

OLYMPIÁDA MLADÝCH VEDCOV

**olympiáda
mladých
vedcov** | www.ijso.sk

Letná príprava účastníkov súťaže IJSO VZOROVÉ RIEŠENIA NESÚŤAŽNÝCH ÚLOH

Termín odovzdania: 17.09.2023

Povolené pomôcky: písacie potreby, internet. Nebojte sa využiť plný potenciál Google :)

*Riešenia príkladov (pokojne aj čiastočné) s postupom posielajte na e-mailovú adresu
zuzana.magyarova@ijso.sk.*

Chémia

9. séria

Teória: periodická tabuľka a zloženie atómov

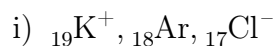
- a) Izotopy sú atómy s rovnakým protónovým a rozdielnym nukleónovým číslom. Tieto atómy sa teda líšia počtom protónov. Príkladom sú izotopy vodíka - deutérium a trícium, ktoré majú v jadre jeden a dva neutróny, teda dva a tri nukleóny.
- b) Alotropia je schopnosť prvku vyskytovať sa v rôznych kryštalických sústavách. Príkladom je uhlík, ktorý sa môže vyskytovať vo forme tetraédrického diamantu alebo hexagonálneho vrstevnatého grafitu, alebo kyslík, ktorý poznáme ako dvojatómovú molekulu O_2 , resp. trojatómovú molekulu ozónu O_3 .
- c) Dva zadané atómy sú izotopy dusíka.

| Atóm | I | II |
|------------------|----|----|
| Počet protónov | 7 | 7 |
| Počet neutrónov | 7 | 8 |
| Počet elektrónov | 7 | 7 |
| Atómové číslo | 7 | 7 |
| Nukleónové číslo | 14 | 15 |

Tabuľka 1: Údaje o dvoch atómoch

- d) Ťažká voda je zlúčenina štruktúrne podobná "klasickej" vode, avšak miesto atómov vodíka ${}^1_1\text{H}$ obsahuje dva atómy deutéria ${}^2_1\text{D}$. Za normálnych podmienok má trochu vyššiu teplotu varu ako voda. Má o dva neutróny viac, ako molekula vody, pretože oba atómy deutéria majú o neutrón viac. Ťažká voda všeobecne reaguje veľmi pomaly. ${}^1_1\text{H}$ a ${}^2_1\text{D}$ sú izotopy.
- e) Elektronegativita je vlastnosť atómov, ktorá charakterizuje ich tendenciu pútať k sebe elektróny.
- Ionizačná energia je minimálna energia potrebná na to, aby sa z obalu izolovaného elektroneutrálneho atómu v plynnom skupenstve uvoľnil valenčný elektrón.
- f) Elektronegativita: ↗, atómový polomer: ↘, atómová hmotnosť: ↘, ionizačná energia: ↗, kovový charakter: ↘.
- g) V predošlej úlohe sme zistili, ktorým smerom v tabuľke rastie ionizačná energia a atómový polomer. Môžeme si všimnúť, že rastú presne opačným smerom - sú teda nepriamo úmerné. Teda keď zoradíme ióny a atómy podľa rastúceho atómového polomeru, budú zároveň zoradené podľa klesajúcej ionizačnej energie. Čím ďalej je totiž valenčná vrstva od jadra atómu, v ktorom protóny s pozitívnym nábojom priťahujú všetky elektróny smerom do stredu, tým ľahšie sa elektrón uvoľní a tým nižšia bude

ionizačná energia. Atómový polomer zas rastie so stúpajúcim počtom obsadených vrstiev a s klesajúcim počtom protónov - čím menej protónov v jadre je, tým slabšie sú elektróny pútané a tým "nadýchanejší" je daný atóm. Na základe týchto poznatkov vieme zoradiť zadané skupiny iónov. Môžeme si všimnúť, že všetky majú v rámci skupiny rovnaký počet elektrónov.



Zároveň nám, ako sme už spomínali, v tomto poradí klesá ionizačná energia.

h) Alkalické kovy: Li, Na, K, Rb, Cs, Fr.

Kovy alkalických zemín: Ca, Sr, Ba, Ra.

Halogény: F, Cl, Br, I, At, Ts.

Chalkogény: O, S, Se, Te, Po, Lv.

Vzácne plyny: He, Ne, Ar, Kr, Xe, Rn.

Triáda železa: Fe, Co, Ni.

Prvky plynné pri izbovej teplote: H, N, O, F, Cl, vzácne plyny.

Prvky kvapalné pri izbovej teplote: Br, Hg.

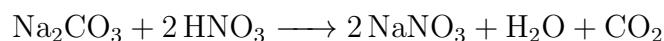
Polokovy: B, Si, Ge, As, Sb, Te, Po, At.

