

PRAKTICKÉ ÚLOHY Z ANALYTICKEJ CHÉMIE

Chemická olympiáda – kategória A – 57. ročník – školský rok 2020/21
Domáce a školské kolo – pomôcka pre učiteľov

Pavol Tarapčík

Pomôcka pre učiteľov a hodnotenie

Maximálne 25 bodov

Potrebné chemikálie s označením klasifikácie rizikových vlastností (GHS)

kyselina sírová (zriedený roztok 1:1),

H290 Môže byť korozívna pre kovy.

H314 Spôsobuje vážne poleptanie kože a poškodenie očí.

kyselina šťaveľová, tuhá látka

H302+H312 Zdraviu škodlivý pri požití alebo pri styku s kožou

H318 Spôsobuje vážne poškodenie očí

tuhý hydroxid sodný NaOH

H290 Môže byť korozívny pre kovy

H314 Spôsobuje vážne poleptanie kože a poškodenie očí

ZnSO₄, 12,5 % roztok

H302 Škodlivý po požití.

H318 Spôsobuje vážne poškodenie očí.

H410 Veľmi toxický pre vodné organizmy, s dlhodobými účinkami.

AgNO₃, 10 % roztok

H290 Môže byť korozívny pre kovy

H314 Spôsobuje vážne poleptanie kože a poškodenie očí

H410 Veľmi toxický pre vodné organizmy, s dlhodobými účinkami.

CaCl₂ 0,4 mol·dm⁻³ roztok

H319 Spôsobuje vážne podráždenie očí.

indikátory

tymolftaleín, – indikátorový roztok nie je nebezpečný

metyloranž – indikátorový roztok nie je nebezpečný.

brómfenolová modrá – indikátorový roztok nie je nebezpečný

brómkrezolová zeleň – indikátorový roztok nie je nebezpečný

Vypočítané potrebné hmotnosti na prípravu odmerných roztokov v úlohe 2:

kyselina šťaveľová

cca 1,5759 g

Vzorka (napríklad):

NaH ₂ PO ₄ ·2H ₂ O	156,02 g/mol	10 g
Na ₄ P ₂ O ₇ ·10H ₂ O	446,06 g/mol	15 g
		25 g

Vzorka môže byť iná, ale podobná z iných dostupných chemikálií, tak aby spotreby pri titráciách boli vhodné pre dané podmienky

Možné varianty realizácie podľa materiálnych podmienok

Ak je problémom chýbajúci AgNO₃ (vysoká cena) nemusí sa urobiť časť 4c Úlohy 2.

Ak je problémom chýbajúci tymoftaleínový indikátor, nemusí sa urobiť titrácia do 2.stupňa v časti 4a Úlohy 2 a v časti 4b Úlohy 2.

Celkové riešenie zloženia zmesi fosforečnanov je vo všetkých prípadoch možné.

Hodnotenie:

Pridelia sa pomocné body (pb)

Úloha 2

- | | |
|--|---------|
| - zistenie hustoty a práca s tabuľkami | 1 pb |
| - odhad a vysvetlenie v obdobnom duchu | 2 pb |
| - prípravný výpočet pre štandardizáciu | 1 pb |
| - konečný výpočet výsledkov | 6 pb |
| - hodnotenie za presnosť (platí aj pre ostatné titrácie) | do 5 pb |

Hodnotenie za presnosť = opakovateľnosť titrácií pri všetkých titráciách podľa maximálneho intervalu spotrieb relevantných titrácií (V4, V7 a V11),

0,1 cm³ – 5 pb;

0,2 cm³ – 3 pb;

0,4 cm³ – 1 pb.

čiže toto hodnotenie sa aplikuje 3x,

prípadné zahrnutie V8, V11a a V13 sa dá pridať (ak sa budú vykonávať) tak, že sa nezmení celkové bodové hodnotenie za položku presnosť.

- hodnotenie podľa správnosti dosiahnutého výsledku za celkový obsah fosforu a jednotlivé zložky (mono- a di-fosfát)

za každú zložku do 20 pb

Teda spolu max 60 pb

Dosiahnutá hodnota odchýlky vo výsledku:

interval 0 až 2 %:	20 pb
interval 2,1 až 4,0 %:	16 pb
interval 4,1 až 7 %:	12 pb
interval 7,1 až 10,0 %:	8 pb
interval 10,1 až 15,0 %:	5 pb
viac ako 15,1 %:	0 pb

Spolu **85 pb**

Úloha 1 sa týka znalostí, ktoré súvisia s praktickou činnosťou v tomto kole CHO. Má podporiť porozumenie problému, je určená na domáce samostatné štúdium a prípadnú konzultáciu medzi žiakmi a učiteľom. Aby samostatné štúdium bolo účinné, nie je vhodné poskytnúť žiakom riešenia vopred, najprv sa majú pokúsiť riešiť úlohy samostatne s dostupnou literatúrou. To platí aj pre **Úlohu 3**, kde je náplň všeobecnejšia.

Hodnotenie za úlohy 1 a 3 spolu sú maximálne 35 pb pri 100 % úspešnosti.

Výsledné hodnotenie v pomocných bodoch (pb) sa prepočíta na konečné body za analytiku použitím vzťahu: 1 pb = 0,20833 b.

Úloha 1: Acidobázické vlastnosti H_3PO_4 a $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$

Úloha/otázka 1a: Vyhľadajte v literatúre hodnoty rovnovážnych konštánt charakterizujúcich acidobázické rovnováhy týchto kyselín. Napíšte príslušné chemické rovnice. (0,7 pb)

Kyselina trihydrogenfosforečná je trojsýtna kyselina. Jej disociačným stupňom prislúchajú hodnoty $pK_{a1} = 2,15$, $pK_{a2} = 7,20$, $pK_{a3} = 12,35$. (pre $I = 0$, 25°C)

Kyselina tetrahydrogendifosforečná je štvorsýtna kyselina. Jej disociačným stupňom prislúchajú hodnoty $pK_{a1} = 0,8$, $pK_{a2} = 2,2$, $pK_{a3} = 6,7$, $pK_{a4} = 9,4$.

Úloha/otázka 1b: Podiel látkového množstva konkrétnej chemickej formy látky v sústave k jej celkovému množstvu je distribučný koeficient δ . Napíšte túto vetu ako matematický vzťah. (0,7 pb)

$$\delta_i = n_i / \sum n_i$$

Úloha/otázka 1c: Závislosť distribučných koeficientov od pH graficky vyjadruje distribučný diagram protolytickej rovnováhy. Nakreslite na základe poznatkov z literatúry distribučný diagram pre tieto dve látky. (2,1 pb)

Konkretizujme vzťah pre distribučný koeficient pre kyselinu fosforečnú:

Látková bilancia:

$$n(\text{celkové}) = n(\text{H}_3\text{PO}_4) + n(\text{H}_2\text{PO}_4) + n(\text{HPO}_4) + n(\text{PO}_4)$$

(pre zjednodušenie sú vynechané náboje iónov)

Z definície príslušných rovnovážnych konštánt

$$\begin{aligned} n(\text{H}_3\text{PO}_4) &= n(\text{H}_3\text{PO}_4) \\ n(\text{H}_2\text{PO}_4) &= K_{a1} \cdot n(\text{H}_3\text{PO}_4) \cdot [\text{H}^+] \\ n(\text{HPO}_4) &= K_{a2} \cdot n(\text{H}_2\text{PO}_4) \cdot [\text{H}^+] = K_{a1} \cdot K_{a2} \cdot n(\text{H}_3\text{PO}_4) \cdot [\text{H}^+]^2 \\ n(\text{PO}_4) &= K_{a3} \cdot n(\text{HPO}_4) \cdot [\text{H}^+] = K_{a1} \cdot K_{a2} \cdot K_{a3} \cdot n(\text{H}_3\text{PO}_4) \cdot [\text{H}^+]^3 \\ n(\text{celkové}) &= n(\text{H}_3\text{PO}_4) \{ 1 + K_{a1} \cdot [\text{H}^+] + K_{a1} \cdot K_{a2} \cdot [\text{H}^+]^2 + K_{a1} \cdot K_{a2} \cdot K_{a3} \cdot [\text{H}^+]^3 \} \\ n(\text{celkové}) &= n(\text{H}_3\text{PO}_4) \cdot Z, \text{ kde } Z = \{ 1 + K_{a1} \cdot [\text{H}^+] + K_{a1} \cdot K_{a2} \cdot [\text{H}^+]^2 + K_{a1} \cdot K_{a2} \cdot K_{a3} \cdot [\text{H}^+]^3 \} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta(\text{H}_3\text{PO}_4) &= 1/Z \\ \delta(\text{H}_2\text{PO}_4) &= K_{a1} \cdot [\text{H}^+] / Z \\ \delta(\text{HPO}_4) &= K_{a1} \cdot K_{a2} \cdot [\text{H}^+]^2 / Z \\ \delta(\text{PO}_4) &= K_{a1} \cdot K_{a2} \cdot K_{a3} \cdot [\text{H}^+]^3 / Z \end{aligned}$$

Analogicky sa zostavia vzťahy pre iné kyseliny

Tieto vzťahy sa použijú na výpočet pre rôzne pH ($[\text{H}^+]$) od 0 po 14 (10^0 až 10^{-14} mol/l). Výbornou pomôckou pre to je tabuľkový procesor EXCEL, kde sa dajú vytvoriť aj príslušné grafy.

