

## ANALITIČKA KEMIJA II

- uvodno predavanje
- općenito - uzorkovanje; norme i standardi; intelektualno vlasništvo
- BOLTZMANNOVA RAZDIOBA
- STATISTIKA - osnove
- EKSTRAKCIJA, KROMATOGRAFIJA - osnove
- ELEKTROANALITIČKE METODE
- SPEKTROSKOPIJA - osnove
- OPTIČKI INSTRUMENTI - osnove
- **OPTIČKI INSTRUMENTI - zadaci**

nositelj: prof.dr.sc. P. Novak  
održao: T. Jednačak, dipl. inž.  
sastavila: dr.sc.V. Allegretti Živčić; šk.g. 2012/13.

1. Izračunajte kut loma zračenja koje iz sredstva indeksa loma 1.14 ulazi u sredstvo indeksa loma 2.08 pod kutem od 38,2°.

$$\begin{aligned} n_1 &= 1.14 \\ n_2 &= 2.08 \\ \angle i &= 38.2^\circ \end{aligned}$$

$$n_1 = \frac{c}{v_1} \Rightarrow v_1 = \frac{c}{n_1} \quad n_2 = \frac{c}{v_2} \Rightarrow v_2 = \frac{c}{n_2} \quad \rightarrow \text{prema zraku}$$

$$n_2' = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad \rightarrow \text{sredstvo (2) prema sredstvu (1)}$$

$$n_2' = \frac{2.08}{1.14} = 1.825$$

$$n_2' = \frac{\sin i}{\sin l} \Rightarrow \sin l = \frac{\sin i}{n_2'}$$

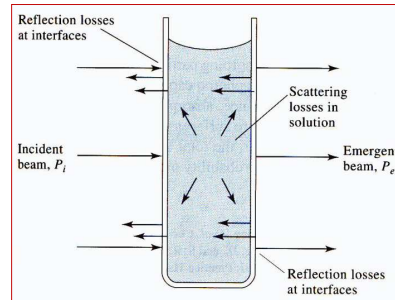
$$\sin l = \frac{\sin 38.2}{1.825} = 0.338 \quad \Rightarrow l = 19.8^\circ$$

2. Izračunajte udio reflektirane svjetlosti (u %) za slučaj kada snop vidljive svjetlosti pada okomito iz zraka na površinu običnog stakla ( $n = 1,50$ ).

$$\begin{aligned} n_1 &= 1,00 \\ n_2 &= 1,50 \end{aligned}$$

$$\text{formula: } \rho = \frac{I_R}{I_0} = \frac{(n_2 - n_1)^2}{(n_2 + n_1)^2}$$

$$\text{rješenje: } \rho = \frac{(1,50 - 1,00)^2}{(1,50 + 1,00)^2} = 0,040 \quad \Rightarrow \mathbf{4,0\%}$$



3. A) Izračunajte (u %) koliko vidljive svjetlosti prolazi kroz ploču od običnog prozirnog stakla paralelnih površina, uz uvjet da svjetlost pada okomito na ploču.

- iz prethodnog zadatka:

$$\text{intenzitet snopa zračenja smanjen je na prvoj plohi} \Rightarrow (I_0 - 0,040 I_0) = 0,960 I_0$$

- refleksijski gubitak na drugoj plohi  $\Rightarrow \frac{I_r}{0,960 I_0} = \frac{(1,50 - 1,00)^2}{(1,50 + 1,00)^2} = 0,040$

- ukupni refleksijski gubitak:  $0,400$  (prva ploha) +  $0,040$  (druga ploha) =  $0,080$

$$\Rightarrow \mathbf{8,0\%}$$

B) Izračunajte (u %) gubitak intenziteta zračenja do kojeg dolazi zbog refleksije snopa žute svjetlosti koji pada okomito na staklenu kivetu koja sadrži vodu. Pretpostavka za žutu svjetlost:  $n_{\text{staklo}} = 1,50$ ;  $n_{\text{voda}} = 1,33$ ;  $n_{\text{zrak}} = 1,00$ .

