

CHEMICKÁ OLYMPIÁDA

58. ročník, školský rok 2021/2022

Kategória C

Domáce kolo

TEORETICKÉ ÚLOHY

ÚLOHY Z ANORGANICKEJ, VŠEOBECNEJ A ORGANICKEJ CHÉMIE

Chemická olympiáda – kategória C – 58. ročník – školský rok 2021/2022

Domáce kolo

Anna Drozdíková, Jarmila Kmet'ová, Lenka Kramarová

Maximálne 60 bodov

Úvod

V príprave na chemickú olympiádu v kategórii C sa treba v tomto školskom roku zamerať na oblasti: Základné charakteristiky chemických látok (hmotnosť, relatívna atómová resp. molekulová hmotnosť, molárna hmotnosť). Základy názvoslovia anorganických a organických zlúčenín. Výpočty z chemických vzorcov. Štruktúra atómov a iónov. Chemické reakcie a chemické rovnice. Vodík a jeho zlúčeniny. Protolytické reakcie, teórie kyselín a zásad, pH. Názvoslovie, vlastnosti, použitie a základné reakcie prípravy uhľovodíkov.

Úloha 1 (20 b.)

Úvod

Kyseliny a zásady sú dôležité látky, ktoré zohrávajú významnú úlohu v zdravotníctve, chemickom priemysle a tiež životnom prostredí. Pojem kyselina pochádza z latinského slova *acidus*, čo znamená *kyslý*. Citrusové ovocie, ako napríklad citróny, grapefruity sú kyslé práve kvôli obsahu kyseliny askorbovej známej ako vitamín C. Rovnako, za charakteristickú chuť octu je zodpovedná kyselina octová. Kyseliny sú aj súčasťou nášho tela, napríklad v žalúdku sa nachádza kyselina chlorovodíková, ktorá nám pomáha pri spracovaní potravy.

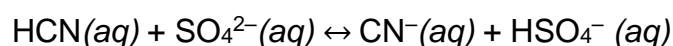
Zásady sú rovnako ako kyseliny súčasťou nášho každodenného života. Napríklad prípravky určené na uvoľnenie upchatých potrubí obsahujú hydroxid sodný (známy aj ako lúh). Hydroxid sodný patrí medzi najsilnejšie zásady a vo veľmi koncentrovanom stave je manipulácia s ním veľmi nebezpečná. Roztoky obsahujúce zásady sa označujú pojmom alkalické. Tento pojem pochádza z arabského *al-qali*, v preklade popol a odkazuje na popol ako pôvodný zdroj alkalických látok a to z toho dôvodu, že vodný roztok rastlinného popola nazývaný ako potaš, je kvôli obsahu uhličitanu draselného mierne zásaditý.

Kyseliny a zásady definujú dve významné teórie a to Arheniova teória kyselín a zásad a teória Brønstedova-Lowryho. Podľa Arheniovej teórie sú kyseliny látky schopné odštiepiť vo vodnom roztoku vodíkový katión H^+ . Napríklad kyselina chlorovodíková sa vo vodnom roztoku disociuje (štiepi sa) za vzniku katiónu vodíka H^+ a chloridového aniónu Cl^- . Práve vodíkový katión je zodpovedný za kyslé vlastnosti. Zásady sú podľa Arhenia látky, ktoré vo vodnom roztoku disociujú na katióny a hydroxidové anióny (OH^-). Napríklad hydroxid sodný vo vodnom roztoku disociuje za vzniku sodného katiónu Na^+ a hydroxidového aniónu (OH^-). Nevýhodou tejto teórie je, že sa vzťahuje len na vodné roztoky a neberie do úvahy reakciu medzi rozpúšťadlom a rozpúšťanou látkou. Aj na základe týchto skutočností vznikla teória Brønsteda a Lowryho, ktorá definuje kyseliny ako látky, ktoré sú darcami vodíkového katiónu H^+ a zásady ako látky, ktoré sú akceptormi (prijímateľmi) týchto vodíkových katiónov. Keďže atóm vodíka obsahuje jeden protón v jadre a jeden elektrón v obale, katión vodíka vzniknutý odovzdaním elektrónu označujeme aj ako protón, preto sú kyseliny definované tiež ako látky, ktoré odovzdávajú protón a zásady látky, ktoré protón prijímajú.

