

Analitička kemija  
sveučilišni preddiplomski studij  
kemije – seminar

Ak. godina 2018./19.

# Osnovne fizičke veličine

- Duljina ( $l$ ): metar (m) – duljina puta koju u vakuumu prijeđe svjetlost u trajanju  $1/299\,792\,458$  sekunde. Definicija je usvojena na 17. Općoj konferenciji za utege i mjere 1983. g.
- Masa ( $m$ ): kilogram (kg) – masa međunarodne pramjere mase, koja je izrađena u obliku valjka iz slitine platine i iridija i koja je odredila 1. generalna konferencija za utege i mjere 1889. u Parizu. Pramjena se čuva u Međunarodnom uredu za utege u Sévresu kod Pariza.
- Vrijeme ( $t$ ): sekunda (s) - je trajanje  $9\,192\,631\,770$  perioda zračenja koje odgovara prijelazu između dviju hiperfinskih razina osnovnog stanja atoma cezija-133. Definicija je usvojena na 13. općoj konferenciji za utege i mjere 1967. g.
- Jakost električne struje ( $I$ ): amper (A) – jakost istosmjerne električne struje koja u vakuumu između dvaju ravnih i metar udaljenih beskonačno dugih usporednih vodiča zanemarivo malog kružnog presjeka prouzroči silu od  $2 \cdot 10^{-7}$  njutna po metru duljine vodiča.
- Termodinamička temperatura ( $T$ ): kelvin (K) – definira se kao  $273,16$ -ti dio temperature trojne točke vode.
- Količina tvari ( $n$ ): mol (mol) – predstavlja količinu tvari onog sustava koji sadrži broj jedinki koliko se nalazi atoma u  $12$  grama ugljika C-12 (taj broj jedinki jednak je Avogadrovom broju  $N_A=6,0221412 \cdot 10^{23}$ ).
- Svjetlosna jakost ( $I$ ): kandela (cd) – predstavlja onu svjetlosnu jakost zračenja izvora jednobojnog svjetla koja u danom smjeru frekvencije  $540 \cdot 10^{12}$  Hz iznosi  $1/683$  W/sr.

# Prefiksi (predmetci) za mjerne jedinice

jota	Y	$10^{24}$
zeta	Z	$10^{21}$
eksa	E	$10^{18}$
peta	P	$10^{15}$
tera	T	$10^{12}$
giga	G	$10^9$
mega	M	$10^6$
kilo	k	$10^3$
hekto	h	$10^2$
deka	da	10

deci	d	$10^{-1}$
centi	c	$10^{-2}$
mili	m	$10^{-3}$
mikro	$\mu$	$10^{-6}$
nano	n	$10^{-9}$
piko	p	$10^{-12}$
femto	f	$10^{-15}$
ato	a	$10^{-18}$
zepto	z	$10^{-21}$
jokto	y	$10^{-24}$

# Izvedene fizičke veličine od značaja u analitičkoj kemiji

- Maseni udio ( $\omega$ ,  $w$ ):

$$\omega = \frac{m_i}{\sum_{i=1}^n m_i}$$

- Volumni udio ( $\varphi$ ):

$$\varphi = \frac{V_i}{\sum_{i=1}^n V_i}$$

- Množinski udio ( $x$ ):

$$x = \frac{n_i}{\sum_{i=1}^n n_i}$$

$m_i$ ,  $V_i$ ,  $n_i$  – masa, volumen i množina pojedine komponente u smjesi

Izračunajte maseni udio natrijevog klorida u vodenoj otopini ako je poznato da je otopina pripravljena otapanjem 14 g NaCl u 100 g destilirane vode.

maseni udio: masa sastojka smjese podijeljena sa zbrojem masa svih sastojaka smjese

$$m(\text{NaCl}) = 14 \text{ g}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 100 \text{ g}$$

---

$$\omega(\text{NaCl}) = ?$$

$$\omega(\text{NaCl}) = \frac{m(\text{NaCl})}{m(\text{NaCl}) + m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{14}{14 + 100} = \frac{14}{114} = 0,12 = 12\%$$

Izračunajte volumni udio NaCl u vodenoj otopini ako je poznato da je otopina pripravljena miješanjem 14 g otopine NaCl ( $\rho = 1,09 \text{ g cm}^{-3}$ ) sa 100 mL destilirane

volumni udio: volumen sastojka smjese podijeljen sa zbrojem volumena koje su svi sastojci smjese zauzimali prije miješanja

$$m(\text{NaCl}) = 14 \text{ g}$$

$$\rho(\text{NaCl}) = 1,09 \text{ g cm}^{-3} (1 \text{ cm}^3 = 1 \text{ mL})$$

$$V(\text{H}_2\text{O}) = 100 \text{ mL}$$

---

$$\varphi(\text{NaCl}) = ?$$

$$\varphi(\text{NaCl}) = \frac{V(\text{NaCl})}{V(\text{H}_2\text{O}) + V(\text{NaCl})} = \frac{\frac{m(\text{NaCl})}{\rho(\text{NaCl})}}{100 + \frac{m(\text{NaCl})}{\rho(\text{NaCl})}} = \frac{\frac{14}{1,09}}{100 + \frac{14}{1,09}} = \frac{\frac{14}{1,09}}{\frac{109 + 14}{1,09}} = \frac{14}{123} = 11\%$$

Izračunajte množinski udio NaCl vodenj otolini ako je poznato da je otolina pripravljena otapanjem 14 g NaCl u 100 g destilirane vode.