Úloha/otázka 1d: V akom vzťahu sú rovnovážne konštanty disociácie K_a týchto kyselín a rovnovážne konštanty protonizácie K_H zodpovedajúcich aniónov? (0,7 pb)

$$K_H = 1 / K_a$$

a konkrétne pre H_3PO_4 : $K_{H3} = 1 / K_{a1}$; $K_{H2} = 1 / K_{a2}$; $K_{H1} = 1 / K_{a3}$

Úloha/otázka 1e: Čo je to termodynamická konštanta rovnováhy a podmienená konštanta rovnováhy? (pri ďalších úvahách a výpočtoch používajte len konštanty platné pre iónovú silu $I = 0$) (0,7 pb)

Termodynamická konštanta pre rovnováhu v roztoku je hodnota, ktorá je získaná pre štandardné (idealizované) podmienky – 25 °C a iónovú silu $I = 0$.

Podmienená platí pre dané experimentálne podmienky, môže zahŕňať aj vplyv vedľajších reakcií.

Úloha/otázka 1f: Za akých podmienok (pH) bude daná “látká” prakticky nedisociovaná (protonizovaná) a naopak, kedy bude úplne disociovaná? (1,4 pb)

Ak si zoberieme jednosýtnu kyselinu HA a uvažujeme ako “prakticky úplné” 99 %, potom HA prevláda ak platí $pH < pK_{a1} - 2$. a A^- prevláda ak $pH > pK_{a1} + 2$

Úloha/otázka 1g: Pri akých hodnotách pH existujú v roztoku prevládajúco jednotlivé formy daných látok ? (1,4 pb)

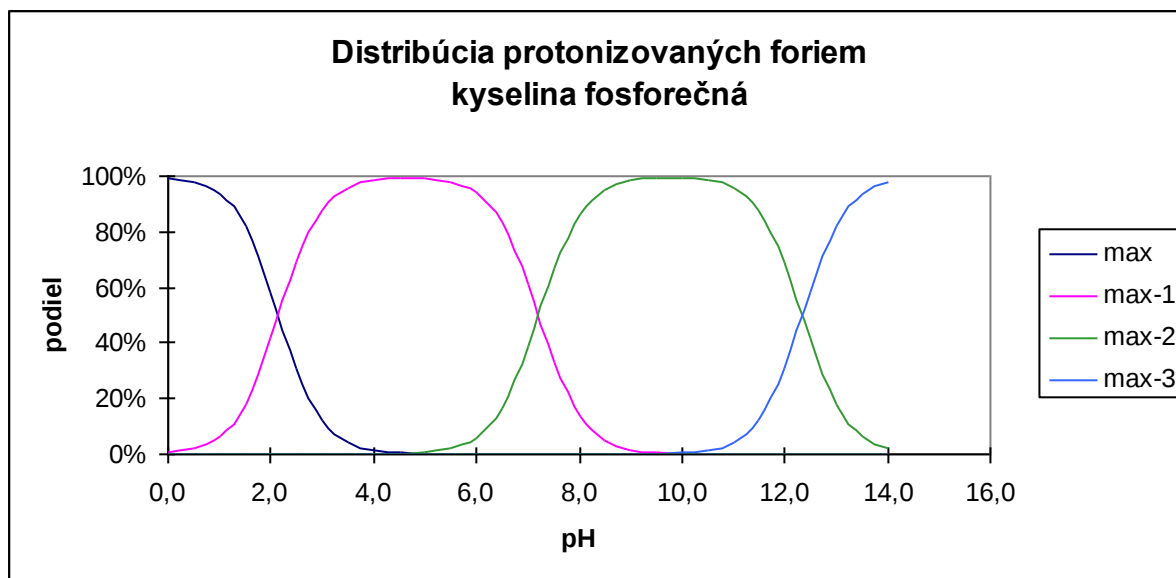
Kyselina trihydrogenfosforečná $pK_{a1} = 2,15$, $pK_{a2} = 7,20$, $pK_{a3} = 12,35$.

Teda pri $pH < 0,15$ je vo forme H_3PO_4 a pri $pH > 4,15$ a zároveň $pH < 5,2$ bude prevládať $H_2PO_4^-$

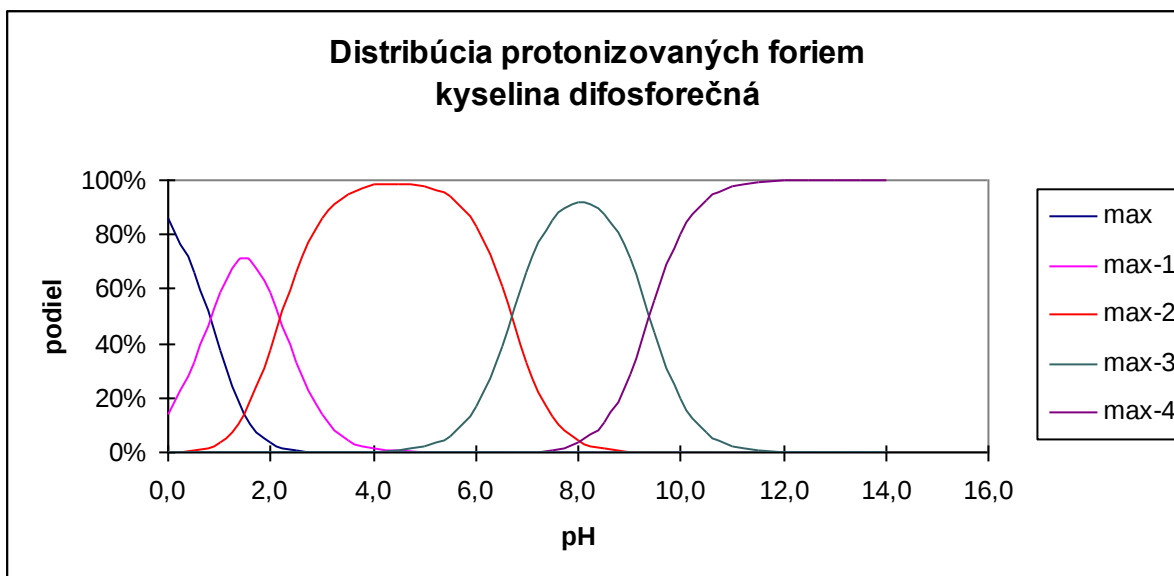
HPO_4^{2-} bude teda v intervale 9,2 až 10,35 a PO_4^{3-} bude v roztoku jedinou formou pri $pH > 14$

Kyselina tetrahydrogendifosforečná (H_4A) $pK_{a1} = 0,8$, $pK_{a2} = 2,2$, $pK_{a3} = 6,7$, $pK_{a4} = 9,4$.

Bude úplne protonizovaná len v extrémne koncentrovaných kyselinách, pod $pH = 4,2$ bude v zmesi foriem H_4A , H_3A^- , H_2A^{2-} a v intervale $pH 4,2$ až $4,7$ bude H_2A^{2-} prevládať, potom bude v roztoku zmes foriem a úplne disociovaná bude až pri $pH 11,4$



“max” znamená maximálne protonizovanú formu, “max – x” je forma po oddisociovaní x iónov H^+



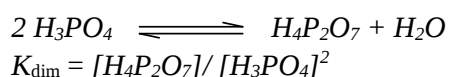
Úloha/otázka 1h: Pri akých hodnotách pH existujú v roztoku jednotlivé formy daných látok (dvoch za sebou nasledujúcich v postupnej disociácii) v približne rovnakých množstvách? (0,7 pb)

Napríklad, ak $n(\text{H}_2\text{PO}_4) = n(\text{H}_3\text{PO}_4)$, potom $n(\text{H}_3\text{PO}_4) = K_{a1} \cdot n(\text{H}_3\text{PO}_4) \cdot [\text{H}^+]$ a teda $\text{pH} = \text{p}K_{a1}$ a podobne zistíte aj iné dvojice.