Ak sa podľa tejto teórie zmieša voda s kyselinou chlorovodíkovou, kyselina chlorovodíková odovzdá vodíkový ión jednému z nespárených elektrónových párov molekuly vody, čo vedie k vytvoreniu ďalšej väzby medzi atómom vodíka a atómom kyslíka za vzniku oxóniového katiónu H_3O^+ , ďalším produktom reakcie je chloridový anión Cl^- .

Riešte nasledujúce úlohy týkajúce sa kyselín a zásad:

- 1.1 Chemické reakcie, pri ktorých dochádza k prenosu protónov medzi kyselinou a zásadou sa nazývajú
- 1.2 Podľa teórie Brønsteda a Lowryho vzniká z molekuly kyseliny (K) odštiepením vodíkového katiónu molekula/ión, ktorý označujeme ako konjugovaná zásada (Z) a naopak z molekuly zásady vzniká konjugovaná kyselina. V chemickej rovnici vieme teda vyznačiť tzv. konjugované páry kyselín a zásad.
 - a) Identifikujte a vyznačte v nasledujúcej chemickej rovnici konjugované páry.



Konjugovaný pár (A):

Konjugovaný pár (B):

b) Pomenujte produkty a reaktanty vo vyššie uvedenej chemickej rovnici.

Reaktanty:

Produkty:

c) Na základe vyššie uvedenej chemickej reakcie doplňte vzorce v tabuľke.

	Vzorec
Kyselina	
Zásada	
Konjugovaná zásada	
Konjugovaná kyselina	

1.3 Kyseliny a zásady sa vo vode štiepia na príslušné ióny. Tento proces nazývame disociácia. Sila kyseliny je určená počtom molov oxóniových katiónov H_3O^+ , ktoré vznikajú disociáciou danej kyseliny. Sila zásady je určená počtom molov hydroxidových aniónov OH^- , ktoré vznikajú disociáciou danej zásady. Silné kyseliny a silné zásady vo vode disociujú úplne, zatiaľ čo slabé kyseliny a slabé zásady disociujú mierne a väčšina ich pôvodných molekúl disociácii nepodlieha.

Z uvedených dvojíc vyberte silnejšiu kyselinu.

a) $\text{H}_2\text{O}/\text{H}_2\text{CO}_3$

b) $\text{H}_3\text{O}^+/\text{NH}_4^+$

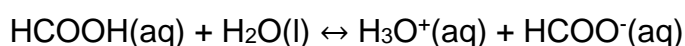
c) $\text{HCl}/\text{H}_2\text{SO}_4$

d) $\text{H}_3\text{PO}_4/\text{HSO}_4^-$

e) HBr/HNO_2

f) $\text{HCN}/\text{H}_2\text{CO}_3$

1.4 Ako sme uviedli vyššie, kyseliny majú rôznu silu v závislosti od toho, nakoľko podliehajú vo vode disociácii. Silné kyseliny vo vode disociujú úplne, preto neuvažujeme o chemickej rovnováhe. Slabé kyseliny disociujú vo vode len čiastočne, preto vzniknuté ióny v produktoch dosahujú s nedisociovanými molekulami chemickú rovnováhu. Ako príklad uvádzame chemickú rovnicu disociácie kyseliny metánovej (mravčej):



Disociačná konštanta kyselín K_a , sa vyjadruje ako pomer koncentrácií produktov ku koncentrácii reaktantov. Keďže voda je chemicky čistá kvapalina s konštantnou koncentraciou, v rovnici sa neuvádza. Napríklad disociačnú konštantu kyseliny mravčej vyjadrujeme nasledovne:

$$K_a = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{HCOO}^-]}{[\text{HCOOH}]}$$

Experimentálne bolo zistené, že pri teplote 25 °C má disociačná konštanta kyseliny mravčej hodnotu $1,8 \cdot 10^{-4}$.