množinski udio: množina sastojka smjese podijeljena sa zbrojem množina svih sastojaka smjese

$$m(\text{NaCl}) = 14 \text{ g}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 100 \text{ g}$$

---

$$x(\text{NaCl}) = ?$$

$$x(\text{NaCl}) = \frac{n(\text{NaCl})}{n(\text{NaCl}) + n(\text{H}_2\text{O})} = \frac{\frac{m(\text{NaCl})}{M(\text{NaCl})}}{\frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} + \frac{m(\text{NaCl})}{M(\text{NaCl})}} = \frac{\frac{14\text{g}}{58\text{g mol}^{-1}}}{\frac{100\text{g}}{18\text{g mol}^{-1}} + \frac{14\text{g}}{58\text{g mol}^{-1}}} = \frac{\frac{14}{58}}{\frac{58 \times 100 + 18 \times 14}{18 \times 58}} = \frac{252}{6052} = 0,04 = 4\%$$

Koncentracija: udio neke tvari u smjesi ili otopini izražena u jedinici mase ili obujma

- Masena koncentracija ( $\gamma$ ),  $\text{g L}^{-1}$
- Množinska koncentracija ( $c$ ),  $\text{mol L}^{-1}$
- Volumna koncentracija ( $\phi$ ),  $\text{L L}^{-1}$
- Molalnost ( $b$ ),  $\text{mol kg}^{-1}$

$$\gamma = \frac{m_{\text{otopljena tvar}}}{V_{\text{otopina}}}$$

$$c = \frac{n_{\text{otopljena tvar}}}{V_{\text{otopina}}}$$

$$\phi = \frac{V_{\text{otopljena tvar}}}{V_{\text{otopina}}}$$

$$b = \frac{n_{\text{otopljena tvar}}}{m_{\text{otapalo}}}$$



Izračunajte masenu koncentraciju NaCl u vodenoj otopini ako je poznato da je otopina pripravljena otapanjem 14 g NaCl u 100 mL destilirane vode.

masena koncentracija: omjer mase otopljene tvari (X) i volumena otopine.

$$m(\text{NaCl}) = 14 \text{ g}$$

$$V(\text{H}_2\text{O}) = 100 \text{ mL} = 0,1 \text{ L}$$

---

$$\gamma(\text{NaCl}) = ?$$

$$\gamma(\text{NaCl}) = \frac{m(\text{NaCl})}{V(\text{H}_2\text{O})} = \frac{14\text{g}}{0,1\text{L}} = 140\text{g L}^{-1}$$

Izračunajte množinsku koncentraciju NaCl u vodenoj otopini ako je poznato da je otopina pripravljena otapanjem 14 g NaCl u 100 mL destilirane vode.

množinska koncentracija: koncentracija otopine u kojoj je jedan mol tvari otopljen u jednoj litri otapala

$$m(\text{NaCl}) = 14 \text{ g}$$

$$V(\text{H}_2\text{O}) = 100 \text{ mL} = 0,1 \text{ L}$$

---

$$c(\text{NaCl}) = ?$$

$$c(\text{NaCl}) = \frac{n(\text{NaCl})}{V(\text{H}_2\text{O})} = \frac{m(\text{NaCl})}{M(\text{NaCl}) \cdot V(\text{H}_2\text{O})} = \frac{14 \text{ g}}{58 \text{ g mol}^{-1} \cdot 0,1 \text{ L}} = \frac{14}{0,1 \times 58} = 2,4 \text{ mol L}^{-1}$$

Izračunajte volumnu koncentraciju NaCl u vodenoj otopini ako je poznato da je otopina pripravljena miješanjem 14 g otopine NaCl ( $\rho = 1,09 \text{ g cm}^{-3}$ ) sa 100 mL destilirane vode.

volumna koncentracija: omjer volumena otopljene tvari (X) i volumena otopine.

$$m(\text{NaCl}) = 14 \text{ g}$$

$$\rho(\text{NaCl}) = 1,09 \text{ g cm}^{-3} (1 \text{ cm}^3 = 1 \text{ mL})$$

$$V(\text{H}_2\text{O}) = 100 \text{ mL}$$

$$\Phi(\text{NaCl}) = ?$$

$$\Phi(\text{NaCl}) = \frac{V(\text{NaCl})}{V(\text{H}_2\text{O})} = \frac{\frac{m(\text{NaCl})}{\rho(\text{NaCl})}}{100 \text{ mL}} = \frac{\frac{14 \text{ g}}{1,09 \text{ g cm}^{-3}}}{100 \text{ mL}} = \frac{14}{109} = 0,13 \text{ L L}^{-1}$$

Izračunajte molalnost vodene otopine NaCl ako je poznato da je otopina pripravljena otapanjem 14 g NaCl u 100 g destilirane vode.

molalnost: množina jedinki otopljene tvari podijeljena s masom otapala

$$m(\text{NaCl}) = 14 \text{ g}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 100 \text{ g}$$

---

$$b(\text{NaCl}) = ?$$

$$b(\text{NaCl}) = \frac{n(\text{NaCl})}{m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{\frac{m(\text{NaCl})}{M(\text{NaCl})}}{0,100\text{kg}} = \frac{\frac{14\text{g}}{58\text{g mol}^{-1}}}{0,1\text{kg}} = \frac{14}{0,1 \times 58} = 2,4\text{mol kg}^{-1}$$

Nađite maseni udjel NaCl u otopini ako je 40 g NaCl otopljeno u 760 ml vode.

