koncentracijske konstante ravnoteže iznosi $4,65 \times 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$. To nam govori da je reakcija više pomaknuta ulijevo, u smjeru N_2O_4 .

Ako reakcija napreduje u obrnutom smjeru:



vrijednost koncentracijske konstante ravnoteže K_c recipročna je vrijednost i izračuna se prema izrazu:

$$K_c = \frac{1}{4,65 \times 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}} = 215,05 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}$$



TABLICA 1.2

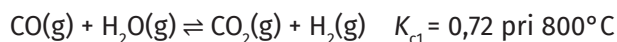
Vrijednosti tlačnih konstanti ravnoteže za reakcije pri temperaturama 298 K i 400 K

Reakcija	K_p (298 K)	K_p (400 K)
$\text{H}_2(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{HCl}(\text{g})$	$2,5 \times 10^{33}$	$1,4 \times 10^{25}$
$\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$	$5,6 \times 10^5 \text{ Pa}^{-2}$	$3,6 \times 10^1 \text{ Pa}^{-2}$
$\text{N}_2(\text{g}) + 2\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{g})$	$4,7 \times 10^{-19} \text{ Pa}^{-1}$	$5,0 \times 10^{-16}$
$\text{N}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}(\text{g})$	$2,0 \times 10^{-31}$	$2,9 \times 10^{-23} \text{ Pa}^{-1}$

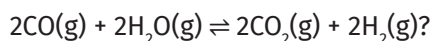
Vrijednost konstante ravnoteže može se promijeniti samo promjenom temperature.

Primjer

Zadana je sljedeća kemijska reakcija i vrijednost konstante ravnoteže:



Koliko iznosi K_{c2} pri istoj temperaturi ako je reakcija zadana kao:



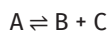
a) $K_{c2} = 0,72$; b) $K_{c2} = (0,72)^2$; c) $K_{c2} = 0,72$; d) $K_{c2} = \left(\frac{1}{0,72}\right)^2$ e) $K_{c2} = \left(\frac{1}{0,72}\right)^{\frac{1}{2}}$

Točan je odgovor b) što slijedi iz:

$$K_{c2} = \frac{[\text{H}_2]^2 \times [\text{CO}_2]^2}{[\text{CO}]^2 \times [\text{H}_2\text{O}]^2} = (K_{c1})^2$$

Primjer

Izračunajte vrijednost koncentracijske konstante ravnoteže za reakciju:



Pri temperaturi 300°C ravnotežne koncentracije tvari u reakciji iznose:

$$[\text{A}] = 0,030 \text{ mol dm}^{-3}$$

$$[\text{B}] = 0,97 \text{ mol dm}^{-3}$$

$$[\text{C}] = 0,97 \text{ mol dm}^{-3}$$

Izradak:

Na temelju zadane jednadžbe kemijske reakcije napišemo izraz za konstantu ravnoteže:

$$K_c = \frac{[\text{B}] \times [\text{C}]}{[\text{A}]}$$

Zatim uvrstimo zadane vrijednosti koncentracija tvari u ravnoteži:

$$K_c = \frac{[0,97 \text{ mol dm}^{-3}] \times [0,97 \text{ mol dm}^{-3}]}{[0,030 \text{ mol dm}^{-3}]} = 31 \text{ mol dm}^{-3}$$

Primjer

Pri određenoj temperaturi 1,00 mol tvari A i 2,00 mol tvari B stavljeno je u praznu posudu volumena 3,00 litre. Nakon uspostavljanja ravnoteže, u posudi je preostalo 0,700 mol tvari A. Izračunajte vrijednost konstante ravnoteže, K_c , za reakciju: $A + B \rightleftharpoons C$

Izradak:

Izračunamo ravnotežne množine reaktanata (A i B) i produkta (C) prije početka reakcije i u ravnoteži.

	A/mol	B/mol	C/mol
na početku	1	2	0
izreagiralo	$1 - x$	$2 - x$	x
u stanju ravnoteže	$1 - 0,3 = 0,7$	$2 - 0,3 = 1,7$	0,3

Na početku reakcije koncentracije reaktanata i produkta su:

$$c_0(A) = \frac{1 \text{ mol}}{3 \text{ dm}^3} = 0,333 \text{ mol dm}^{-3}$$

$$c_0(B) = \frac{2 \text{ mol}}{3 \text{ dm}^3} = 0,666 \text{ mol dm}^{-3}$$

$c_0(C) = 0 \text{ mol dm}^{-3}$ jer na početku reakcije nema produkta.