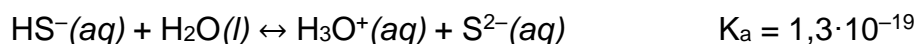
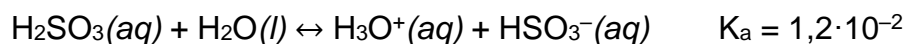
- Napíšte chemickú rovnicu disociácie kyseliny dusitej.
- Vyjadrite disociačnú konštantu K_a kyseliny dusitej.

1.5 Rozhodnite o pravdivosti nasledujúcich tvrdení. (Správne odpovede zakrúžkujte).

Silné kyseliny:

- sú vo vodnom roztoku úplne disociované,
- majú nízke hodnoty disociačnej konštanty K_a ,
- ich konjugované zásady sa považujú za silné,
- ich konjugované zásady sa považujú za slabé,
- vo vodnom roztoku podliehajú čiastočnej disociácii.

1.6 Na základe uvedených chemických rovníc odpovedajte na uvedené otázky.



- H_2SO_3 je (*silnejšia/slabšia*) kyselina než HS^- .
- Konjugovaná zásada kyseliny siričitej je
- Slabšiu konjugovanú zásadu má kyselina
- Silnejšiu konjugovanú zásadu má kyselina
- Z uvedených kyselín vytvára viac iónov kyselina

1.7 Pri chemických reakciách kyselín so zásadami má voda amfotérny charakter. To znamená, že môže reagovať aj ako kyselina aj ako zásada. V čistej vode prebieha chemická reakcia medzi dvoma molekulami vody za vzniku oxóniového katiónu H_3O^+ a hydroxidového aniónu OH^- :



Disociačná konštanta vody má vzhľadom na rovnovážny charakter koncentrácie vody tvar:

$$K_w = [\text{H}_3\text{O}^+] [\text{OH}^-]$$

Experimentálne sa zistilo, že koncentrácie $[\text{H}_3\text{O}^+]$ a $[\text{OH}^-]$ majú pri teplote 25 °C hodnotu $1 \cdot 10^{-7}$. Disociačná konštanta vody K_w má teda hodnotu $1 \cdot 10^{-14}$.

Hodnota disociačnej konštanty vody K_w sa využíva pri určovaní kyslosti a zásaditosti vodných roztokov.

Doplňte nasledujúce tvrdenia.

- a) Ak je koncentrácia $[\text{H}_3\text{O}^+]$ a $[\text{OH}^-]$ rovnaká, roztok je
- b) Ak je koncentrácia $[\text{H}_3\text{O}^+]$ vyššia než koncentrácia $[\text{OH}^-]$, roztok je
- c) Ak je koncentrácia $[\text{OH}^-]$ vyššia než koncentrácia $[\text{H}_3\text{O}^+]$, roztok je

1.8 Roztok octu má pri teplote koncentráciu $[\text{OH}^-] = 5 \cdot 10^{-12} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$. Vypočítajte koncentráciu $[\text{H}_3\text{O}^+]$ v danom roztoku.

1.9 Rozhodnite, ktoré z uvedených roztokov sú kyslé (K), zásadité (Z) alebo neutrálne (N).

- a) $[\text{H}_3\text{O}^+] = 6 \cdot 10^{-12} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$
- b) $[\text{OH}^-] = 3,5 \cdot 10^{-10} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$
- c) $[\text{H}_3\text{O}^+] = 1,4 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$
- d) $[\text{OH}^-] = 4,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$

1.10 Vypočítajte koncentráciu $[\text{OH}^-]$ uvedených vodných roztokov, ak máte k dispozícii hodnoty koncentrácie $[\text{H}_3\text{O}^+]$:

- a) sóda bikarbóna $1 \cdot 10^{-8} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$
- b) krv $4,2 \cdot 10^{-8} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$
- c) mlieko $5 \cdot 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$
- d) pankreatická šťava $4 \cdot 10^{-9} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$

Hoci sme vyjadrili kyslosť, zásaditosť a neutralnosť roztokov pomocou molárnych koncentrácií $[\text{H}_3\text{O}^+]$ a $[\text{OH}^-]$, je výhodnejšie na tieto účely používať škálu *pH*. Na *pH*