Ak v sústave existujú tri po sebe nasledujúce látky, rovnaké množstvá krajných látok trojice sú pre $\text{pH} = (\text{p}K_{a(i+1)} + \text{p}K_{ai})/2$.

Úloha/otázka 1i: Napíšte rovnicu pre dimerizáciu kyseliny fosforečnej a ukážte výpočtom, že podiel dimérnej formy je malý (K_{dim} je približne 10^{-3}). (0,7 pb)

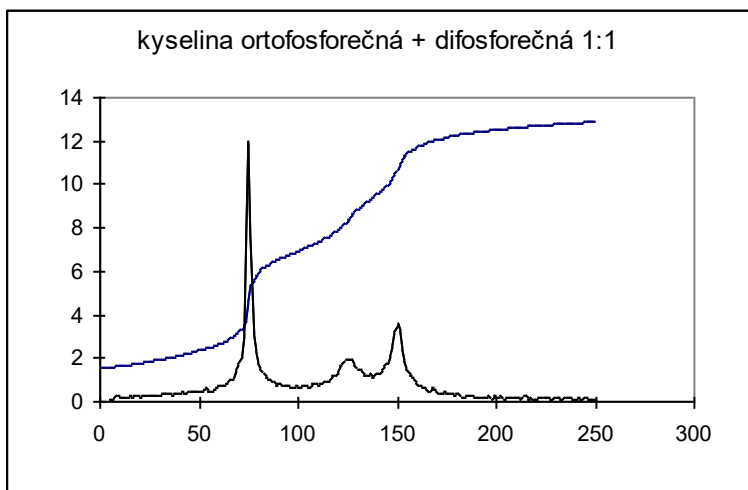
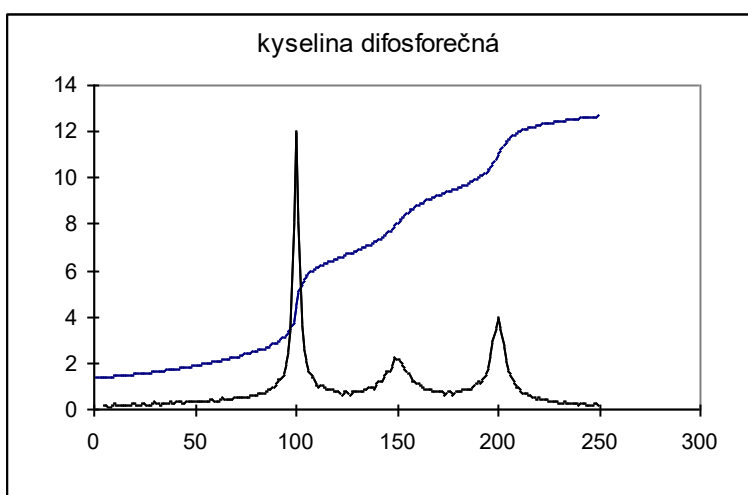
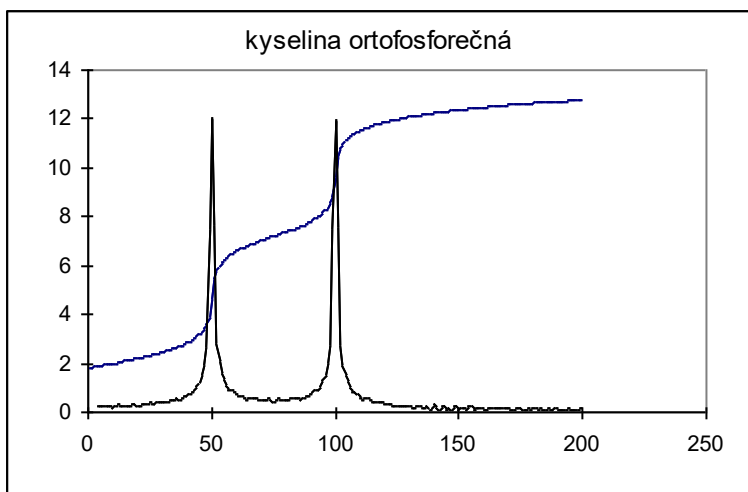
Rovnovážna konštanta reakcie dimerizácie kyseliny ortofosforečnej na kyselinu pyrofosforečnú má hodnotu približne 10^{-3} . Na to, aby prebehla dimerizácia v rozumnom čase je potrebné zvýšiť teplotu (200 °C)



Dimerizácia bude vyššia v koncentrovanejších roztokoch. Koncentrovaná kyselina fosforečná má koncentráciu asi $18 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$. Ak použijeme približné hodnoty $20 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ a $K_{\text{dim}} = 10^{-3}$, potom dostaneme koncentráciu $[\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7] = 0,4 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ a podiel je teda asi 2 %.

Úloha/otázka 1j: Zostrojte titračné krivky príslušných kyselín s NaOH (závislosť pH titrovanej zmesi od prídavku NaOH). Zostrojte tieto krivky aj pre zmes kyselín. Diskutujte možnosť vizuálnej (a inej) indikácie pri tejto titrácii. Pri tejto úlohe môžete použiť vhodné programy dostupné z literatúry alebo na internete. (2,1 pb)

Na tu zobrazených grafoch je schodovitá integrálna krivka a diferenciálna krivka vo forme pík



Z kriviek je zrejmé, že „čistá“ kyselina fosforečná sa dá titrovať do prvého stupňa aj do druhého stupňa na príslušné vizuálne indikátory. Kyselina tetrahydrogendifosforečná je titrovateľná do druhého stupňa, pričom vidíme len jeden skok pH, potom krivka nemá dostatočne veľké skoky pH. Obe látky sa titrujú do prvého skoku naraz (tá istá indikácia bodu ekvivalencie). V zmesi sa nedá využiť titrácia kyseliny fosforečnej do druhého stupňa, lebo spoločná titračná krivka nemá dostatočne strmé skoky pH.

Úloha/otázka 1k: Pri stanovení H_3PO_4 sa kvapalná vzorka kvantitatívne preniesla do 100 cm^3 odmernej banky a doplnila po značku destilovanou vodou. Na titráciu sa pipetovalo 20 cm^3 tohoto roztoku. Titrovalo sa na metyloranž a priemerná spotreba odmerného roztoku NaOH bola $9,65\text{ cm}^3$. Na štandardizáciu NaOH sa navážilo $0,6227\text{ g}$ dihydrátu kyseliny šťaveľovej do 100 cm^3 odmernej banky. Na titráciu sa odpipetovalo 10 cm^3 tohto roztoku, pričom priemerná spotreba NaOH bola $5,099\text{ cm}^3$. Vypočítajte hmotnosť H_3PO_4 v miligramoch vo vzorke. **(0,7 pb)**

Riešenie: ($m(\text{H}_3\text{PO}_4) = 532,9\text{ mg}$)

Úloha/otázka 1l: Pre každý titračný experiment pri Úlohe 2, ešte pred experimentom vypočítajte predpokladanú spotrebu odmerného roztoku. **(0,7 pb)**

Úloha 2: Stanovenie celkového obsahu fosforečnanu v hnojive.

Fosfátové priemyselné produkty môžu byť zmesou viacerých foriem fosforečnanov, Váš objekt merania je tuhá látka, kde fosfor má formu monofosforečnanu a difosforečnanu. Máte zistiť zastúpenie týchto dvoch foriem a celkové množstvo fosforu v materiáli.

Pomôcky:

kadičky $2 \times 150\text{ cm}^3$, $1 \times 250\text{ cm}^3$, odmerné valce $5, 10, 20\text{ cm}^3$, kvapkadlá (plastová Pasteurova pipeta) a pod., byreta 25 cm^3 , nedielikovaná pipeta $10, 25\text{ cm}^3$, $500, 250, 2 \times 100\text{ cm}^3$ odmerná banka, $2 \times 250\text{ cm}^3$ titračné banky, plastová fľaša $100 - 200\text{ cm}^3$, Erlenmayerova banka s úzkym hrdlom, 250 cm^3 , hodinové sklíčko alebo analytický lievik na uzavretie banky pri varení, zahrievanie (elektrická platňa alebo kahan a keramická sieťka), predvažovačky s presnosťou na miligramy alebo analytické váhy a pomôcky na váženie.