→ iz prethodnog zadatka:  $I_r / I_0 = 4\%$

intenzitet snopa zračenja smanjen je na prvoj plohi (zrak-staklo) ⇒

$$(I_0 - 0,040 I_0) = 0,960 I_0$$

→ druga ploha (staklo-voda):  $\frac{I_{r2}}{0,960 I_0} = \frac{(1,50 - 1,33)^2}{(1,50 + 1,33)^2} = 0,0036 \rightarrow I_{r2} = 0,0035 I_0$

→ treća ploha (voda-staklo):

intenzitet snopa se dalje smanjuje na  $(0,960 I_0 - 0,0035 I_0) = 0,957 I_0$

$$\frac{I_{r3}}{0,957 I_0} = \frac{(1,50 - 1,33)^2}{(1,50 + 1,33)^2} = 0,0036 \rightarrow I_{r3} = 0,0035 I_0$$

→ četvrta ploha (staklo-zrak):

intenzitet snopa smanji se na  $0,953 I_0$

$$\frac{I_{r4}}{0,953 I_0} = \frac{(1,50 - 1,00)^2}{(1,50 + 1,00)^2} = 0,0400 \rightarrow I_{r4} = 0,0038 I_0$$

→ ukupni refleksijski gubitak  $I_{rt} = 0,040 I_0 + 0,0035 I_0 + 0,0035 I_0 + 0,0038 I_0 = 0,085 I_0$

$$\frac{I_{rt}}{I_0} = 0,085 \rightarrow 8,5\%$$

4. Izračunajte debljinu interferencijskog filtra prvog reda s prozirnim filmom indeksa loma 1.512, koji propušta zračenje valne duljine 528 nm.

$$n = 1.512$$

$$\lambda = 528 \text{ nm}$$

$$m\lambda = 2tn \Rightarrow t = \frac{m\lambda}{2n} = \frac{1 \times 528 \text{ nm}}{2 \times 1.512} = 174.5 = 175 \text{ nm}$$

5. Interferencijski filter debljine dielektričnog sloja  $0.500 \mu\text{m}$  ima indeks loma 1.400. Koje valne duljine vidljivog i ultraljubičastog područja elektromagnetskog zračenja propušta taj filter? Kojem redu interferencije odgovaraju te valne duljine?

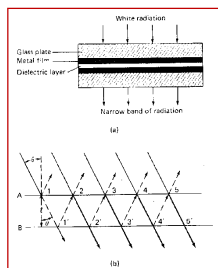
formula:

$$m\lambda = 2tn \\ \Rightarrow \lambda = 2tn/m$$

rješenje:

$m$	$\lambda, \text{ nm}$
1	1400
2	700
3	467
4	350
5	280
6	233
7	200

UV/VIS



6. Potrebno je izraditi interferencijski filter za izolaciju apsorpcijske vrpce  $\text{CS}_2$  pri  $4.54 \mu\text{m}$ .

- a) Koja je debljina dielektričnog sloja (indeks loma 1.34) potrebna, ako se izdvajanje navedene valne duljine mora temeljiti na prvom interferencijskom redu?  
 b) Koje će druge valne duljine propuštati takav filter?

$$\text{formula: } \lambda = 2tn/m \Rightarrow t = m\lambda/2n$$

rješenje:

a)  $t = 1,69 \mu\text{m}$

b)  $\lambda_2 = 2,27 \mu\text{m}$ ;  $\lambda_3 = 1,51 \mu\text{m}$ ;  $\lambda_4 = 0,57 \mu\text{m}$ ; itd.

7. Potrebno je napraviti refleksijsku difrakcijsku rešetku koja dispergira zračenje prvog reda valne duljine  $355 \text{ nm}$  pod kutom od  $-15,0^\circ$ , uz upadni kut od  $45,0^\circ$ . Odredite broj ureza po milimetru i razmak između ureza takve rešetke.

$$\text{formula: } m\lambda = d(\sin i + \sin \theta) \Rightarrow d = \frac{m\lambda}{\sin i + \sin \theta} ; \text{ broj ureza} = 1/d$$

$$\text{račun: } d = \frac{1 \times 355 \text{ nm}}{\sin 45^\circ + \sin(-15^\circ)} = 791,9 \text{ nm} \Rightarrow d = 792 \times 10^{-6} \text{ mm}$$

$$\text{broj ureza / mm} = \frac{1}{792 \times 10^{-6} \text{ mm}} = 1,26 \times 10^3 \text{ mm}^{-1}$$

rješenje:

$$\Rightarrow d = 792 \times 10^{-6} \text{ mm}$$

$$\Rightarrow \text{broj ureza / mm} = 1,26 \times 10^3 \text{ ureza/mm}$$

8. Difrakcijska rešetka duljine 2.0 cm ima 1000 jednako urezanih linija. Izračunajte kut koji obuhvaća spektar prvog reda vidljive svjetlosti od 400 do 750 nm.