$$w(\text{tvari}) = \frac{m(\text{tvari})}{m(\text{otopine})}$$

$$w(\text{tvari}) = \frac{m(\text{tvari})}{m(\text{tvari}) + m(\text{otapala})}$$

$$w(\text{NaCl}) = \frac{40\text{g}}{40\text{g} + 760\text{g}} = 0,05$$

ili u postocima (%), što se često traži:

$$w(\text{NaCl}) = 0,05 \times 100 = 5 \%$$

(gustoću vode najčešće prihvaćamo da je 1,0 g/ml)

Otopina nitratne kiseline ima gustoću  $\rho = 1,42 \text{ g/ml}$  i maseni udjel  $w(\text{HNO}_3) = 70 \%$ . Nađite masu  $\text{HNO}_3$  koja se nalazi u 100 ml otopine.

$$m = V \times \rho$$

$$m(\text{otopine}) = 100 \text{ ml} \times 1,42 \text{ g/ml} = 142 \text{ g}$$

$$m(\text{HNO}_3) = 142 \text{ g} \times 70/100 = 99,4 \text{ g}$$

U 100 ml koncentrirane  $\text{HNO}_3$ ,  $\rho = 1,42 \text{ g/ml}$ ,  $w(\text{HNO}_3) = 70 \%$  nalazi se 99,4 g  $\text{HNO}_3$

Nadžite volumen koncentrirane HCl ( $\rho = 1,19 \text{ g/ml}$ ,  $w(\text{HCl}) = 37 \%$ ) potreban za pripravu 100 ml otopine HCl,  $c(\text{HCl}) = 3 \text{ M}$ .

masa 1 ml konc. HCl ( $m = \rho \times V$ ):

$$m = 1,19 \text{ g/ml} \times 1 \text{ ml} = 1,19 \text{ g}$$

masa HCl u 1 ml konc. HCl:

$$m(\text{HCl}) = \frac{w(\text{HCl}) \times m(\text{otopine})}{100}$$

$$m(\text{HCl}) = \frac{37 \times 1,19 \text{ g}}{100} = 0,44 \text{ g}$$

$$M(\text{HCl}) = 36,5 \text{ g/mol}$$

množina HCl u 1000 mL otopine HCl,  $c(\text{HCl}) = 3 \text{ mol/L}$ :

$$n = c \times V$$

$$n = 3 \text{ mol/L} \times 1 \text{ L}$$

$$n = 3 \text{ mol}$$

masa HCl ( $m = n \times M$ ):

$$m(\text{HCl}) = 3 \text{ mol} \times 36,5 \text{ g/mol} = 109,5 \text{ g}$$

Za 1000 ml potrebno je 109,5 g, a za 100 ml 10,95 g HCl.

1 mL konc. HCl sadrži 0,44 g HCl;

10,95 g HCl nalazi se u:

$$\frac{10,95}{0,44} = 25 \text{ mL koncentrirane otopine HCl}$$

Koliko grama  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  treba za pripravu 200 ml otopine, ako je koncentracija  $c(\text{Ca}(\text{NO}_3)_2)=0,028 \text{ M}$ ?

$$n = c \times V$$

$$c(\text{Ca}(\text{NO}_3)_2) = 0,028 \text{ mol/L}$$

$$V = 200 \text{ mL} = 0,200 \text{ L}$$

$$n(\text{Ca}(\text{NO}_3)_2) = 0,200 \text{ L} \times 0,028 \text{ mol/L} = 0,0056 \text{ mol}$$

$$m = n \times M$$

$$m(\text{Ca}(\text{NO}_3)_2) = 0,0056 \text{ mol} \times 164,096 \text{ g/mol} = 0,919 \text{ g}$$



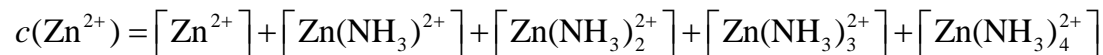
# [ Analitička (ukupna) i slobodna (ravnotežna) koncentracija ]

- Analitička koncentracija jednaka je množinskoj koncentraciji ( $c$ ), mol L<sup>-1</sup>
- Slobodna (ravnotežna) koncentracija,  $[X]$ , mol L<sup>-1</sup>
- Ukoliko nema paralelnih reakcija u otopini, ove će dvije koncentracije biti jednake, u protivnom vrijedi:

$$[X] = c_X \alpha$$

- $\alpha$  – udio pojedine specije (vrste) u otopini
- Primjer: otopina koja sadrži cinkove katione u amonijakalnom puferu i otopina u kiselom mediju

U amonijakalnom puferu:



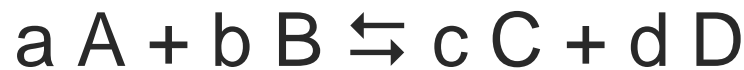
$$\alpha_{\text{Zn}^{2+}} = \frac{[\text{Zn}^{2+}]}{c(\text{Zn}^{2+})} = \frac{[\text{Zn}^{2+}]}{[\text{Zn}^{2+}] + [\text{Zn}(\text{NH}_3)^{2+}] + [\text{Zn}(\text{NH}_3)_2^{2+}] + [\text{Zn}(\text{NH}_3)_3^{2+}] + [\text{Zn}(\text{NH}_3)_4^{2+}]}$$

U kiselom mediju:

$$c(\text{Zn}^{2+}) = [\text{Zn}^{2+}] \Rightarrow \alpha_{\text{Zn}^{2+}} = \frac{[\text{Zn}^{2+}]}{c(\text{Zn}^{2+})} = 1$$

# Konstante ravnoteže

Za reakciju



$$K^{\circ} = \frac{a_{\text{C}}^c \cdot a_{\text{D}}^d}{a_{\text{A}}^a \cdot a_{\text{B}}^b}$$