Chemikálie a roztoky:

tuhá $(\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (v kvalite p.a.), tuhý hydroxid sodný NaOH, roztok ZnSO_4 (12,5%), roztok AgNO_3 (10%), roztok CaCl_2 ($0,4\text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$) neutralizovaný na metyloranž,

indikátory: tymolftaleín, metyloranž (oblasť indikácie pri pH 3,0 až 4,4), (alternatívne brómfenolová modrá 3,0 až 4,6, brómkrezolová zeleň 3,8 až 5,4),
kyselina sírová (zriedená 1:1),
destilovaná voda.

Poznámka: Pri tejto alkalimetrickej práci sa v niektorých krokoch môže prejavíť vplyv oxidu uhličitého, ktorý sa zo vzduchu dostáva do alkalických chemikálií a roztokov. Preto je potrebná zvláštna príprava činidiel, najmä roztoku NaOH. Okrem toho, hydroxid sodný nemá vlastnosti základnej látky, lebo pohlcuje nie len vzdušný oxid uhličitý, ale aj vzdušnú vlhkosť a teda ako tuhá látka nemá presne definované zloženie. Roztok pripravený obvyklým spôsobom nemá presne známu koncentráciu, roztok musíme štandardizovať. Najčastejšie používanou základnou látkou je dihydrát kyseliny šťaveľovej.

Postup :

Pokyn: Pre jednotlivé titračné experimenty vykonajte dostatočný počet opakovaných stanovení (minimálne po tri opakované titrácie s dostatočne zhodným výsledkom).

1. Príprava odmerného roztoku NaOH ($0,15 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$)

Rozpúšťaním 50 g NaOH v 50 cm^3 destilovanej vody pripravte koncentrovaný (takmer nasýtený) roztok NaOH. V tomto roztoku je uhličitán sodný nerozpustný a usadí sa v podobe kalu na dne nádoby pri stáť roztoku. Po rozpustení perličiek hydroxidu opatrne prelejte pripravený roztok do plastovej fľaše a nechajte do druhého dňa stáť.

Bezpečnostné upozornenie: Pri práci dodržte bezpečný postup: Odvážený hydroxid sodný pridávajte do kadičky s destilovanou vodou postupne, pomaly a za stáleho miešania. Použite rukavice a okuliare, alebo bezpečnostný štít.

Pri ďalšej práci odoberajte roztok tak, aby ste nezvírili usadeninu na dne nádoby, teda z hornej vrstvy roztoku. Odmerajte približnú hustotu pripraveného roztoku. Odvážte prázdny suchý odmerný valec (10 cm^3) – hmotnosť m_0 . Plastovým kvapkadlom preneste koncentrovaný roztok do valca po značku – objem V) a zistite hmotnosť naplneného valca – m_1 .

Vypočítajte hustotu roztoku vo valci a uvažte, aká je presnosť tohto merania.

$$\rho = m/V, \text{ kde } m = m_1 - m_0$$

Približné zhodnotenie presnosti merania:

Ak vážime na váhach so zobrazovaním na mg, malo by byť zaručené váženie s presnosťou hmotnosťou $\pm 10 \text{ mg}$, teda ak hmotnosť roztoku bude 10 g relatívna presnosť hmotnosti bude asi 0,1 % ($10 \text{ mg}/10 \text{ g}$). Ak zvážime, že sme robili dve operácie váženia, aby sme získali požadovanú hmotnosť ako rozdiel hmotností, presnosť je horšia (asi 1,4x), ak ďalej zvážime, že hustota roztoku je viac ako hustota vody a objem odmernej nádoby je 10 cm^3 , meraná hmotnosť bude v skutočnosti väčšia a teda zlepši sa

relatívna presnosť. Tým sa vykompenzuje nepresnosť z procesu dvojnásobného merania. Teda odhad presnosti merania hmotnosti zostáva 0,1 %. Meranie objemu vo valci má výrobcom deklarovanú presnosť 1 %. Ak sa výsledok merania počíta ako podiel hodnôt, výsledná relatívna nepresnosť je daná ako odmocnina zo súčtu mocnín relatívnych nepresností oboch veličín. Ak v takomto vzťahu jedna z hodnôt je výrazne väčšia, výsledok sa blíži tejto hodnote a teda relatívna presnosť hustoty získaná týmto jednoduchým meraním je ± 1 %, teda napríklad $1,500 \pm 0,015 \text{ g.cm}^{-3}$

Krok 1b: Príprava bezuhlíčitánového odmerného roztoku NaOH

Podľa zistenej hustoty pripraveného koncentrovaného roztoku NaOH určite pomocou tabuliek jeho približnú látkovú koncentráciu.

Pripravte 500 cm^3 (V_0) asi $0,15 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ roztoku NaOH. Vypočítajte potrebné množstvo (objem V_1) koncentrovaného roztoku NaOH na prípravu požadovaného roztoku. Pomocou vhodného odmerného valca odmerajte približne vypočítané množstvo a v odmernej banke ho doplňte po značku prevarenou a rýchlo ochladenou deionizovanou vodou.

2. Príprava štandardného roztoku kyseliny šťaveľovej

Pripravte $250,00 \text{ cm}^3$ (V_2) asi $c_{\text{šť}} = 0,05 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ roztoku kyseliny šťaveľovej.

Vypočítajte potrebnú hmotnosť m_2 dihydrátu kyseliny šťaveľovej (základná látka) na prípravu tohto roztoku. Vypočítané množstvo odvážte s analytickou presnosťou a kvantitatívne ho rozpustíte v destilovanej prevarenej a ochladenej vode. V odmernej banke objemu V_2 doplňte roztok po značku destilovanou vodou. Vypočítajte presnú koncentráciu vami pripraveného štandardného roztoku.

$$m_2 = c_{\text{šť}} \cdot V_2 \cdot M_{\text{šť}} = 1,5759 \text{ g}$$

3. Štandardizácia odmerného roztoku NaOH (metóda podľa Bruhnsa):

Do titračnej banky pipetujte objem V_3 $25,00 \text{ cm}^3$ štandardného roztoku $(\text{COOH})_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ($0,05 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$), pridajte 25 cm^3 destilovanej vody, 1 až 2 kvapky indikátora metyloranž. Titrujte roztokom NaOH ($0,15 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$) do vymiznutia ružovej farby. Približne $0,2 \text{ cm}^3$ pred bodom ekvivalencie pridajte 10 cm^3 roztoku CaCl_2 ($0,4 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$) zneutralizovaného na metyloranž. Po pridaní CaCl_2 musí roztok získať svoje pôvodné svetloružové zafarbenie. Dokončite titráciu až do úplného vymiznutia ružovej farby (objem V_4). Vypočítajte presnú koncentráciu odmerného roztoku NaOH.

4. Stanovenie fosforečnanov vo vzorke materiálu

Tuhá vzorka obsahujúca fosforečnany sa rozpustí v nadbytku silnej kyseliny. Potom je možné stanoviť titráciou do I. stupňa súčet tohto nadbytku a kyseliny fosforečnej. Pokračovaním v titracii do II. stupňa sa zistí spotreba medzi I. a II. stupňom, ktorá zodpovedá obsahu samotnej kyseliny fosforečnej (resp. fosforečnanov v pôvodnej vzorke). To platí pre prípad, ak vzorka obsahuje len ortofosforečnany. V prítomnosti kondenzovaných fosforečnanov (polyfosfátov) je potrebná ich depolymerizácia. Povarením polyfosfátov so silnou kyselinou prebehne depolymerizácia v priebehu 30 minút (pri pH menej ako 1,4). Tým sa všetky fosfáty premenia na kyselinu monofosforečnú (nakoniec bude táto kyselina v zmesi s pridanou silnou kyselinou).