formula:  $m\lambda = d \sin \Theta \Rightarrow \sin \Theta = m\lambda / d$

račun:

$$\sin \Theta_1 = \frac{400 \times 10^{-7}}{0,002} = 0,0200 \quad \Rightarrow \Theta_1 = 1^\circ 9'$$

$$\sin \Theta_2 = \frac{750 \times 10^{-7}}{0,002} = 0,0375 \quad \Rightarrow \Theta_2 = 2^\circ 9'$$

$$\Delta\Theta = 2^\circ 9' - 1^\circ 9' = 1^\circ$$

9. Koliko linija po milimetru će trebati imati rešetka čija se difrakcijska linija prvog reda za valnu duljinu od 500 nm promatra pod refleksijskim kutom od  $-40^\circ$  kada upadni kut iznosi  $60^\circ$ ?

formula:  $m\lambda = d(\sin i + \sin \Theta) \Rightarrow d = \frac{m\lambda}{\sin i + \sin \Theta}$

račun:

$$d = \frac{500 \times 10^{-6} \text{ mm}}{\sin 60^\circ + \sin(-40^\circ)} = \frac{500 \times 10^{-6} \text{ mm}}{0,866 + (-0,643)} = 2,24 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

$$\frac{1}{d} = \frac{1}{2,24 \times 10^{-3} \text{ mm}} = 446 \text{ mm}^{-1}$$

10. Prizma ima moć razlučivanja 6000 pri 350 nm. Kolika je najmanja međusobna udaljenost spektralnih linija pri toj valnoj duljini moguća, a da one budu razlučene?

po definiciji:  $R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}$

račun i rješenje:

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda}{R} = \frac{350nm}{6000} = 0,058nm \quad \Rightarrow \quad \Delta\lambda = 0,06 \text{ nm}$$

primjerice:

350,00 i 350,06 nm;

350,00 i 349,94 nm;

ili bilo koja kombinacija između tih graničnih vrijednosti

11. Usporedite veličinu a) kvarcne prizme, b) staklene prizme i c) rešetke s 1200 linija/mm, koje mogu razlučiti dvije litijeve emisijske linije pri 460.20 i 460.30 nm. Prosječne vrijednosti disperzije ( $dn/d\lambda$ ) kvarca i stakla u tom valnom području iznose  $1.3 \times 10^{-4}$  odnosno  $3.6 \times 10^{-4} \text{ nm}^{-1}$ .

prizma:  $R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = b \frac{dn}{d\lambda} \quad \Leftrightarrow \quad b = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} \times \frac{1}{dn/d\lambda}$

$$b = \frac{460.25nm}{(460.30 - 460.20)nm} \times \frac{1}{dn/d\lambda}$$

rešetka:  $R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = m \times N$

a) kvarcna prizma  $b = \frac{460.25nm}{(460.30 - 460.20)nm} \times \frac{10^{-7} cm/nm}{1.3 \times 10^{-4} nm^{-1}} = 3.5cm$

b) staklena prizma  $b = \frac{460.25nm}{(460.30 - 460.20)nm} \times \frac{10^{-7} cm/nm}{3.6 \times 10^{-4} nm^{-1}} = 1.3cm$

c) rešetka

za spektar prvog reda ( $m = 1$ )  $\Rightarrow N = \frac{460.25}{0.1 \times 1} = 4.60 \times 10^3 \text{ linija}$

$$\text{duljinarešetke} = \frac{4.60 \times 10^3 \text{ linija}}{1200 \text{ linija / mm}} \times \frac{0.1cm}{mm} = 0.38cm$$

rješenje:

razlučivanje se može postići pomoću

kvarcne prizme baze 3.5 cm
staklene prizme baze 1.3 cm
rešetke duljine 0.38 cm

12. Pretpostavite rešetku za infracrveno područje spektra sa 72.0 linije po milimetru i 10.0 mm osvijetljene površine. Izračunajte razlučivanje prvog reda te rešetke. Koliko udaljene ( $u \text{ cm}^{-1}$ ) moraju biti dvije linije centrirane pri  $1000 \text{ cm}^{-1}$  da ih je moguće razlučiti?

