

3. Računanje u kemiji

3.1. Zaokruživanje

Na maturi iz kemije iskazivanje rezultata nije se do sada gledalo osobito strogo, ali dobro ga je savladati jer spada u osnove znanstvene kulture: konačne rezultate nije lijepo ni praktično pisati "s onoliko znamenaka koliko kalkulator izbací", a nema ni smisla jer rezultat ne može biti "točniji" od podataka s kojima se počelo računati, dakle najgrublje bi pravilo bilo da rezultat nikako ne smije imati više znamenaka nego podatak zadan na najviše znamenaka, a u većini slučajeva najbolje je da rezultat nema više znamenaka nego podatak zadan na najmanje znamenaka (ne računajući podatke koji su matematički egzaktni brojevi: ☹ npr. kad množimo relativnu atomsku masu s 2 jer imamo dvoatomnu molekulu, znamo da je taj 2 točno 2 na beskonačno mnogo znamenaka).

Preciznije, spomenute znamenke koje se uzimaju u obzir su pri množenju i dijeljenju su tzv. značajne znamenke – sve znamenke osim nula na početku decimalnog broja kojima ne prethodi nijedna znamenika koja nije nula (☹ npr. 0,0045 ima 2 značajne znamenke) i nula na kraju **cijelog** broja iza kojih ne slijedi nijedna znamenika koja nije 0 (npr. broj 1000 ima samo jednu značajnu znamenku, 1010 ih ima 3; 1,000 ih ima 4, a 1000,0 ih ima 5). To je tako jer se svi brojevi mogu zapisati u tzv. znanstvenom zapisu tj. kao umnožak broja s jednoznamenkastim cjelobrojnim dijelom i potencije broja 10 pa završne nule u cijelom broju možemo pisati samo "da se zna koliko je broj velik", a nule iza decimalnog zareza ne bismo pisali ako ne želimo naglasiti da je na tom mjestu baš nula (☹ npr. $1450 = 1,45 \cdot 10^3$, ali $1450,0 = 1,4500 \cdot 10^3$).

Pri zbrajanju i oduzimanju gledaju se tzv. decimale – znamenke iza decimalnog zareza: zbroj ili razlika treba imati onoliko decimala koliko ih ima onaj član zbrajanja ili oduzimanja koji ih ima najmanje, ☹ npr. $89,33 - 1,2 = 88,1$ a ne 88,13 jer ne možemo znati bi li iza 2 u 1,2 bila 0 ili neka druga znamenka (manja od 5).

"Zaokruživanje" zadnje znamenke koju zapisujemo pri odbacivanju suvišnih znamenaka: ako je prva znamenka koju odbacujemo 0, 1, 2, 3 ili 4, zadnja znamenka koju zadržavamo ostaje ista (☹ npr. $1,623 \rightarrow 1,6$); ako je prva znamenka koju odbacujemo 5, 6, 7, 8 ili 9, zadnja znamenka koju zadržavamo povećava se za 1 (☹ npr. $1,683 \rightarrow 1,7$) (prema strožoj konvenciji, ako je 5 jedina znamenka koju odbacujemo, zadnja znamenka koju zadržavamo ostaje ista ako je parna a povećava se za 1 ako je neparna, tzv. zaokruživanje na parnu, ☹ npr. $1,45 \rightarrow 1,4$ ali $1,75 \rightarrow 1,8$)

Ako se ne provodi cijeli postupak u kalkulatoru odjednom nego zapisuju međurezultati, dobro ih je pisati na jednu–dvije znamenke više kako ne bi zbog previše zaokruživanja konačni rezultat bio netočniji.

3.2. Pretvaranje mjernih jedinica

(način pretvaranja mjernih jedinica koji se uglavnom ne uči u našim školama, a mnogima bi mogao biti jednostavniji (ista stvar, malo drukčiji pristup))

Mjerne jedinice pri računanju možemo tretirati isto kao nepoznanice u jednadžbi (i jedno i drugo su slova ☺) – možemo ih množiti, potencirati i dijeliti (kratiti), a zbrajati i oduzimati možemo samo iste s istima

$$\text{☞ npr. } 1,000 \text{ kg} + 1 \text{ g} = 1000 \text{ g} + 1 \text{ g} = 1001 \text{ g}$$

$$\text{☞ } 1,00 \text{ mol} + 1,00 \text{ L} \text{ ne možemo zbrojiti (kruške i jabuke ☺), nego ih treba pomoću ostalih podataka u zadatku prvo pretvoriti, npr. ako se radi o idealnom plinu pri standardnim uvjetima } 1,00 \text{ mol} + 1,00 \text{ L} / 22,4 \text{ L mol}^{-1} = 1,00 \text{ mol} + 0,04 \text{ mol} = 1,04 \text{ mol}$$

Za pretvaranje mjernih jedinica možemo napisati definicijsku jednakost, ☞ npr.

$$1 \text{ min} = 60 \text{ s}$$

$$1 \text{ pm} = 10^{-12} \text{ m}$$

iz koje možemo napraviti razlomke

$$\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 1, \quad \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 1$$

$$\frac{1 \text{ pm}}{10^{-12} \text{ m}} = 1, \quad \frac{10^{-12} \text{ m}}{1 \text{ pm}} = 1$$

kojima (jer su jednaki 1) možemo bilo što množiti, množimo tako da se odgovarajuće jedinice pokrate:

$$180 \text{ s} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 3 \text{ min}$$

$$4,5 \text{ min} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 270 \text{ s}$$

$$2 \cdot 10^{-10} \text{ m} \cdot \frac{1 \text{ pm}}{10^{-12} \text{ m}} = 2 \cdot 10^{-10-(-12)} \text{ pm} = 2 \cdot 10^2 \text{ pm} = 200 \text{ pm}$$

Isto možemo postupati i sa složenim jedinicama:

$$1) 90 \frac{\text{km}}{\text{h}} = ? \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$1 \text{ km} = 1000 \text{ m}, 1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$$

$$\frac{1 \text{ km}}{1000 \text{ m}} = 1, \quad \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} = 1, \quad \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 1, \quad \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} = 1$$

$$90 \frac{\cancel{\text{km}}}{\cancel{\text{h}}} \cdot \frac{1000 \text{ m}}{1 \cancel{\text{km}}} \cdot \frac{1 \cancel{\text{h}}}{3600 \text{ s}} = 90 \cdot \frac{1 \text{ m}}{3,6 \text{ s}} = 25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$2) 1,860 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = ? \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$1 \text{ kg} = 10^3 \text{ g}, 1 \text{ m}^3 = 10^6 \text{ cm}^3$$

$$\frac{1 \text{ kg}}{10^3 \text{ g}} = 1, \quad \frac{10^3 \text{ g}}{1 \text{ kg}} = 1, \quad \frac{1 \text{ m}^3}{10^6 \text{ cm}^3} = 1, \quad \frac{10^6 \text{ cm}^3}{1 \text{ m}^3} = 1$$

$$1,860 \frac{\cancel{\text{g}}}{\cancel{\text{cm}^3}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{10^3 \cancel{\text{g}}} \cdot \frac{10^6 \cancel{\text{cm}^3}}{1 \text{ m}^3} = 1,860 \cdot 10^{6-3} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 1860 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Mogu se napisati i jednakosti kao što su

$$1 \text{ mol} = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ (čestica)}$$

$$1 \text{ mol H}_2\text{O} = 18,02 \text{ g H}_2\text{O}$$

$$1 \text{ mol plina} = 22,4 \text{ L plina (korišteno u jednom od početnih primjera)}$$

...

i pomoću njih provesti čitavi računi, ali većinom je preporučljivije računati s veličinama a brojeve i pripadajuće jedinice uvrstiti tek u konačni izraz jer je tako manje pisanja i računanja. Uvijek treba s brojevima uvrštavati i mjerne jedinice (a ne ih napisati tek uz konačni rezultat, što se onda često i zaboravi ili se zbog toga zaboravi pretvoriti mjerna jedinica, a na tome se gube bodovi!) – to je najbolja kontrola za moguće zabune!

Posebne mjerne jedinice:

elektronvolt: $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ (brojčano kao elementarni naboj = naboj protona ili elektrona, ali u džulima jer je jedinica za energiju) = naboj elektrona \cdot 1 volt

angstrom: $1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m}$ (red veličine atomskih polumjera)

atmosfera: $1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa}$ (standardni tlak)

bar: $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$ (standardni tlak po novijim standardima)

3.3. Veličine koje je potrebno poznavati

temeljne SI veličine	jedinice
duljina (<i>l</i>)	metar (m)
masa (<i>m</i>)	kilogram (kg)

vrijeme (t)	sekunda (s)
jakost električne struje (I)	amper (A)
temperatura (T)	stupanj (K)
količina tvari (n)	mol (mol)

ostale (izvedene) veličine	jedinice
površina (S)	m^2
volumen (V)	m^3
gustoća (ρ)	kg/ m^3 (ili češće g/ cm^3)
tlak (p)	paskal $\text{Pa} = \text{kg/ m s}^2$
naboj (q)	kulon $\text{C} = \text{As}$
napon ili električni potencijal (U ili E)	volt $\text{V} = \text{kg m}^2 / \text{A s}^3$
energija, toplota, entalpija ili rad (E, Q, H, W)	džul $\text{J} = \text{kg m}^2 / \text{s}^2 = \text{Pa m}^3 = \text{V C}$
relativna atomska masa (A_r)	
relativna molekulska masa (M_r)	
molarna masa (M)	g/ mol
molarni volumen plina (V_m)	dm^3 / mol
maseni udio (w)	
množinski udio (x)	
volumni udio (φ)	
množinska koncentracija (c)	mol/ dm^3
masena koncentracija (γ)	g/ dm^3
molalnost (b)	mol/ kg

prefiks	oznaka	red veličine
piko	p	10^{-12}
nano	n	10^{-9}
mikro	μ	10^{-6}
mili	m	10^{-3}
centi	c	10^{-2}
deci	d	10^{-1}

deka	da	10^1
hekto	h	10^2
kilo	k	10^3
mega	M	10^6

Ekstenzivne veličine – ovise o tome na kojem se i kolikom dijelu uzorka vrši mjerenje: množina, masa, volumen, naboj...

Intenzivne veličine – ne ovise o tome na kojem se i kolikom dijelu uzorka vrši mjerenje (dokle god je dovoljno velik da se mjerenje može izvršiti): temperatura, tlak, napon, gustoća (veličina dobivena dijeljenjem dvije ekstenzivne je intenzivna; još jedan važan primjer: entalpija u kJ je ekstenzivna, a entalpija u kJ/mol intenzivna jer je podijeljena s množinom reakcija)...

1 mol NaCl = koliko molova iona?

Mol znači Avogadrov broj nečega. Ti možeš imati mol bombona, mol čokolada ili mol eura. Sad zamisli kuću koja ima samo dvije sobe, dnevni boravak i kupaonicu, recimo. Ako imaš mol kuća onda ćeš u tom molu kuća imati mol dnevnih boravaka i mol kupaonica, ali svejedno mol kuća, a ne dva mola kuća. Dva mola je prostorija. Isto je s NaCl. Mol NaCl ima dva mola atoma (odnosno iona), po jedan mol Na^+ i Cl^- .

Zvonimir Mlinarić, učenik 2. raz. gimnazije, ljeto 2014.

3.4. Bitne formule

(uz ispit su dane konstante i periodni sustav, ali ne i formule, ali pametnom upotrebom broj formula/postupaka računanja koje se mora pamtiti može biti vrlo mali)

I. odčitavanje relativne atomske mase iz periodnog sustava i izračunavanje relativne molekulske mase; molarna masa

Relativna atomska masa (A_r) kemijskog elementa je (najčešće decimalni) broj koji piše u periodnom sustavu ispod simbola elementa, najčešće (ali ne uvijek) približno jednak masenom broju najzastupljenijeg izotopa tog elementa. Relativna molekulska masa (M_r) kemijskog spoja je zbroj relativnih atomskih masa svih elemenata u molekuli ili formulskoj jedinki tog spoja, npr. $M_r(\text{CHCl}_3) = A_r(\text{C}) + A_r(\text{H}) + 3A_r(\text{Cl})$, $M_r(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = A_r(\text{Cu}) + A_r(\text{S}) +$

$9A_r(\text{O}) + 10A_r(\text{H})$. Molarna masa je relativna atomska ili molekulska masa s mjernom jedinicom g/mol, \Rightarrow npr.: $A_r(\text{Cu}) = 63,5 \rightarrow M(\text{Cu}) = 63,5 \text{ g/mol}$.

II. masa atoma, molekule ili formulske jedinice

Masa čestice jednaka je njenoj relativnoj atomskoj ili molekulskoj masi pomnoženoj s unificiranom atomskom jedinicom mase (daltonom, atomskom masenom konstantom), $1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$, \Rightarrow npr. $A_r(\text{Fe}) = 55,8 \rightarrow m_a(\text{Fe}) = 55,8 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.

$$m_a = A_r \cdot u$$

$$m_m = M_r \cdot u$$

☒ Kolika je masa jedne molekule vode u gramima?

- A. 18
- B. $1.1 \cdot 10^{-21}$
- C. $3.0 \cdot 10^{-23}$
- D. $1.7 \cdot 10^{-24}$

Rješenje: C

III. odnos množine i drugih veličina

$$n = \frac{N}{N_A} = \frac{m}{M} = \frac{V}{V_m} (= cV)$$

(n = množina, N = broj čestica, N_A = Avogadrova konstanta = $6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$, m = masa, M = molarna masa = relativna atomska ili molekulska masa ali s mjernom jedinicom g/mol, V = volumen plina, V_m = molarni volumen plina = pri standardnim uvjetima $22,4 \text{ dm}^3/\text{mol}$ (ako nisu standardni uvjeti, onda se množina plina računa iz opće plinske jednadžbe, \diamond vidi dalje), c = množinska koncentracija, V = volumen otopine)
(zadnji izraz je izveden iz izraza za množinsku koncentraciju pa ga nije potrebno tu pamtiti)

☒ Koliko ima molekula ozona u 3,20 g O_3 ?

- E. $4,0 \cdot 10^{22}$
- F. $6,0 \cdot 10^{22}$
- G. $1,2 \cdot 10^{23}$
- H. $6,0 \cdot 10^{23}$

Rješenje: A

☒ Koliko ima atoma vodika u 3,4 g $C_{12}H_{22}O_{11}$?

I. $6,0 \cdot 10^{23}$

J. $1,3 \cdot 10^{23}$

K. $3,8 \cdot 10^{22}$

L. $6,0 \cdot 10^{21}$

Rješenje: B

☒ Koliki je **ukupni** broj atoma u 1,0 g $HOOC(CH_2)_4COOH$?

A. 20

B. $4,1 \cdot 10^{21}$

C. $8,2 \cdot 10^{22}$

D. $7,2 \cdot 10^{24}$

Rješenje: C

☒ Koliko ima molekula vode u 0,10 g modre galice ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$)?

A. $1,2 \cdot 10^{21}$

B. $2,4 \cdot 10^{21}$

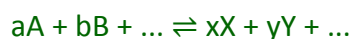
C. $2,4 \cdot 10^{22}$

D. $1,2 \cdot 10^{23}$

Rješenje: A

IV. stehiometrijski omjer množina

Množine tvari koje reagiraju odnosno nastaju u kemijskoj reakciji odnose se isto kao njihovi stehiometrijski koeficijenti u kemijskoj jednadžbi. To pravilo izravna je posljedica kvalitativnog značenja kemijske jednadžbe.



$$n(A) / n(B) = a/b; n(A) / n(X) = a/x; n(B) / n(Y) = b/y; \text{ itd.}$$

☒ Oksalna kiselina, $H_2C_2O_4$, reagira s permanganatnim ionom prema sljedećoj izjednačenoj jednadžbi:



Koliko je mililitara otopine KMnO_4 koncentracije $0,0154 \text{ mol/dm}^3$ potrebno za reakciju s $25,0 \text{ mL}$ otopine $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ koncentracije $0,0208 \text{ mol/dm}^3$?

- A. $13,5 \text{ mL}$
- B. $18,5 \text{ mL}$
- C. $33,8 \text{ mL}$
- D. $84,4 \text{ mL}$

Rješenje: A

☒ Srebro reagira s nitratnom kiselinom prema jednadžbi:



Koliki volumen $\text{HNO}_3(\text{aq})$ koncentracije $1,15 \text{ mol/dm}^3$ je potreban za reakciju s $0,784 \text{ g}$ srebra?

- A. $4,74 \text{ mL}$
- B. $6,32 \text{ mL}$
- C. $8,43 \text{ mL}$
- D. $25,3 \text{ mL}$

Rješenje: C

☒ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ je magnezijevo mlijeko koje se koristi za neutralizaciju suviška želučane kiseline (HCl). Koliko se molova želučane kiseline može neutralizirati s $1,00 \text{ g}$ $\text{Mg}(\text{OH})_2$?

- A. $0,0171$
- B. $0,0343$
- C. $0,686$
- D. $1,25$

Rješenje: B

☒ Za neutralizaciju $25,00 \text{ mL}$ $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq})$ koncentracije $0,1050 \text{ mol/dm}^3$ utrošeno je $17,23 \text{ mL}$ $\text{NaOH}(\text{aq})$ nepoznate koncentracije. Koja je koncentracija $\text{NaOH}(\text{aq})$?

- A. $0,07617 \text{ mol/dm}^3$
- B. $0,1447 \text{ mol/dm}^3$

C. 0,1524 mol/dm³

D. 0,3047 mol/dm³

Rješenje: D

☑ Koliki volumen H₂SO₄ (c=0,108 mol/dm³) je potreban za neutralizaciju 25,0 mL KOH (c=0,145 mol/dm³)?

A. 16.8 mL

B. 33.6 mL

C. 37.2 mL

D. 67.1 mL

Rješenje: A

☑ C₃H₈ + 5O₂ → 3CO₂ + 4H₂O

Kolika je ukupna masa (u gramima) produkata izgaranja 2,20 g propana u suvišku kisika?

A. 2,20

B. 3,60

C. 6,60

D. 10,2

Rješenje: D

V. opća plinska jednađžba (opća jednađžba stanja idealnog plina)

$$pV = nRT$$

(p = tlak, V = volumen, n = množina, R = opća plinska konstanta = 8,314 Pa m³ K⁻¹ mol⁻¹, T = temperatura u kelvinima)

Nije potrebno pamtiti plinske zakone, oni se svi lako mogu izvesti iz opće plinske jednađžbe (točnije ona je izvedena iz njih) tj. sve što se može izračunati pomoću njih može se i pomoću opće plinske jednađžbe.

Iz opće plinske jednađžbe i izraza za množinsku koncentraciju lako se može izvesti izraz za osmotski tlak ($p = icRT$) pa ni njega nije potrebno posebno pamtiti (samo uočiti da je bitan i faktor disocijacije i kao i za ostala koligativna svojstva) – iako se osmotski tlak odnosi na tekućinu (otopinu), a ne na plin.

Pazite da je J (dio mjerne jedinice za R) = Pa m³, a koncentracija je obično zadana u mol/dm³ odnosno volumen u dm³ ili cm³ pa treba pretvoriti jedinice! (također tlak može biti zadan u kPa ili hPa)

☑ Etanol gori u suvišku kisika, pri čemu nastaje ugljikov dioksid i voda prema sljedećoj izjednačenoj jednadžbi:



Koja od ponuđenih vrijednosti je najbliža volumenu CO₂(g) koji nastaje izgaranjem 0,25 mol C₂H₅OH(g) pri 200 K i 105 Pa?

- A. 5 L
- B. 8 L
- C. 10 L
- D. 15 L

Rješenje: B

VI. gustoća

$$\rho = \frac{m}{V}$$

(ρ = gustoća, m = masa, V = volumen)

☑ Pet kuglica metala ima ukupnu masu 1,25 g i ukupni volumen 0,278 mL. Kolika je gustoća metala (g/mL)?

- A. 0,348
- B. 0,900
- C. 4,50
- D. 22,5

Rješenje: C

☑ Koji volumen tekućine A ima istu masu kao 80,0 cm³ tekućine B, ako je gustoća tekućine A 0,660 g/cm³, a tekućine B 1,59 g/cm³?