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

$$a_{\text{X}} = [\text{X}] \cdot f_{\text{X}}$$

$$-\log f_{\text{X}} = 0,51 z_{\text{X}}^2 \sqrt{\mu}$$

$$\mu = \frac{1}{2} ( [\text{A}] z_{\text{A}}^2 + [\text{B}] z_{\text{B}}^2 + [\text{C}] z_{\text{C}}^2 + \dots )$$

# Veza između termodinamičke i koncentracijske konstante

$$K^0 = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b} \cdot \frac{f_C^c f_D^d}{f_A^a f_B^b}$$

$$K = K^0 \frac{f_A^a f_B^b}{f_C^c f_D^d}$$

Uvjetna konstanta ravnoteže  
definira se jednažbom

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

■  $[X] = c_X \cdot \alpha_X$

$$K' = K \frac{\alpha_A^a \alpha_B^b}{\alpha_C^c \alpha_D^d}$$

# Konstante ravnoteže

■  $K_w = K_a \cdot K_b$                        $K_w = 1 \times 10^{-14}$

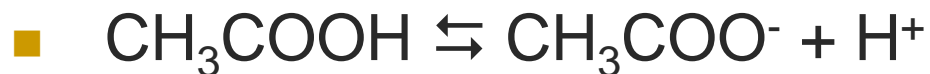
Kolika je  $K_b$  za ravnotežu:



U tablicama nema podataka za  $K_b$  ali ima  $K_{\text{HCN}} = 2 \times 10^{-9}$

$$K_b = \frac{[\text{HCN}][\text{OH}^-]}{[\text{CN}^-]} = \frac{K_w}{K_{\text{HCN}}} = \frac{1 \times 10^{-14}}{2 \times 10^{-9}} = 5 \times 10^{-6}$$

Izračunajte konstantu kiseline, odnosno pKa vrijednost otopine octene kiseline,  $c(\text{HAc})=0,100 \text{ M}$  koja je ionizirala 1,3% ( $\alpha = 0,0134$ ).



$$[\text{CH}_3\text{COO}^-] = 0,100$$

$[\text{H}^+] = 0,100$  nije 100% već 1,3% ionizacije

$$[\text{CH}_3\text{COO}^-] = 0,100 \times 0,013 = 0,0013$$

$$[\text{H}^+] = 0,1000 \times 0,013 = 0,0013$$

$$[\text{CH}_3\text{COOH}] = 0,100 - 0,013 = 0,0987 \text{ mol L}^{-1}$$

$$K_{\text{HAc}} = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = \frac{(0,0013)^2}{0,0987} = 1,71 \times 10^{-5}$$

$$pK = -\log(1,71 \times 10^{-5}) = 4,76$$

Pomiješa se 1,5 L otopine NaCl,  $c_1(\text{NaCl}) = 0,2000 \text{ M}$  sa 1,0 L otopine NaCl,  $c_2(\text{NaCl}) = 0,4000 \text{ M}$ . Izračunajte koncentraciju,  $c(\text{NaCl})$ , dobivene otopine NaCl.

Količina ( $n$ ) natrijeva klorida u prvoj i drugoj otopini je:

$$n_1 = c_1 \times V_1$$

$$n_1(\text{NaCl}) = 0,2000 \text{ mol/L} \times 1,5 \text{ L}$$

$$n_1(\text{NaCl}) = 0,3 \text{ mol}$$

$$n_2 = c_2 \times V_2$$

$$n_2(\text{NaCl}) = 0,4000 \text{ mol/L} \times 1,0 \text{ L}$$

$$n_2(\text{NaCl}) = 0,4 \text{ mol}$$

Ukupna količina natrijeva klorida ( $n(\text{NaCl})$ ) u dobivenoj otopini je:

$$n = n_1 + n_2$$

$$n(\text{NaCl}) = 0,3 \text{ mol} + 0,4 \text{ mol}$$

$$n(\text{NaCl}) = 0,7 \text{ mol}$$

$$V = V_1 + V_2$$

$$V = 1,5 \text{ L} + 1,0 \text{ L}$$

$$V = 2,5 \text{ L}$$

Ukupni volumen ( $V$ ) nove otopine iznosi:

$$c(\text{NaCl}) = \frac{n(\text{NaCl})}{V}$$

Koncentracija NaCl ( $c(\text{NaCl})$ ) u novonastaloj otopini (smjesa) je:

$$c(\text{NaCl}) = \frac{0,7 \text{ mol}}{2,5 \text{ l}}$$

Dobivena otopina je koncentracije  $c(\text{NaCl}) = 0,28 \text{ mol/L}$ .

$$c(\text{NaCl}) = 0,28 \text{ mol/L}$$



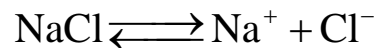
# [ Primjeri ]

- Izračunajte ionsku jakost otopine NaCl pripremljenu otapanjem 14 g NaCl u 1 L vode. Korištenjem dobivenih podataka izračunajte aktivitete i koeficijent aktiviteta iona.

