

SLOVENSKÁ KOMISIA CHEMICKEJ OLYMPIÁDY

CHEMICKÁ OLYMPIÁDA

62. ročník, školský rok 2025/2026

Kategória B

Krajské kolo

SÚŤAŽNÉ ÚLOHY

ÚLOHY ZO VŠEOBECNEJ A ANORGANICKEJ CHÉMIE

Chemická olympiáda – kategória B – 62. ročník – školský rok 2025 / 2026

Krajské kolo

Mgr. Henrich Kabzan

Katedra organickej chémie, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Komenského v Bratislave

Maximálne 30 bodov

Doba riešenia: 60 minút

Úloha 1 (14 b)

Jednou z najväčších a štruktúrne najrozmanitejších skupín zlúčenín bóru sú boritany. Zlúčeniny tohto typu sú tvorené základnými jednotkami BO_3 alebo BO_4 pospájanými prostredníctvom spoločných atómov kyslíka.

Boritany majú široké uplatnenie v priemysle a materiálových vedách.

- a) Nakreslite elektrónové štruktúrne vzorce uvedených boritanových aniónov: BO_3^{3-} , $\text{B}_2\text{O}_5^{4-}$, $\text{B}_3\text{O}_6^{3-}$, ($\chi_p(\text{B}) = 2,04$, $\chi_p(\text{O}) = 3,44$).

Pravdepodobne najvýznamnejším boritanom je minerál *bórax*. Je to bezfarebná alebo biela kryštalická látka využívaná pri výrobe detergentov a bieliacich prostriedkov. Uplatnenie našiel aj vo fotografickej chémii, ako konzervant kaviáru (E 285) v potravinárstve, pri výrobe rôznych druhov skla či optických vlákien. Táto zlúčenina sa často v priemysle a obchode uvádza pod nesprávnym vzorcom $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$. Z jeho štruktúry však vyplýva, že v skutočnosti ide o $\text{Na}_2[\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4] \cdot 8\text{H}_2\text{O}$. Zahrievaním *bóraxu* je však možné získať $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$.

- b) Nakreslite štruktúrny vzorec aniónu z *bóraxu* a určte koordinačné čísla všetkých atómov bóru. Ide o klasický komplex? Odpoveď v krátkosti zdôvodnite.
- c) Napíšte správny chemický názov *bóraxu*.
- d) *Bórax* je, podobne ako mnohé iné boritany, rozpustný vo vode. Z tohto dôvodu sa vyskytuje hlavne v suchých (arídnych) oblastiach. Vypočítajte koncentráciu látkového množstva sodných katiónov v nasýtenom roztoku, ktorý vznikol rozpustením 15,0 g *bóraxu* vo vode pri teplote 20 °C. Pri tejto teplote sa zistila rozpustnosť $s(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7) = 2,59 \text{ g}/100 \text{ g vody}$. $M(\text{H}) = 1,0079 \text{ g/mol}$, $M(\text{B}) = 10,811 \text{ g/mol}$, $M(\text{O}) = 15,999 \text{ g/mol}$, $M(\text{Na}) = 22,999 \text{ g/mol}$, $\rho(\text{R}) = 1,08 \text{ g/cm}^3$ (do postupu písať aj medzivýsledky, konečný výsledok zaokrúhlite na 2 desatinné miesta).

Bórax tiež slúži ako východisková surovina na výrobu iných zlúčenín bóru, ako aj samotného elementárneho bóru. Pri tomto procese sa *bórax* spracuje na kyselinu trihydrogenboritú (*sassolit*), z ktorej dehydratáciou a redukciou dostaneme elementárny bór. Kyselina trihydrogenboritá sa z *bóraxu* dá získať reakciou jeho vodného roztoku s kyselinou chlorovodíkovou, pričom ako vedľajšie produkty vznikajú dve binárne zlúčeniny, s ktorými sa stretávame v každodennom živote. Ochladením roztoku sa kryštalizáciou získa kyselina trihydrogenboritá.

- e) Napíšte rovnicu reakcie *bóraxu* s kyselinou chlorovodíkovou.
- f) Vypočítajte hmotnosť kyseliny trihydrogenboritej, ktorá vznikne reakciou 12,0 ton *bóraxu* s kyselinou chlorovodíkovou. Ak máte k dispozícii surový *bórax* obsahujúci 4,50 % nereagujúcej prímеси. $M(\text{H}) = 1,0079 \text{ g/mol}$, $M(\text{B}) = 10,811 \text{ g/mol}$, $M(\text{O}) = 15,999$

g/mol, $M(\text{Na}) = 22,999 \text{ g/mol}$ (do postupu písať aj medzivýsledky, konečný výsledok v tonách zaokrúhlite na jedno desatinné miesto).