- A. 40,0 cm³
- B. 97,0 cm³

C. 160 cm³

D. 193 cm³

Rješenje: D

VII. množinska i masena koncentracija

$$c = \frac{n}{V}$$

(c = množinska koncentracija, n = množina otopljene tvari, V = volumen otopine)

$$\gamma = \frac{m}{V}$$

(γ = masena koncentracija, m = masa otopljene tvari, V = volumen otopine)

Ne pobrkati s formulom za gustoću! koja je u slučaju otopina $\rho = m_{\text{otopine}} / V_{\text{otopine}}$

VIII. molalnost

$$b = \frac{n_{\text{otopljene tvari}}}{m_{\text{otapala}}}$$

$m_{\text{otapala}} \neq m_{\text{otopine}}$ osim za vrlo razrijeđene otopine u kojima je masa otopljene tvari zanemarivo mala (najčešće 100, 1000 ili više puta manja od mase otapala)

Paziti na grame/kilograme! (molalnost se najčešće izražava u mol kg⁻¹, a masa otapala u gramima)

IX. sniženje tališta i povišenje vrelišta

$$\Delta T = ibK$$

i = faktor disocijacije (**van't Hoffov faktor**) (broj čestica koje u otopini nastaju disocijacijom 1 čestice otopljene tvari, za molekulske tvari je jednak 1 a za jednostavne ionske tvari je jednak broju iona od kojih se formula jedinka sastoji)

b = molalnost

$K = K_f$ = krioskopska konstanta → za sniženje tališta

$K = K_b$ = ebulioskopska konstanta → za povišenje vrelišta

(formule su potpuno iste, samo treba znati da se promjena temperature ΔT od tališta oduzima a vrelištu dodaje)

ΔT je isto u kelvinima i celzijevim stupnjevima jer je $1\text{ K} = 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (te dvije temperaturne skale razlikuju se samo po položaju nule, a ne i po veličini stupnja)

☒ Pripremljene su vodene otopine navedenih tvari koncentracije $0,15\text{ mol/dm}^3$. Koja od njih ima najviše vrelište?

- A. CaCl_2
- B. NaBr
- C. CuSO_4
- D. CH_3OH

Rješenje: A

X. Faradayevi zakoni elektrolize

prvi Faradayev zakon elektrolize

$$q = It = znF$$

q = naboj, I = jakost električne struje, t = vrijeme

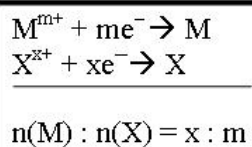
z = broj elektrona u jednadžbi polureakcije u kojoj nastaje (ili reagira) 1 čestica tvari čija se množina n uvrštava

n = množina

F = Faradayeva konstanta = $9,65 \cdot 10^4\text{ C mol}^{-1}$ (zgodno je znati da je $F = N_A \cdot e \rightarrow$ umnožak Avogadrove konstante i elementarnog naboja $e = 1,602 \cdot 10^{-19}\text{ C}$, čime formula postaje logična: ukupni preneseni naboj = naboj jednog elektrona \cdot broj elektrona koji sudjeluju u reakciji)

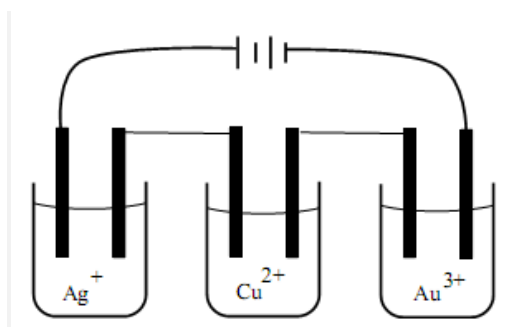
kulon je ampersekunda ($1\text{ C} = 1\text{ A s}$)

drugi Faradayev zakon elektrolize: ako se elektroliza provodi u dva ili više serijski spojenih elektrolizera, množine tvari izlučene na elektrodama istom množinom elektriciteta odnose se obrnuto proporcionalno broju izmijenjenih elektrona u reakcijama:



(može se izvesti iz prvog zakona uzimajući u obzir da je ukupni broj elektrona koji protječu kroz sve serijski spojene elektrolizere jednak)

☑ Vodene otopine AgNO_3 , $\text{Cu(NO}_3)_2$ i $\text{Au(NO}_3)_3$ koncentracija $0,10 \text{ mol/dm}^3$ elektrolizirane su u aparaturi na slici, tako da ista struja protječe kroz svaku otopinu.



Ako se izluči $0,10 \text{ mol}$ bakra, koliko se izluči srebra i zlata?

- A. $0,10 \text{ mol Ag}$, $0,10 \text{ mol Au}$
- B. $0,05 \text{ mol Ag}$, $0,075 \text{ mol Au}$
- C. $0,05 \text{ mol Ag}$, $0,15 \text{ mol Au}$
- D. $0,20 \text{ mol Ag}$, $0,067 \text{ mol Au}$

Rješenje: D

XI. iskorištenje

$$\eta = \frac{n(\text{dobivenog produkta})}{n(\text{maksimalno moguće produkta prema računu iz reaktanata})}$$

Umjesto množine može i masa ili volumen i sl., samo bitno da je ista veličina i za dobiveno i za maksimalno jer iskorištenje nema mjernu jedinicu, i naravno mora se odnositi na istu tvar.

Iskorištenje se može izraziti kao broj između 0 i 1 ili kao postotak između 0 i 100% η , grčko slovo eta, uobičajena je oznaka za iskorištenje, ali ne bi trebao biti osobiti problem ako ju zaboravite pa pišete "iskorištenje =".

Općenito, iskorištenje = dobiveno produkta (ili energije ili nečeg drugog)/maksimalno moguće produkta (ili energije itd., ali uvijek tog istog) kad bi iskorištenje bilo 100 %, a potrebno reaktanta (ili bilo čega drugog) = potrebno reaktanta kad bi iskorištenje bilo 100 % / iskorištenje. Imajte na umu da kad je iskorištenje manje, dobije se manje produkta ili je za istu količinu produkta potrebno uzeti više reaktanta.

XII. udjeli – maseni, množinski i volumni

$$w = \frac{\text{masa određenog sastojka smjese ili spoja}}{\text{ukupna masa te smjese ili spoja}} = \frac{m_1}{m_1 + m_2 + \dots}$$

Za volumni (φ) i množinski (x) udio potpuno je isto, samo umjesto masa volumeni (V) odnosno množine (n).

Maseni udjeli elemenata u spoju računaju se preko relativnih atomskih masa (maseni udio elementa u spoju = relativna atomska masa · broj atoma tog elementa u spoju / relativna molekulska masa), jer su mase atoma relativne mase pomnožene s unificiranom atomskom jedinicom mase pa se unificirane atomske jedinice mase u izrazu za maseni udio pokrate.

omjer (također maseni, množinski ili volumni) = masa (množina, volumen) jednog sastojka : masa (množina, volumen) drugog sastojka

Općenito:

(maseni, množinski, volumni) udio = svojstvo (masa, množina, volumen) sastojka / zbroj istog svojstva (masa, množina, volumen) za sve sastojke smjese

(masena, množinska, volumna) koncentracija = svojstvo (masa, množina, volumen) sastojka / volumen smjese, najčešće otopine

Razlika između volumnog udjela i volumne koncentracije:

volumni udio = volumna koncentracija za smjesu idealnih plinova, ali za druge smjese ne moraju biti jednaki jer volumen smjese ne mora biti jednak zbroju volumena svih sastojaka (obično je volumen smjese nešto manji jer se manje čestice raspoređuju u praznine među većima); na tu razliku rijetko se obraća pozornost i volumna koncentracija vrlo se rijetko koristi

☒ U kojem je od navedenih spojeva najveći maseni udio dušika?

- A. kalijev nitrat
- B. barijev nitrat
- C. aluminijev nitrat
- D. litijev nitrat
- E. natrijev nitrat

Rješenje: D

☒ Maseni udio dušika u $(\text{N}_2\text{H}_5)_2\text{SO}_4$ je:

- A. 10,8 %
- B. 17,3 %

C. 34,5 %

D. 51,2 %

Rješenje: C

☑ Koji je razlomak jednak masenom udjelu dušika u amonijevom dihidrogenfosfatu?

A. 14 / 115

B. 28 / 115

C. 28 / 132

D. 14 / 210

Rješenje: A

☑ Ako se zagrijavanjem iz 1,50 g $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ istjera sva kristalna voda, koliko bezvodne $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ preostane?

A. 0,34 g

B. 0,92 g

C. 1,07 g

D. 1,50 g

Rješenje: C

☑ Koliko molekula vode sadrži formulska jedinka hidratiziranog kalcijeva nitrata u kojem je maseni udio vode 30,5 %?

A. 1

B. 2

C. 3

D. 4

E. 5

Rješenje: D

☑ Iz 7,66 g hidratiziranog natrijevog sulfata, $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$, dobije se 4,06 g bezvodnog Na_2SO_4 . Koliko iznosi x?

A. 0,2

B. 3,6

C. 5

D. 7

Rješenje: D

☑ Formulska jedinka berila sadrži 3 atoma berilija. Maseni udio berilija u berilu je 5,03%. Molarna masa berila je:

- A. 950 g/mol
- B. 537 g/mol
- C. 270 g/mol
- D. 179 g/mol

Rješenje: B

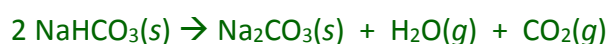
XIII. reakcijska entalpija = entalpija stvaranja produkata – entalpija stvaranja reaktanata

Reakcijska entalpija ($\Delta_r H$) je promjena entalpije pri nekoj reakciji. Standardna reakcijska entalpija ($\Delta_r H^\circ$) je reakcijska entalpija pri standardnim uvjetima. Entalpije stvaranja označavaju se $\Delta_f H$ odnosno $\Delta_f H^\circ$ (f = engl. *formation* = stvaranje, nastanak).

"Nestajanje" reaktanata može se shvatiti kao njihovo od–stvaranje (suprotan proces od stvaranja) pa se zato mijenja predznak njihovih entalpija.

Paziti na množenje entalpije stvaranja svake tvari sa stehiometrijskim koeficijentom (to je broj koji piše ispred čestice u jednadžbi) te tvari u jednadžbi reakcije za koju se računa entalpija! Entalpije stvaranja zadane su za 1 mol tvari (što se vidi jer je jedinica kJ/mol) tj. 1 mol reakcija u kojima je stehiometrijski koeficijent te tvari 1, ako ne piše drukčije. Reakcijska entalpija zadana je za 1 mol te reakcije kako je napisana tj. za onoliko molova neke tvari koliki joj je stehiometrijski koeficijent u toj jednadžbi.

☑ Prema podacima u tablici, izračunaj promjenu entalpije za raspad natrijevog hidrogenkarbonata (u kJ po molu CO_2):



$\Delta H_f^\circ (\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1})$	
$\text{NaHCO}_3(s)$	–947.7
$\text{Na}_2\text{CO}_3(s)$	–1130.9
$\text{H}_2\text{O}(g)$	–241.8
$\text{CO}_2(g)$	–393.5

- A. 129,2
- B. –818,5
- C. –1766,2

D. $-3661,6$

Rješenje: A

☒ Koja je standardna entalpija stvaranja $\text{MgO}(s)$ ako se dok pri standardnim uvjetima gorenjem magnezija nastane $20,15 \text{ g MgO}(s)$ oslobodi $300,9 \text{ kJ}$ energije?

- A. $-601,8 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
- B. $-300,9 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
- C. $+300,9 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
- D. $+601,8 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

Rješenje: A

☒ Prema reakciji



koliko se energije oslobodi tijekom nastanka $140 \text{ g N}_2(g)$?

- A. 1078 kJ
- B. 1797 kJ
- C. 3234 kJ
- D. 5390 kJ

Rješenje: B

Obrazloženje: energija koja se oslobodi = apsolutna vrijednost promjene energije pri jednoj reakciji (odnosno po molu reakcija jer je izražena u kJ/mol) puta koliko se takvih reakcija odvije (broj molova reakcija). Energija koja se oslobodi znači negativnu promjenu energije (egzotermna reakcija), a energija koja je potrebna pozitivnu (endotermna).

Hessov zakon (izračunavanje reakcijske entalpije iz reakcijskih entalpija drugih reakcija):

Jednadžbe reakcija mogu se tretirati kao matematičke jednadžbe. Mogu se množiti i dijeliti brojevima tako da se istim brojem pomnoži ili podijeli svaki stehiometrijski koeficijent u jednadžbi. Ako se množi ili dijeli negativnim brojem reaktanti i produkti se međusobno zamijene. Jednadžbe se mogu zbrajati tako da je stehiometrijski koeficijent neke tvari u zbrojenoj jednadžbi jednak zbroju stehiometrijskih

koeficijenta te tvari u jednadžbama koje zbrajamo. Iste tvari koje se pri zbrajanju jednadžbi nalaze sa suprotnih strana strelice se kratak odnosno stehiometrijski koeficijenti se oduzimaju. Ideja računanja s Hessovim zakonom je namjestiti tako da se pri zbrajanju zadanih jednadžbi pokrate sve tvari osim onih koje su u jednadžbi za koju treba izračunati entalpiju, a onda pomnožiti sve reakcijske entalpije istim brojevima kojima su pomnožene odgovarajuće jednadžbe te i njih zbrojiti. Najpreglednije je sve pisati u "tablicu"

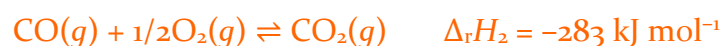
jednadžba 1	$\cdot A$	reakcijska entalpija za jednadžbu 1	$\cdot A$
+ jednadžba 2	$\cdot B$	reakcijska entalpija za jednadžbu 2	$\cdot B$
jednadžba za koju treba izračunati entalpiju		reakcijska entalpija za jednadžbu za koju treba izračunati entalpiju	

A i B su cijeli brojevi ili razlomci, pozitivni ili negativni.

Treba paziti na agregatna stanja (pisati ih), ista tvar u različitom agregatnom stanju u termokemiji nije ista! (postoje reakcijske entalpije taljenja, isparavanja itd., a standardne entalpije se odnose na standardna stanja tj. stanja u kojima su tvari pri "normalnim" (sobnim) uvjetima)

☞ Primjeri za Hessov zakon

1. Iz reakcijskih entalpija za reakcije:



izračunamo reakcijsku entalpiju za reakciju:



$\text{C(s)} + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{g})$		-393 kJ mol^{-1}	
+ $\text{CO(g)} + 1/2 \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{g})$	$\cdot (-1)$	-283 kJ mol^{-1}	$\cdot (-1)$
$\text{C(s)} + 1/2 \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO(g)}$?	
$\text{C(s)} + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{g})$		-393 kJ mol^{-1}	
+ $\text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO(g)} + 1/2 \text{O}_2(\text{g})$		283 kJ mol^{-1}	
$\text{C(s)} + 1/2 \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO(g)}$		-110 kJ mol^{-1}	

2. Na temelju poznatih entalpija izgaranja benzena ($-3267,6 \text{ kJ/mol}$), cikloheksana ($-3919,6 \text{ kJ/mol}$) i vodika ($-285,8 \text{ kJ/mol}$) treba odrediti entalpiju potpunog hidrogeniranja benzena.

I. napišemo i izjednačimo jednadžbe zadanih i tražene reakcije:

$\text{C}_6\text{H}_6(l) + 15/2\text{O}_2(g) \rightarrow 6\text{CO}_2(g) + 3\text{H}_2\text{O}(l)$	$-3267,6 \text{ kJ/mol}$
$\text{C}_6\text{H}_{12}(l) + 9\text{O}_2(g) \rightarrow 6\text{CO}_2(g) + 6\text{H}_2\text{O}(l)$	$-3919,6 \text{ kJ/mol}$
$\text{H}_2(g) + 1/2\text{O}_2(g) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(l)$	$-285,8 \text{ kJ/mol}$
$\text{C}_6\text{H}_6(l) + 3\text{H}_2(g) \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}(l)$?

*entalpija izgaranja (ili čega god, ako nije drukčije navedeno) neke tvari odnosi se na 1 mol te tvari pa jednadžbu pišemo tako da stehiometrijski koeficijent te tvari bude 1 (pa makar neke druge tvari onda imale necjelobrojne stehiometrijske koeficijente)

**agregatna stanja jesu bitna (u termokemijskoj jednadžbi ista tvar u različitom stanju nije ista tvar!), ali ako među zadanim entalpijama nema entalpija promjena agregatnih stanja, eventualna pogreška (npr. da nismo znali da su benzen i cikloheksan u tekućem stanju nego smo ih naveli u čvrstom, ili da smo se odlučili za sve u plinovitom, što je pri stvarnoj temperaturi odvijanja reakcije vjerojatnije) neće utjecati na konačni rezultat dokle god je odabir agregatnog stanja za istu tvar isti u svim jednadžbama

II. kombiniramo množenje jednadžbi malim brojevima (u pravilu cijelim – pozitivnim i negativnim!) kako bismo njihovim zbrajanjem dobili traženu jednadžbu, a onda s reakcijskim entalpijama učinimo isto što smo učinili s pripadajućim jednadžbama:

$\text{C}_6\text{H}_6(l) + 15/2\text{O}_2(g) \rightarrow 6\text{CO}_2(g) + 3\text{H}_2\text{O}(l)$	$-3267,6 \text{ kJ/mol}$	
$6\text{CO}_2(g) + 6\text{H}_2\text{O}(l) \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}(l) + 9\text{O}_2(g)$	$-3919,6 \text{ kJ/mol}$	$\cdot(-1)$
(zamjena reaktanti \leftrightarrow produkti)		
+ $3\text{H}_2(g) + 3/2\text{O}_2(g) \rightarrow 3\text{H}_2\text{O}(l)$ (množenje s 3)	$-285,8 \text{ kJ/mol}$	$\cdot 3$
$\text{C}_6\text{H}_6(l) + 3\text{H}_2(g) \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}(l)$	$-205,4 \text{ kJ/mol}$	

☑ Ako je za reakciju $2 \text{SO}_2(g) + \text{O}_2(g) \rightarrow 2 \text{SO}_3(g)$ standardna reakcijska entalpija $\Delta_r H^\circ = -198,4 \text{ kJ mol}^{-1}$, kolika je standardna reakcijska entalpija za reakciju $\text{SO}_3(g) \rightarrow \text{SO}_2(g) + 1/2 \text{O}_2(g)$?

A. $198,4 \text{ kJ mol}^{-1}$; B. $-99,2 \text{ kJ mol}^{-1}$; C. $99,2 \text{ kJ mol}^{-1}$; D. $396,8 \text{ kJ mol}^{-1}$

Rješenje: C

☑ Standardna entalpija stvaranja $\text{NH}_3(g)$ je $-46,1 \text{ kJ/mol}$. Izračunaj $\Delta_r H^\circ$ za reakciju:



- A. $-92,2 \text{ kJ/mol}$
- B. $-46,1 \text{ kJ/mol}$
- C. $46,1 \text{ kJ/mol}$
- D. $92,2 \text{ kJ/mol}$

Rješenje: D

XIV. pH vrijednost je logaritam ravnotežne koncentracije vodikovih iona pomnožen s -1

$$\boxed{\text{pH} = -\log[\text{H}^+]}$$

$[\text{X}]$ u svim formulama za računanje znači množinska koncentracija tvari X, isto kao $c(\text{X})$, s tim da bi $[\text{X}]$ trebalo koristiti samo za ravnotežne koncentracije.

Treba paziti da se uvrštava koncentracija H^+ u mol/dm^3 a ne s nekom drugom mjernom jedinicom (strogo gledano formula zapravo glasi $\text{pH} = -\log([\text{H}^+]/(\text{mol dm}^{-3}))$ jer se ne može računati logaritam mjerne jedinice pa se prije uvrštavanja u logaritam mora dijeliti s mjernom jedinicom, a nije svejedno kojom je mjernom jedinicom iskazano).

Obrat (izračunavanje koncentracije H^+ iz pH): $[\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}} \text{ mol/dm}^3$ (treba pamtit i samo u slučaju apsolutnog nepoznavanja logaritama iz matematike, ali u tom slučaju bolje je poraditi na matematici – poznavanje toliko matematike preporučljivo je na svim fakultetima koji traže kemiju na maturi).

Isto tako i pOH i pK (p općenito znači dekadski logaritam pomnožen s -1):

$$K_w = [\text{H}^+][\text{OH}^-] = 10^{-14} / -\log$$

$$\text{p}K_w = \boxed{\text{pH} + \text{pOH} = 14}$$

K_w je ionski produkt vode = konstanta ravnoteže za reakciju $\text{H}^+ + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}$ pomnožena s $[\text{H}_2\text{O}]$ (zapravo, $[\text{H}_2\text{O}]$ se ne uzima u izraz jer je voda otapalo kojeg najčešće ima jako puno pa se može smatrati otprilike čistom tvari, a čistim tekućim ili čvrstim tvarima u konstantu ravnoteže ne uzima se koncentracija nego množinski udio koji je 1).

☑ Koliki je pH otopine KOH koncentracije $0,025 \text{ mol/dm}^3$?

- A. 1,60
- B. 3,69
- C. 10,31

D. 12,40

Rješenje: D

XV. koncentracijska konstanta ravnoteže



$$K_c = \frac{[X]^x [Y]^y \dots}{[A]^a [B]^b \dots}$$

A, B, ... su reaktanti, X, Y, ... produkti u jednadžbi, a, b, ..., x, y, ... njihovi stehiometrijski koeficijenti – formula je logična jer je K_c veća što u ravnoteži ima više produkata, a manja što ima više reaktanata.

Svakako pisati mjerne jedinice uz koncentracije jer koncentracijska konstanta ima svoju jedinicu!

U izraz za koncentracijsku konstantu ulaze samo otopljene tvari (ne otapalo) u otopini (aq) i plinovi (g).

Tlačna konstanta ravnoteže (za reakcije u plinovitom stanju) – potpuno analogno koncentracijskoj, samo umjesto koncentracija tlakovi plinova, dakle bilo bi:





$$K_p = \frac{p^x(X)p^y(Y) \dots}{p^a(A)p^b(B) \dots}$$

U izraz za tlačnu konstantu ravnoteže ulaze samo plinovi (g).