$$m(\text{NaCl}) = 14\text{g}$$

---

$$\mu = ?$$



$$c(\text{NaCl}) = \frac{n}{V} = \frac{\frac{m}{M}}{V} = \frac{m}{MV} = \frac{14\text{g}}{58\text{g mol}^{-1} \cdot 1\text{L}} = 0,24\text{mol L}^{-1}$$

$$\mu = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^i (c_i z_i^2)$$

$$\mu = \frac{1}{2} (c_{\text{Na}^+} \cdot z_{\text{Na}^+}^2 + c_{\text{Cl}^-} \cdot z_{\text{Cl}^-}^2) = \frac{1}{2} \{0,24 \cdot (+1)^2 + 0,24 \cdot (-1)^2\} = 0,24\text{mol L}^{-1}$$

$$\log f_x = -0,51z_x^2 \sqrt{\mu}$$

$$\log f_{\text{Na}^+} = -0,51z_{\text{Na}^+}^2 \sqrt{\mu} \quad \log f_{\text{Cl}^-} = -0,51z_{\text{Cl}^-}^2 \sqrt{\mu}$$

$$\log f_{\text{Na}^+} = -0,51(+1)^2 \sqrt{0,24} = -0,25$$

$$f_{\text{Na}^+} = 10^{-0,25} = 0,56$$

$$a_{\text{Na}^+} = [\text{Na}^+] \cdot f_{\text{Na}^+} = 0,24 \cdot 0,56 = 0,13$$

$$\text{pH} = -\log a_{\text{H}^+}$$

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

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

$$K_w = [\text{H}^+] [\text{OH}^-]$$

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

$$14 = \text{pH} + \text{pOH} \text{ (kod } 25 \text{ }^\circ\text{C)}$$

Izračunajte  $[H^+]$  i  $[OH^-]$  otopine čiji pH iznosi 10,33.

$$pH = 10,33$$

---

$$[H^+] = ?$$

$$[OH^-] = ?$$

$$pH + pOH = 14$$

$$pOH = 14 - 10,33 = 3,67$$

$$pH = -\log[H^+] \Rightarrow [H^+] = 10^{-pH} = 10^{-10,33} = 4,68 \cdot 10^{-11} \text{ mol L}^{-1}$$

$$pOH = -\log[OH^-] \Rightarrow [OH^-] = 10^{-pOH} = 10^{-3,67} = 2,14 \cdot 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$$

Provjera računa :

$$[H^+] \cdot [OH^-] = K_w \Rightarrow [OH^-] = \frac{K_w}{[H^+]} = \frac{1 \cdot 10^{-14}}{4,68 \cdot 10^{-11}} = 2,14 \cdot 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$$

# Pravila razrjeđenja i priprava otopina

- Problem je formuliran kao: Iz koncentrirane otopine poznatog sastava potrebno je pripremiti razrijeđenu otopinu zadanog sastava.
- Napomena: u zadatcima koji slijede, fizičke veličine koje se odnose na koncentriraniju otopinu bit će uvijek označene s indeksom 1, a one koje se odnose na razrijeđenu otopinu s indeksom 2.
- za koncentriranu otopinu poznato je:  $c_1(A)$  ili  $n(A)$  ili  $\omega_1(A)$  i  $\rho_1$
- za razrijeđenu otopinu je zadano:  $c_2(A)$  ili  $n(A)$  ili  $\omega_2(A)$  i  $\rho_2$
- kako se prilikom razrjeđivanja u koncentriranu otopinu dodaje samo voda, bitno je uočiti da je masa, odnosno množina otopljene tvari u obje otopine (i koncentriranoj i razrijeđenoj) jednaka, tj. da vrijedi:

$$m_1(A) = m_2(A)$$

$$n_1(A) = n_2(A)$$

$$\gamma_1 \cdot V_1 = \gamma_2 \cdot V_2$$

$$c_1 \cdot V_1 = c_2 \cdot V_2$$

# Veze između koncentracija

$$\gamma = \frac{m_{\text{otopljena tvar}}}{V_{\text{otopina}}}$$

$$n = \frac{m}{M} \Rightarrow m = nM$$

$$\gamma = \frac{nM}{V_{\text{otopina}}} = cM$$

$$c = \frac{n_{\text{otopljena tvar}}}{V_{\text{otopina}}}$$

$$m_{\text{otopljena tvar}} = m_{\text{smjese}} \cdot \omega$$

$$m_{\text{smjese}} = \rho_{\text{smjese}} \cdot V_{\text{smjese}}$$

$$m_{\text{otopljena tvar}} = \rho_{\text{smjese}} \cdot V_{\text{smjese}} \cdot \omega$$

$$c = \frac{\frac{m_{\text{otopljena tvar}}}{M_{\text{otopljena tvar}}}}{V_{\text{otopina}}} = \frac{\rho_{\text{smjese}} \cdot V_{\text{smjese}} \cdot \omega}{M_{\text{otopljena tvar}} \cdot V_{\text{otopina}}} = \frac{\rho_{\text{smjese}} \cdot \omega}{M_{\text{otopljena tvar}}}$$

Izračunajte koji volumen otopine HCl koncentracije 5 M treba uzeti za pripremu 250 mL otopine HCl koncentracije 0,2 M.

$$c_1(\text{HCl}) = 5 \text{ mol L}^{-1}$$

$$c_2(\text{HCl}) = 0,2 \text{ mol L}^{-1}$$

$$V_2(\text{HCl}) = 250 \text{ mL} = 0,25 \text{ L}$$

$$V_1(\text{HCl}) = ?$$

$$n_1 = n_2$$

$$c_1 \cdot V_1 = c_2 \cdot V_2$$

$$V_1 = \frac{c_2 \cdot V_2}{c_1} = \frac{0,2 \text{ mol L}^{-1} \cdot 0,25 \text{ L}}{5 \text{ mol L}^{-1}} = 0,01 \text{ L} = 10 \text{ mL}$$