4a Stanovenie celkového obsahu fosforečnanov

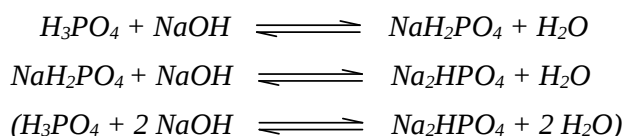
Do Erlenmeyerovej banky navážte $m_3 = 2,5$ g vzorky, pridajte 50 cm^3 vody a 4 cm^3 H_2SO_4 (1:1). Obsah banky povarte asi 30 minút. Po ochladení roztok prelejte do odmernej banky (V_5 , 100 cm^3) a doplňte po značku destilovanou vodou.

Na titráciu pipetujte $V_6 = 25 \text{ cm}^3$. Titrujte odmerným roztokom NaOH do 1. stupňa, teda na metyloranž, spotrebovaný objem V_7 . Zmenu sfarbenia je vhodné porovnávať s roztokom indikátora v porovnávacom roztoku NaH_2PO_4 s približne rovnakou koncentráciou, objemom a množstvom indikátora v rovnakej titračnej banke.

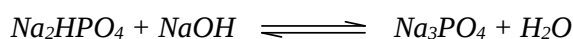
Doplňte byretu po nulovú značku. Potom pridajte indikátor tymolftaleín a zmes titrujte do druhého stupňa spotrebovaný objem V_8 . Žlté sfarbenie prvého indikátora a vznikajúce modré sfarbenie druhého indikátora poskytnú zelené sfarbenie v bode ekvivalencie.

Chemickými rovnicami osvetlite princíp stanovenia.

Rozdiel hodnôt pK_{a1} a pK_{a2} je dostatočne veľký, aby bolo možné titrovať kyselinu trihydrogenfosforečnú silnou zásadou osobitne do prvého a druhého stupňa a s vizuálnou indikáciou nasledujúco:



Priamu titráciu do tretieho stupňa vo vodnom prostredí s vizuálnou indikáciou podľa rovnice:



nemožno uskutočniť, pretože hodnota tretej disociačnej konštanty je príliš malá.

Titračná krivka je v bode ekvivalencie pre I. a II. stupeň pomerne strmá. Do I. stupňa titrujeme na metyloranž a do II. stupňa na fenolftaleín alebo tymolftaleín.

Príprava vzorky pre nasledujúci postup 4b alebo 4c:

Vzorku hmotnosti m_4 (asi 5 g) sa rozpustí vo vode a v odmernej banke 100 cm³ sa doplní po značku (V9)

4b Stanovenie obsahu difosforečnanov

Z roztoku vzorky sa pipetou odoberie 10,00 cm³ (V10) do titračnej banky, pridajte indikátor metyloranž (brómfenolová modrá pH = 3,8) a toľko kyseliny, aby sa práve zmenilo sfarbenie. Potom do titračnej banky z byrety pridávajte odmerný roztok hydroxidu práve do zmeny sfarbenia. Pridajte 10 cm³ 12,5% ZnSO₄·7H₂O s pH = 3,8. Pridaním ZnSO₄ sa vyzráža Zn₂P₂O₇. Zmes premiešavajte 2 minúty a titrujte znova odmerným roztokom NaOH do príslušnej zmeny sfarbenia, spotreba V11. Titrovať treba pomaly, stabilita sfarbenia má byť aspoň 5 minút. (Roztok obsahuje len ortofosforečnan, môže sa postupovať ďalej ako pri časti 4a - pridá sa tymolftaleín a ďalej titruje znova do príslušnej zmeny sfarbenia, spotreba V11a.)

Po zreagovaní silných kyselín (nadbytočný prídavok, H₃PO₄ a H₄P₂O₇) zostane v roztoku H₂PO₄⁻ a H₂P₂O₇²⁻. Vyzrážaním s Zn²⁺ sa do roztoku uvoľní dva ióny H⁺ na jeden difosfát (ako silná kyselina) zodpovedajúce množstvu difosforečnanu.

4c Stanovenie obsahu fosforečnanov

Z roztoku vzorky pipetou odoberie 10,00 cm³ (V12) do titračnej banky, pridajte indikátor metyloranž (brómfenolová modrá pH = 3,8) a toľko kyseliny, aby sa práve zmenilo sfarbenie. Potom do titračnej banky z byrety pridávate odmerný roztok hydroxidu práve do zmeny sfarbenia. Pridaním AgNO₃ (20 cm³ 10% roztoku AgNO₃) sa vyzráža Ag₃PO₄, sfarbenie sa mení na červenú. Byretu sa doplní po nulovú značku a zmes v titračnej banke sa titruje znova do príslušnej zmeny sfarbenia - spotreba V13.

Po zreagovaní silných kyselín (nadbytočný prídavok, H₃PO₄ a H₄P₂O₇) zostane v roztoku H₂PO₄⁻ a H₂P₂O₇²⁻. Vyzrážaním s Ag⁺ sa do roztoku uvoľní dva ióny H⁺ na jeden monofosfát (ako silná kyselina) zodpovedajúce množstvu monofosforečnanu.

Vyhodnotenie:

Vypočítajte hmotnostné (%) zastúpenie PO₄³⁻ a P₂O₇⁴⁻ a celkový obsah (%) fosforu v materiáli.

Úloha 3: Všeobecné chemické a súvisiace otázky/problémy s uplatnením v praxi analytickej chémie – domáce štúdium vyriešte nasledujúce podúlohy s využitím vhodnej literatúry a iných zdrojov informácií.

A) Všeobecne - odmerná analýza:

Úloha/otázka 3a: Definujte základnú látku v analytickej chémii. (0,7 pb)

Špeciálny prípad referenčného materiálu, ktorý je chemickým individuumom s vlastnosťami vhodnými na stanovenie presnej koncentrácie roztokov.

Úloha/otázka 3b: Vymenujte aké vlastnosti má mať základná látka pre odmernú analýzu? (0,7 pb)

Má mať vlastnosti

*Presne definované zloženie
Zanedbateľný obsah nečistôt
Pri reakcii používanej na stanovenie reaguje rýchlo a stechiometricky
Dobrá rozpustnosť vo vode
Veľká molekulová hmotnosť
Lahko detegovateľný priebeh reakcie
Stabilná v čase pri uskladnení
Má sa ľahko pripravovať v definovanej forme (čistiť)
Musí mať dostupné vhodné metódy kontroly kvality
Bezpečná a lacná*

Úloha/otázka 3c: Vymenujte základné látky používané v alkalimetrii a acidimetrii. (0,7 pb)

Alkalimetria: kyselina šťaveľová, hydrogenftalan draselný, kyselina benzoová, hydrogenjodičnan draselný a ďalšie.

Acidimetria: uhličitan sodný, hydrogenuhličitan sodný, tetraboritan disodný (borax), uhličitan tálly a ďalšie.

Úloha/otázka 3d: Čo rozumieme pod pojmom „štandardizácia roztoku“? (0,7 pb)

Zistenie presnej koncentrácie danej látky v odmernom roztoku porovnaním s vhodným referenčným materiálom (napríklad „základná látka“) alebo iným štandardným roztokom.

Úloha/otázka 3e: Uved'te, aký je rozdiel medzi pojmi „koncový bod titrácie“ a ekvivalentný bod titrácie“. (0,7 pb)

Koncový bod titrácie je stav, keď titráciu zastavíme na základe vizuálneho prejavu indikátora, ekvivalentný bod je stav, keď pridané množstvo činidla stechiometricky zodpovedá množstvu analytu. Nezhoda koncového a ekvivalentného bodu titrácie je tzv. titračná chyba.

Úloha/otázka 3f: Odmerný valec má v označení na povrchu nápis „ln“. Čo to znamená? (0,7 pb)

Odmerný valec je kalibrovaný tzv. na naplnenie, teda deklarovaný objem je objem kvapaliny vo vnútri valca po príslušnú značku. Ak chceme využiť presnosť valca, kvapalinu musíme kvantitatívne

vypláchnuť. Tak získame odmerané množstvo vo valci, ale zriedime ho „neistým“ objemom vyplachovadla. Vyliatím (teda použitím meradla ako typ „Ex“, hoci je typu „In“) z valca sa nedá pridávať presný požadovaný objem.