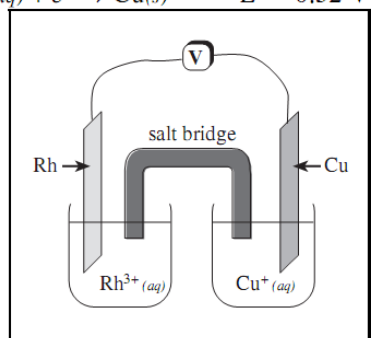
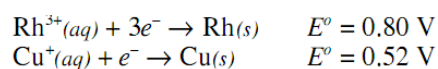
XVI. razlika potencijala (galvanskog članka)

$$E = E_{\text{redukcija}} - E_{\text{oksidacija}}$$

E je standardni redukcijski potencijal, dakle napisan je za redukciju, pa ostaje istog predznaka za reaktant koji se u reakciji reducira (prima elektrone), a mijenja predznak za reaktant koji se oksidira (otpušta elektrone) jer je ta oksidacija ista reakcija u obrnutom smjeru (kad gledamo reakciju u drugom smjeru, množimo s -1 , isto kao i entalpiju,  vidi Hessov zakon).

Ako se traži moguća reakcija, E mora biti pozitivno tj. što veće za što bolju reakciju! (u galvanskom članku ili "običnom" redoksu; u elektrolizi može biti negativno jer se elektroliza postiže dovođenjem dodatne razlike potencijala)  Vidi Elektrokemija.

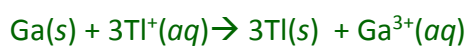
☑ Razlika potencijala članka na slici pri standardnim uvjetima je:



- A. 0,28 V
- B. 0,76 V
- C. 1,32 V
- D. 2,36 V

Rješenje: A

☑ Prema podacima u tablici izračunaj E° za reakciju



	E°
$\text{Ga}^{3+}(\text{aq}) + 3e^{-} \rightarrow \text{Ga}(\text{s})$	-0.529 V
$\text{Tl}^{+}(\text{aq}) + e^{-} \rightarrow \text{Tl}(\text{s})$	-0.336 V

- A. 0,479 V
- B. 0,193 V
- C. -0,193 V
- D. -0,479 V

Rješenje: B

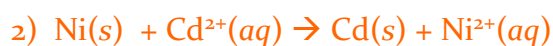
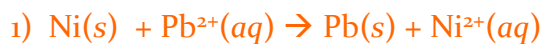
☑ Za elektrokemijski članak s reakcijom $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + \text{M}(\text{s}) \rightarrow \text{Cu}(\text{s}) + \text{M}^{2+}(\text{aq})$ je $E^{\circ} = 0,75 \text{ V}$.

Standardni redukcijski potencijal za $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$ je 0,34 V. Koliki je standardni redukcijski potencijal za $\text{M}^{2+}(\text{aq})$?

- A. 1,09 V
- B. 0,410 V
- C. -0,410 V
- D. -1,09 V

Rješenje: C

☑ Komad metalnog nikla uronjen je u otopinu koja sadrži $\text{Pb}^{2+}(\text{aq})$ ($c=1,0 \text{ mol/dm}^3$) i $\text{Cd}^{2+}(\text{aq})$ ($c=1,0 \text{ mol/dm}^3$). Prema standardnim redukcijskim potencijalima u tablici, odvijat će se koja/e reakcija/e?



	E°
$\text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Pb}(\text{s})$	-0.13 V
$\text{Ni}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ni}(\text{s})$	-0.23 V
$\text{Cd}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cd}(\text{s})$	-0.40 V

A. samo 1

B. samo 2

C. i 1 i 2

D. ni 1 ni 2

Rješenje: A

	$E^\circ \text{ (V)}$
$\text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Zn}(\text{s})$	-0.763
$\text{Cr}^{3+}(\text{aq}) + \text{e}^- \rightarrow \text{Cr}^{2+}(\text{aq})$	-0.408
$\text{Tl}^+(\text{aq}) + \text{e}^- \rightarrow \text{Tl}(\text{s})$	-0.336
$\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + \text{e}^- \rightarrow \text{Cu}^+(\text{aq})$	+0.161
$\text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + \text{e}^- \rightarrow \text{Fe}^{2+}(\text{aq})$	+0.769

☑

1) Prema standardnim redukcijskim potencijalima u tablici, standardni potencijal članka (E°) za reakciju $\text{Zn}(\text{s}) + 2\text{Tl}^+(\text{aq}) \rightarrow \text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{Tl}(\text{s})$ je:

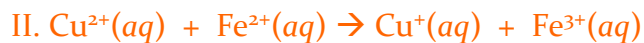
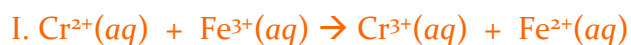
E. 0,427 V

F. 0,091 V

G. -0,091 V

H. -0,427 V

2) Prema standardnim redukcijskim potencijalima u tablici, koja reakcija/e je(su) spontana/e?



A. samo I.

B. samo II.

C. i I. i II.

D. ni I. ni II.

Rješenje: 1) A; 2) A

👁 Upotreba formula

Kako bi se što više smanjio broj formula za pamćenje, formule je potrebno znati "preokretati" (npr. $\rho = m/V \rightarrow m = \rho V$) i međusobno kombinirati, po mogućnosti bez potrebe da se uvijek što prije uvrste brojevi i izračunaju međurezultati (manje međurezultata znači manju mogućnost pogreške pri prepisivanju brojki i zaokruživanju, naravno račun bez međurezultata nije uvijek moguć, što osim o vještini učenika ovisi i o mogućnostima kalkulatora i samom zadatku).

Primjer: izračunavanje molalnosti (b) vodene otopine određene tvari iz poznate množinske koncentracije (c) i gustoće (ρ) te otopine

– pogleda se postoji li još neki "skriveni" zadani podatak: poznato je o kojoj se tvari radi, dakle mogu se iz periodnog sustava očitati relativne atomske mase i izračunati molarna masa tvari, M (a može se, dakako, izračunati i molarna masa vode, ali to nam u ovom slučaju nije potrebno)

– zapišu se formule za sve što je poznato:

(tvar = otopljena tvar, da bi bilo kraće, za c se podrazumijeva da je koncentracija otopljene tvari u otopini; bitno je pisati što se što odnosi na što u zagradama ili subskriptu jer treba paziti što se odnosi na otapalo a što na otopinu, što na sastojak a što na smjesu i sl.)

$$\boxed{\rho(\text{otopina})} = \frac{m(\text{otopina})}{V(\text{otopina})}, \quad \boxed{c} = \frac{n(\text{tvar})}{V(\text{otopina})}, \quad n(\text{tvar}) = \frac{m(\text{tvar})}{\boxed{M(\text{tvar})}}$$

(uokvireno je što je u tim formulama poznato)

– zapiše se formula za ono što je nepoznatom, što se traži:

$$b = \frac{n(\text{tvar})}{m(\text{otapalo})}$$

– gleda se što se u formuli za nepoznato može zamijeniti izrazom iz formule za poznato, ili uz malo zdravorazumske logike preobličiti tako da se može zamijeniti (npr. $m(\text{otopina}) = m(\text{otapalo}) + m(\text{tvar})$, ako otopina sadrži samo tu jednu otopljenu tvar), i ponavlja taj

postupak, uz matematičko sređivanje izraza (kraćenje, rješavanje dvojnih razlomaka), dok se ne dođe do konačnog izraza u kojem je sve što treba uvrstiti poznato:

$$\begin{aligned}
 b &= \frac{n(\text{tvar})}{m(\text{otapalo})} = \frac{cV(\text{otopina})}{m(\text{otapalo})} = \frac{cV(\text{otopina})}{m(\text{otopina}) - m(\text{tvar})} = \\
 &= \frac{cV(\text{otopina})}{\rho(\text{otopina})V(\text{otopina}) - m(\text{tvar})} = \\
 &= \frac{cV(\text{otopina})}{\rho(\text{otopina})V(\text{otopina}) - n(\text{tvar})M(\text{tvar})} = \\
 &= \frac{cV(\text{otopina})}{\rho(\text{otopina})V(\text{otopina}) - cV(\text{otopina})M(\text{tvar})} = \\
 &= \frac{cV(\text{otopina})}{V(\text{otopina})[\rho(\text{otopina}) - cM(\text{tvar})]} \\
 &\boxed{b = \frac{c}{\rho - cM}}
 \end{aligned}$$

(obično ima više mogućnosti za redoslijed zamjena i sve su ispravne dokle god daju smislen konačni izraz)

– u konačni izraz uvrste se brojevi s mjernim jedinicama (uz po potrebi odgovarajuće pretvaranje) – ako je nešto krivo, vjerojatno će se vidjeti po tome što se jedinice neće dobro pokratiti – i izračuna

– bez panike: možda izgleda teško, ali uz malo vježbe nije preteško, a jednom kad se uvježba ovakav tip izvođenja i dobro poznaju sve osnovne formule (s razumijevanjem što koje slovo u njima znači!), može se pomoću njih izračunati jako puno tipova zadataka, a nije vjerojatno da će išta biti osjetno teže od ovog primjera ☺

☑ Koliki mora biti najmanji maseni udio kalijeva hidroksida u vodenoj otopini mase 1 kg koja se može upotrijebiti za potpunu neutralizaciju 3,57 mola dušične kiseline?

- A. 5%
- B. 10%
- C. 15%
- D. 20%
- E. 25%

Rješenje: D

👁 Određivanje empirijske formule – primjer

Maseni udio ugljika u spoju je 14,29%, kisika 57,14%, vodika 1,190%, a ostalo je natrij.

Odredi empirijsku formulu spoja.

- izračunamo maseni udio "ostalog": $w(\text{Na}) = 100\% - 14.29\% - 57.14\% - 1.19\% = 27.38\%$
- empirijska formula pokazuje najmanji odnos brojnosti različitih atoma a ne njihovih masa pa treba masene udjele "prevesti" na množine, to je najlakše učiniti tako da se zamisli uzorak od 100 g – u njemu ima onoliko grama svakog elementa koliki je postotak njegov maseni udio ($m(\text{sastojak}) = w(\text{sastojak}) \cdot m(\text{ukupno})$)
- dijeljenjem s molarnom masom ($n = m/M$) elementa izračuna se množina svakog elementa i one se postave u međusobni omjer:

$$\text{C} : \text{O} : \text{H} : \text{Na} = \frac{14,29}{12,01} : \frac{57,14}{16} : \frac{1,190}{1,008} : \frac{27,38}{22,99} = 1,190 : 3,571 : 1,181 : 1,191$$

- podijeli se svaki član omjera s najmanjim članom (u ovom slučaju s 1,181)

$$\frac{1,190}{1,181} : \frac{3,571}{1,181} : \frac{1,181}{1,181} : \frac{1,191}{1,181} = 1,008 : 3,023 : 1 : 1,008$$

- ako se dobiju lijepi cijeli brojevi ili ovako nešto vrlo slično cijelim brojevima (ne moraju biti točno cijeli brojevi! jer je moguće da su sastavljači zadatka koristili molarne mase na drukčiji broj znamenaka, pogreške zbog zaokruživanja i sl.), gotovo je; ako ne, množe se svi članovi istim cijelim brojem tako da se dobiju najmanji mogući cijeli brojevi (koeficijenti u empirijskoj formuli su uvijek najmanji mogući cijeli brojevi)
- i napokon:

$$\text{C} : \text{O} : \text{H} : \text{Na} = 1 : 3 : 1 : 1$$

empirijska formula: CO_3HNa = (presložimo u smisleni redoslijed) = NaHCO_3

☒ Analizom je ustanovljeno da je maseni udio magnezija u spoju 21,8%, fosfora 27,7%, a ostalo je kisik. Koja je empirijska formula tog spoja?

- A. MgPO_2
- B. MgPO_3
- C. $\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$
- D. $\text{Mg}_3\text{P}_2\text{O}_8$

Rješenje: C

☒ Oksid mangana sadrži 2,29 g mangana po gramu kisika. Koja je empirijska formula tog oksida?

- A. MnO
- B. MnO_2

C. Mn_2O_3

D. MnO_3

Rješenje: C

Razrjeđivanje otopina kiseline (ili lužine ili nekog iona) vodom

Budući da se dodaje samo čista voda, u kojoj nema kiseline, konačna otopina sadrži jednaku množinu kiseline kao i početna otopina pa možemo pisati (kroz cijeli primjer indeks 1 se odnosi na početnu, a 2 na konačnu otopinu):


$$n_1 = n_2$$

Upotrijebimo formulu za vezu množine i množinske koncentracije $c = \frac{n}{V}$ pa je:

$$c_1 V_1 = c_2 V_2$$

Konačni volumen je zbroj početnog volumena i volumena dodane vode pa je:

$$c_1 V_1 = c_2 (V_1 + V_{\text{H}_2\text{O}})$$

iz čega se može dobiti bilo početna koncentracija, bilo konačna koncentracija, bilo početni volumen, bilo volumen vode koji je potrebno dodati (odnosno iz toga konačni volumen), ovisno što se traži, a što je zadano (za kombiniranje s masenom koncentracijom i drugim veličinama  vidi Upotreba formula).

☒ Koliko je mililitara HCl koncentracije $8,00 \text{ mol/dm}^3$ potrebno za pripremu 150 mL HCl koncentracije $1,60 \text{ mol/dm}^3$?

A. $30,0 \text{ mL}$

B. $24,0 \text{ mL}$

C. $18,8 \text{ mL}$

D. $12,0 \text{ mL}$

Rješenje: A

☒ Koliki volumen (u mL) koncentrirane sumporne kiseline ($c=18,0 \text{ mol/dm}^3$) je potreban za pripremu $2,50 \text{ L}$ otopine koncentracije $1,00 \text{ mol/dm}^3$?

A. $7,20$

B. $14,4$

C. $69,4$

D. 139

Rješenje: D

👁 Miješanje kiseline i lužine

Pomiješa se 50 mL sumporne kiseline koncentracije 0,10 mol/dm³ i 170 mL natrijeve lužine koncentracije 0,03 mol/dm³. Koliki je pH dobivene otopine?

– napisati jednadžbu kemijske reakcije



– iz jednadžbe odčitati odnose množina kiseline i lužine koje međusobno reagiraju (omjer stehiometrijskih koeficijenata)

$$\frac{n(\text{H}_2\text{SO}_4)}{n(\text{NaOH})} = \frac{1}{2}$$

$$n(\text{NaOH}) = 2n(\text{H}_2\text{SO}_4)$$

– izračunati množine iz zadanih veličina

$$n = cV$$

$$n(\text{NaOH}) = 0,03 \text{ mol dm}^{-3} \cdot 170 \cdot 10^{-3} \text{ dm}^3 = 0,0051 \text{ mol}$$

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,10 \text{ mol dm}^{-3} \cdot 50 \cdot 10^{-3} \text{ dm}^3 = 0,0050 \text{ mol}$$

– pogledati što se u reakciji posve potroši, a čega preostaje (odredi se mjerodavni reaktant i suvišak, 🎯 vidi dalje)

sa 0,0050 mol H₂SO₄ reagiralo bi 2 · 0,0050 mol = 0,010 mol NaOH → više nego što ima, znači sav NaOH reagira

s 0,0051 mol NaOH reagiralo bi 1/2 · 0,0051 mol = 0,0026 mol H₂SO₄ → preostaje 0,0050 mol – 0,0026 mol = 0,0024 mol H₂SO₄

– izračunati ukupni volumen!

$$V = V(\text{NaOH}) + V(\text{H}_2\text{SO}_4) = 50 \text{ mL} + 170 \text{ mL} = 220 \text{ mL} = 0,220 \text{ dm}^3$$

– izračunati koncentraciju preostalih H⁺ ili OH⁻ iona (množina preostale kiseline ili lužine · broj H⁺ ili OH⁻ iz jedne molekule kiseline ili lužine / ukupni volumen)

$$c(\text{H}^+) = \frac{0,0024 \text{ mol} \cdot 2}{0,220 \text{ dm}^3} = 0,022 \text{ mol dm}^{-3}$$

– iz toga izračunati pH ili pOH, a onda iz pH + pOH = 14 po potrebi i ono drugo

$$\text{pH} = -\log(0,022) = 1,6$$

*napomena: postupak vrijedi samo ako je završna c(H⁺) ili c(OH⁻) koja se dobije veća od otprilike 10⁻⁵ mol/dm³ i ako su koncentracije kiseline i lužine dovoljno male da se

može zanemariti volumen vode nastale neutralizacijom, ali takvi bi na ovoj razini trebali biti svi zadaci

☑ 100 mL otopine kalcijeva nitrata koncentracije $0,250 \text{ mol/dm}^3$ pomiješano je s 400 mL dušične kiseline koncentracije $0,100 \text{ mol/dm}^3$. Kolika je koncentracija nitratnih iona u dobivenoj smjesi?

- A. $0,180 \text{ mol/dm}^3$
- B. $0,130 \text{ mol/dm}^3$
- C. $0,0800 \text{ mol/dm}^3$
- D. $0,0500 \text{ mol/dm}^3$

Rješenje: A

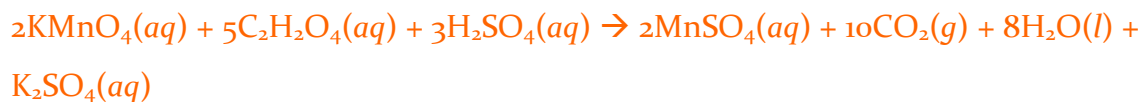
👁 Mjerodavni reaktant, suvišak

Često u reakcijskoj smjesi nemamo točno onoliko svakog reaktanta koliko je potrebno da u potpunosti prijeđu u produkte, nego se samo jedan reaktant sav potroši, a ostalih nešto preostane nakon završene reakcije. Taj reaktant koji sav reagira te kad se on potroši reakcija prestaje zovemo mjerodavni reaktant, a za ostale reaktante, kojih preostane, kažemo da su u suvišku. Pogrešno tj. preneodređeno je reći da je mjerodavni reaktant "onaj kojeg ima najmanje" jer se ne troši pri svakoj reakciji jednako svakog reaktanta, nego onoliko čestica reaktanta koliki je njegov stehiometrijski koeficijent. Najlakše tj. najsistematичnije možemo odrediti mjerodavni reaktant tako da za svaki reaktant kojem možemo izračunati množinu podijelimo tu množinu s njegovim stehiometrijskim koeficijentom kako bismo izračunali "množinu reakcija"¹⁶ (množina je pojam koji se ne mora odnositi samo na konkretne stvari: 1 mol "nečega" znači $6,022 \cdot 10^{23}$ "nečega", a to "nešto" mogu jednako biti atomi ugljika, molekule vode, mali zeleni ili kemijske reakcije npr. nastajanja formulske jedinice natrijeva klorida iz elemenata) koje se mogu odviti dok se on sav ne potroši. Onaj reaktant za koji je ta množina najmanja prvi će se potrošiti – taj je mjerodavni reaktant. Onda iz tako dobivene množine reakcija koje se doista i odvijaju možemo izračunati, množenjem s njihovim stehiometrijskim koeficijentima, množine svih ostalih

¹⁶ Neki od vas na fakultetima će se s tim pojmom susresti pod nazivom doseg kemijske reakcije.

reaktanata koje reagiraju (potroše se). Oduzmemo li tu potrošenu množinu nekog reaktanta od njegove početne množine, dobit ćemo množinu koja preostaje (ne reagira) tj. suvišak. Također, iz množine reakcija možemo izračunati, množenjem njegovim stehiometrijskim koeficijentom, množinu svakog produkta koja nastane.

Naprimjer, za reakciju:



(za pitanje kako je izjednačena ta jednažba,  vidi Redoksi)

Ako je u početku prisutno 8 mol KMnO_4 i 10 mol $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$ te veliki suvišak H_2SO_4 , množina reakcija koja bi se odvila dok se potroši sav KMnO_4 je $8 \text{ mol} / 2 = 4 \text{ mol}$, a dok se potroši sav $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$ je $10 \text{ mol} / 5 = 2 \text{ mol}$, dakle zaključujemo da je $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$ mjerodavni reaktant te se doista odvije 2 mola reakcija. Pri tome se potroši $2 \text{ mol} \cdot 2 = 4 \text{ mol}$ KMnO_4 te preostane suvišak od $8 \text{ mol} - 4 \text{ mol} = 4 \text{ mol}$ KMnO_4 . Pri tome također nastane $2 \text{ mol} \cdot 10 = 20 \text{ mol}$ CO_2 , 16 mol H_2O , 4 mol MnSO_4 , 2 mol K_2SO_4 .