Koji volumen vode i koji volumen koncentrirane HCl,  $\omega(\text{HCl}) = 0,36$  i  $\rho = 1,18 \text{ g cm}^{-3}$ , trebate pomiješati da biste dobili 1 L razrijeđene HCl koncentracije 0,01 M.

$$\omega(\text{HCl, klorovodična kiselina}) = 0,36$$

$$\rho(\text{klorovodična kiselina}) = 1,18 \text{ g cm}^{-3}$$

$$V_2 = 1,0 \text{ L}$$

$$c_2 = 0,01 \text{ mol L}^{-1}$$

---


$$V_1 = V_{\text{H}_2\text{O}} = ?$$

$$c = \frac{n_{\text{otopljena tvar}}}{V_{\text{otopina}}}$$

$$m_{\text{otopljena tvar}} = m_{\text{smjese}} \cdot \omega$$

$$m_{\text{smjese}} = \rho_{\text{smjese}} \cdot V_{\text{smjese}}$$

$$m_{\text{otopljena tvar}} = \rho_{\text{smjese}} \cdot V_{\text{smjese}} \cdot \omega$$

$$c_1 = \frac{\frac{m_{\text{otopljena tvar}}}{M_{\text{otopljena tvar}}}}{V_{\text{otopina}}} = \frac{\rho_{\text{smjese}} \cdot V_{\text{smjese}} \cdot \omega}{M_{\text{otopljena tvar}} \cdot V_{\text{otopina}}} = \frac{\rho_{\text{smjese}} \cdot \omega}{M_{\text{otopljena tvar}}} = \frac{1,18 \text{ g cm}^{-3} \cdot 0,36}{36,45 \text{ g mol}^{-1}} = 0,01375 \text{ mol cm}^{-3} = 13,75 \text{ mol L}^{-1}$$

$$c_1 \cdot V_1 = c_2 \cdot V_2$$

$$V_1 = \frac{c_2 \cdot V_2}{c_1} = \frac{0,01 \text{ mol L}^{-1} \cdot 1,0 \text{ L}}{13,75 \text{ mol L}^{-1}} = 7,3 \cdot 10^{-4} \text{ L} = 0,730 \text{ mL}$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 1000 \text{ mL} - V_{\text{klorovodična kiselina}} = 1000 - 0,730 = 999,27 \text{ mL}$$



# [ Računanje pH i pOH ]

- Za jake kiseline:  $[H^+] = c(\text{kiseline})$
- Za jake baze:  $[OH^-] = c(\text{baze})$
- $pH = -\log[H^+]$        $pOH = -\log[OH^-]$
- $pH + pOH = 14$
- Za slabe kiseline (baze) pH (pOH) se računa iz konstante disocijacije (hidrolize)

Izračunajte pH otopine koja je dobivena razrjeđivanjem 25 mL 10% HCl ( $\rho = 1,05 \text{ g cm}^{-3}$ ) vodom na volumen od 1500 mL.

$$V_2 = 25 \text{ mL}$$

$$\omega(\text{HCl, klorovodična kiselina}) = 0,10$$

$$\rho(\text{klorovodična kiselina}) = 1,05 \text{ g cm}^{-3}$$

$$V_2 = 1,5 \text{ L} = 1500 \text{ mL}$$

---

$$c_2 = ?$$

$$c = \frac{n_{\text{otopljena tvar}}}{V_{\text{otopina}}}$$

$$m_{\text{otopljena tvar}} = m_{\text{smjese}} \cdot \omega$$

$$m_{\text{smjese}} = \rho_{\text{smjese}} \cdot V_{\text{smjese}}$$

$$m_{\text{otopljena tvar}} = \rho_{\text{smjese}} \cdot V_{\text{smjese}} \cdot \omega$$

$$c_1 = \frac{m_{\text{otopljena tvar}}}{V_{\text{otopina}}} = \frac{\rho_{\text{smjese}} \cdot V_{\text{smjese}} \cdot \omega}{M_{\text{otopljena tvar}} \cdot V_{\text{otopina}}} = \frac{\rho_{\text{smjese}} \cdot \omega}{M_{\text{otopljena tvar}}} = \frac{1,05 \text{ g cm}^{-3} \cdot 0,10}{36,45 \text{ g mol}^{-1}} = 0,00288 \text{ mol cm}^{-3} = 2,88 \text{ mol L}^{-1}$$

$$c_1 \cdot V_1 = c_2 \cdot V_2$$

$$c_2 = \frac{c_1 \cdot V_1}{V_2} = \frac{2,88 \text{ mol L}^{-1} \cdot 25 \text{ mL}}{1500 \text{ mL}} = 4,8 \cdot 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$$

$$c(\text{HCl}) = [\text{H}^+] = 4,8 \cdot 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$$

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+] = -\log(4,8 \cdot 10^{-2}) = 1,32$$

- Izračunajte pH otopine koja u 500 mL otopine sadrži 5,0 g NaOH.

$$m = 5,0 \text{ g}$$

$$V = 500 \text{ mL} = 0,5 \text{ L}$$

---

$$c_{\text{NaOH}} = \text{pH} = ?$$

$$c = \frac{n_{\text{otopljena tvar}}}{V_{\text{otopina}}}$$

$$c_1 = \frac{m_{\text{otopljena tvar}}}{M_{\text{otopljena tvar}} \cdot V_{\text{otopina}}} = \frac{5,0 \text{ g}}{40,00 \text{ g mol}^{-1} \cdot 0,5 \text{ L}} = 0,25 \text{ mol L}^{-1}$$

$$c_1 \cdot V_1 = c_2 \cdot V_2$$

$$c(\text{NaOH}) = [\text{OH}^-] = 0,25 \text{ mol L}^{-1}$$

$$\text{pOH} = -\log[\text{OH}^-] = -\log(0,25) = 0,60$$

$$\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 - 0,60 = 13,40$$

- [
- 
- Izračunajte pH otopina mravlje kiseline koncentracija 1,77 i 0,017 mol L<sup>-1</sup>.  $K_a = 1,77 \times 10^{-4}$
- ]