Úloha/otázka 3g: Opíšte podrobne postup merania objemu pomocou nedelenej pipety. (0,7 pb)

Pred vlastným odmeraním pipetovaného roztoku najprv pipetu vypláchneme odmeriavaným roztokom takto: do čistej kadičky odlejeme časť daného roztoku, potom do pipety nasajeme roztok a jej horný koniec okamžite uzavrieme ovlhčeným ukazovák. Po omytí stien pipety roztok z pipety vypustíme a ešte dvakrát uvedeným spôsobom pipetu vypláchneme. Pri vlastnom pipetovaní nasajeme odmeriavaný roztok nad objemovú značku a uzavrieme horný koniec. Čistou handrou alebo filtračným papierom utrieme zvonku dolný koniec pipety (ktorý bol ponorený do nasávaného roztoku) a prebytok roztoku necháme vytečť až po objemovú značku tak, že opatrne uvoľňujeme ukazovák. Znovu dávame pozor, aby sme neurobili paralaxnú chybu. Potom opatrne preniesieme pipetu s jej obsahom do pripravenej nádoby, dolný koniec pipety oprieme o stenu nádoby a necháme voľne vytečť jej obsah. Počkáme 15 až 50 s (podľa veľkosti pipety) a potom sa špičkou pipety ešte dotkneme stien nádoby. Pipety nikdy nevyfukujeme. V prípade, že sú na pipete dve značky, roztok vypúšťame dovtedy, kým sa dolná časť menisku nekryje s druhou značkou.

Úloha/otázka 3h: Pri čistení laboratórneho odmerného skla bola použitá horúca voda a sušilo sa za tepla. Bolo to správne? (0,7 pb)

Nie, ak chceme meradlo použiť v krátkej dobe. Teplom sa sklo rozťahne a spätné obnovenie objemu po vytemperovaní na laboratórnu teplotu vyžaduje dlhú dobu.

Úloha/otázka 3i: Pri príprave roztoku zriedenej kyseliny sírovej 1:2 experimentátor nalial do odmernej banky do tretiny vodu, pridal rovnaký podiel kyseliny a doplnil vodou po značku. Postupoval správne? (0,7 pb)

Nie, mal to urobiť v kadičke. Zaťažil tepelne sklené meradlo objemu, následný prídavok vody bol zrejme väčší ako predpokladal.

Úloha/otázka 3j: Pri napíňaní byrety zostali v trubici so stupnicou bublinky vzduchu, ktoré pri meraní (vypustení časti kvapaliny nad nimi) zostali na svojom mieste. Uvedte, aký bude výsledok merania, ak meranie bolo inak správne. (0,7 pb)

Aj keď sa bublinky nezúčastnili zdanlivo merania – vytekla kvapalina nad nimi bez pohybu bublín, v priebehu merania sa zmenil hydrostatický tlak a objem bublín sa zmenil, spotreba pri titrácii teda bola menšia ako odčítaná z byrety.

Úloha/otázka 3k: Pri napíňaní byrety zostala pod kohútom vzduchová bublina, ktorá pri titráciách zostala pod kohútom. Uvedte, aký bude výsledok merania, ak meranie bolo inak správne. (0,7 pb)

Jednotlivé titrácie sa môžu nepredvídateľne líšiť vzhľadom na stlačiteľnosť plynu v bubline.

Úloha/otázka 3l: Pri priamom titračnom stanovení experimentátor pri príprave odmerného roztoku nepremiešal dostatočne odmerný roztok v odmernej banke. Uvedte, ako sa to prejaví na výsledkoch experimentu. (0,7 pb)

Pri dopĺňaní odmernej banky je v hornej časti bez premiešania rozpúšťadlo resp. zriedený roztok. Ten sa použije v byrete ako prvý a pri experimente sa postupne obsah banky premiešava. Spotreby teda postupne klesajú.

Úloha/otázka 3m: Pri priamom titračnom stanovení experimentátor použil nevysušenú titračnú banku. Vysvetlite, ako sa to prejaví na výsledkoch experimentu. **(0,7 pb)**

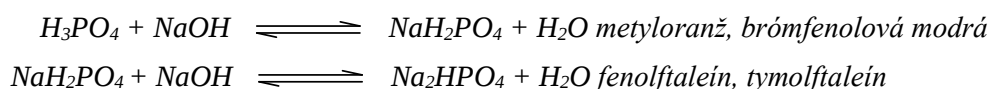
Nijako, nadbytočným rozpúšťadlom sa množstvo látky v banke nemení. Malá zmena koncentrácie experiment neovplyvní.

Úloha/otázka 3n: Pri opakovaných experimentoch z viacerých výsledkov získavate jeden reprezentatívny. Opíšte, ako ho určíte. **(0,7 pb)**

Ak je medzi získanými výsledkami odľahlá hodnota – vylúčime ju na základe štatistického testu alebo na základe „skúsenosti“

Z ostatných hodnôt určíme aritmetický priemer alebo medián (prostrednú z hodnôt zoradených podľa veľkosti).

Úloha/otázka 3o: Napíšte rovnice a vhodný indikátor alkalimetrického stanovenia H_3PO_4 do 1. a 2. stupňa. **(0,7 pb)**



Úloha/otázka 3p: Prečo podľa pracovného postupu nebola na prípravu koncentrovaného roztoku NaOH potrebná prevarená voda ako na prípravu zriedeného roztoku v tomto kroku? **(0,7 pb)**

V pripravovanom roztoku sa uhličitan sodný nerozpúšťa a klesne na dno. Ak použijeme vodu bez oxidu uhličitého, bude roztok bez kalu po príprave, ale v koncentrovanom roztoku sa bude absorbovať oxid uhličitý zo vzduchu a kal bude postupne vznikať a klesať na dno. Výsledok bude teda rovnaký len drahší. V zriedenom roztoku vznikne uhličitan sodný a zostane rozpustený a teda bude mať vplyv na reakcie pri použití tohto roztoku.

Úloha/otázka 3q: Vysvetlite, prečo je možné stanovenie H_3PO_4 titráciou zvlášť do 1. a do 2. stupňa? **(0,7 pb)**

Rozdiely disociačných konštánt sú dostatočne veľké, na titračnej krivke je vidieť dostatočne vysoké skoky pH na to, aby sa dali indikovať vizuálnymi farebnými indikátormi. Rovnako, na krivkách distribúcie foriem vidieť oblasť prevládania niektorej formy po disociácii H^+ iónov.

Úloha/otázka 3r: Vysvetlite, prečo nie je možné stanovenie H_3PO_4 jednoduchou titráciou do 3. stupňa? A ako by ste dosiahli prístupnosť tohto posledného vodíkového iónu reakcií s hydroxidom? **(0,7 pb)**

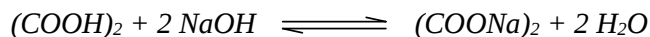
Disociácia tretieho iónu H^+ je charakterizovaná malou konštantou, takže úplná reakcia prebehne až pri extrémne vysokej alkalite, ktorá sa pri reálnych roztokoch nedosiahne.

Ak pridáme do sústavy napríklad AgNO_3 vznikne zrazenina fosforečnanu strieborného a v roztoku zostáva ekvivalentné množstvo HNO_3 , ktorá sa ako silná kyselina stitruje na fenolftaleín.

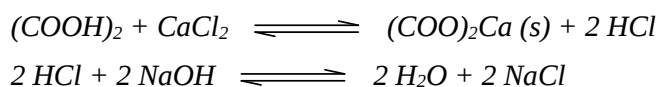
Úloha/otázka 3s: Vysvetlite zmysel použitia CaCl_2 v metóde štandardizácie roztoku NaOH podľa Bruhnsa. (1,4 pb)

Kyselina šťaveľová vo vodných roztokoch môže disociovať do dvoch stupňov. Hodnota disociačnej konštanty do prvého stupňa je $pK_1 = 1,25$, čo ju radí medzi silné kyseliny. Titrčný skok prvého stupňa je veľmi malý (približne 1 jednotka pH), preto je nutné titrovať kyselinu do druhého stupňa ($pK_2 = 4,3$). Potom sa ale môže prejaviť prítomnosť oxidu uhličitého v roztoku.

Rovnica štandardizácie odmerného roztoku NaOH na základnú látku $(\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$:



Potom bude pH v bode ekvivalencie v zásaditej oblasti. Pri štandardizácii podľa Bruhnsa sa prídavkom vápenatej soli (CaCl_2 vo forme roztoku zneutralizovaný na použitý indikátor) vyvráža šťaveľan vápenatý vo forme bielej zrazeniny a v roztoku zostane silná kyselina (HCl), ktorú titrujeme roztokom NaOH podľa rovnice:



Takto sa dá štandardizovať roztok NaOH na kyselinu šťaveľovú s indikátorom s farebným prechodom v kyslej oblasti.