Druga je mogućnost izračunati (pomoću stehiometrijskog omjera množina tj. množine sudionika reakcije odnose se isto kao njihovi koeficijenti u jednažbi) količinu produkta koja bi nastala iz svakog reaktanta te uzeti najmanju (toliko stvarno može nastati pa je to mjerodavni reaktant), a onda iz nje na isti način izračunati množine reaktanata koji se potroše te koji preostanu. U ovom primjeru iz 8 mol KMnO_4 nastalo bi $8 \cdot 10/2 = 40 \text{ mol}$ MnSO_4 , a iz 10 mol $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$ $10 \cdot 10/5 = 20 \text{ mol}$ CO_2 , dakle $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$ je mjerodavni reaktant te doista nastaje 20 mol CO_2 , s 10 mol $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$ reagira $10 \cdot 2/5 = 4 \text{ mol}$ KMnO_4 te preostaje $8 - 4 = 4 \text{ mol}$ KMnO_4 .



koliko molova $\text{NH}_3(g)$ može nastati reakcijom 0,22 mol $\text{N}_2\text{O}_3(g)$ i 0,87 mol $\text{H}_2(g)$?

- A. 0,29 mol
- B. 0,44 mol
- C. 0,73 mol
- D. 1,1 mol

Rješenje: A

☑ Silicijev karbid, SiC, dobiva se zagrijavanjem SiO₂ i C na visoke temperature, prema jednadžbi:



Koliko bi se najviše grama SiC moglo dobiti iz 2,00 g SiO₂ i 2,00 g C?

- A. 1,33
- B. 2,26
- C. 3,59
- D. 4,00

Rješenje: A

☑ U dobro zatvorenoj posudi nalazi se 3 mol vodika i 2 mol kisika. Električnom iskrom, bez otvaranja posude, izazvana je reakcija: $2\text{H}_2(g) + \text{O}_2(g) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(l)$. **Nakon hlađenja na sobnu temperaturu** u posudi su prisutni **plinovi**:

- A. 1 mol H₂(g), 1 mol O₂(g), 2 mol H₂O(g) ;
- B. 0,5 mol O₂(g), 3 mol H₂O(g);
- C. 1 mol H₂(g), 1 mol O₂(g);
- D. 0,5 mol O₂(g)

Rješenje: D

☑ Amonijak se dobiva prema sljedećoj jednadžbi: $\text{N}_2(g) + 3\text{H}_2(g) \rightarrow 2\text{NH}_3(g)$ Ako se kad 0,5 mol N₂ reagira s 0,5 mol H₂ dobije 0,25 mol NH₃, koliko je iskorištenje reakcije?

- A. 75%
- B. 50%
- C. 33%
- D. 25%

Rješenje: A



Kolika je maksimalna masa NO (u gramima) koja se može dobiti iz 15,5 g N₂O₄ i 4,68 g N₂H₄?

- A. 4,38
- B. 5,04
- C. 15,2
- D. 26

Rješenje: C

Stupanj disocijacije

(oprez, jedno od najnaprednijih gradiva sadržanih u Ispitnom katalogu, nije nužno sadržano u udžbenicima)

Stupanj disocijacije, α , je broj koji pokazuje koliki je dio od ukupne količine elektrolita (elektrolit je tvar koja provodi električnu struju pomoću iona, dakle kiselina, baza ili sol) u otopini disociran (disociran u kontekstu otopina znači prisutan u obliku iona a ne neutralnih molekula).

$\alpha = \text{množina disociranih čestica} / \text{ukupna množina otopljenog elektrolita} = \text{ravnotežna koncentracija disociranih čestica} / \text{koncentracija otopine elektrolita}$

Dakle formulom:

$$\alpha = \frac{n(A^-)}{n_0(\text{HA})} = \frac{[A^-]}{c_0(\text{HA})}$$

(ovo je opća formula za stupanj disocijacije jednoprotonske kiseline, analogno vrijedi i za ostale elektrolite $\alpha = [\text{ion}]/c_0(\text{spoj})$)

☞ Npr. za metansku (mravlju) kiselinu:

$$\alpha(\text{HCOOH}) = \frac{[\text{HCOO}^-]}{c_0(\text{HCOOH})}$$

Za jake kiseline i baze, $\alpha \approx 1$ (koncentracija disocirane čestice približno je jednaka ukupnoj koncentraciji tog elektrolita), zato kažemo da su potpuno disocirane.

Za slabe kiseline i baze te soli najčešće se pri računanju koristi veza stupnja disocijacije i konstante ravnoteže za reakciju disocijacije.

☞ Primjer: Treba odrediti stupanj disocijacije octene kiseline, CH_3COOH , u vodenoj otopini koja bi se dobila miješanjem 6,00 g "ledene" (100%-tne) octene kiseline s vodom tako da je konačni volumen otopine 1,00 L, ako je pri toj temperaturi konstanta disocijacije octene kiseline $K_c = 1,75 \cdot 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}$.

Rješenje primjera: Koncentracija octene kiseline ($c_0(\text{CH}_3\text{COOH})$, može se pisati samo c_0 radi kratkoće) je:

$$c_0 = \frac{n}{V} = \frac{m}{MV} = \frac{6,00 \text{ g}}{60,0 \text{ g mol}^{-1} \cdot 1,00 \text{ L}} = 0,100 \frac{\text{mol}}{\text{L}} = 0,100 \frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$$

(u ovom primjeru strogo pazim na broj znamenaka, otud tolike nule)

Jednadžba disocijacije je:



pa je prema tome izraz za konstantu disocijacije:

$$K_c = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$$

Ravnotežna koncentracija disocirane octene kiseline je ravnotežna koncentracija njenih aniona koji nastaju tom disocijacijom, $[\text{CH}_3\text{COO}^-]$. Ravnotežne koncentracije $[\text{CH}_3\text{COO}^-]$ i $[\text{H}^+]$ su jednake (disocijacijom svake molekule CH_3COOH koja disocira nastaje po jedan CH_3COO^- i po jedan H^+ , ni jedni ni drugi nemaju u ovom zadatku otkud drugdje doći niti ikamo drugamo otići) pa umjesto $[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}^+]$ možemo pisati $[\text{CH}_3\text{COO}^-]^2$. Zbroj koncentracija disocirane i nedisocirane octene kiseline je njena ukupna ("početna", "nazivna") koncentracija tj. $c_0 = [\text{CH}_3\text{COO}^-] + [\text{CH}_3\text{COOH}]$ (jer je sva kiselina ili disocirana ili nedisocirana), dakle $[\text{CH}_3\text{COOH}] = c_0 - [\text{CH}_3\text{COO}^-]$. Kad se to uvrsti u izraz za K_c dobije se:

$$K_c = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]^2}{c_0 - [\text{CH}_3\text{COO}^-]}$$

A izraz za stupanj disocijacije je:

$$\alpha = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{c_0}$$

Što zajedno čini dvije jednadžbe s dvije nepoznanice jer je c_0 i K_c poznato a nepoznato je α (koji želimo dobiti) i $[\text{CH}_3\text{COO}^-]$ (koji nam zapravo ne treba osim možda kao međurezultat). Stoga je najlakše da iz druge jednadžbe izrazimo $[\text{CH}_3\text{COO}^-] = \alpha c_0$ i uvrstimo u prvu koja time postaje:

$$K_c = \frac{(\alpha c_0)^2}{c_0 - \alpha c_0} = \frac{\alpha^2 c_0}{1 - \alpha}$$

Što se "sredi" u kvadratnu jednadžbu s jednom nepoznanicom α :

$$c_0 \alpha^2 + K_c \alpha - K_c = 0$$

čija su rješenja (prema $x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$, ako netko još ima matematičkih problema s kvadratnim jednadžbama):

$$\alpha = \frac{-K_c \pm \sqrt{K_c^2 + 4K_c c_0}}{2c_0}$$

No stupanj disocijacije mora biti pozitivan (između 0 i 1) pa dolazi u obzir samo pozitivno rješenje, dakle:

$$\alpha = \frac{-K_c + \sqrt{K_c^2 + 4K_c c_0}}{2c_0}$$

(to je naravno i općenita konačna formula za ovaj tip zadatka, ali preporuča se razumjeti i znati ponoviti postupak odnosno na bilo koji točan način povezati K_c i α , a ne pamтити ovu formulu)

Uočite da stupanj disocijacije, za razliku od konstante disocijacije, ovisi i o početnoj koncentraciji c_0 (npr. da se isti volumen otopine pripremi od 12 g a ne 6 g octene kiseline, α ne bi bio isti). Znači, kad se uvrste brojevi (sve je u mol dm^{-3} i pokradi se pa jedinice neću pisati, premda preporučam da ih radije uvijek pišete):

$$\alpha = \frac{-1,75 \cdot 10^{-5} + \sqrt{(1,75 \cdot 10^{-5})^2 + 4 \cdot 1,75 \cdot 10^{-5} \cdot 0,100}}{2 \cdot 0,100} = 0,0131 = 1,31 \%$$

(budući da je stupanj disocijacije između 0 i 1, često se izražava kao postotak, naravno može se i ostaviti kao broj)

Budući da se u ovakve zadatke često upliće i pH, izračunajmo još i pH te otopine. Za to možemo iskoristiti spomenutu činjenicu da je $[\text{H}^+] = [\text{CH}_3\text{COO}^-]$, a $[\text{CH}_3\text{COO}^-]$ dobijemo iz $[\text{CH}_3\text{COO}^-] = \alpha c_0 = 0,0131 \cdot 0,100 \text{ mol dm}^{-3} = 0,00131 \text{ mol dm}^{-3}$ te je $\text{pH} = -\log([\text{H}^+]/(\text{mol dm}^{-3})) = -\log 0,00131 = 2,88$ (pH jake kiseline iste koncentracije bio bi $-\log 0,1 = 1$, iz čega opet vidimo da je jaka kiselina znatno kiselija – sadrži znatno više H^+ – nego slaba kiselina iste koncentracije). Za vježbu probajte iz pH i početne koncentracije c_0 doći do konstante disocijacije K_c .

☑ 1. zadatak: Treba izračunati stupanj disocijacije magnezijevog sulfata u otopini koncentracije $0,01 \text{ mol dm}^{-3}$ pri temperaturi pri kojoj je konstanta ravnoteže te disocijacije $6,3 \cdot 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$.

Rješenje 1. zadatka: $\alpha = 0,54$

☑ 2. zadatak: Stupanj disocijacije za reakciju $\text{LaSO}_4^+ \rightleftharpoons \text{La}^{3+} + \text{SO}_4^{2-}$ pri 25°C u otopini s ukupnom koncentracijom $c_0(\text{LaSO}_4^+) = 0,01 \text{ mol dm}^{-3}$ iznosi 27 %. Treba izračunati konstantu ravnoteže za tu reakciju disocijacije u toj otopini pri toj temperaturi.

Rješenje 2. zadatka: $K_c = 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$

*Napomena (krajnje je malo vjerojatno da će se tražiti na maturi, ali pojavljuje se na fakultetima, a u srednjoškolskoj nastavi kemije ponekad se miješaju stupanj i faktor disocijacije): Veza između stupnja disocijacije (α) i faktora disocijacije (i) pri računanju koligativnih svojstava: $i = 1 + (v - 1)\alpha$, pri čemu je v broj iona koji nastaju potpunom disocijacijom jedne čestice, npr. za Na_2SO_4 $v = 3$ (nastaju 2 Na^+ i 1 SO_4^{2-}), gotovo uvijek se računa za tvari za koje je $v = 2$ pa se formula može pojednostaviti u $i = 1 + \alpha$.

Stupanj disocijacije poseban je slučaj pojma stupanj reakcije, koji se definira kao broj (odnosno množina, koncentracija, parcijalni tlak... jer je sve to proporcionalno) čestica koje su reagirale podijeljen s početnim brojem (ili sl.) odgovarajućih čestica, ☞ npr. za reakciju $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{g})$ stupanj reakcije je $N(\text{raspadnuti } \text{N}_2\text{O}_4) / N(\text{početni } \text{N}_2\text{O}_4) = 1/2N(\text{NO}_2) / [N(\text{N}_2\text{O}_4) + 1/2N(\text{NO}_2)]$ (umjesto N može i $n, c, p, V...$ samo bitno da je ista veličina za sve članove izraza) jer raspadom svake čestice N_2O_4 nastaju dvije čestice NO_2 pa je broj raspadnutih N_2O_4 jednak polovici nastalih NO_2 .

Red reakcije

(također je riječ o izrazito naprednijem gradivu koje se ne nalazi često u srednjoškolskim udžbenicima i strogo uzevši red reakcije nije u ispitnom katalogu, ali ambicioznijima bi moglo biti lakše riješiti neke zadatke ako razumiju što je red reakcije)

Brzina reakcije za većinu kemijskih reakcija u početnom trenutku reakcije proporcionalna je početnim koncentracijama nekih sudionika reakcije potenciranim na neke potencije, tj.:

$$v = \frac{1}{\nu(A)} \frac{\Delta c(A)}{\Delta t} = k c_0^m(A) c_0^n(B) \dots$$

v = brzina reakcije

$\nu(A)$ = stehiometrijski koeficijent nekog reaktanta (ili produkta) A

$\Delta c(A)$ = promjena koncentracije tog istog reaktanta (ili produkta) u vremenu Δt

k = konstanta ("koeficijent brzine reakcije", različita za svaku reakciju)

$c_0(A), c_0(B)...$ = početne koncentracije reaktanata (ili čak nekih drugih tvari, kao što su katalizatori, ali u pravilu ne produkata), često će se u izrazu umjesto toga vidjeti $[A]$ itd. što inače označava ravnotežne koncentracije, tako se piše radi kratkoće, ali ovaj izraz vrijedi za koncentracije u bilo kojem trenutku reakcije, dakle i početne i ravnotežne i sve između $m, n...$ NISU nužno jednaki stehiometrijskim koeficijentima $a, b...$ osim ako je riječ o tzv. elementarnim reakcijama koje se doista odvijaju samo tako da se te čestice sudare ili jedna čestica bez sudara s drugim česticama raspadne na više njih – većina kemijskih reakcija odvija se po složenijim mehanizmima

Red reakcije po nekoj tvari A (u odnosu na tvar A , s obzirom na tvar A) je potencija m na koju je $c_0(A)$ u tom izrazu potencirano. Ukupni red reakcije je zbroj svih takvih potencija $m + n + ...$ Brzina reakcije nultog reda ne ovisi o koncentraciji nijedne od tvari koje sudjeluju u reakciji, nego je konstantna (uvijek ista): $v = k$ (tj. $v = k c_0^0(A)$, a bilo koji broj potenciran na nultu potenciju je 1). Takve kemijske reakcije su rijetke, no radioaktivni raspad je uvijek

nultog reda (zato je i "vrijeme poluraspada" tj. vrijeme polureakcije ili poluvrijeme reakcije = vrijeme potrebno da se količina radioaktivnog elementa smanji na polovicu, isto bez obzira na veličinu početnog uzorka radioaktivne tvari). Brzina reakcije prvog reda proporcionalna je koncentraciji: $v = kc_0(A)$. Brzina reakcije ukupno drugog reda proporcionalna je kvadratu koncentracije jedne tvari $v = kc_0^2(A)$ (tada je drugog reda i po toj tvari) ili umnošku početnih koncentracija dviju tvari $v = kc_0(A)c_0(B)$ (tada je prvog reda po svakoj od tih tvari) itd. U nekim složenijim slučajevima red reakcije ne mora biti cijeli broj. Svaki trenutak reakcije može se proglasiti "početnim" pa je brzina reakcije na isti način proporcionalna koncentracijama tih tvari u bilo kojem trenutku.

☑ Zadaci:

1. Reakcija je drugog reda u odnosu na reaktant A. Kako će se promijeniti početna brzina reakcije ako se uzme dvostruko veća početna koncentracija reaktanta A i dvostruko manja početna koncentracija reaktanta B?
 - A. povećat će se 2 puta
 - B. povećat će se 4 puta
 - C. ostat će ista
 - D. smanjit će se 4 puta
2. Brzina reakcije za neku reakciju ovisi o koncentracijama tvari C i D prema formuli: $v = kc_0(C)c_0(D)$. Kako će se promijeniti početna brzina reakcije ako se uzme dvostruko veća početna koncentracija tvari C i trostruko veća početna koncentracija tvari D?
 - A. povećat će se 2 puta
 - B. povećat će se 3 puta
 - C. povećat će se 5 puta
 - D. povećat će se 6 puta

Rješenja:

1. B
2. D

Red reakcije (i koeficijent brzine reakcije) često se eksperimentalno određuje tako da se mjeri početna brzina reakcije pri različitim početnim koncentracijama reaktanata.

☞ Primjer: Eksperimentalno je ustanovljeno da brzina neke reakcije ovisi samo o koncentracijama reaktanata E i F te da su brzine reakcija u eksperimentima 1, 2 i 3 (koji su se odvijali na istoj temperaturi i ostalim uvjetima) s danim početnim koncentracijama E i F:

	$c_0(E) / (\text{mol dm}^{-3})$	$c_0(F) / (\text{mol dm}^{-3})$	$v / (\text{mol dm}^{-3} \text{ s}^{-1})$
1	$2,7 \cdot 10^{-2}$	$2,7 \cdot 10^{-2}$	$4,8 \cdot 10^6$
2	$2,7 \cdot 10^{-2}$	$5,4 \cdot 10^{-2}$	$9,6 \cdot 10^6$
3	$5,4 \cdot 10^{-2}$	$2,7 \cdot 10^{-2}$	$9,6 \cdot 10^6$

Treba odrediti "zakon brzine reakcije" tj. izraz za ovisnost v o $c_0(\text{E})$ i $c_0(\text{F})$, dakle redove reakcije u odnosu na E i F i koeficijent brzine reakcije.

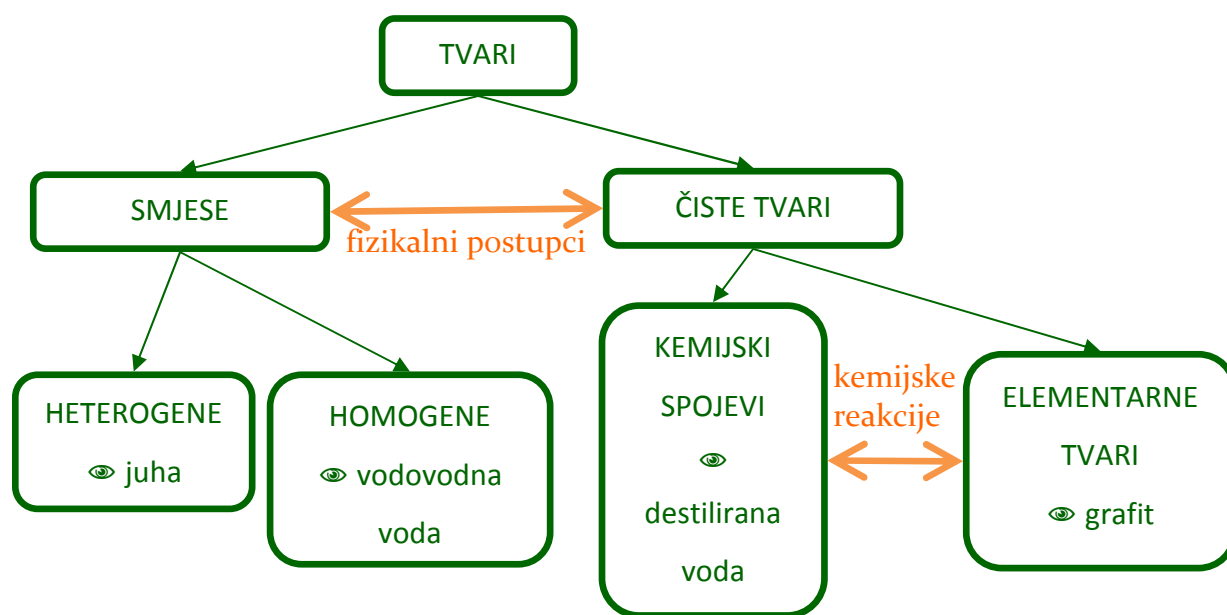
Ako brzina reakcije ovisi samo o koncentracijama E i F, možemo pisati $v = kc_0^m(\text{E})c_0^n(\text{F})$.

Gledamo po čemu se pojedini eksperimenti razlikuju. U eksperimentu 2 u odnosu na eksperiment 1 udvostručena je $c_0(\text{F})$ (a $c_0(\text{E})$ je ista) te se i brzina reakcije udvostručila, stoga možemo zaključiti da je brzina reakcije izravno proporcionalna $c_0(\text{F})$, tj. $n = 1$, dakle $v = kc_0^m(\text{E})c_0(\text{F})$. Isto tako, u eksperimentu 3 u odnosu na eksperiment 1 udvostručena je $c_0(\text{E})$ i brzina reakcije se također udvostručila, dakle i $m = 1$ pa je $v = kc_0(\text{E})c_0(\text{F})$, reakcija je 1. reda u odnosu na E i u odnosu na F, a ukupno 2. reda. Preostaje samo odrediti konstantu (koeficijent brzine) k , što možemo iz podataka iz bilo kojeg od ova tri eksperimenta (mora se iz svakog dobiti jednako), $k = v / (c_0(\text{E})c_0(\text{F}))$, npr. iz eksperimenta 1, $k = 4,8 \cdot 10^6 \text{ mol dm}^{-3} \text{ s}^{-1} / (2,7 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3} \cdot 2,7 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}) = 6,6 \cdot 10^9 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ s}^{-1}$, dakle $v = 6,6 \cdot 10^9 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ s}^{-1} c_0(\text{E})c_0(\text{F})$. Iz toga, naravno, možemo izračunati početnu brzinu reakcije pri bilo kojim početnim koncentracijama E i F, npr. za $c_0(\text{E}) = 1,3 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$ i $c_0(\text{F}) = 9,2 \cdot 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$, brzina reakcije je $v = 6,6 \cdot 10^9 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ s}^{-1} \cdot 1,3 \cdot 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3} \cdot 9,2 \cdot 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3} = 7,9 \cdot 10^5 \text{ mol dm}^{-3} \text{ s}^{-1}$.