škále ktorá dosahuje hodnoty od 0 po 14, vyjadruje hodnota v tomto rozmedzí koncentráciu $[H_3O^+]$

1.11 Doplňte nasledujúce tvrdenia:

- a) Roztoky s hodnotou $pH < 7$ sú
- b) Roztoky s hodnotou $pH = 7$ sú
- c) Roztoky s hodnotou $pH > 7$ sú

1.12 Stupnica pH je logaritmická stupnica zodpovedajúca koncentrácii $[H_3O^+]$ vo vodných roztokoch. Matematicky je pH záporný logaritmus $[H_3O^+]$:

$$pH = -\log[H_3O^+]$$

V roztoku kyseliny acetylsalicylovej je koncentrácia $[H_3O^+] = 1,7 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$.
Vypočítajte pH daného roztoku.

1.13 Vypočítajte pH roztoku amoniaku NH_3 , ak koncentrácia

$$[OH^-] = 3,7 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$$

1.14 Vypočítajte koncentráciu $[H_3O^+]$ močoviny, ak hodnota $pH = 7,5$.

1.15 Stupnica pOH je podobná pH stupnici, až na to, že pOH odkazuje na koncentráciu $[OH^-]$ vo vodnom roztoku.

$$pOH = -\log[OH^-]$$

V každom vodnom roztoku sa súčet pH a pOH rovná hodnote 14 (záporný logaritmus disociačnej konštanty vody K_w).

$$pH + pOH = 14$$

Vypočítajte pOH roztoku s hodnotou pH 3,5.

Úloha 2 (20 b.)

Vodík, ktorého atómové jadro tvorí jeden protón, je najľahším a zároveň najrozšírenejším prvkom vo vesmíre. Po kyslíku a kremíku je tretím najrozšírenejším prvkom na Zemi, kde sa vo forme voľného plynu takmer nevyskytuje. Vodík je prvým členom periodickej sústavy prvkov. Za normálnych podmienok je vodík bezfarebný plyn bez zápachu, zložený z dvojatómových molekúl H_2 , v ktorých sú atómy vodíka viazané nepolárnou kovalentnou väzbou. Vo vode je málo rozpustný, lepšie sa rozpúšťa v nikli, paládiu a v platine, v ktorých sa pri rozpúšťaní štiepi na atómy. Sú známe tri izotopy vodíka líšiac sa počtom neutrónov v jadre.

Napriek veľmi jednoduchšej elektrónovej štruktúre atómu vodíka je jeho väzbovosť veľmi rozmanitá a často nezvyčajná. Odrhnutím jedného elektrónu z atómu vodíka vzniká kation H^+ , ktorý je však vďaka vysokej hodnote ionizačnej energie vodíka veľmi nestály. Voľný existuje vo výbojkových trubiciach, vo vodných roztokoch sa viaže na molekulu obsahujúcu voľný elektrónový pár (Lewisova zásada), napr. vo vode za vzniku oxóniového kationu H_3O^+ . Prijatím elektrónu od atómu s malou hodnotou elektronegativity vzniká hydridový anión H^- . Ak sú atómy vodíka viazané polárnou kovalentnou väzbou s atómami prvkov s veľkou hodnotou elektronegativity, môžu medzi týmito molekulami vznikáť vodíkové väzby. Takéto väzby nazývame intermolekulové vodíkové väzby. Vodíkové väzby môžu vznikáť aj vo vnútri jednej molekuly, nazývajú sa intramolekulové vodíkové väzby (napr. *o*-nitrofenol). Vodík sa zlučuje s takmer všetkými prvkami, s výnimkou vzácnych plynov a niektorých prechodných prvkov. Vodík vo všeobecnosti pôsobí ako redukovo, pri vyšších teplotách vyredukuje kovy z ich oxidov, halogenidov a sulfidov. Môže pôsobiť aj ako oxidovo, a to pri reakciách s kovmi, ktoré majú malé hodnoty elektronegativity za tvorby hydridov.