- g) Vypočítajte hmotnosť bóru, ktorá sa dá získať z 12,0 ton surového *bóraxu* (obsahujúceho 4,5 % nereagujúcej prímеси). Uvažujte so stratami na úrovni 10,0 % (do postupu zapíšte aj medzivýsledky, konečný výsledok v tonách zaokrúhlite na jedno desatinné miesto).

Úloha 2 (11 b)

- a) Doplňte slovné odpovede. Všetky hydroxidy reagujú s kyselinami. Tento typ reakcie sa nazýva Niektoré hydroxidy však reagujú aj s nadbytkom roztoku alkalického hydroxidu. O týchto hydroxidoch hovoríme, že sú Medzi tieto hydroxidy patrí aj hydroxid hlinitý. V prírode sa hydroxid hlinitý vyskytuje ako minerál, ktorý je súčasťou horniny *bauxit*.
- b) Napíšte rovnice vyjadrujúce reakcie hydroxidu hlinitého v kyslom a silne zásaditom prostredí (zjednodušene: s kationmi H_3O^+ , resp. aniónmi OH^-).
- c) Na rozdiel od silných kyselín a silných zásad je hydroxid hlinitý vo vode len málo rozpustný. Vypočítajte koncentráciu látkového množstva hlinitých kationov v nasýtenom roztoku hydroxidu hlinitého, ak má jeho súčin rozpustnosti pri teplote 20 °C hodnotu $3,72 \cdot 10^{-33}$ (výsledok v mol/dm^3 zaokrúhlite na 2 desatinné miesta).
- d) Z hydroxidu hlinitého sa ďalej získava elementárny hliník, ktorý môže byť použitý na výrobu iných kovov z ich oxidov pri vysokej teplote. Ako sa nazýva tento proces? Napíšte rovnicu reakcie vyjadrujúcu získavanie mangánu z oxidu mangánato-dimanganitého týmto procesom.
- e) *Pyrop* je významný drahokam s náleziskami v Česku, kde sa z neho vyrábajú šperky už viac ako 500 rokov. Veľkú zbierku *pyropov* mal aj cisár Rudolf II. *Pyrop* z českých nálezísk sa často nazýva český granát. Ide o hlinito-horečnatý granát obsahujúci 30,0 % oxidu horečnatého, 25,3 % oxidu hlinitého a 44,7 % oxidu kremičitého. Určte empirický (stechiometrický) a oxidový vzorec *pyropu*. $M(\text{Mg}) = 24,305 \text{ g/mol}$, $M(\text{Al}) = 26,982 \text{ g/mol}$, $M(\text{Si}) = 28,086 \text{ g/mol}$, $M(\text{O}) = 15,999 \text{ g/mol}$.
- f) Typické sýtočervené sfarbenie *pyropu* (z gréckeho *pyropos*, čo znamená ohnivý) je spôsobené prímесou železa a ďalšieho prvku, ktorý je zodpovedný aj za sfarbenie rubínu. O prímес akého prvku ide?

Úloha 3 (5 b)

Na posúdenie stability a s tým súvisiacej tvorby komplexov je možné využiť teóriu tvrdých a mäkkých kyselín a zásad, ktorá je rozšírením Lewisovej teórie. Čím je Lewisova kyselina (z pohľadu koordinačnej chémie ide o centrálny atóm kovu) menší atóm s väčším kladným nábojom, tým je tvrdšia (napr. Fe^{3+} je tvrdší ako Fe^{2+} a Zn^{2+} je tvrdší ako Cd^{2+}). Pre Lewisove zásady (ligandy) vo všeobecnosti platí, že ak ich donorový atóm má vysokú elektronegativitu, sú tvrdé, zatiaľ čo tie s menej elektronegativnými donorovými atómami sú mäkké (napr. RO^- je tvrdý, zatiaľ čo RS^- je mäkký, R je nejaká funkčná skupina).