Treba još jednom napomenuti da se red reakcije općenito izravno tiče samo brzine reakcije, NE i ravnoteže. Jedino, za spomenute elementarne reakcije vrijedi: ako je v_1 brzina napredne (reaktanti \rightarrow produkti) a v_{-1} brzina povratne (produkti \rightarrow reaktanti) reakcije odnosno k_1 koeficijent brzine napredne a k_{-1} koeficijent brzine povratne reakcije, ako je jednačba reakcije $a\text{A} + b\text{B} + \dots \rightleftharpoons x\text{X} + y\text{Y} + \dots$, brzine su $v_1 = k_1[\text{A}]^a[\text{B}]^b\dots$, $v_{-1} = k_{-1}[\text{X}]^x[\text{Y}]^y\dots$, a u ravnotežnom stanju je uvijek $v_1 = v_{-1}$ (definicija ravnoteže je da se povratna i napredna reakcija odvijaju istom brzinom!) dakle za elementarne reakcije u ravnoteži $k_1[\text{A}]^a[\text{B}]^b\dots = k_{-1}[\text{X}]^x[\text{Y}]^y\dots$, iz čega slijedi da je za takve reakcije (tj. one u kojima se sve potencije u izrazima za brzine napredne i povratne reakcije podudaraju sa stehiometrijskim koeficijentima pripadajućih reaktanata u jednačbi) konstanta ravnoteže $K_c = [\text{X}]^x[\text{Y}]^y\dots/([\text{A}]^a[\text{B}]^b\dots) = k_1 / k_{-1}$.

4. Kemijski sustavi (tvari)

4.1. Podjela tvari po složenosti



Sastojci u smjesi zadržavaju većinu svojih svojstava, a elementi u spoju ne zadržavaju svojstva elementarnih tvari.

Isti spoj sadrži uvijek iste udjele elemenata, a udjeli sastojaka u smjesi mogu varirati. Za kemijski spoj može se napisati kemijska formula, a za smjesu ne.

Heterogene smjese imaju pomalo različit sastav i svojstva u svojim različitim dijelovima, njihovi se sastojci mogu razlikovati golim okom, povećalom ili (svjetlosnim) mikroskopom. Homogene smjese imaju u svojim različitim dijelovima jednoličan sastav i svojstva, sastojci im se ne mogu vizualno razlikovati.

Elementarna tvar sastoji se od atoma samo jednog elementa.

4.2. Temeljni fizikalni postupci odvajanja tvari iz smjesa

Iz heterogene smjese:

Taloženje

pričeka se da se čvrste čestice slegnu na dno tekućine (uvjet: da imaju znatno veću gustoću od tekućine i da su dovoljno velike) dakle čine talog, i zatim **dekantacija** (odlijevanje tekućine iznad taloga) i/ili **filtracija** (propuštanje kroz filtar – papir, gazu... – kroz čije pore tekućina prolazi, a talog ne može proći) – 👁️ npr. smjesa pijeska i vode

Iz homogene smjese:

Prekristalizacija – smjesa se otopi u otapalu u kojem se topljivost tvari koju želimo izdvojiti znatno mijenja promjenom temperature (najčešće raste porastom temperature), zatim se otopina dovede na temperaturu na kojoj je topljivost što manja, pri tome se izlučuju kristali otopljene tvari, **koji se onda odvajaju filtracijom** – 👁 npr. prekristalizacijom se može dobiti KNO_3 iz vodene otopine koja sadrži K^+ , Na^+ , Cl^- i NO_3^- ione jer je pri niskoj temperaturi topljivost KNO_3 puno manja od topljivosti bilo koje druge soli koja može nastati kombinacijom tih iona

Destilacija – ako se vrelišta sastojaka smjese dovoljno razlikuju, zagrijavanjem se ispari tvar koja ima najniže vrelište (odnosno više tvari redom po vrelištu – frakcijska destilacija) te se kondenzira u hladnijem dijelu aparature (jer se ne želi izgubiti ni tu tvar), a ostale preostaju u početnoj smjesi – 👁 npr. iz morske vode ili vodene otopine modre galice tj. vodene otopine gotovo bilo kakvih soli može se izdvojiti destilirana voda, a otopljene soli preostaju u čvrstom stanju

Sublimacija – ako zagrijavanjem neki sastojak sublimira (👁 npr. jod, naftalen, sumpor... **u pravilu molekularni kristali jer su među česticama u njima najslabije privlačne sile**), u plinovitom stanju izlazi iz smjese (te se hlađenjem može resublimirati, kondenzirati u drugom dijelu aparature) (*na isti način mogu se odvojiti i tvari koje se zagrijavanjem reverzibilno raspadaju na plinove, 👁 npr. amonijev klorid, no to dakako nije sublimacija)

Ekstrakcija (izmućkivanje) – ako je otopljena tvar znatno topljivija u nekom drugom otapalu (👁 npr. jod u nepolaranom organskom otapalu kao što je heksan ili eter nego u vodi) koje se s prvotnim otapalom ne miješa, dodatkom tog drugog otapala otopini te mućkanjem (**u lijevku za odjeljivanje**) veći dio te tvari prelazi u to drugo otapalo

Kromatografija – na temelju različite brzine kretanja različitih čestica nošenih otapalom po nekoj čvrstoj fazi (**ovisi o razlici u jakosti vezanja čestica na otapalo i na čvrstu fazu**) – npr. kromatografija na papiru, na kredi, **na tankom sloju silikagela, u stupcu silikagela, plinska** (inertni plin je „otapalo“ za druge plinove) (kromatografija je češće analitička tehnika tj. razdvajaju se vrlo male količine tvari kako bi im se mogao ustanoviti identitet, no može se provoditi i „na veliko“) – dobila je ime jer su tako prvo razdvajane obojene tvari (biljni pigmenti), no mogu se razdvajati i neobojene tvari koje se onda učine vidljivima kemijskom reakcijom (npr. s I_2 ili H_2SO_4), zagrijavanjem, pod UV svjetlom i sl. – 👁 npr. napravite točku nevodootpornim flomasterom, najbolje neke od neosnovnih boja na papirnatu maramicu

oko 1 cm od ruba i uronite taj rub u vodu (bez da točka bude uronjena) te ostavite nekoliko minuta

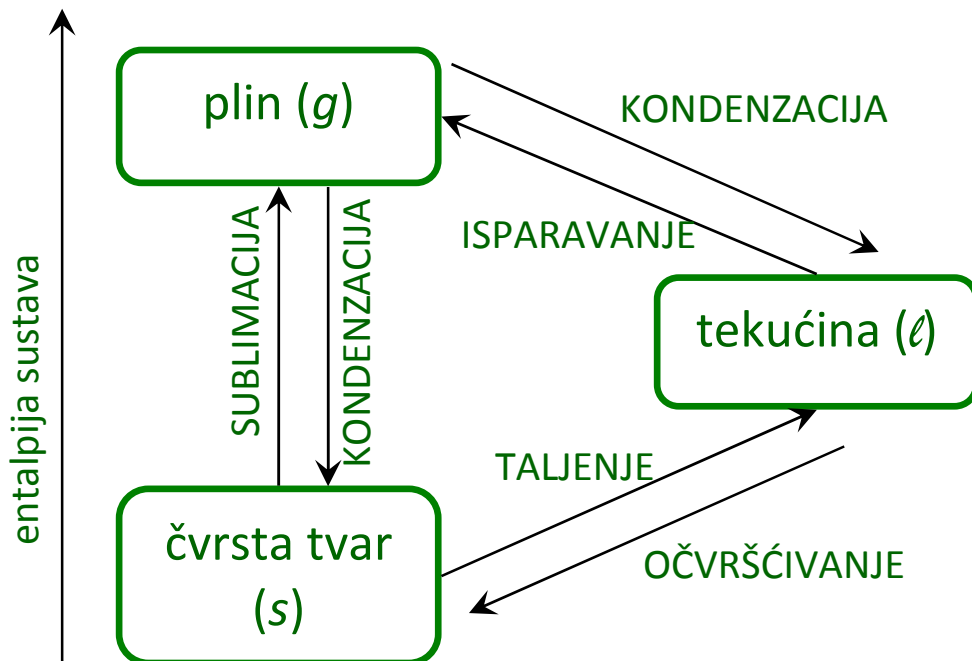
4.3. Temeljna fizikalna svojstva

Agregacijsko (agregatno) stanje

stanje	čvrsto (<i>s</i>) ¹⁷	tekuće (<i>l</i>)	plinovito (<i>g</i>)
čestični opis	čestice su si međusobno vrlo blizu (malo je praznog prostora među njima), uglavnom pravilno poredane (kaže se da je struktura uređena), ne gibaju se slobodno (samo malo titraju oko ravnotežnih položaja), privlačne sile među njima su jake	čestice su si međusobno udaljenije, nepravilnije raspoređene (manje uređena struktura), gibaju se slobodnije, privlačne sile su slabije	čestice su si međusobno vrlo udaljene, posve nepravilno raspoređene, slobodno se gibaju, privlačne sile su vrlo slabe
opaziva svojstva	stalan oblik i volumen	stalan volumen, ali ne i oblik (poprima oblik posude)	nestalan oblik i volumen (ispunjava sav raspoloživi prostor)

¹⁷ engl. *s* = solid, *l* = liquid, *g* = gas

Promjene agregacijskih stanja



Četvrtim agregatnim stanjem, plazmom tj. ioniziranim plinom (smjesa kationa i elektrona u plinovitom stanju) za čiji je nastanak potrebna još puno veća energija (postoji samo na vrlo visokim temperaturama), kemija se rijetko bavi.

Čvrsto stanje često se naziva kruto, ali kemičari i fizičari dogovorili su se da je to pogrešno jer se naziv kruto u fizici koristi za čvrsto tijelo koje nije elastično.

Plinovi i tekućine zajednički se nazivaju fluidi, a tekućine i čvrste tvari zajednički se nazivaju kondenzirane faze (zato je kondenzacija promjena plina bilo u tekuće bilo u čvrsto).

"Faza" je pojam koji je sličan agregatnom stanju, ali razlikuje i još neka stanja, od kojih je najvažnije "otopina" tj. "otopljena tvar u otopini" ((aq) ako je otapalo voda, (s/n) inače). Faza je dio tvari ili smjese jednoličan po kemijskom sastavu i fizikalnim svojstvima.

Kristalizacija je naziv za promjenu u čvrsto stanje koji se napušta jer nemaju sve čvrste tvari jasnu kristalnu strukturu te se češće koristi kao naziv za oslobađanje kristalnih čvrstih tvari iz otopine (obrnuti proces od otapanja).

Promjena iz plinovitog u čvrsto (obrnuto od sublimacije) naziva se i resublimacija, ali to nije točno jer resublimacija znači „ponovna sublimacija“ te se taj naziv koristi i za pročišćavanje tvari (razdvajanje smjesa) uzastopnim sublimacijama. Bolje je promjenu iz plinovitog u čvrsto nazvati desublimacija.

Vrelište je temperatura na kojoj tvar prelazi iz tekućeg u plinovito stanje (ili obrnuto), **pri** kojoj je tlak para tekućine jednak vanjskom (atmosferskom) tlaku.

Talište je temperatura na kojoj tvar prelazi iz čvrstog u tekuće stanje (ili obrnuto).

Tvrdoća

Kovalentni kristali su najtvrdi (dijamant; SiO_2 = kvarc), zatim ionski, molekulski kristali su najmanje tvrdoće; tvrdoća metala može biti vrlo raznolika.

Magnetičnost

Prirodno su magnetični (feromagnetični) neki metali, od kojih su česti Fe, Co, Ni, **te neki** njihovi spojevi (👁 npr. Fe_2O_3).

Gustoća

gustoća = masa/volumen

Optička aktivnost

je zakretanje ravnine polarizirane svjetlosti, svojstvo samo svih kiralnih tvari (molekula) – 🏠 vidi enantiomeri pod Vrste kemijskih formula i izomeri, to je jedino fizikalno svojstvo po kojem se enantiomeri razlikuju.

Električna vodljivost

Električnu struju dobro vode **sve tvari u kojima se nabijene čestice mogu slobodno gibati**: metali i grafit (**gibaju se elektroni**), vodene otopine i taline svih ionskih tvari (soli) (**gibaju se anioni i kationi**); poluvodiči (npr. polumetali) bolje vode električnu struju pri višoj temperaturi.

Toplinska vodljivost

4.4. Fizikalna svojstva ionskih tvari i električna svojstva njihovih taljevina ili otopina

Većina ionskih tvari imaju visoko talište (ili temperaturu sublimacije ili raspada), više nego većina molekulskih tvari, jer među ionima djeluju jake elektrostatske privlačne sile, a isto tako i visoko vrelište. Ionski kristali imaju veliku tvrdoću i dobru kalavost (**pravilno lomljenje po kristalnim plohama pri udarcu**). Većina ionskih tvari dobro je topiva u vodi (jer je pogodno da polarne molekule vode okružuju – hidratiziraju – ione, koji su nabijene čestice). U čvrstom stanju ne provode električnu struju, ali vodene otopine i taline ionskih tvari dobro provode električnu struju gibanjem iona, zato se takve vodene otopine i taline nazivaju elektroliti.

4.5. Kristalne strukture

Kristali su čvrste tvari koje imaju pravilnu unutrašnju građu – određivi raspored atoma koji se beskonačno¹⁸ periodično ponavlja u tri dimenzije. Taj raspored zove se kristalna rešetka.

Posljedica takve strukture najčešće je vanjski oblik geometrijskog tijela omeđenog ravnim plohami. Čvrste tvari koje nemaju takvu pravilnu unutrašnju građu zovu se amorfne tvari (npr. staklo, guma).

Jedinična (elementarna) ćelija je najmanji¹⁹ djelić kristala čijim se ponavljanjem (slaganjem puno jediničnih ćelija jednu uz drugu) u tri dimenzije može složiti cijeli kristal (kristalna rešetka).

Općenite oznake i formule za računanje s (kubičnim) jediničnim ćelijama (prvenstveno se traži povezivanje gustoće s osobinama jedinične ćelije; preporučam ne učiti napamet formule i brojke, nego s razumijevanjem naučiti kako ih izvesti iz izgleda jediničnih ćelija, koje ionako treba i znati nacrtati – preporučam i da ih dok učite probate napraviti od plastelina):

r = polumjer atoma

a = duljina brida jedinične ćelije

$d = a\sqrt{2}$ = plošna dijagonala kocke (formula se može izvesti pomoću Pitagorinog poučka za pravokutni trokut koji d čini s bridovima a)

$D = a\sqrt{3}$ = prostorna dijagonala kocke (formula se može izvesti pomoću Pitagorinog poučka za pravokutni trokut koji D čini s plošnom dijagonalom d i bridom a)

V = volumen jedinične ćelije

V_a = volumen jednog atoma

volumen kocke (kubične jedinične ćelije): $V = a^3$

volumen kugle: $V_a = (4/3) r^3 \pi$ (volumen atoma računa se prema volumenu kugle)

Z = broj atoma u jednoj ćeliji

gustoća:

¹⁸ Kristali, naravno, nisu beskonačni, ali budući da su atomi jako mali i kristali se sastoje od jako puno atoma, iz perspektive jednog atoma kristal se čini praktički beskonačan.

¹⁹ Često se radi praktičnosti za promatranje i računanje ne bira baš najmanja moguća jedinična ćelija, nego najmanja koju je zgodno vizualizirati. Mogućih odabira jedinične ćelije ima beskonačno, bira se najpraktičniji, obično s jezgrama atoma u vrhovima.

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{\text{masa svih atoma u jediničnoj ćeliji}}{\text{volumen jedinične ćelije}} = \frac{Z \cdot A_r \cdot u}{V} \text{ ili } \frac{Z \cdot M}{N_A \cdot V}$$

(A_r = relativna atomska masa, u = unificirana atomska jedinica mase, N_A = Avogadrova konstanta, M = molarna masa)

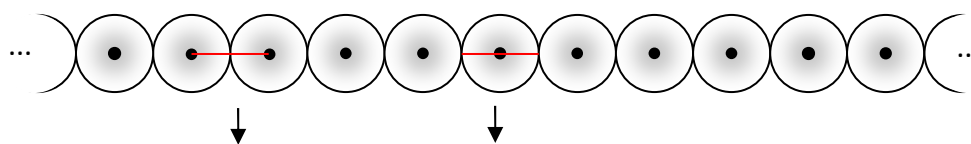
udio prostora koji zauzimaju atomi (K_s = koeficijent slaganja):

$$K_s = \frac{\text{volumen svih atoma u jediničnoj ćeliji}}{\text{volumen jedinične ćelije}} = \frac{Z \cdot V_a}{V}$$

udio prazinina = 1 – udio prostora koji zauzimaju atomi

KB = koordinacijski broj (broj atoma kojima je atom okružen)

Beskonačno periodično ponavljanje atoma u jednoj dimenziji:

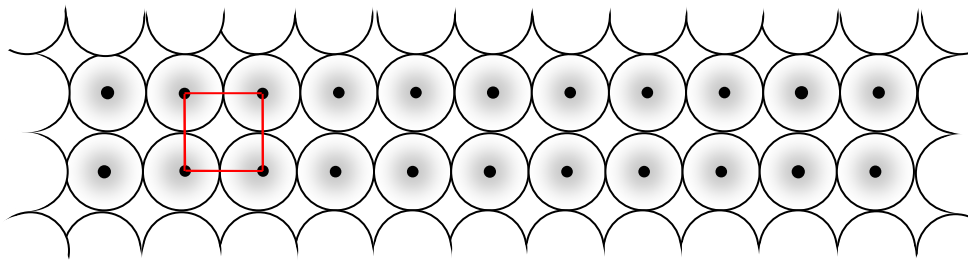


jedna od mogućih
jedinčnih ćelija (u
1D dužina duljine
 $2r$, pripada joj $2 \cdot$
 $\frac{1}{2} = 1$ atom)

jedinčna ćelija može se uzeti i ovako, itd.,
naravno kako god ju uzmemo mora joj
pripadati isti broj atoma

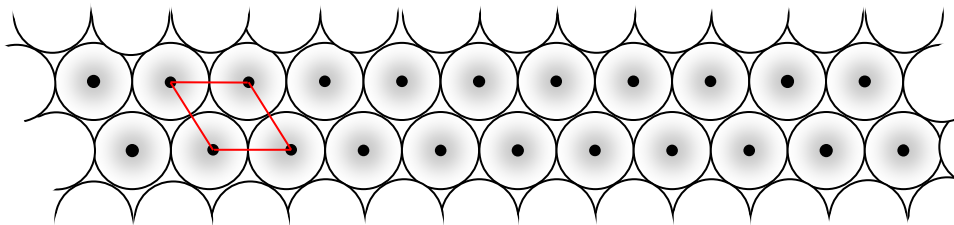
(crne točke su položaji jezgara atoma (naravno neusporedivo veće nego što bi jezgre u ovom mjerilu bile), veći krugovi su „granice“ elektronskog oblaka radijusa (udaljenost između jezgara)/2 radi jasnoće – treba imati na umu da elektronski oblak nije omeđen čvrstim granicama, samo ga tako lakše prikazujemo i radi jednostavnosti baratamo s atomima kao kuglicama)

U dvije dimenzije atomi se mogu složiti ovako:



najzgodnija jedinična ćelija u 2D je površina omeđena prikazanim spojnicama jezgara, pripada joj $4 \cdot \frac{1}{4} = 1$ atom

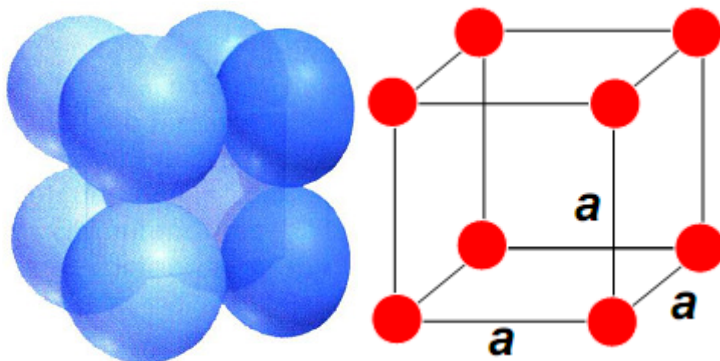
Ili ovako (gušći raspored – ostaje manje praznog prostora, što je najčešće pogodnije):



jediničnoj ćeliji pripada $2 \cdot \frac{1}{3} + 2 \cdot \frac{1}{6} = 1$ atom, kao i u prošlom slučaju, ali zauzima manju površinu (površina kvadrata = a^2 , površina romba = $a^2 \sin \alpha$, $\sin \alpha$ je uvijek < 1 , α je bilo koji od unutrašnjih kuteva romba) pa se u isti prostor može smjestiti više atoma i zato je raspored gušći

U tri dimenzije – temeljni tipovi kristalnih struktura izgrađenih od istovrsnih atoma:

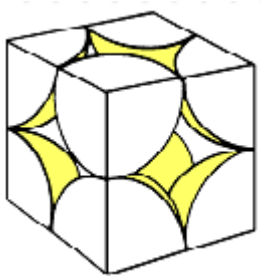
Raspored u kojem se slojevi poput prvog prikazanog 2D rasporeda slažu točno jedan iznad drugoga (jezgra nad jezgrom) je **jednostavna (primitivna) kubična kristalna rešetka**. Jedinična ćelija joj je kocka u čijim su vrhovima jezgre atoma.