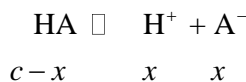
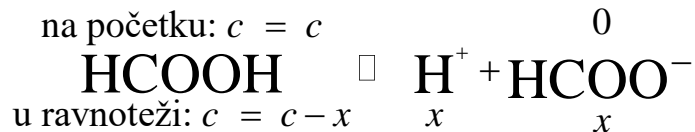
$$c(\text{mravlja kiselina}) = 1,77 \text{ mol L}^{-1}$$

$$c(\text{mravlja kiselina}) = 0,017 \text{ mol L}^{-1}$$

$$K_a = 1,77 \times 10^{-4}$$

$$\text{pH} = ?$$

na početku:  $c = c$



$$K_a = \frac{x^2}{c - x} \Rightarrow x = \sqrt{K_a \cdot c}$$

$$[\text{H}^+] = x = \sqrt{1,77 \cdot 10^{-4} \cdot 0,017} = 1,73 \cdot 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$$

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+] = -\log(1,73 \cdot 10^{-3}) = 2,76$$

Provjera računa kada se računa preko kvadratne jedndžbe:

$$x^2 + x \cdot K_a - K_a \cdot c = 0$$

$$x_{1,2} = \frac{-K_a \pm \sqrt{(K_a)^2 - 4 \cdot K_a \cdot c}}{2}$$

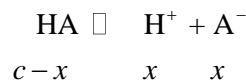
$$x_{1,2} = \frac{-1,77 \cdot 10^{-4} \pm \sqrt{(1,77 \cdot 10^{-4})^2 + 4 \cdot 1,77 \cdot 10^{-4} \cdot 0,017}}{2}$$

$$x_{1,2} = \frac{-1,77 \cdot 10^{-4} \pm 0,0035}{2}$$

$$x_1 = 1,66 \cdot 10^{-3} \text{ mol L}^{-1} \quad x_2 = -1,84 \cdot 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$$

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+] = -\log(1,66 \cdot 10^{-3}) = 2,78$$

$$\text{pogreška: } \left| \frac{1,73 \cdot 10^{-3} - 1,66 \cdot 10^{-3}}{1,66 \cdot 10^{-3}} \right| \cdot 100\% = 4,22\%$$



$$K_a = \frac{x^2}{c - x} \Rightarrow x = \sqrt{K_a \cdot c}$$

$$[\text{H}^+] = x = \sqrt{1,77 \cdot 10^{-4} \cdot 1,77} = 1,77 \cdot 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$$

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+] = -\log(1,77 \cdot 10^{-2}) = 1,75$$

Provjera računa kada se računa preko kvadratne jedndžbe:

$$x^2 + x \cdot K_a - K_a \cdot c = 0$$

$$x_{1,2} = \frac{-K_a \pm \sqrt{(K_a)^2 - 4 \cdot K_a \cdot c}}{2}$$

$$x_{1,2} = \frac{-1,77 \cdot 10^{-4} \pm \sqrt{(1,77 \cdot 10^{-4})^2 + 4 \cdot 1,77 \cdot 10^{-4} \cdot 1,77}}{2}$$

$$x_{1,2} = \frac{-1,77 \cdot 10^{-4} \pm 0,0354}{2}$$

$$x_1 = 1,76 \cdot 10^{-2} \text{ mol L}^{-1} \quad x_2 = -1,78 \cdot 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$$

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+] = -\log(1,76 \cdot 10^{-2}) = 1,75$$

$$\text{pogreška: } \left| \frac{1,77 \cdot 10^{-2} - 1,76 \cdot 10^{-2}}{1,76 \cdot 10^{-2}} \right| \cdot 100\% = 0,57\%$$

- [
- 
- ]
- Izračunajte pH otopina amonijaka koncentracija 1,0 i 0,001 mol L<sup>-1</sup>.  $K_b = 1,76 \times 10^{-5}$ .



$$K_b = \frac{x^2}{c-x} \Rightarrow x = \sqrt{K_b \cdot c}$$

$$[\text{OH}^-] = x = \sqrt{1,76 \cdot 10^{-5} \cdot 1,0} = 4,20 \cdot 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$$

$$\text{pOH} = -\log(4,20 \cdot 10^{-3}) = 2,37$$

$$\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 - 2,37 = 11,63$$

Provjera računa kada se računa preko kvadratne jedndžbe:

$$x^2 + x \cdot K_b - K_b \cdot c = 0$$

$$x_{1,2} = \frac{-K_b \pm \sqrt{(K_b)^2 - 4 \cdot K_b \cdot c}}{2}$$

$$x_{1,2} = \frac{-1,76 \cdot 10^{-5} \pm \sqrt{(1,76 \cdot 10^{-5})^2 + 4 \cdot 1,76 \cdot 10^{-5} \cdot 1,0}}{2}$$

$$x_{1,2} = \frac{-1,76 \cdot 10^{-5} \pm 0,0084}{2}$$

$$x_1 = 4,20 \cdot 10^{-3} \text{ mol L}^{-1} \Rightarrow \text{pOH} = -\log(4,20 \cdot 10^{-3}) = 2,37$$