Táto teória nám tiež hovorí, že tvrdé kyseliny uprednostňujú pri tvorbe komplexov tvrdé zásady, zatiaľ čo mäkké kyseliny ochotnejšie reagujú s mäkkými zásadami. Takto vznikajú termodynamicky stabilnejšie komplexy. Termodynamická stabilita komplexov je charakterizovaná kumulatívnou konštantou stability (β_n). Je to rovnovážna konštanta komplexovotvornej reakcie ($\text{M} + n\text{L} \rightleftharpoons \text{ML}_n$; M – centrálny atóm kovu, L – ligand, $\beta_n = [\text{ML}_n]/([\text{M}][\text{L}]^n)$).

- a)** Sú dané komplexy prvkov 13. skupiny: $[\text{AlF}_3]$, $[\text{InF}_3]$, $[\text{GaF}_3]$ (molekuly vody ako ligandy sú vo vzorcoch vynechané) a hodnoty kumulatívnych konštánt stability (tvorby) komplexov: $\beta_3 = 3,98 \cdot 10^8$; $\beta_3 = 3,16 \cdot 10^{10}$; $\beta_3 = 1 \cdot 10^{15}$. Vychádzajúc z teórie tvrdých a mäkkých kyselín a zásad, priradte hodnoty konštánt k jednotlivým komplexom.
- b)** Doplňte slovné odpovede alebo sumárny vzorec. Tetrahydridohlinitan lítny sa využíva v organickej syntéze ako To znamená, že dokáže premieňať aldehydy na V organickej chémii našiel uplatnenie aj bromid hlinitý ako katalyzátor elektrofilných aromatických bromácií či Friedelových-Craftsových alkylácií. V tuhej fáze existuje bromid hlinitý ako so vzorcom vďaka čomu má atóm hliníka

ÚLOHY Z ORGANICKEJ CHÉMIE

Chemická olympiáda – kategória B – 62. ročník – školský rok 2025/2026

Krajské kolo

Mgr. Peter Šramel, PhD., Ing. Juraj Malinčík, PhD.

Katedra organickej chémie, PriF UK, Univerzita Komenského v Bratislave

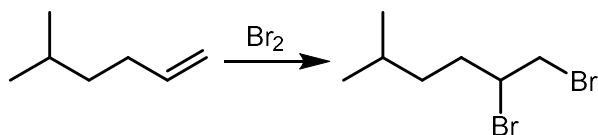
Maximálne 30 bodov

Doba riešenia: 60 minút

Úloha 1 (7 b)

Reaktivita alkánov je vo všeobecnosti veľmi nízka. Jednou z mála reakcií ktorým podliehajú je radikálová substitúcia. Vyžaduje experimentálne náročné reakčné podmienky ako sú vysoká teplota alebo vysoko energetické ultrafialové (UV) žiarenie. Týmto spôsobom sa v prvom stupni radikálovej substitúcie generujú radikály bromočného činidla, ktoré ďalej reagujú s molekulou alkánu v druhom stupni. Po vyčerpaní jednej zo zložiek reakcie nastáva tretí stupeň radikálovej substitúcie, nazývaný *terminácia*, ktorá ukončuje celý proces.

Radikálovej substitúcii môžu podliehať aj nenasýtené uhľovodíky, avšak situácia je komplikovanejšia z dôvodu konkurenčnej adičnej reakcie na násobnú väzbu. Alkény sú omnoho reaktívnejšie a elementárny bróm sa aduje na násobnú väzbu miesto radikálovej substitúcie. 5-Metylhex-1-én reakciou s brómom poskytuje produkt elektrofilnej adície na dvojtitú väzbu:



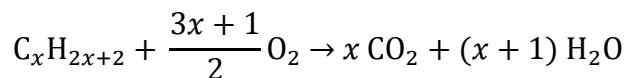
Tejto konkurenčnej reakcii sa dá zabrániť použitím činidla NBS (*N*-brómsukcínimid), ktoré umožňuje kontrolované a postupné uvoľňovanie radikálov v reakčnej zmesi. 5-Metylhex-1-én reakciou s NBS v prítomnosti UV žiarenia poskytuje zmes produktov radikálovej substitúcie.

- Napíšte názov stupňa radikálovej substitúcie, v ktorom vznikajú alkylové radikály.
- Nakreslite všetky možné radikálové intermediáty radikálovej bromácie 5-metylhexénu pomocou NBS v prítomnosti UV žiarenia.
- Napíšte a pomenujte všetky možné produkty radikálovej bromácie 5-metylhex-1-énu do prvého stupňa a vyznačte hlavný produkt reakcie pomocou krížika v príslušnom okienku odpoveďového hárku.