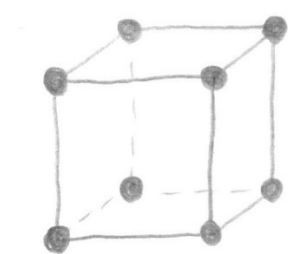
(na prvom prikazu atomi su prikazani sa svojim cijelim atomskim radijusom (koji je jednak polovici udaljenosti između najbližih jezgara), „dodiruju se“ na bridovima kocke, a na drugom

prikazu prikazan je samo mali dio prostora oko jezgara – prikazi su istoznačni, koristi se onaj na kojem je za tu svrhu lakše vidjeti)

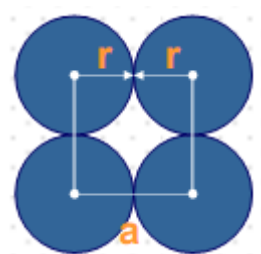
Jediničnoj ćeliji pripada samo ono što se nalazi unutar kocke (atomi su presječeni plohama kocke kao što su u 2D presječeni dužinama):



Ručno se jedinična ćelija crta ovako:

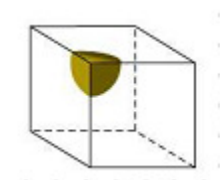


Tlocrt baze jedinične ćelije:

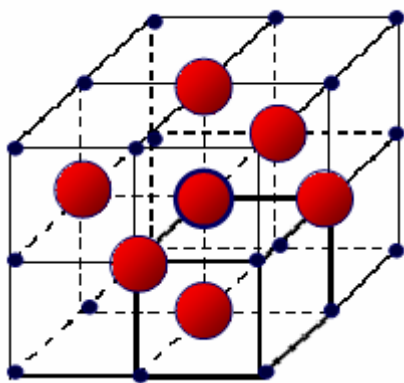


iz čega se vidi da je $a = 2r$ (atomi se „dotiču“ na bridovima kocke)

Svaki atom je podijeljen između 8 susjednih jediničnih ćelija odnosno jednoj jediničnoj ćeliji pripada $1/8$ svakog atoma:

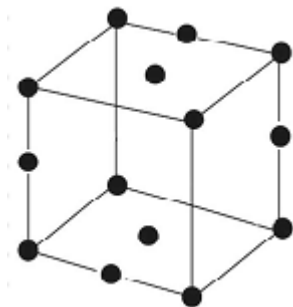


pa je $Z = 1/8 \cdot 8 = 1 \rightarrow$ jediničnoj ćeliji pripada 1 cijeli atom



Svaki atom „dotiče“ 6 drugih atoma pa je $KB = 6$

☒ Koliko atoma sadrži jedinična ćelija na slici? (atomi su na svim uglovima, dva atoma na nasuprotnim plohama i četiri atoma na bridovima jedinične ćelije)



A. 2; B. 3; C. 4; D. 7

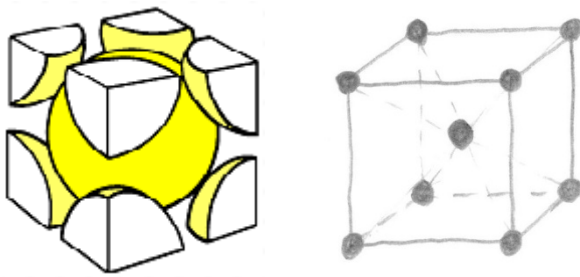
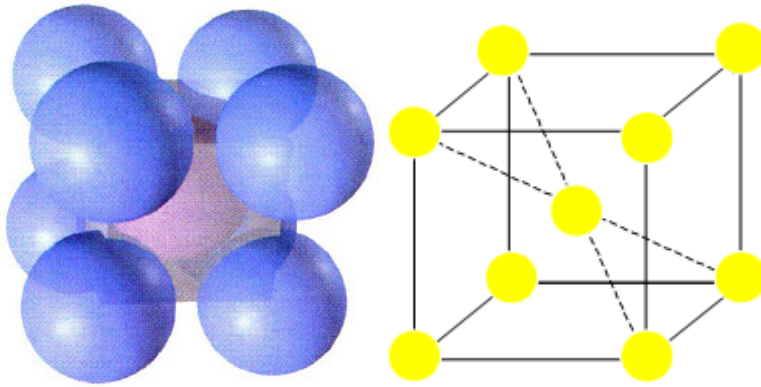
Rješenje: B

☒ Radioaktivni metal polonij kristalizira po tipu primitivne kubične strukture. Polumjer atoma Po je 190 pm. Izračunaj:

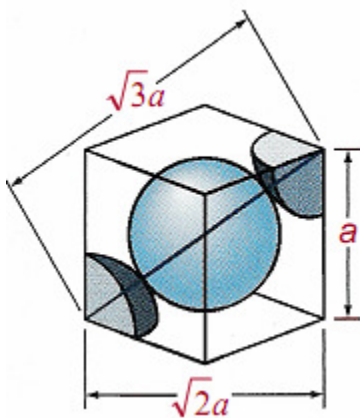
- duljinu brida elementarne ćelije;
- gustoću polonija.

Rješenje: a. 380 pm, b. 6,32 g/cm³

Raspored u kojem se slojevi poput prvog prikazanog 2D rasporeda slažu jezgra nad prazninu pa jezgre trećeg sloja nad jezgre prvog sloja je **prostorno (volumno) centrirana kubična kristalna rešetka**. Jedinična ćelija joj je kocka kojoj se jezgre atoma nalaze u svim vrhovima i u sredini.



Atomi se „dotiču“ na prostornoj dijagonali



pa je $4r = D = a\sqrt{3}$

Svaki atom na vrhovima podijeljen je između 8 susjednih ćelija (svakoj pripada 1/8 tog atoma), a atom u sredini cijeli pripada jednoj ćeliji pa je

$$Z = \frac{1}{8} \times 8 + 1 = 2$$

Svaki atom "dotiče" 8 atoma (promotri atom na sredini jedinične ćelije – „dotiče“ po prostornim dijagonalama onih preostalih 8 na vrhovima) pa je $KB = 8$

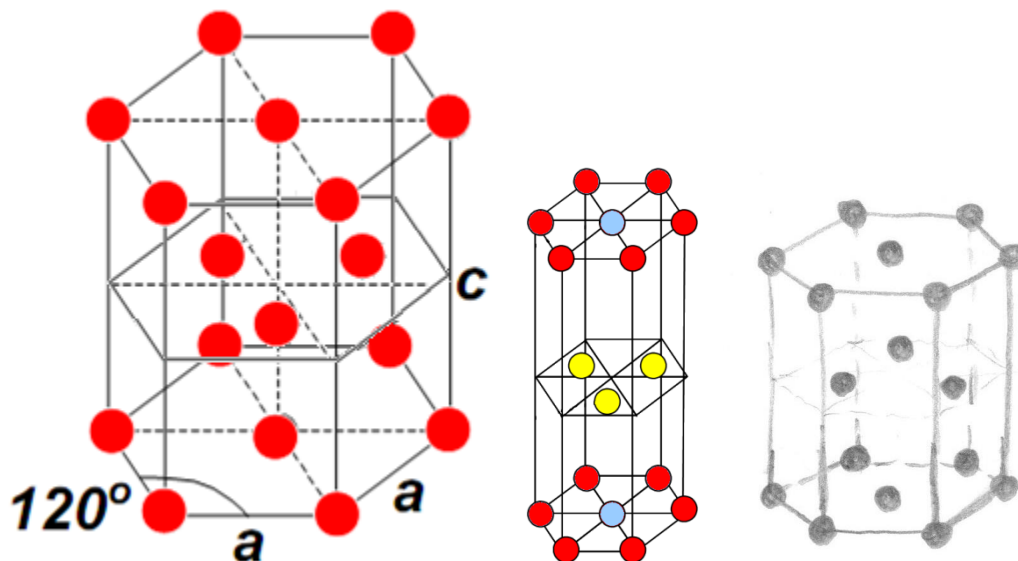
☑ Zadatak: Kristalna struktura molibdena je karakterizirana volumno centriranom kockom.

Polumjer atoma Mo je 136 pm. Izračunaj:

- duljinu brida elementarne ćelije;
- gustoću molibdena;
- udio praznog prostora u kristalu molibdena.

Rješenje: a. 314 pm, b. 10,3 g/cm³, c. 32%

Raspored u kojem se slojevi poput drugog prikazanog 2D rasporeda slažu jezgra nad prazninu pa jezgre trećeg sloja nad jezgre prvog sloja je **heksagonska kristalna rešetka**. Najmanja jedinična ćelija joj je uspravna četverostrana prizma čija je baza romb, ali često se radi jednostavnosti za jediničnu ćeliju uzima uspravna šesterostrana (heksagonska) prizma koja se sastoji od tri susjedne takve četverostrane prizme.

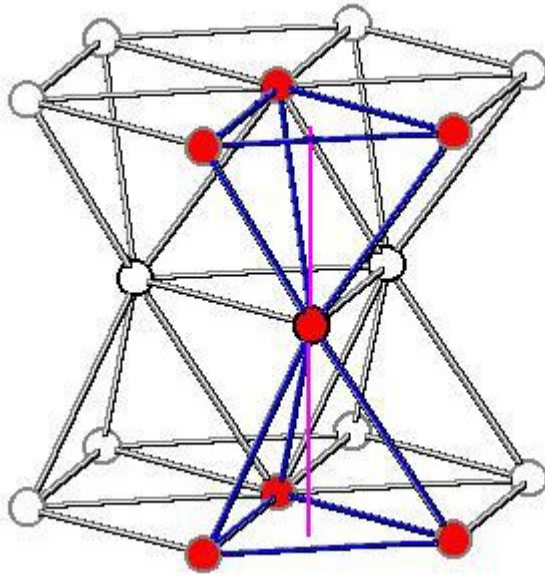


Volumen heksagonske prizme: $V = B \cdot c = 6a^2 \sqrt{3} / 4 \cdot c = a^2 c \sqrt{3} / 2$

Susjedni atomi se "dotiču" na bridu baze prizme pa je $a = 2r$

Duljina brida c može se izračunati: jednaka je dvostrukoj visini tetraedra (vidi sliku) u čijim su vrhovima jezgre tri susjedna atoma na bazi i onog iznad njih, visinu tetraedra može se izračunati Pitagorinim poučkom ako znamo da njen početak dijeli visinu jednakostraničnog

trokuta koji je baza tetraedra 1 (dio kod brida) : 2 (dio kod vrha), ali to nadilazi okvire mature.



Svaki atom "dotiče" 6 atoma u istoj ravnini, 3 iznad i 3 ispod pa je:

$$KB = 12$$

U jediničnoj ćeliji (heksagonskoj prizmi) nalazi se 6 atoma (pola od svakog na sredini baze + šestina od svakog na vrhu + 3 cijela u sredini prizme):

$$Z = 2 \cdot 1/2 + 2 \cdot 6 \cdot 1/6 + 3 = 6$$

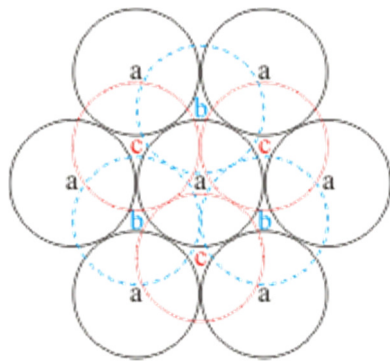
Kao jedinična ćelija heksagonske kristalne rešetke često se uzima i samo trećina heksagonske prizme (četverostrana prizma kojoj je baza romb stranice a i visina c).

Tada se u jediničnoj ćeliji nalazi $6/3 = 2$ atoma.

☑ Zadatak: Kristalna struktura kobalta opisana je gustom heksagonskom slagalinom. Duljina stranice baze elementarne ćelije kobalta iznosi $a = 250,1 \text{ pm}$, a gustoća $8,85 \text{ g/cm}^3$. Koliki je osni omjer c/a ?

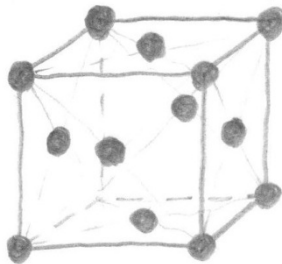
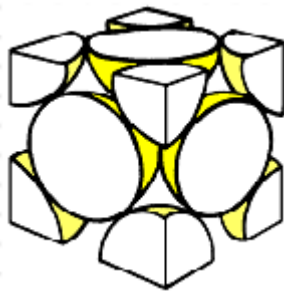
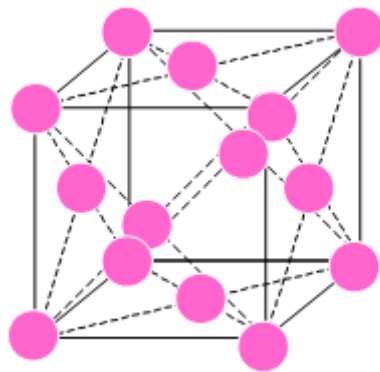
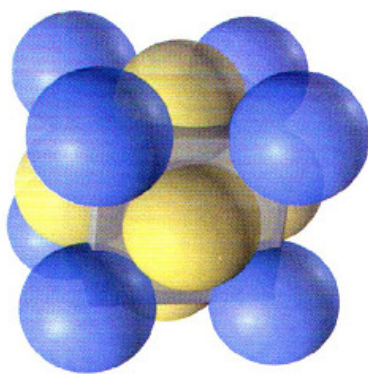
Rješenje: 1,63

Raspored u kojem se slojevi poput drugog prikazanog 2D rasporeda slažu jezgra nad prazninu pa jezgre trećeg sloja nad praznine i prvog i drugog sloja (vidi sliku)

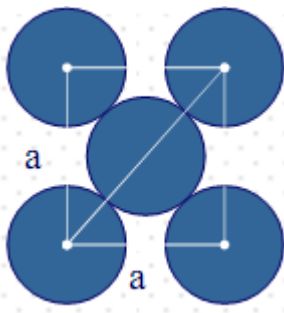


a = prvi sloj atoma
b = drugi sloj atoma
c = treći sloj atoma

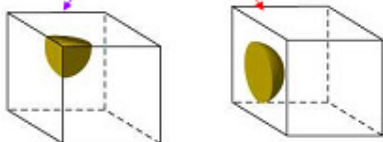
je **plošno centrirana kubična kristalna rešetka**. Jedinična ćelija joj je kocka kojoj se jezgre atoma nalaze na svim vrhovima i na središtima svih ploha (sjecištima plošnih dijagonala) (ako slažete 3D model prema gornjoj slici, da bi se vidjela kubična struktura model treba zarotirati).



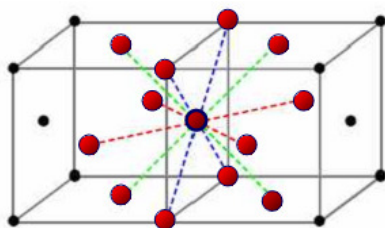
Susjedni atomi se "dotiču" na plošnoj dijagonali pa je: $4r = d = a\sqrt{2}$



Svaki atom na vrhovima podijeljen je između 8 susjednih ćelija, a atom u sredini plohe pripada dvjema ćelijama pa je:

$$Z = \frac{1}{8} \times 8 + \frac{1}{2} \times 6 = 4$$


Svaki atom "dotiče" 12 atoma (4 u istoj ravnini, 4 gore i 4 dolje) pa je $KB = 12$



Plošno centrirana kubična i heksagonska kristalna rešetka nazivaju se "guste" jer imaju najveći (jednaki) koeficijent slaganja (najveći i jednaki koordinacijski broj, također).

☑ Zadatak: Srebro kristalizira u plošno centriranoj kubičnoj rešetki.

- Koliko se atoma nalazi u jediničnoj ćeliji plošno centrirane kubične rešetke?
- Ako je gustoća srebra $10,5 \text{ g/cm}^3$, kolika je duljina stranice jedinične ćelije?
- Koliki je polumjer atoma srebra?

Rješenje: a. 4; b. 409 pm; c. 145 pm

☑ Zadatak: Eksperimentalno je ustanovljeno: gustoća nikla je $8,9 \text{ g/cm}^3$, polumjer atoma nikla 0,125 nm, a duljina brida kubične kristalne rešetke nikla 0,353 nm. Odredi tip kubične kristalne rešetke nikla (jednostavna, plošno centrirana, volumno centrirana).

Rješenje: $Z = 4 \rightarrow$ plošno centrirana

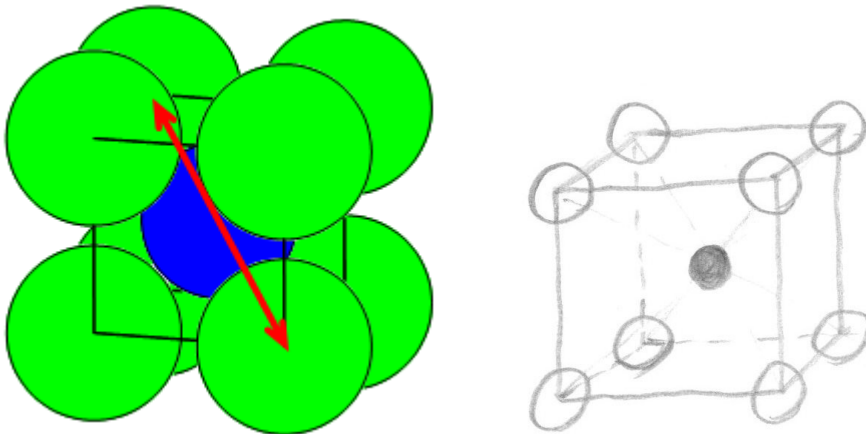
Temeljni tipovi struktura binarnih spojeva – kubična kristalna rešetka ($V = a^3$)

Binarni ionski spojevi su spojevi čije se formulske jedinice sastoje od po jednog kationa i aniona (naboj kationa jednak je naboju aniona).

A = anion, K = kation \rightarrow anion i anion odnosno kation i kation se u kristalnoj rešetki međusobno ne "dotiču" (istovrsni naboji se odbijaju) nego se uvijek "dotiču" anion i kation (naboji različitog predznaka se privlače)

Z = broj formulskih jedinica u jednoj ćeliji

struktura CsCl



Kad su anion i kation približno jednake veličine, rešetka se sastoji od dviju primitivnih rešetaka "uguranih" jednu u drugu tako da su ioni jedne u središtima ćelija druge; anion i kation se "dotiču" na prostornoj dijagonali.

$$D = a\sqrt{3} = 2r(A) + 2r(K)$$

$$Z = 1 = 1A + 1K$$

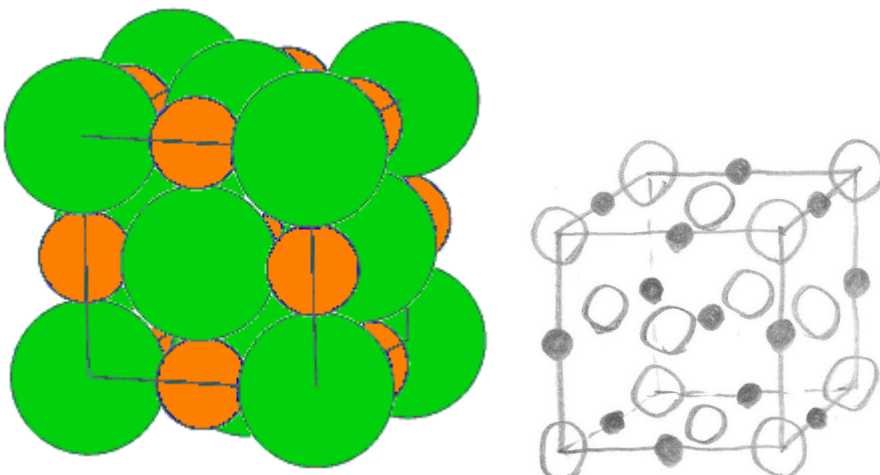
$$KB = 8$$

☑ Zadatak: Talijev(I) klorid, TlCl, kristalizira po tipu rešetke CsCl. Najmanja udaljenost između središta Tl^+ i Cl^- iona je 333 pm. Izračunaj:

- duljinu brida ćelije TlCl;
- gustoću talijevog(I) klorida izraženu u $g\ cm^{-3}$.