$$\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 - 2,37 = 11,63$$

$$\text{pogreška: } \left| \frac{4,20 \cdot 10^{-3} - 4,20 \cdot 10^{-3}}{4,20 \cdot 10^{-3}} \right| \cdot 100\% = 0,0\%$$



$$K_b = \frac{x^2}{c-x} \Rightarrow x = \sqrt{K_b \cdot c}$$

$$[\text{OH}^-] = x = \sqrt{1,76 \cdot 10^{-5} \cdot 0,001} = 1,33 \cdot 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$$

$$\text{pOH} = -\log(1,33 \cdot 10^{-4}) = 3,87$$

$$\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 - 3,87 = 10,13$$

Provjera računa kada se računa preko kvadratne jedndžbe:

$$x^2 + x \cdot K_b - K_b \cdot c = 0$$

$$x_{1,2} = \frac{-K_b \pm \sqrt{(K_b)^2 - 4 \cdot K_b \cdot c}}{2}$$

$$x_{1,2} = \frac{-1,76 \cdot 10^{-5} \pm \sqrt{(1,76 \cdot 10^{-5})^2 + 4 \cdot 1,76 \cdot 10^{-5} \cdot 0,001}}{2}$$

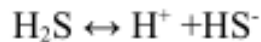
$$x_{1,2} = \frac{-1,76 \cdot 10^{-5} \pm 2,66 \cdot 10^{-4}}{2}$$

$$x_1 = 1,24 \cdot 10^{-4} \text{ mol L}^{-1} \Rightarrow \text{pOH} = -\log(1,24 \cdot 10^{-4}) = 3,91$$

$$\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 - 3,91 = 10,09$$

$$\text{pogreška: } \left| \frac{1,33 \cdot 10^{-4} - 1,24 \cdot 10^{-4}}{1,24 \cdot 10^{-4}} \right| \cdot 100\% = 72,58\%$$

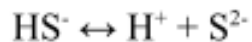
Kolika je koncentracija iona vodika u otopini  $\text{H}_2\text{S}$  u čistoj vodi, ako je  $c(\text{H}_2\text{S}) = 0,05 \text{ M}$ ? Vrijednosti konstanta ionizacije su:  $K_1 = 1,0 \times 10^{-7}$  i  $K_2 = 1,3 \times 10^{-13}$ .



$$K_1 = [\text{H}^+] [\text{HS}^-] / [\text{H}_2\text{S}]$$

pretpostavka 1)

$$[\text{H}^+] = [\text{HS}^-]$$



$$K_2 = [\text{H}^+] [\text{S}^{2-}] / [\text{HS}^-]$$

Ovo pojednostavljenje vodi do izračunavanja na isti način kao za monoprotonsku kiselinu:

$$K_1 = 1,0 \times 10^{-7} = \frac{[\text{H}^+]^2}{0,05 - [\text{H}^+]}$$

pretpostavka 2)

Ako je

$$[\text{H}^+] < 5 \% \text{ od } c(\text{H}_2\text{S}) \text{ tj. ako je } [\text{H}^+] < 2,5 \times 10^{-3}$$

tada je

$$[\text{H}^+] = (1,0 \times 10^{-7} \times 0,05)^{1/2} = 7,1 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$$



Provjera:

Budući je  $[H^+] = [HS^-]$ , koncentracija sulfid iona data je izrazom:

$$[S^{2-}] = \frac{K_2 \times [HS^-]}{[H^+]} = K_2 = 1,3 \times 10^{-13} \text{ mol/L}$$

Uz svaki sulfidni ion, nastao drugim disocijacijskim stupnjem također nastaje i hidronij. Zato je ukupna koncentracija  $H^+$ :

$$[H^+] = 7,1 \times 10^{-5} + 1,3 \times 10^{-13}$$

Budući je vrijednost  $1,3 \times 10^{-13}$  za ovaj slučaj beznačajna, možemo uzeti da je koncentracija  $H^+$  u otopini  $7,1 \times 10^{-5}$ . Dakle, **pretpostavka 1) je opravdana i prihvatljiva.**

# [ Puferi ]

- Henderson-Hasselbalchova rovnice
- Kapacita pufera

$$\text{pH} = \text{p}K_a + \log \frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$$

$$\beta = 2,303 \left\{ \frac{c_T \cdot K_a \cdot [\text{H}^+]}{([\text{H}^+] + K_a)^2} + \frac{K_w}{[\text{H}^+]} + [\text{H}^+] \right\}$$

$$\beta = 2,303 \frac{c_a \cdot c_b}{c_a + c_b}$$

Izračunajte pH amonijakalnog pufera koji se sastoji od 0,200 M  $\text{NH}_3$  i 0,300 M  $\text{NH}_4\text{Cl}$ . Koliko iznosi kapacitet navedenog pufera?  $K_b = 1,76 \times 10^{-5}$



$$K_a = \frac{K_w}{K_b} = \frac{1 \cdot 10^{-14}}{1,76 \cdot 10^{-5}} = 5,68 \cdot 10^{-10} \Rightarrow \text{p}K_a = 9,25$$

$$\text{pH} = \text{p}K_a + \log \frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$$

$$\text{pH} = 9,25 + \log \frac{0,200}{0,300}$$

$$\text{pH} = 9,07$$

$$\beta = 2,303 \frac{c_{\text{HA}} \cdot c_{\text{A}^-}}{c_{\text{HA}} + c_{\text{A}^-}} = 2,303 \frac{0,300 \cdot 0,200}{0,300 + 0,200}$$

$$\beta = 0,415$$