U trenutku ravnoteže imamo:

$$c(A) = \frac{1 - 0,3 \text{ mol}}{3 \text{ dm}^3} = 0,233 \text{ mol dm}^{-3}$$

$$c(B) = \frac{2 - 0,3 \text{ mol}}{3 \text{ dm}^3} = 0,57 \text{ mol dm}^{-3}$$

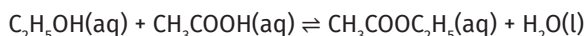
$$c(C) = \frac{0,3 \text{ mol}}{3 \text{ dm}^3} = 0,1 \text{ mol dm}^{-3}$$

U izraz za konstantu ravnoteže uvrštavamo vrijednosti ravnotežnih koncentracija, stoga vrijedi:

$$K_c = \frac{[C]}{[A] \times [B]} = \frac{0,1 \text{ mol dm}^{-3}}{0,233 \text{ mol dm}^{-3} \times 0,57 \text{ mol dm}^{-3}} = 0,753 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}$$

Provjerite svoje znanje:

1. Reakciju esterifikacije octene kiseline s etanolom opisuje jednadžba kemijske reakcije:



Ako pomiješamo 1 mol etanola i 2 mola octene kiseline u reakcijskoj posudi volumena 1 L, nastaje 0,86 mola estera. Izračunajte vrijednost koncentracijske konstante ravnoteže.

2. Uspostavljena je ravnoteža za reakcijsku smjesu vodika i dušika pri 472 °C. Parcijalni tlakovi pojedinih plinova u trenutku ravnoteže iznosili su $7,38 \times 10^5 \text{ Pa}$ za vodik, $2,46 \times 10^5 \text{ Pa}$ za dušik i $0,166 \times 10^5 \text{ Pa}$ za amonijak. Napišite jednadžbu kemijske reakcije i izračunajte vrijednost tlačne konstante ravnoteže za reakciju sinteze amonijaka.

Značenje konstante ravnoteže

Zašto je važno poznavati vrijednost konstante ravnoteže?

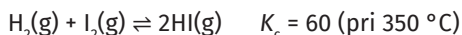
Poznajemo li konstantu ravnoteže i početne koncentracije tvari u reakciji, možemo izračunati ravnotežne koncentracije.

Možemo predvidjeti u kojem će se smjeru pomicati reverzibilna reakcija dok se ne dosegne stanje dinamičke ravnoteže, tj. stalan sastav reakcijske smjese pri danoj temperaturi.

Primjenjivost neke reakcije u laboratorijskoj ili industrijskoj praksi ovisi o njezinoj konstanti ravnoteže. U industriji je primjena reakcija vrlo velikih konstanti ravnoteže važan ekonomski čimbenik.

Primjer

Pretpostavimo da se može izmjeriti koncentracija H_2 , I_2 i HI u sljedećoj reakciji:

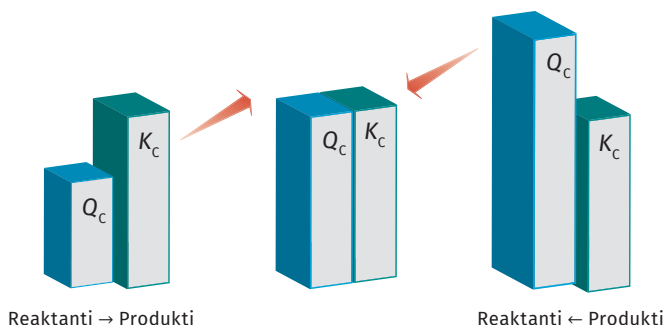


Za svaku od navedenih vrijednosti koncentracija odredite je li reakcija u ravnoteži.

- a) $c(\text{H}_2) = c(\text{I}_2) = c(\text{HI}) = 0,010 \text{ mol dm}^{-3}$
- b) $c(\text{HI}) = 0,30 \text{ mol dm}^{-3}$; $c(\text{H}_2) = 0,010 \text{ mol dm}^{-3}$; $c(\text{I}_2) = 0,15 \text{ mol dm}^{-3}$
- c) $c(\text{HI}) = c(\text{H}_2) = 0,10 \text{ mol dm}^{-3}$; $c(\text{I}_2) = 0,0010 \text{ mol dm}^{-3}$

Vrijednost omjera koncentracija produkata i reaktanata (potenciranih vrijednostima stehiometrijskih koeficijenata) u bilo kojem trenutku reakcije nazivamo **reakcijskim kvocijentom** (Q_c):

$$Q_c = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2] \times [\text{I}_2]}$$



SLIKA 1.4

Odnos reakcijskog kvocijenta i konstante ravnoteže