Rješenje: a. 384 pm; b. $7,03\ g\ cm^{-3}$

struktura NaCl



Kad je kation znatno manji od aniona, rešetka se sastoji od dviju plošno centriranih rešetaka "uguranih" jednu u drugu tako da su ioni jedne između iona druge; anion i kation "dotiču" se na bridu.

$$a = 2r(A) + 2r(K)$$

$$Z = 4 = 4A + 4K$$

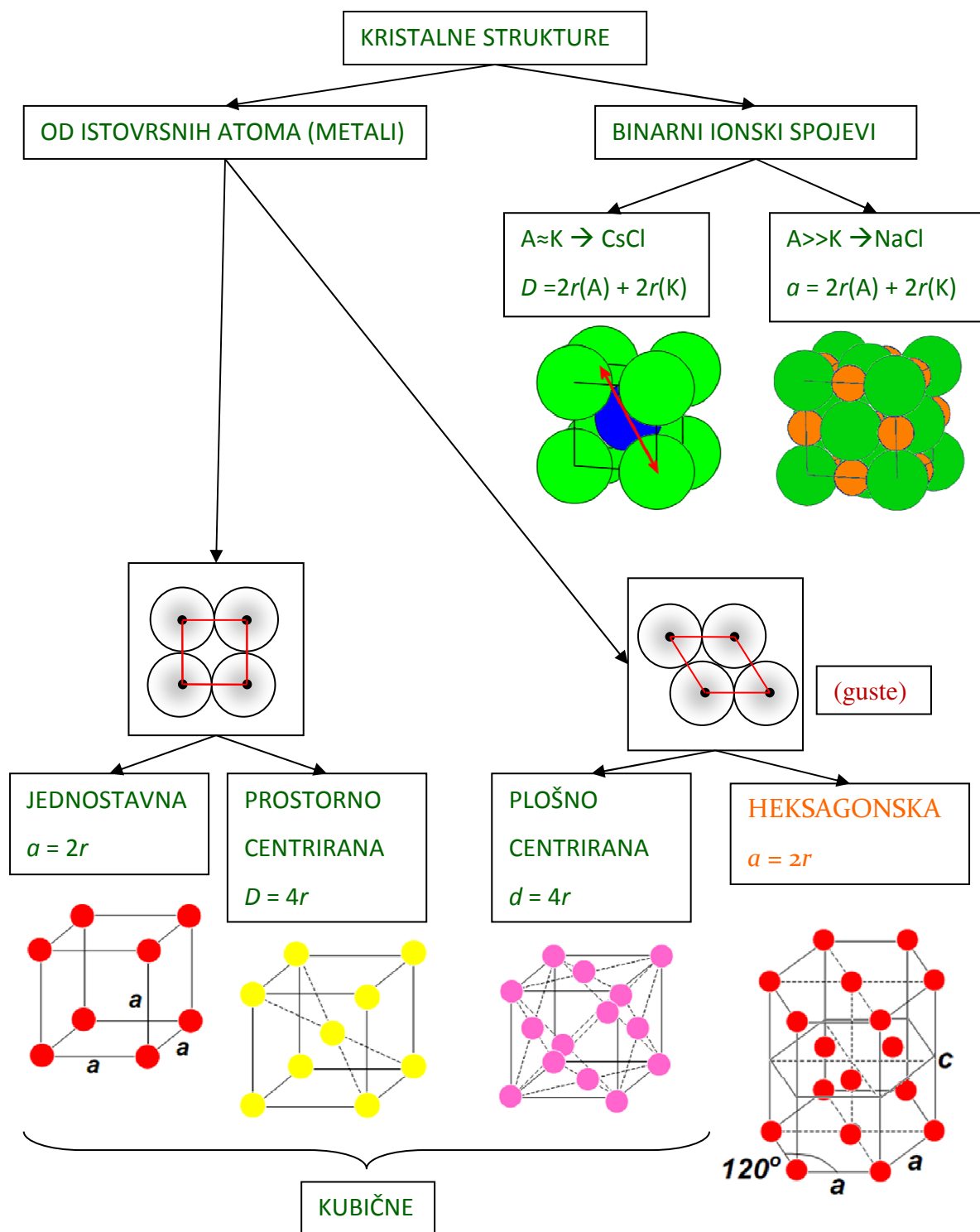
$$KB = 6$$

☑ Zadatak: Srebrov klorid, AgCl, kristalizira po tipu rešetke NaCl. Gustoća AgCl je $5,57 \text{ g cm}^{-3}$.

Izračunaj:

- duljinu brida elementarne ćelije AgCl
- najmanju udaljenost između središta iona Ag^+ i Cl^- .

Rješenje: a. 555 pm, b. 278 pm



2. Cezijev bromid i jodid imaju istu kristalnu strukturu kao cezijev klorid. Duljina stranice jedinične ćelije cezijeva bromida je $a(\text{CsBr}) = 0,42953 \text{ nm}$, a cezijeva jodida $a(\text{CsI}) = 456,67 \text{ pm}$. Izračunaj razliku ionskih polumjera Γ^- i Br^- .

Rješenje: $D = 2r(\text{K}) + 2r(\text{A}) = a \sqrt{3}$; $r(\Gamma^-) - r(\text{Br}^-) = (D(\text{CsI}) - 2r(\text{Cs}^+))/2 - [(D(\text{CsBr}) - 2r(\text{Cs}^+))/2] = (D(\text{CsI}) - D(\text{CsBr}))/2 = (a(\text{CsI}) - a(\text{CsBr})) \sqrt{3}/2 = 23,50 \text{ pm}$

4.6. Disperzni sustavi

= sustavi u kojima je tvar jednakomjerno raspršena u drugoj tvari

– disperzna faza – tvar koje ima manje (u otopinama otopljena tvar), koja je raspršena u drugoj tvari

– disperzno sredstvo – tvar koje ima više (u otopinama otapalo)

(dogovorno možemo reći i drukčije, npr. 96–postotna otopina etanola sadrži 96% etanola i 4% vode tj. uobičajeno je reći da je voda otapalo bez obzira koliko je ima; ako je samo jedna od tvari tekućina, uobičajeno je reći da je ona otapalo bez obzira koliko je ima)

vrsta disperznog sustava	približno promjer čestica disperzne faze	vrsta smjese
otopina	< 1 nm	homogena
koloidni sustav	1 nm – 200 nm (ili 1000 nm)	na granici ("mikroheterogena"), u pravilu se smatraju homogenim
grubo disperzni sustav (suspenzija)	> 200 nm (ili 1000 nm) ²⁰	heterogena

Koloidni sustavi

Posebna svojstva koloidnih sustava uzrokovana su veličinom čestica disperzne faze, po kojoj su oni između heterogenih i homogenih smjesa (imaju svojstva i jednih i drugih, ali češće ih možemo ubrojiti u homogene jer im čestice nisu vidljive svjetlosnim mikroskopom). Jedno od tih svojstava je Tyndallov fenomen – pojava raspršenja svjetlosti na česticama koloidnih dimenzija (npr. sunčeva svjetlost na prašini u zraku; svjetlost laserskog pokazivača kroz čašu vode s nekoliko kapi mlijeka).

²⁰ Definicije su raznolike. 200 nm najmanje je što se može vidjeti običnim svjetlosnim mikroskopom (polo od najmanje valne duljine vidljive svjetlosti), a pri 1000 nm (1 μm) nanometarska veličina prelazi u mikrometarsku.

Tipovi koloidnih sustava:

disperzna faza	u disperznom sredstvu	ime sustava	👁 primjeri
tekućina	u plinu	aerosol	magla (voda u zraku), lak za kosu, dezodoran
čvrsta tvar	u plinu	aerosol	dim (čađa u zraku), prašina u zraku
plin	u tekućini	pjena	sapunica (zrak u vodi u kojoj je otopljen sapun), šlag
tekućina	u tekućini	emulzija	majoneza (ulje u vodi), mlijeko
čvrsta tvar	u tekućini	sol, gel	želatina
plin	u čvrstoj tvari	čvrsta pjena	plovućac, stiropor
tekućina	u čvrstoj tvari	čvrsta emulzija	maslac (ulje u masti)
čvrsta tvar	u čvrstoj tvari	čvrsti sol, gel	obojeno staklo, čelik

4.7. Koligativna svojstva

Koligativna svojstva su svojstva otopina koja ovise samo o broju čestica otopljene tvari (promjena svojstva u odnosu na čisto otapalo proporcionalna je broju čestica otopljene tvari), a ne i o vrsti (kemijskom identitetu) tih čestica (ali ovise o kemijskom identitetu otapala!): promjena tlaka pare*, sniženje ledišta (tališta), povišenje vrelišta, osmotski tlak – za računanje s potonja tri 🎲 vidi poglavlje Računanje u kemiji

*Raoultov zakon: tlak pare otapala iznad otopine jednak je umnošku množinskog udjela otapala i tlaka pare čistog otapala pri istim uvjetima (za „idealne otopine“, tj. prvenstveno u pravilu sve otopine u kojima je samo otapalo tekućina, a otopljene tvari čvrste tvari koje kemijski ne reagiraju s otapalom te je množinski udio otapala velik)

$$p(\text{otopina}) = x(\text{otapalo})p(\text{čisto otapalo})$$

4.8. Topljivost

Topljivost je količina neke tvari (najčešće čvrste, ali može i plina ili druge tekućine) koja se može otopiti u odnosu na količinu otapala (tekućine²¹ u kojoj se otapa), najčešće se iskazuje u gramima tvari koja se može otopiti u 100 g otapala, ili maksimalnim masenim, množinskim ili volumnim udjelom ili omjerom, masenom ili množinskom koncentracijom, ili molalnošću

²¹ Mogu se razmatrati i čvrste (pa i plinovite) otopine (sve se homogene smjese neuređene strukture mogu nazivati otopinama), ali nije potrebno.

(🌟 vidi Računanje u kemiji, dobro je znati uz poznatu gustoću otopine preračunavati između tih veličina).

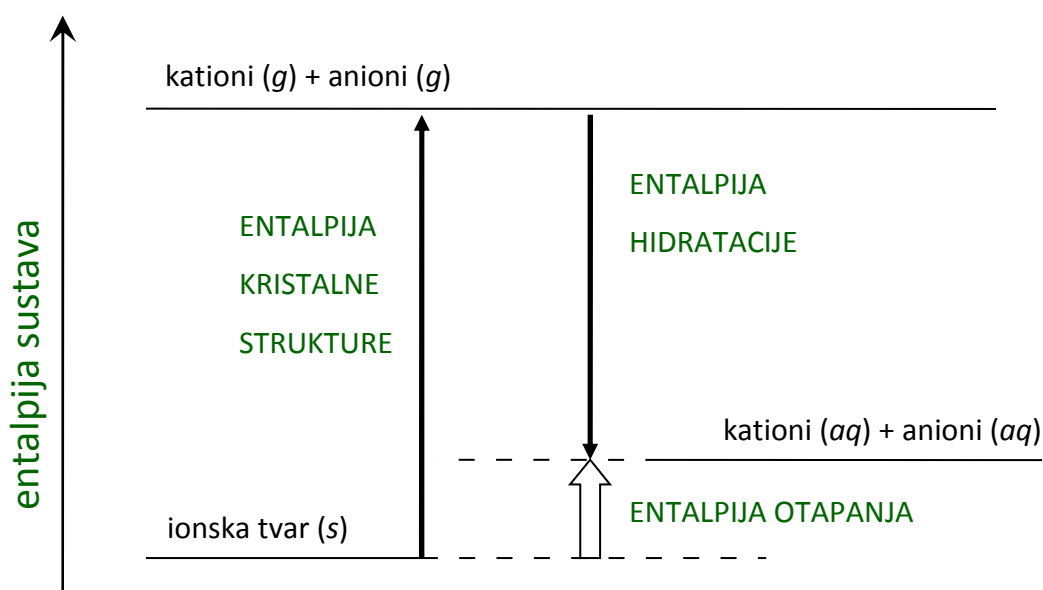
Topljivost se može iskazivati i produktom topljivosti K_{sp} = konstanta ravnoteže za reakciju prelaska čvrste tvari u ione u otopini, 👁 npr. $\text{AgCl}(s) \rightleftharpoons \text{Ag}^+(aq) + \text{Cl}^-(aq)$, $K_{sp} = [\text{Ag}^+][\text{Cl}^-]$

4.9. Procesi tijekom otapanja

1) razaranje kristalne strukture – endotermno – potrebna je energija za razaranje kemijskih veza koje drže kristalnu strukturu na okupu (entalpija kristalne strukture > 0)

2) solvatacija (hidratacija ako je otapalo voda) – egzotermna – molekule otapala okružuju čestice otopljene tvari, uspostavljanjem interakcija između otapala i otopljene tvari oslobađa se energija (entalpija solvatacije (hidratacije) < 0)

Ako je entalpija hidratacije po apsolutnoj vrijednosti veća od entalpije kristalne strukture, otapanje je egzotermno. Ako je obrnuto, endotermno je. Vidi dijagram.



entalpijski dijagram za endotermno otapanje ionske tvari u vodi (za egzotermno je entalpija otapanja negativna, kationi (aq) + anioni (aq) imaju manju entalpiju nego ionska tvar (s) pa su niže na dijagramu, entalpija hidratacije ima dužu strelicu nego entalpija kristalne strukture)

4.10. Utjecaji na topljivost

Topljivost soli povećava se porastom temperature ako je otapanje endotermno (pozitivna entalpija otapanja = entalpija hidratacije brojčano manja od entalpije kristalne strukture), a smanjuje porastom temperature ako je egzotermno (obrnuto: negativna entalpija otapanja = entalpija hidratacije brojčano veća od entalpije kristalne strukture) (☆ vidi Kemijska ravnoteža – za tu svrhu otapanje se može promatrati na isti način kao kemijske reakcije)

Topljivost soli manja je u otopinama u kojima je već prisutan neki ion te soli (također ☆ vidi Kemijska ravnoteža), a i općenito je topljivost manja u otopini u kojoj je već nešto otopljeno. Topljivost plinova smanjuje se porastom temperature, povećava se porastom tlaka.

4.11. Otopine

Prema količini neke otopljene tvari u odnosu na topljivost te tvari otopina može biti:

Nezasićena – u otopini je prisutno manje otopljene tvari nego što joj je maksimalna topljivost pri tim uvjetima (prvenstveno temperaturi), dakle može se još otopiti.

Zasićena – u otopini je prisutno točno onoliko otopljene tvari kolika joj je maksimalna topljivost pri tim uvjetima (prvenstveno temperaturi), otopina je u stanju dinamičke ravnoteže (jednakom se brzinom odvija otapanje i kristalizacija pa se efektivno ne može otopiti još te tvari).

Prezasićena – u otopini je prisutno više otopljene tvari nego što joj je maksimalna topljivost pri tim uvjetima (prvenstveno temperaturi), takva otopina nastaje pažljivom promjenom temperature otopine zasićene na temperaturi na kojoj je topljivost veća; dodatkom male količine otopljene tvari ili bilo čega drugog, ili mućkanjem, potresanjem, bilo kakvim fizičkim uznemiravanjem, iz prezasićene otopine u pravilu dolazi do nagle kristalizacije (zato kažemo da je prezasićena otopina nestabilna).

4.12. "Pravila" topljivosti

Najopćenitije, "slično se otapa u sličnom": nepolarne tvari su topljivije u nepolarnim otapalima (prvenstveno organska otapala kao što je ☹ CCl_4 , C_6H_{14} , $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{CH}_3$), a polarne i ionske u polarnim otapalima od kojih je najvažnija voda (i etanol).

Među organskim spojevima s polarnim skupinama (prvenstveno onima koje mogu tvoriti vodikove veze), kao što su alkoholi i karboksilne kiseline, u vodi su topljiviji oni s manje C atoma (zadovoljavajuće topljivi su oni s otprilike do 4–5 C), jer što je duži ugljikovodični lanac, njegova nepolarnost sve više "dominira" u svojstvima molekule, a u nepolarnim otapalima je naravno obrnuto.

Među organskim spojevima s polarnim skupinama, oni s razgranatim ugljikovodičnim lancima manje su topljivi u vodi jer polarna skupina prostorno teže dolazi u interakciju (tvori vodikove veze) s vodom.

Neke nepolarne tvari (☞ najvažniji primjeri I_2 – zbog velikog radijusa I, velike molekule lakše postaju trenutačni i inducirani dipoli pa uspostavljaju s vodom znatne Londonove sile, i O_2 – jer ta molekula zapravo ima nesparene elektrone) nezanemarivo su topljive i u vodi, ali u organskim otapalima su znatno topljivije.

Nisu sve ionske tvari topljive u vodi (niti netopljive u organskim otapalima), ☞ npr. oksidi su u pravilu netopljivi u vodi ako s njom kemijski ne reagiraju jer su privlačne sile među ionima u njima prejake (O^{2-} je mali ion velikog naboja).

Anorganske i male organske kiseline topljive su u vodi (prema Brønsted–Lowryjevoj definiciji kiselina u odnosu na vodu nema smisla govoriti o kiselinama koje nisu bar djelomično topljive u vodi).

Hidroksidi: topljiv NH_4OH ²², hidroksidi alkalijskih metala i zemnoalkalijskih osim Be (topljivost raste u skupini prema dolje: $Mg(OH)_2$ slabo topljiv, $Ca(OH)_2$ umjereno), ostali netopljivi

Soli:

Najvažnije netopljive soli su: $BaSO_4$, $AgCl$, $PbCl_2$, $CaCO_3$.

Topljive su:

sve koje sadrže katione alkalijskih metala ili NH_4^+

sve koje sadrže anione NO_3^- , CH_3COO^- , ClO_3^- , ClO_4^-

svi kloridi (analogni i većina bromida i jodida) osim: $AgCl$ (analogno i $AgBr$, AgI), Hg_2Cl_2 , $PbCl_2$

svi fluoridi osim zemnoalkalijskih metala i PbF_2

svi sulfati osim: $BaSO_4$, $PbSO_4$, $HgSO_4$ ($CaSO_4$, $SrSO_4$, Ag_2SO_4 umjereno topljivi)

²² Točnije, o njemu ni nema smisla govoriti osim u otopini – ne postoje molekule NH_4OH niti kristali NH_4OH , nego otapanjem amonijaka u vodi dolazi do reakcije $NH_3(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons NH_4^+(aq) + OH^-(aq)$.

Netopljivi su:

svi sulfidi osim alkalijskih i zemnoalkalijskih metala i NH_4^+

svi karbonati i fosfati osim alkalijskih metala i NH_4^+

☒ Koja je od navedenih soli pri sobnoj temperaturi najmanje topljiva u vodi?