$\rightarrow$  u ovom slučaju:

$1/d = 72 \text{ ureza/mm}$ ; osvijetljena površina = 10,0 mm  $\Rightarrow$   
720 ureza / osvijetljenoj površini

$$R = m \times N = 1 \times 720 = 720$$

$$R = \frac{\bar{\nu}}{\Delta \bar{\nu}} = mN$$

$$\frac{1000 \text{ cm}^{-1}}{\Delta \bar{\nu}} = 720$$

$$\Delta \bar{\nu} = 1,39 \text{ cm}^{-1}$$

13. Za rešetku opisanu u prethodnom zadatku izračunajte valne duljine prvog i drugog reda difrakcijskog spektra pri refleksijskim kutovima od a)  $-20^\circ$ , b)  $0^\circ$  i c)  $+20^\circ$ . Pretpostavite postojanje upadnog kuta od  $50^\circ$ .

$$i = 50^\circ$$

$$m\lambda = d(\sin i + \sin r) \Rightarrow d = 1/72 = 1,39 \times 10^{-2} \text{ mm / urezu} = 13,9 \mu\text{m}$$

a)  $r = -20^\circ$

$$\lambda_1 = 13,9(\sin 50^\circ + \sin(-20^\circ)) = 5,89 \mu\text{m}$$

$$\lambda_2 = \frac{13,9}{2}(\dots) = 2,95 \mu\text{m}$$

b)  $\lambda_1 = 10,65 \mu\text{m}$   
 $\lambda_2 = 5,32 \mu\text{m}$

c)  $\lambda_1 = 15,4 \mu\text{m}$   
 $\lambda_2 = 7,7 \mu\text{m}$

14. Monokromator ima žarišnu udaljenost 1.6 m i kolimacijsko zrcalo promjera 2.0 cm. Disperzno sredstvo je rešetka s 1250 linija/mm. Koja je moć razlučivanja monokromatora za difrakciju prvog reda ako kolimirani snop osvjetljava 2.0 cm rešetke? Koja je recipročna linearna disperzija za prvi i drugi red opisanog monokromatora?

$$1250 \text{ linija / mm} \Rightarrow 1250 \text{ linija/mm} \times 10 \text{ mm/cm} \times 2 \text{ cm} = 2,5 \times 10^4 = N$$

$$R = m \times N = 1 \times 2,5 \times 10^4 = 2,5 \times 10^4$$

$$d = 1 / 1250 = 8 \times 10^{-4} \text{ mm} = 800 \text{ nm}$$

$$D^{-1} = \frac{d}{m \times F}$$

$$F = 1,6 \text{ m}$$

$$D_1^{-1} = \frac{800 \text{ nm}}{1 \times 1,6 \times 10^3 \text{ mm}} = 0,5 \text{ nm / mm}$$

$$D_2^{-1} = \frac{800 \text{ nm}}{2 \times 1,6 \times 10^3 \text{ mm}} = 0,25 \text{ nm / mm}$$



15. Monokromator žarišne udaljenosti 0.65 m sadrži ešeletnu rešetku s 2000 ureza/mm.

- a) Izračunajte recipročnu linearnu disperziju instrumenta za spektar prvog reda.  
 b) Koja je moć razlučivanja prvog reda ako je osvijetljeno 3.0 cm rešetke?  
 c) Koja se najmanja razlika u valnim duljinama može pri približno 560 nm teorijski potpuno razlučiti instrumentom?

a)  $d = (1 / 2000) \times 10^{-6} = 500 \text{ nm}$

$$D^{-1} = \frac{d}{m \times F} = \frac{500 \text{ nm}}{1 \times 0,65 \times 10^3 \text{ mm}} = 0,769 \text{ nm / mm}$$

b)  $N = 2000 \text{ linija/mm} \times 10 \text{ mm/cm} \times 3 \text{ cm} = 6 \times 10^4$

$$R = m \times N = 1 \times 6 \times 10^4 = \mathbf{6 \times 10^4}$$

c)  $\Delta\lambda = \frac{\lambda}{R} = \frac{560 \text{ nm}}{6 \times 10^4} = 9,3 \times 10^{-3} \text{ nm}$