2.1 Určite názvy zlúčenín:

- a) LiH
- b) H_2S
- c) HF
- d) $Na[BH_4]$

2.2 Určite vzorce zlúčenín:

- a) hydrid vápenatý
- b) plumbán
- c) kyanovodík
- d) fosfán

2.3 Určite oxidačné čísla atómov prvkov v zlúčeninách:

- a) azán/amoniak
- b) hydrid draselný
- c) tetrahydridohlinitan lítny
- d) metán

2.4 Napíšte názvy troch izotopov vodíka a uveďte ich nukleónové čísla.

2.5 Určite správne tvrdenia:

- a) Vodík má veľmi podobné chemické vlastnosti ako alkalické kovy.
- b) Atómy prvkov sú v katióne NH_4^+ viazané kovalentnou väzbou.
- c) Hydridy sú binárne zlúčeniny vodíka s inými prvkami okrem vzácnych plynov a niektorých prechodných kovov.
- d) Vodík sa prepravuje v tlakových nádobách označených červeným pruhom.

2.6 Vysoká hodnota väzbovej energie molekuly vodíka je príčinou pomerne nízkej reaktivity vodíka. S väčšinou prvkov preto vodík nereaguje alebo len pri zvýšenej teplote, prípadne za prítomnosti katalyzátorov. Vyberte, ktoré z chemických reakcií budú prebiehať. Reakčné schémy doplňte a upravte na chemické rovnice.

- a) $\text{Ca} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow$
- b) $\text{Ag}_2\text{S} + \text{H}_2 \rightarrow$
- c) $\text{Cu} + \text{HCl} \rightarrow$
- d) $\text{CO} + \text{H}_2 \rightarrow$

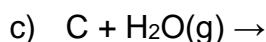
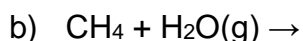
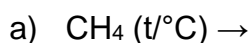
2.7 V laboratóriu sa vodík môže pripraviť napr. elektrolýzou vody, reakciou zriedených silných neoxidujúcich kyselín s neušľachtilými kovmi, resp. roztokov hydroxidov alkalických kovov s tými neušľachtilými kovmi, ktorých hydroxidy majú amfotérny charakter. Vodík vzniká aj hydrolýzou hydridov alkalických kovov alebo kovov alkalických zemín, či reakciou prvkov s^1 a s^2 s vodou a reakciou menej ušľachtilých kovov s vodnou parou.

Reakčné schémy upravte na chemické rovnice.

- a) $\text{CaH}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow$
- b) $\text{Na} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow$
- c) $\text{Fe} + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow$
- d) $\text{Zn} + \text{NaOH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow$

2.8 Priemyselne sa vodík vyrába predovšetkým reakciou vodnej pary s rozžeraveným koksom za vzniku zmesi tzv. vodného plynu, z ktorej sa oxid uhoľnatý odstraňuje ochladením alebo za prítomnosti katalyzátora (oxidy železa, kobaltu alebo chrómu). Vodík sa tiež vyrába z uhľovodíkov, rozkladom nasýtených uhľovodíkov získavaných z ropy a zemného plynu, alebo ich reakciou s vodnou parou. Získať je ho možné aj ako vedľajší produkt pri elektrolýze vodného roztoku chloridu sodného, takto získaný vodík sa vďaka svojej čistote využíva v potravinárstve (stužovanie tukov).

Reakčné schémy upravte na chemické rovnice.



2.9 Napíšte najvýznamnejšie použitie vodíka v rôznych odvetviach priemyslu či praktického použitia.

2.10 Napíšte klasifikáciu hydridov.

2.11 Vypočítajte hmotnosť vzniknutého vodíka, ak zreaguje 40 g 25 % roztoku H_2SO_4 s horčíkom. $M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98,078 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $M(\text{H}_2) = 2,016 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

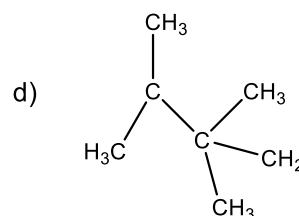
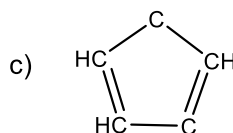
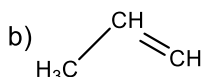
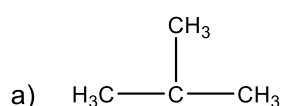
Úloha 3 (20 b.)