A. NH_4NO_3 ; B. CaCO_3 ; C. ZnSO_4 ; D. CH_3COONa

Rješenje: B

☒ U nepolarnom otapalu (s kojim nijedan od navedenih spojeva kemijski ne reagira, postojalo takvo otapalo u stvarnosti ili ne) vjerojatno se najbolje otapa:

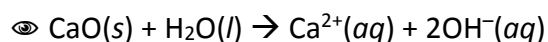
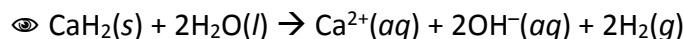
A. IF_5 ; B. BrF_5 ; C. ClF_5

Rješenje: C

a. "Otapanje" koje zapravo znači kemijsku reakciju

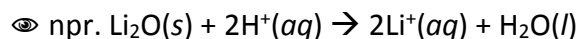
"Otapanje" alkalijskih metala i zemnoalkalijskih osim Be u vodi (Mg samo u vrućoj): nastaje lužina i vodik, $\text{Ca(s)} + 2\text{H}_2\text{O(l)} \rightarrow \text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{OH}^{-}(\text{aq}) + \text{H}_2(\text{g})$

Hidridi i oksidi tih metala isto se "otapaju" u vodi na analogan način – iz hidrida nastaje više vodika (jer sadrže dodatni vodik), a iz oksida nastaje samo lužina (bez vodika, jer sadrže dodatni kisik pa nema "viška" vodika):

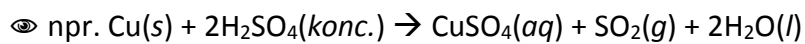


"Otapanje" metala u neoksidirajućim kiselinama – "otapaju" se svi koji imaju negativan standardni redukcijski potencijal tj. nalaze se "iznad" vodika ("standardne vodikove elektrode") u Voltinom nizu (vidi Elektrokemija) = alkalijski i zemnoalkalijski metali, aluminij te neki prijelazni metali (najvažniji Zn, Cd, Cr): nastaje kation metala i vodik, $\text{Zn(s)} + 2\text{H}^{+}(\text{aq}) \rightarrow \text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + \text{H}_2(\text{g})$

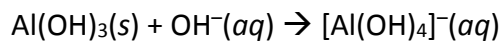
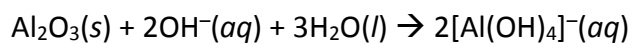
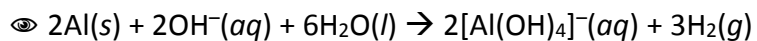
"Otapanje" oksida tih metala u kiselinama: nastaje kation metala i voda,



"Otapanje" metala (gotovo svih koji ne reagiraju s neoksidirajućim kiselinama) u oksidirajućim kiselinama (HNO_3 , koncentrirana H_2SO_4 , HClO_4): nastaje kation metala i (najčešće) plin u kojem je oksidacijski broj središnjeg elementa iz kiseline niži nego u kiselini (koncentrirana $\text{HNO}_3 \rightarrow \text{NO}_2$, razrijeđena $\text{HNO}_3 \rightarrow$ najčešće NO , $\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{SO}_2$, $\text{HClO}_4 \rightarrow$ najčešće Cl_2) i voda



"Otapanje" amfoternih metala (Al, Cr, Zn), njihovih oksida i hidroksida u lužinama:



(alkalijski i zemnoalkalijski metali se u lužinama otapaju isto kao u vodi, samo slabije, jer se zbog već početne prisutnosti OH^- ravnoteža pomiče prema reaktantima)

4.13. Kemijska namjena tvari iz svakodnevne uporabe i uobičajenih laboratorijskih kemikalija

a. Tvari iz svakodnevne upotrebe

soda bikarbona = natrijev hidrogenkarbonat $\text{NaHCO}_3 \rightarrow$ slabo lužnata sol

soda = natrijev karbonat Na_2CO_3 (kristalna soda = natrijev karbonat dekahidrat $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$) \rightarrow jako lužnata sol

kaustična soda = natrijev hidroksid $\text{NaOH} \rightarrow$ jaka lužina

kuhinjska sol = natrijev klorid NaCl

solna kiselina; želudčana kiselina = klorovodična kiselina $\text{HCl} \rightarrow$ jaka kiselina; kućanska solna kiselina je 19%-tna i to je najkoncentriranija lako dostupna anorganska kiselina

živo vapno = kalcijev oksid $\text{CaO} \rightarrow$ bazični oksid

gašeno vapno, vapnena voda = kalcijev hidroksid $\text{Ca(OH)}_2 \rightarrow$ jaka baza/lužina (slabo do umjereno topljiv), uvođenjem CO_2 zamuti se od izlučenog CaCO_3

vapnenac, mramor = kalcijev karbonat CaCO_3

modra galica = bakrov(II) sulfat pentahidrat $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} \rightarrow$ hidratna sol, dobro topljiva, kisela

zelena galica = željezov(II) sulfat heptahidrat $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O} \rightarrow$ hidratna sol, dobro topljiva (ali u otopinama Fe^{2+} brzo prelazi u Fe^{3+}), kisela

bordoška juha = smjesa modre galice i gašenog vapna

kiselina iz akumulatora = sumporna kiselina $\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$ jaka kiselina, oksidans, higroskopna (dehidratijsko djelovanje – oduzima vodu)

"peroksid" = vodikov peroksid $\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow$ jaki oksidans (*ali može biti i reducens)

jodna tinktura = vodena otopina joda $\text{I}_2(\text{aq})$

zemni plin = pretežno metan $\text{CH}_4 \rightarrow$ zapaljiv plin

plin u kućanstvu = smjesa propana $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$ i butana $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3 \rightarrow$ zapaljiv plin

"alkohol" (i onaj u pićima i onaj za čišćenje/dezinfekciju) = etanol $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$

glicerol = propan-1,2,3-triol $\text{CH}_2\text{OH}-\text{CHOH}-\text{CH}_2\text{OH}$

„glikol“ (etilen-glikol) = etan-1,2-ol $\text{CH}_2\text{OH}-\text{CH}_2\text{OH}$

formalin = vodena otopina formaldehida, formaldehid = metanal HCHO

aceton = propanon $\text{CH}_3\text{COCH}_3 \rightarrow$ keton, slabo polarno organsko otapalo \rightarrow najčešći glavni sastojak odstranjivača laka za nokte

ocat = octena kiselina (razrijeđena vodena otopina) = etanska kiselina CH_3COOH → slaba kiselina

benzin = smjesa ugljikovodika (prvenstveno lančastih alkana, ne pobrkati s benzEnom koji je aromatski ugljikovodik)

masti i ulja = esteri glicerola i tri (iste ili različite; zasićene → masti, barem jedna nezasićena → ulja) više masne kiseline

sapuni = natrijeve ili kalijeve soli viših masnih kiselina (kalcijeve i magnezijeve su netopljive, zato sapuni ne peru dobro u tvrdoj vodi)

kuhinjski šećer = saharoza ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$)

med = ponajviše smjesa glukoze i fruktoze ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$)

limunska kiselina → čvrsta kristalna tvar, jedna od jačih uobičajenih organskih kiselina (triprotonska kiselina)

b. Uobičajene laboratorijske kemikalije

(osim već navedenih u prethodnom popisu)

dušična kiselina HNO_3

srebrov nitrat AgNO_3

kloroform = triklormetan CHCl_3

"eter" = dietileter $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{CH}_3$, nepolarno (vrlo slabo polarno) otapalo

anilin = aminobenzen, aromatski amin (slaba organska baza)

...

c. Kemijske formule i nazivi

Kiseline i anioni/soli (podcrtane su jake kiseline)

a) kiseline koje ne sadrže kisik

kiselina	službeni naziv	hrvatski naziv	anion	naziv iona	naziv soli	službeni naziv	hrvatski naziv	naziv iona	naziv soli
HF	fluoridna	fluorovodična	F^-	fluoridni	fluorid	halogenidna	halogenovodična	halogenidni	halogenid
HCl	<u>kloridna</u>	<u>klorovodična</u>	Cl^-	kloridni	klorid				
HBr	<u>bromidna</u>	<u>bromovodična</u>	Br^-	bromidni	bromid				
HI	<u>jodidna</u>	<u>jodovodična</u>	I^-	jodidni	jodid	(S nije halogeni element, ali naziv se daje po istom principu)			
H_2S	sulfidna	sumporovodična	S^{2-}	sulfidni	sulfid				

(npr. HCl(g) → u plinovitom tj. čistom stanju = klorovodik, HCl(aq) → u vodenoj otopini = klorovodična kiselina)

b) kiseline koje sadrže kisik (oksokiseline)

od najmanjeg do najvećeg oksidacijskog broja središnjeg elementa

kiselina	službeni naziv	hrvatski naziv	anion	naziv iona	naziv soli	službeni naziv	hrvatski naziv	naziv iona	naziv soli
HClO	hipokloritna	hipoklorasta	ClO ⁻	hipokloritni	hipoklorit	<u>hipo...itna</u>	<u>hipo...asta</u>	<u>hipo...itni</u>	<u>hipo...it</u>
HClO ₂	kloritna	klorasta	ClO ₂ ⁻	kloritni	klorit	<u>-itna</u>	<u>-asta</u>	<u>-itni</u>	<u>-it</u>
H ₂ SO ₃ *	sulfitna	sumporasta	SO ₃ ²⁻	sulfitni	sulfit				
HNO ₂	nitritna	dušikasta	NO ₂ ⁻	nitritni	nitrit				
HClO ₃	kloratna	klorna	ClO ₃ ⁻	kloratni	klorat	<u>-atna</u>	<u>-na</u>	<u>-atni</u>	<u>-at</u>
HNO ₃	dušična	nitratna	NO ₃ ⁻	nitratni	nitrat				
H ₂ SO ₄	sulfatna	sumporna	SO ₄ ²⁻	sulfatni	sulfat				
H ₂ CO ₃ *	karbonatna	uglična	CO ₃ ²⁻	karbonatni	karbonat				
H ₃ PO ₄	fosfatna	fosforna	PO ₄ ³⁻	fosfatni	fosfat	<u>per...atna</u>	<u>per...na</u>	<u>per...atni</u>	<u>per...at</u>
HClO ₄	perkloratna	perklorna	ClO ₄ ⁻	perkloratni	perklorat				

* = na višoj razini, obično se smatra da ne postoji ugljična ni sumporasta kiselina (nisu pronađene takve molekule, a osobito nisu izolirane kao čiste tvari), nego samo njihove soli i anioni u vodenim otopinama; ugljičnom ili sumporastom kiselinom smatra se vodena otopina CO₂ odnosno SO₂ premda ne sadrži molekule H₂CO₃ odnosno H₂SO₃ – zato je uglavnom bolje pisati npr. HCO₃⁻ + H⁺ ⇌ H₂O + CO₂ nego HCO₃⁻ + H⁺ ⇌ H₂CO₃, ali na ovoj razini ne bi trebalo biti jako bitno
anion s jednim H → **hidrogen...** (HPO₄²⁻ hidrogenfosfat, HSO₄⁻ hidrogensulfat, HCO₃⁻ hidrogenkarbonat, HSO₃⁻ hidrogensulfit)
anion s dva H → **dihidrogen...** (H₂PO₄⁻ dihidrogenfosfat)

Baze i kationi (podcrtani su dobro i dovoljno topivi hidroksidi koji daju jake lužine)

baza (hidroksid)	kation	naziv kationa, hidroksida, soli ili iona	
LiOH	Li ⁺	<u>litijev</u>	alkalijskih metala = M ⁺
NaOH	Na ⁺	<u>natrijev</u>	
KOH	K ⁺	<u>kalijev</u>	
Be(OH) ₂	Be ²⁺	<u>berilijev</u>	zemnoalkalijskih metala = M ²⁺
Mg(OH) ₂	Mg ²⁺	<u>magnezijev</u>	
Ca(OH) ₂	Ca ²⁺	<u>kalcijev</u>	
Sr(OH) ₂	Sr ²⁺	<u>stroncijev</u>	
Ba(OH) ₂	Ba ²⁺	<u>barijev</u>	
Al(OH) ₃	Al ³⁺	aluminijev	aluminij je u 3. skupini u periodnom sustavu
	Fe ²⁺	željezov(II)	prijelaznih metala → uglavnom 2+, nije velika zabluda pamtiti da su 2+ svi osim Cr ³⁺ i Ag ⁺ (jedina (uobičajena) mogućnost za te metale) te Fe ³⁺ i Cu ⁺ (uz Fe ²⁺ i Cu ²⁺), * = za Zn ²⁺ i Ag ⁺ nije nužno pisati cinkov(II) i srebrov(I) jer su samo te valencije moguće, ali ne bi
	Fe ³⁺	željezov(III)	
	Cr ³⁺	kromov(III)	
	Mn ²⁺	manganov(II)	
	Co ²⁺	kobaltov(II)	
	Ni ²⁺	niklov(II)	

	Cu ²⁺	bakrov(II)	trebalo biti greška
	Cu ⁺	bakrov(I)	
	Zn ²⁺	cinkov*	
	Ag ⁺	srebrov*	
	Hg ²⁺	živin(II)	
	Hg ₂ ²⁺	živin(I)	"složeni kation"
NH ₄ OH*	NH ₄ ⁺	amonijev	također složeni kation, ne potječe od metala nego od amonijaka, * = slično kao kod H ₂ CO ₃ i H ₂ SO ₃ , NH ₄ OH zapravo ne postoji nego je bolje reći da je riječ o vodenoj otopini amonijaka NH ₃ (aq)

Alkani/ugljikovodične osnove naziva organskih spojeva

broj C atoma	naziv alkana	naziv skupine
1	metan	metil–
2	etan	etil–
3	propan	propil–
4	butan	butil–
5	pentan	pentil–
6	heksan	heksil–
7	heptan	heptil–
8	oktan	oktil–
9	nonan	nonil–
10	dekan	decil–

d. Još neke obojene tvari

Boje elementarnih tvari u standardnom stanju (osim plinova):

Cu crvenosmeđi, Au žuto, ostali metali (i polumetali) sivi

Br₂(l) smeđi, I₂(s) tamnoljubičast/crn (u vodenoj otopini smeđi)

S žut

P bijeli, crveni ili crni (alotropske modifikacije, alotropi)

C crn (grafit) ili proziran (dijamant) (ili tamnocrven do tamnoljubičast (fulereni))

Obojeni plinovi (ostali bitni plinovi su bezbojni):

Cl₂ žutozelen

NO₂ crvenosmeđi

***Br₂ smeđi**

***I₂ ljubičast**

*=nisu plinovi pri standardnim uvjetima, ali postaju plinovi pri relativno malo povišenoj temperaturi

Obojeni anioni u vodenim otopinama:

MnO₄⁻ ljubičasto/ružičasto

Cr₂O₇²⁻ narančasto

CrO₄²⁻ žuto

Obojeni kationi prijelaznih metala u vodenim otopinama (obično su i krute soli koje sadrže samo taj kation te boje):

Cr³⁺ zeleno

Mn²⁺ blijedoružičasto (*pri manjim koncentracijama često toliko blijedo da se ne vidi pa se otopine mogu zamijeniti za nebojene, zato se pri nekim reakcijama kaže da se

KMnO₄(aq) obezboji)

Fe³⁺ žuto

Fe²⁺ zeleno


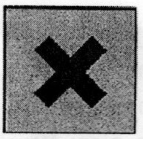




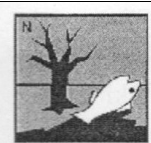

Co²⁺ ružičasto (*nevodene otopine i bezvodne soli tamnoplavo)

Ni²⁺ zeleno

Cu²⁺ plavo (***zeleno** ako otopina sadrži Cl⁻, **tamnoplavo** ako sadrži NH₃)

4.14. Opasnosti i mjere sigurnosti pri radu s kemikalijama

Znakovi opasnosti

simbol	značenje	neki uobičajeni proizvodi gdje se može naći
	OTROVNO (ili kumulativni otrov / kancerogen)	otrov za štakore, pesticidi
	ŠTETNO / NADRAŽUJUĆE	sredstva za čišćenje (npr. solna kiselina za uklanjanje kamenca), izbjeljivač za strojno pranje rublja
	KOROZIVNO (NAGRIZAJUĆE) = u dodiru s organskim (npr. ljudska koža) i anorganskim tvarima, oštećuje ih	sredstva za čišćenje pećnice ili odvoda
	EKSPLOZIVNO	dezodorani, lak za kosu i drugi proizvodi u spreju
	OKSIDIRAJUĆE = jak oksidans koji jako egzotermno reagira s mnogim tvarima	izbjeljivač za strojno pranje rublja
	ZAPALJIVO	dezodorani, lak za kosu i drugi proizvodi u spreju (zapaljivi su potisni plinovi)
	OPASNO ZA OKOLIŠ (žive organizme, ozonski omotač...)	sredstva protiv komaraca, žohara i sl.
	RADIOAKTIVNO (nije uobičajen znak u kemijskom laboratoriju, a osobito ne u svakodnevnom životu)	

Dodatni savjeti maturantima

(vrijede prvenstveno ali ne i isključivo za kemiju)

- ✱ "Prazne stranice" su list za koncept, dokle god na njima ne piše "prazne stranice koje moraju ostati prazne" i dokle god nije dan pravi list za koncept. Klupa nije list za koncept. (Šaranje po klupi nekulturno je i nepraktično 🙅.)
- ✱ Ako ne znate riješiti dio zadatka koji nosi više bodova, pokušajte ga riješiti barem djelomično (npr. napisati i izjednačiti samo jednu jednadžbu polurekacije u redoksu), možda dobijete dio bodova.
- ✱ Na zadacima ponuđenih odgovora, dokle god se za netočne odgovore ne dijele negativni bodovi, ako ne znate, pogađajte, nemojte nijedan zadatak u tom dijelu ostaviti neriješen (ili, još gore, prepisan na list za odgovore!).
- ✱ U 2. dijelu ispita, ako ne znate riješiti neki od podzadataka pa stoga ne možete napisati rješenje nekog od drugih podzadataka koji se nastavlja na njegovo rješenje, riješite taj drugi podzadatak općom formulom ili izmišljenim podatkom umjesto onog koji niste znali dobiti i sl., ako u skladu s tim riješite točno imate velike šanse dobiti bodove za taj drugi podzadatak.
- ✱ Ako ne razumijete samo dio teksta zadatka, pokušajte riješiti zadatak kao da tog dijela teksta nema.
- ✱ Imate dovoljno vremena za napisati sve što znate ako doista znate, ali nemate vremena za gubljenje, a osobito ne za paničarenje da nećete imati vremena.
- ✱ Dok učite, usredotočite se prvo na pravila, a tek nakon što ste ih savladali, ako ostane vremena i volje, na iznimke.
- ✱ Znam da vam to već izlazi na uši, ali upozorit ću ipak još jednom: krenite učiti na vrijeme (a ne par dana pred ispit), tako da pred ispit možete samo ponoviti. I – matura nije šala, ali nije ni smak svijeta, samo učite!

Ako je to doista fakultet za vas, uz dovoljan uloženi trud možete vi to (a ako nije, onda i bolje da ne uspijete). Sretno!

Zahvale

- Snježani Liber, prof. savjetnik, I. gimnazija Zagreb, na pregledu prvog predizdanja skripte i sugestijama
- dr. sc. Krunoslav Užareviću, viši asist., Kemijski odsjek Prirodoslovno–matematičkog fakulteta u Zagrebu, na ustupljenim materijalima (slike i zadaci u poglavlju Kristalne strukture, dijelovi teorije o redoksima, slike u poglavlju VSEPR teorija)
- dr. sc. Višnji Vrdoljak, izv. prof., Kemijski odsjek Prirodoslovno–matematičkog fakulteta u Zagrebu, na ustupljenim materijalima (slike u poglavljima Elektronska konfiguracija, Elektrokemija i Kristalne strukture)
- dr. sc. Tomislavu Portadi, Institut Ruđer Bošković, na uputama što se piše koso, a što uspravno i drugim lektorskim savjetima
- Uredu za obrazovanje Gradskog poglavarstva Grada Zagreba, što su mi stipendijom za nadarene učenike omogućili da slobodno vrijeme barem par godina mogu posvetiti unapređivanju vlastitog i tuđeg obrazovanja, a ne zarađivanju za život
- Igoru Huskiću, magistru kemije PMF-a i doktorandu na McGill University, na pregledu nekih dijelova skripte i sugestijama
- Zvonimiru Mlinariću, u šk. god. 2013/14. učeniku 2. raz. VII. gimnazije, na zgodnom metaforičkom objašnjenju elektronske strukture atoma
- svim učenicima i drugima koji su javljanjem grešaka i sugestijama pomogli u poboljšavanju skripte i Obrazloženih rješenja zadataka

Posvećeno profesorici Heleni Pavlović (I. gimnazija Zagreb) koja me naučila najveći dio onog što sam znala za svoju maturu i još puno više, te "mojim pokusnim kunićima" maturantima I. gimnazije Zagreb 2011. i svim ostalim "mojim" učenicima, svima koji su me ikad ikako učili kemiju i svima koji su mi na razne načine pomogli i pomažu mi.

O autorici

Svoju državnu maturu položila sam 2010. g. (u prvoj generaciji) s odličnim uspjehom iz tri obavezna (na višoj razini) i tri izborna (kemija, fizika, biologija) predmeta, te upisala Preddiplomski studij Kemije na Prirodoslovno–matematičkom fakultetu (PMF-u) u Zagrebu. Na državnoj maturi iz kemije postigla sam najbolji i maksimalan rezultat. Tijekom srednje škole uspješno sam sudjelovala na državnim natjecanjima iz kemije (dva treća, prvo i drugo mjesto) i drugih predmeta (hrvatskog i latinskog jezika, matematike i biologije) te Međunarodnoj kemijskoj olimpijadi 2009. i 2010. (srebrna medalja). Od 2009. do njegova gašenja 2015. g. sudjelovala sam u radu foruma www.drzavna-matura.com, u sklopu čega je prvotno objavljena ova skripta i drugi materijali za državnu maturu. Pod nadimkom Štreberica može me se naći na www.forum.hr, uglavnom na podforumu Kutak za školarce i studente (gdje sam moderatorica) te osobito temi Kemija-pomoć. U svojoj nekadašnjoj gimnaziji (I. gimnazija Zagreb) održavala sam pripreme za državnu maturu iz kemije 2011. i 2014. g. te dodatnu nastavu iz kemije od šk. god. 2011/12. do 2013/14. Uz svoje redovne predmete preddiplomskog studija, položila sam predmete Pedagogiju i Didaktiku iz programa nastavničkog studija Kemije te tri predmeta iz programa studija Molekularne biologije. Ljeto 2013. provela sam na Institutu Weizmann u Izraelu radeći na znanstvenom projektu iz područja nanokemije i organske kemije, nastavila suradnju na daljinu (što je rezultiralo koautorstvom znanstvenog rada Cyclic Kinetics during Thermal Equilibration of an Axially Chiral Bis-Spiropyran) te se u proljeće 2015. vratila s ciljem izrade diplomskog rada. U ak. god. 2013/14. upisala sam Diplomski studij Kemije na PMF-u u Zagrebu, istraživački smjer, grane organska te anorganska i strukturna kemija, te sudjelovala u znanstvenim istraživanjima (organska, anorganska i fizikalna kemija) na Institutu Ruđer Bošković i PMF-u. Sudjelovala sam u organizaciji Otvorenih dana Kemijskog odsjeka PMF-a 2012-2014. g., za što sam 2013. g. nagrađena Posebnom Rektorovom nagradom.

Kristina Kučanda,

Zagreb, ožujak 2015.