Úloha 2 (11 b)

Rozvetvený uhľovodík **A** je pri normálnom tlaku a laboratórnej teplote plyn. Jeho teplota varu (10 °C) je nižšia ako teplota varu lineárneho izoméru (36 °C). Zároveň je jeho teplota topenia (–17 °C) výrazne vyššia ako teplota topenia lineárneho izoméru (–130 °C). Uhľovodík **A** je veľmi horľavá látka a používa sa ako súčasť palivových zmesí za účelom zvýšenia oktánového čísla paliva. Vašou úlohou je identifikovať uhľovodík **A**.

Spálením 10,00 g uhľovodíka **A** pri normálnom tlaku a laboratórnej teplote vznikne 17,18 litrov plynného CO₂. Horenie všetkých nasýtených necyklických uhľovodíkov sa dá vyjadriť pomocou rovnice:



kde x je počet atómov uhlíkov v štruktúre uhľovodíka C _{x} H_{2 x +2}.

a) Vypočítajte hodnotu parametra x v štruktúre uhľovodíka **A**. Výsledok zaokrúhlite na celé čísla. Pre riešenie môžete použiť nasledujúce konštanty:

$$p^0 = 10^5 \text{ Pa}, R = 8,314 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}, T = 298,15 \text{ K}, A_r(\text{C}) = 12,011, A_r(\text{H}) = 1,008.$$

Plyn považujte za ideálny, a teda sa riadi podľa stavovej rovnice ideálneho plynu $p\cdot V = n\cdot R\cdot T$. Pomôcka: Mólová hmotnosť uhľovodíka **A** sa dá vyjadriť pomocou parametra x .

Radikálová chlorácia uhľovodíka **A** poskytuje jediný produkt **B**. Podobne, radikálová bromácia uhľovodíka **A** poskytuje jediný produkt **C**.

b) Nakreslite štruktúrne vzorce látok **A**, **B** a **C** a napíšte ich systémové názvy.

Úloha 3 (12 b)

Doplňte tabuľku v odpoved'ovom hárku:

a) uveďte názov, resp. štruktúrny vzorec jednotlivých východiskových látok,

b) napíšte štruktúry a názvy dominantných monohalogenovaných produktov vznikajúcich za daných reakčných podmienok.

Pomôcka: pre chloráciu predpokladajte vznik produktu z najstabilnejšieho radikálu.

PRAKTICKÉ ÚLOHY Z ANALYTICKEJ CHÉMIE

Chemická olympiáda – kategória B – 62. ročník – školský rok 2025/2026

Krajské kolo

Pavel Májek

Maximálne 40 bodov

Doba riešenia: 160 minút

Na úpravu kyslosti (pH muštu, vína) a na zvýšenie obsahu kyselín sa často používa aj zmes kyselín mliečna (E270) a jablčná (E296). Fyzikálne vlastnosti kyselín sú nasledovné:

kyselina mliečna, $C_3H_6O_3$, $CH_3-CH(OH)-COOH$, (LA), $pK_a = 3,86$, $M_r = 90,0779 \text{ g mol}^{-1}$,

kyselina jablčná, $C_4H_6O_5$, $HOOC-CH_2-CH(OH)-COOH$, H_2Ta , $pK_{a1} = 3,452$, $pK_{a2} = 5,097$, $M_r = 134,0874 \text{ g mol}^{-1}$.

Vašou úlohou bude stanoviť koncentráciu ekvimolárnej zmesi uvedených kyselín (EMix), použitých pri úprave kyslosti bieleho vína.

Experimentálna úloha (28 bodov)

Stanovenie ekvimolárneho zloženia zmesi organických kyselín

Pracovný postup:

- Príprava 100 cm^3 zásobného roztoku EMix: Roztok vzorky EMixu v odmernej banke doplníme po značku deionizovanou vodou a po premiešaní je vzorka pripravená na analýzu.
- Príprava 100 cm^3 $0,05 \text{ mol dm}^{-3}$ štandardného roztoku hydrogénftalanu draselného (KHP): Predvážené množstvo KHP, $M(C_8H_5KO_4 = 204,2212 \text{ g mol}^{-1})$ rozpustíme v kadičke a kvantitatívne preniesieme do 100 cm^3 odmernej banky. Po doplnení po značku deionizovanou vodou a premiešaní, vypočítame presnú koncentráciu štandardného roztoku.
- Odmerný roztok $0,05 \text{ mol dm}^{-3}$ NaOH: Na alkalimetrické stanovenie EMixu sa do 250 cm^3 kadičky odmerným valcom odoberie asi 150 cm^3 zásobného roztoku cca $0,05 \text{ mol dm}^{-3}$ NaOH.