Úloha/otázka 3t: Vysvetlite, prečo sa pri štandardizácii roztoku NaOH s roztokom $(\text{COOH})_2$ pridáva CaCl_2 až tesne pred dosiahnutím bodu ekvivalencie? (1,4 pb)

Na začiatku je roztok príliš kyslý, šťaveľanový anión je v protonizovanej forme a teda nie je dostatočne „prístupný“ pre zrážaciu reakciu. Pri titracii potom pri poklese acidity pokračuje zrážanie postupne, uvoľňujú sa ďalšie H^+ ióny a tým zmena pH stráca ostrosť. Farebný prechod je „rozťahnutý“.

B) Všeobecná chémia a „počty“

Úloha/otázka 3u: Rozhodnite, ktoré z týchto katiónov tvoria vždy farebné soli:

Cs^+ Cr^{3+} Ba^{2+} Cu^{2+} Al^{3+} Pb^{2+} (0,7 pb)

Úloha/otázka 3v: Rozhodnite, ktoré z týchto aniónov tvoria vždy farebné soli:

CrO_4^{2-} SO_4^{2-} IO_3^- SCN^- PO_4^{3-} Br^- (0,7 pb)

Úloha/otázka 3x: Ktoré katióny tvoria nerozpustné chloridy? (0,7 pb)

Ag^+ , Hg_2^{2+} , Pb^{2+} , Tl^+

Úloha/otázka 3y: Ktoré katióny tvoria nerozpustné sírany? (0,7 pb)

Ca^{2+} , Ba^{2+} , Sr^{2+} , Ra^{2+} , Pb^{2+}

Úloha/otázka 3w: Označte správne tvrdenie: Roztok (nie len vodný) je acidobázicky neutrálny ak:

a) $\text{pH} = 7$,

b) koncentrácia H^+ je $10^{-7} \text{ mol.dm}^{-3}$

c) koncentrácia $[\text{H}^+] = [\text{OH}^-]$,

(0,7 pb)

Úloha/otázka 3z: Definujte funkčnú oblasť acidobázického indikátora. (0,7 pb)

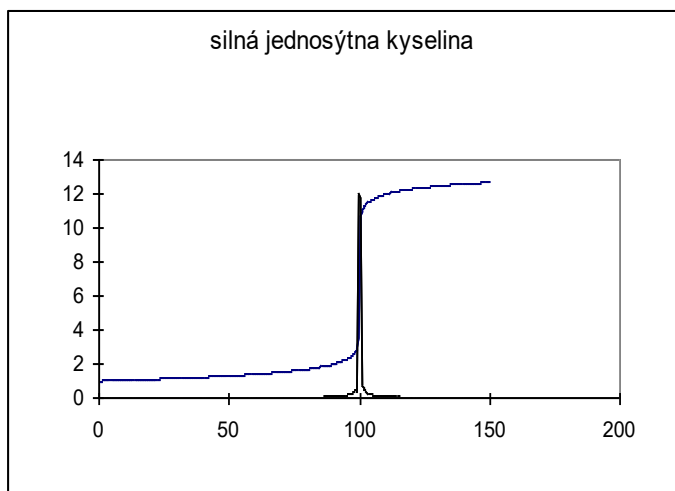
Je to interval pH v ktorom sa zmení forma indikátora z protonizovanej formy na deprotonizovanú, ktoré majú odlišné sfarbenie. Miera tejto zmeny je obvykle medzi 1:10 do 10:1.

Úloha/otázka 3aa: Čo môžeme zistiť z priebehu acidobázickej titračnej krivky?

(0,7 pb)

Teoretické krivky môžeme využiť na optimalizáciu podmienok titrácie a indikácie, výber indikátora alebo spôsobu inštrumentálnej indikácie. Namerané experimentálne krivky poskytnú bod ekvivalencie, a umožňujú študovať chemické reakcie (zistiť zloženie reagujúcich častíc, rovnovážne konštanty, čo sa týka reagentov, ale aj ovplyvňujúcich prímiesí.

Úloha/otázka 3bb: Sigmoidnú titračnú krivku v obvyklom tvare chápeme ako krivku v integrálnom tvare. Nakreslite najjednoduchšiu titračnú krivku v integrálnom tvare a zodpovedajúcu krivku v derivačnom (diferenciálnom) tvare. (0,7 pb)



Úloha/otázka 3cc: Zapíšte číslo 0,53 v tzv. vedeckej notácii (v exponenciálnom tvare) s tromi platnými číslicami. (0,7 pb)

$5,30 \cdot 10^{-1}$

Úloha/otázka 3dd: Uvedte, koľko platných číslic je v čísle 0,00260 ? (0,7 pb)

3

RIEŠENIE A HODNOTENIE PRAKTICKÝCH ÚLOH Z ORGANICKEJ CHÉMIE

Chemická olympiáda – kategória A – 57. ročník – školský rok 2020/21
Domáce a školské kolo

Samuel Andrejčák, Martin Putala, Matej Žabka

Maximálne 15 bodov

Úloha 1 (10 b)

Hmotnosť získaného produktu:

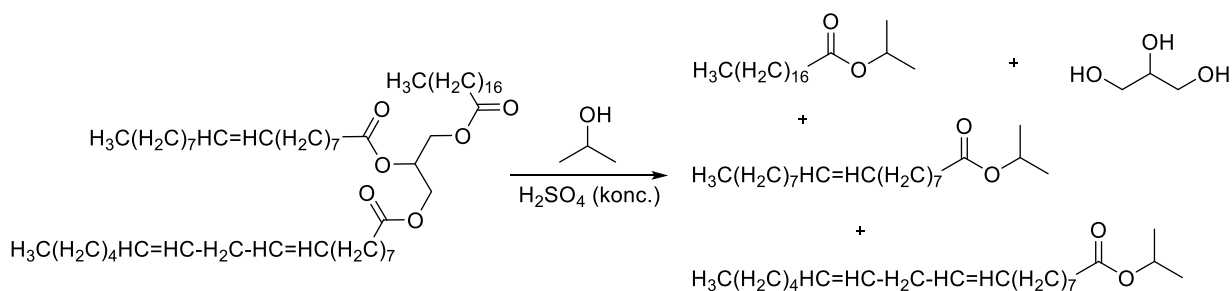
$8,0 \text{ g} \geq m \geq 13,0 \text{ g}$ plný počet bodov (10 b)

$m \leq 8,0 \text{ g}$ počet bodov = $m \times (10/8,0)$ b

$13,0 \leq m \leq 21,0 \text{ g}$ počet bodov = $10 - [(m - 13,0)/0,8]$ b

Úloha 2 (1,6 b = 16 x 0,1 b)

a) (7 x 0,1 b)



b) (4 x 0,1 b)

$$n(\text{rastlinný olej}) = \frac{m}{M} = \frac{V \cdot \rho}{M} = \frac{20 \text{ cm}^3 \cdot 0,92 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}}{884 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0,0208 \text{ mol} = \xi_1 \quad (0,1 \text{ b})$$

$$n(\text{iPrOH}) = \frac{m}{M} = \frac{V \cdot \rho}{M} = \frac{8 \text{ cm}^3 \cdot 0,79 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}}{60 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0,105 \text{ mol} \quad (0,1 \text{ b})$$

$$\xi_2 = \frac{0,105 \text{ mol}}{3} = 0,035 \text{ mol} \quad (0,1 \text{ b})$$

Limitujúcou látkou je rastlinný olej (0,1 b)

c) (4 x 0,1 b)

$$n(\text{rastlinný olej}) = \frac{n(\text{produkt})}{3} \quad (0,1 \text{ b})$$

$$\bar{M} = \frac{326 + 324 + 322}{3} = 324,55 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \quad (0,1 \text{ b})$$

$$m(\text{produkt}) = 3 \cdot n(\text{rastlinný olej}) \cdot \bar{M}(\text{produkt})$$

$$m(\text{produkt}) = 0,0208 \text{ mol} \cdot 324 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} = 20,2 \text{ g} \quad (0,1 \text{ b})$$

Výtťažok reakcie:

$$\frac{\text{reálna hmotnosť produktu}}{\text{teoretická hmotnosť produktu}} \cdot 100\% = \text{percentuálny výtťažok reakcie} \quad (0,1 \text{ b})$$