Uhl'ovodíky sú najjednoduchšie organické zlúčeniny. Sú zložené iba z uhlíka a vodíka. Môžu obsahovať jednoduché alebo násobné väzby, ich reťazec môže byť lineárny alebo rozvetvený a môžu tiež vytvárať cyklické zlúčeniny. Používajú sa hlavne ako palivá a na výrobu plastov.

Vyriešte nasledujúce úlohy týkajúce sa uhl'ovodíkov:

3.1 Koľkými väzbami sa viaže uhlík v organických zlúčeninách?

3.2 Opravte chyby v nasledujúcich vzorcoch uhl'ovodíkov:



3.3 Opravené zlúčeniny z časti 3.2 pomenujte.

3.4 Určte správne tvrdenia. Atóm uhlíka, ktorý v molekule zlúčeniny viaže:

- a) jeden atóm uhlíka, sa nazýva primárny,
- b) tri atómy vodíka, sa nazýva terciárny,
- c) dva atómy uhlíka, sa nazýva sekundárny,
- d) štyri atómy vodíka, sa nazýva kvartérny,
- e) tri atómy uhlíka, sa nazýva terciárny.

3.10 Vypočítajte objem kyslíka potrebného na úplné spálenie 100 cm³ pentánu za normálnych podmienok.

$$M_r(\text{pentán}) = 72,15; \rho(\text{pentán}) = 0,626 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$$

Odporúčaná literatúra

1. G. I. Brown: Úvod do anorganické chemie, 1. vyd., SNTL, Praha, 1982
2. J. Gažo a kol.: Všeobecná a anorganická chémia, 3. vyd., Alfa, Bratislava, 1981
3. J. Heger, I. Hnát, M. Putala: Názvoslovie organických zlúčenín. 1. vyd., SPN, Bratislava, 2004
4. J. Kandráč, A. Sirota: Výpočty v stredoškolskej chémii, 2. vyd., SPN, Bratislava, 1995
5. J. Kmeťová a kol.: Chémia pre 1. ročník gymnázia so štvorročným štúdiom a 5. ročník gymnázia s osemročným štúdiom, 1. vyd., EXPOL PEDAGOGIKA, Bratislava, 2010
6. G. Ondrejovič a kol.: Anorganická chémia, Alfa, Bratislava, 1993
7. M. Prokša, J. Tatiersky, A. Drozdíková: Anorganická chémia, 1. vyd., SPN, Bratislava, 2009
8. J. Reguli, M. Linkešová, J. Slanicay: Pôvod názvov chemických prvkov, 1. vyd., FCHPT STU, Bratislava, 2001.
9. P. Silný, M. Prokša: Chemické reakcie a ich zákonitosti, 1. vyd., SPN, Bratislava, 2006
10. A. Sirota, E. Adamkovič: Názvoslovie anorganických látok, 1. vyd., SPN, Bratislava, 2003
11. J. Vacík a kol.: Chémia pre 1. ročník gymnázií, 5. vyd., SPN, Bratislava, 1994
12. H. Vicenová, M. Ganajová: Chémia pre 9. ročník základnej školy a 4. ročník gymnázia s osemročným štúdiom, 1. vyd., EXPOL PEDAGOGIKA, Bratislava, 2012

Autori: PaedDr. Anna Drozdíková, PhD. (vedúca autorského kolektívu), doc. RNDr. Jarmila Kmeťová, PhD., Mgr. Lenka Kramarová

Recenzenti: PaedDr. Dana Kucharová, PhD., prof. RNDr. Vladimír Zeleňák, DrSc.

Redakčná úprava: PaedDr. Anna Drozdíková, PhD.

Slovenská komisia Chemickej olympiády

Vydal: IUVENTA – Slovenský inštitút mládeže, Bratislava 2021