Príprava byrety na titráciu: 25 cm^3 byretu po premytí deionizovanou vodou a odmerným roztokom NaOH doplníme roztokom na nulovú značku a byreta je pripravená na odmerné stanovenie.

- Štandardizácia odmerného roztoku NaOH: Do dvoch alebo troch titračných baniek odpipetujeme 15 cm^3 roztoku $C_8H_5KO_4$, pridáme odmerným valcom 15 cm^3 deionizovanej H_2O a pridáme 2 – 3 kvapky indikátora fenolftaleínu a premiešame. Roztok titrujeme s NaOH za stáleho miešania z bezfarebného do prvého bledoružového sfarbenia. Z priemernej alebo reprezentatívnej hodnoty spotreby NaOH vypočítajte látkovú koncentráciu odmerného roztoku.
- Stanovenie ekvimolárneho zloženia zmesi EMix: Do dvoch alebo troch titračných baniek odpipetujeme 10 cm^3 roztoku vzorky, pridáme odmerným valcom 20 cm^3 deionizovanej H_2O , 2 – 3 kvapky indikátora fenolftaleínu a premiešame. Roztok v banke titrujeme s odmerným roztokom NaOH za stáleho miešania z bezfarebného do prvého bledoružového sfarbenia. Z priemernej alebo reprezentatívnej hodnoty spotreby roztoku NaOH vypočítajte ekvimolárne zloženie a koncentráciu zmesi organických kyselín.

Úloha 1 (3 b)

Napíšte rovnice disociácie kyseliny mliečnej, $C_3H_6O_3$, (LA), kyseliny jablčnej $C_4H_6O_5$, (H_2Ta) a vyjadrite ich jednotlivé disociačné konštanty; vo vzťahoch použite molekulový alebo štruktúrny vzorec.

Úloha 2 (2 b)

Vysvetlite význam disociačnej konštanty kyselín a zásad v acidobázických rovnováhach.

Úloha 3 (3 b)

Navrhňte iný, vhodný, vizuálny acidobázický indikátor na indikáciu ekvivalentného bodu pri alkalimetrickom stanovení zmesi kyselín mliečnej a jablčnej (EMix); na základe akej vlastnosti sa výber indikátora uskutoční.

Úloha 4 (2 b)

Vysvetlite, prečo je vždy potrebné pripravený roztok NaOH štandardizovať.

Úloha 5 (1 b)

Vysvetlite, prečo je potrebné stanovenie zopakovať.

Úloha 6 (1 b)

Vysvetlite, prečo pri výpočte použijeme priemernú alebo reprezentatívnu hodnotu spotreby titračného činidla.

Pomôcky

byreta 25 cm³, pipeta 10 cm³ a 15 cm³, 2 (3) ks titračná banka 250 cm³, odmerná banka 100 cm³, 2 ks, kadičky: 250, 150 cm³ a 75 - 100 cm³, odmerný valec 25 cm³, strička, sklenená tyčinka, byretový lievik, laboratórny stojan, svorky, lapák, filtračný papier.

Chemikálie a roztoky

zásobný roztok NaOH (cca $c = 0,05 \text{ mol dm}^{-3}$), [H290, H314, H315, H319, S26, S37/39, S45],

hydrogénftalan draselný, $C_8H_5KO_4$, [H302, H315, H319, H335],

indikátor: fenolftaleín (0,1 % roztok) [H341-350-361, S(1/2-), S36/37-46],

deionizovaná voda.

Autori: Mgr. Henrich Kabzan, Mgr. Peter Šramel PhD., Ing. Juraj Malinčík, PhD., Ing. Pavel Májek, PhD.,
vedúci autorského kolektívu

Recenzenti: Ing. Simona Herdová, doc. RNDr. Martin Putala, PhD., Ing. Mária Kopáčová, RNDr. Marcel Tkáč

Vydal: NIVAM – Národný inštitút vzdelávania a mládeže, Bratislava 2025.