Výtťažok v % má byť zaokrúhlený na dve platné číslice, pri uvádzaní väčšieho počtu platných číslic strhnúť 0,05 b.

d) (0,1 b)

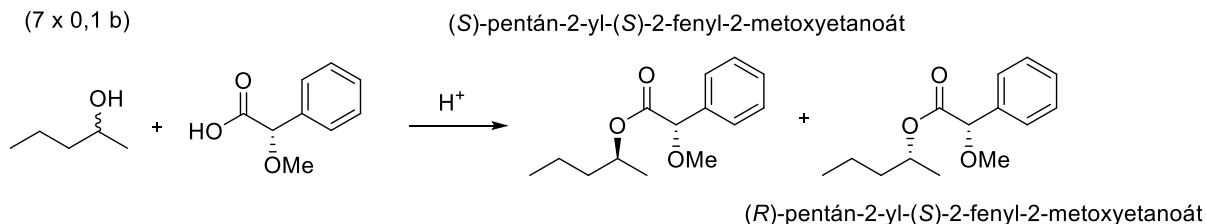
$$m(VL) = V(VL) \cdot \rho(VL) = 20 \text{ cm}^3 \cdot 0,92 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3} = 18,4 \text{ g}$$

$$\begin{aligned} \text{konverzia VL} &= \frac{\text{množstvo VL dodané do reakcie} - \text{izolované množstvo VL}}{\text{množstvo VL dodané do reakcie}} \cdot 100 \% \\ &= \frac{18,4 \text{ g} - 2,53 \text{ g}}{18,4 \text{ g}} \cdot 100 \% = 86 \% \end{aligned}$$

Úloha 3 (1,5 b = 15 x 0,1 b)

a)

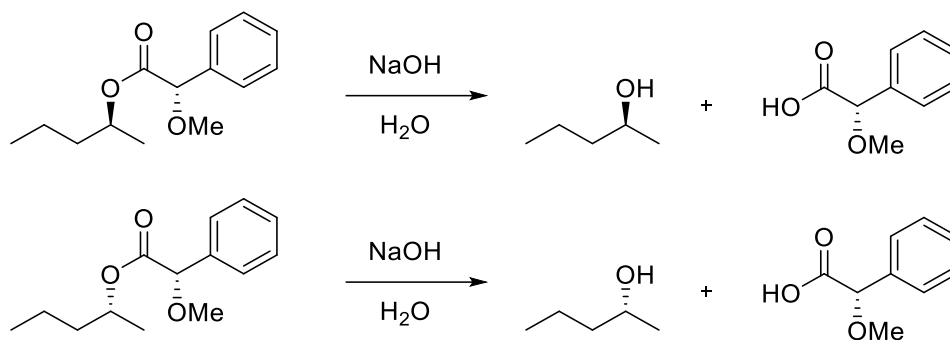
(7 x 0,1 b)



Oba produkty obsahujú dve stereogénne centrá, pričom sa líšia iba v jednom z nich, čiže sú to epiméry/diastereoméry (0,1 b). Diastereoméry sa líšia vo fyzikálnych a chemických vlastnostiach (0,1 b). Vďaka týmto rozdielnym vlastnostiam je možné ich rozdeliť pomocou chromatografie (0,1 b).

b)

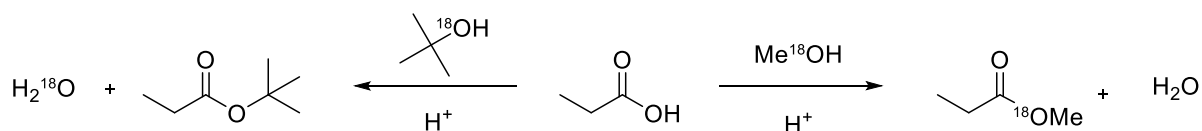
(4 x 0,1 b)



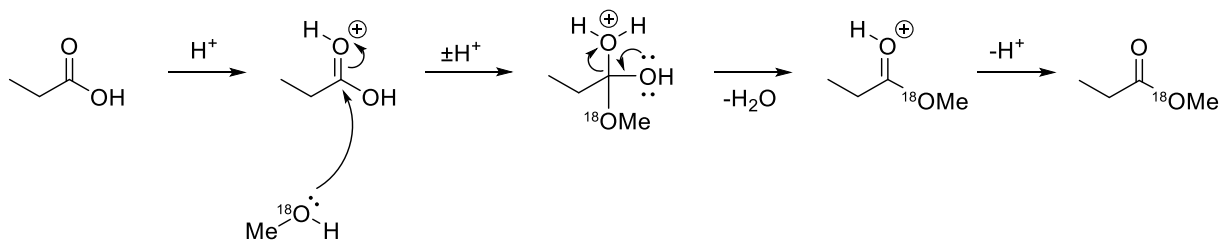
Takýto proces delenia enantiomérov sa nazýva rezolúcia (0,1 b).

Úloha 4 (1,0 b = 2 x 0,2 + 6 x 0,1 b)

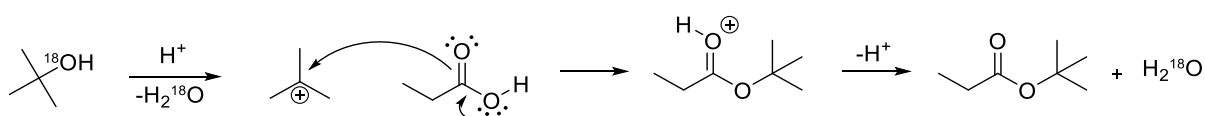
(2 x 0,2 b)



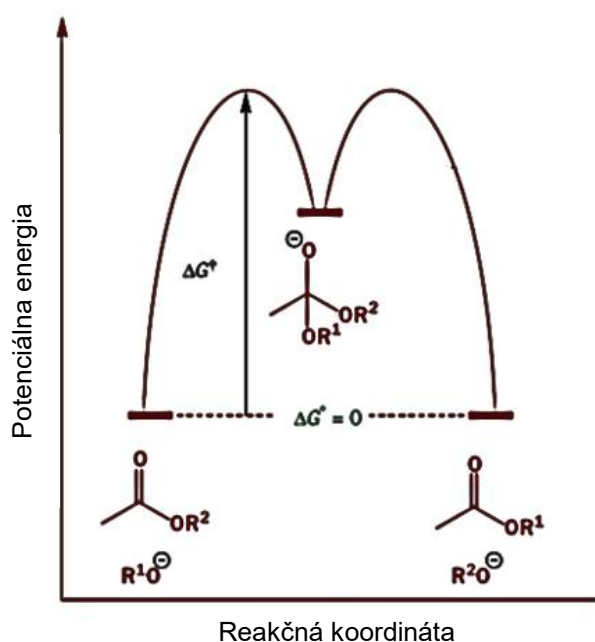
(3 x 0,1 b)



(3 x 0,1 b)



Úloha 5 (0,9 b = 2 x 0,2 b + 5 x 0,1 b)



Na základe ustálenia rovnováhy s rovnakým zastúpením východiskových látok a produktov možno usúdiť, že ich potenciálna energia je rovnaká. Pretože energie tranzitných stavov v prvom priblížení nezávisia od štruktúry alkoxidového aniónu, aj ich energie sú rovnaké a energetický diagram je symetrický (0,5 b).

Jedna z možností je použiť východiskový alkoxid v nadbytku oproti esteru. Ešte lepšou možnosťou je použiť

alkoxid a ako rozpúšťadlo alkohol od alkoxidu. V tomto prípade stačí iba katalytické množstvo alkoxidu pretože sa v priebehu reakcie regeneruje (0,2 b).

Rôzna teplota varu alkoholov je často využívaná vlastnosť pri transesterifikáciach. Ak sa ako alkoxid použije vyšší alkohol ako ten, ktorý je zabudovaný vo východiskovom esteri, je možné ho počas reakcie oddestilovať, čím sa zabezpečí, že spätná reakcia nie je možná (0,2 b).

Autori: Bc. Samuel Andrejčák, doc. RNDr. Martin Putala, PhD., RNDr. Pavol Tarapčík, CSc.,
Mgr. Matej Žabka, PhD.

Vedúci autorského kolektívu: doc. Ing. Ján Reguli, CSc.

Recenzenti: Ing. Elena Kulichová, doc. RNDr. Peter Magdolen, PhD.

Slovenská komisia chemickej olympiády

Vydal: IUVENTA – Slovenský inštitút mládeže, Bratislava 2020