Príklad: koncentrácia roztokov II

$$c = \frac{n}{V} = \frac{\frac{m}{M}x}{\frac{m}{\rho}} = \frac{x\rho}{M} = \frac{0.25 \cdot 1.1 \text{ g/cm}^3}{164 \text{ g/mol}} = 1.7 \text{ mol/dm}^3$$

Príklad: chemická reakcia III

Chemická reakcia v banke je nasledovná:



Podme sa pozrieť na to, aké látkové množstvá Na_2CO_3 a HNO_3 máme:

$$n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{m(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O})}{M(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O})} = \frac{1.25 \text{ g}}{286.1412 \text{ g/mol}} = 0.004 \text{ mol}$$

$$n(\text{HNO}_3) = Vc = V10^{-pH} = 0.02 \text{ mol/dm}^3 \cdot 0.2 \text{ dm}^3 = 0.004 \text{ mol}$$

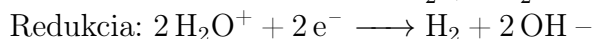
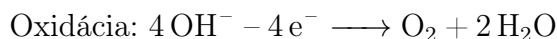
Zo stechiometrických koeficientov vidíme, že na jeden mól uhličitanu sú potrebné dva móly kyseliny dusičnej. Zreaguje preto len 0.002 mol uhličitanu. Podľa stechiometrických koeficientov tiež vieme zistiť, že vznikne aj rovnaké látkové množstvo CO_2 . Uvoľnený objem CO_2 je teda $V = V_0 \cdot n(\text{CO}_2) = 0.002 \text{ mol} \cdot 22.414 \text{ dm}^3/\text{mol} = 44.3 \text{ ml}$.

10. séria

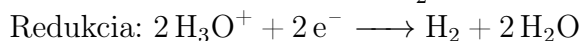
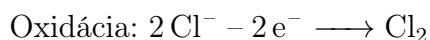
Teória: elektrolýza

- a) Na začiatok si povieme, že na anóde vždy prebieha oxidácia a na katóde redukcia. Teraz k elektrolyzovaným roztokom a taveninám:

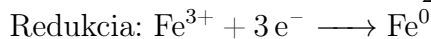
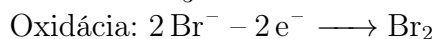
Voda:



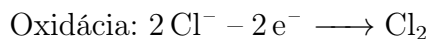
Roztok NaCl:



Roztok FeBr₃:



Tavenina NaCl:



- b) Sodík sa dá pripraviť elektrolýzou taveniny NaOH alebo NaCl.
- c) Ak chcem postriebriť hliníkovú lyžičku, znamená to, že na jej povrchu chcem vyredukovať striebro Ag⁰. Teda ju zapojím ako katódu, lebo na katóde prebieha vždy redukcia.
- d) Beckettov rad napätia kovov porovnáva kovy z hľadiska ušľachtilosti. Čím viac je kov v rade naľavo, tým ochotnejšie sa bude oxidovať, a naopak, čím je viac napravo, tým ochotnejšie sa bude redukovať. Vybrané prvky v ňom stoja v takomto poradí: K, Ca, Na, Mg, Al, Zn, Fe, H, Cu, Au.
- e) Neušľachtilé kovy pri reakciách so zriedenými kyselinami reagujú - vytláčajú vodík, ušľachtilé nereagujú.
- f) Budú prebiehať také reakcie, v ktorých sa má možnosť redukovať ušľachtilejší z dvojice kovov (resp. dvojice vodík - kov). Teda reakcie i), iii), v) a vi).
- g) Elektrón nesie jeden záporný elementárny náboj, teda jeho hodnota je $Q = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

Príklad: elektrolýza

Potrebuje zistiť, aký prúd treba na vylúčenie 440 ton hliníka za deň. Teda nám stačí všetky potrebné veličiny dosadiť do vyššie uvedeného vzorca a vypočítať neznámu I . Čas teda bude rovný jednému dňu (premenenému na sekundy, keďže počítame v základných

jednotkách), hmotnosť 440 000 kg a mólová hmotnosť 0.027 kg/mol. z je v našom prípade rovné trom, lebo redukuje katión Al^{3+} .

$$n = \frac{m}{M} = \frac{I \cdot \Delta t}{F \cdot z}$$

$$m = \frac{I \cdot \Delta t \cdot M}{F \cdot z}$$

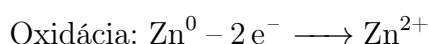
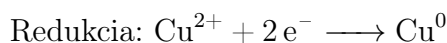
$$440\,000 \text{ kg} = \frac{I \cdot 86\,400 \text{ s} \cdot 0.027 \text{ kg/mol}}{96\,485 \text{ C/mol} \cdot 3}$$

$$I = \frac{440\,000 \text{ kg} \cdot 96\,485 \text{ C/mol} \cdot 3}{86\,400 \text{ s} \cdot 0.027 \text{ kg/mol}} = 54.60 \cdot 10^6 \text{ A}$$

11. séria

Teória: elektrochemický článok

- a) Elektrochemický článok je založený na dvojici redoxných reakcií, ktoré sú schopné prebiehať samovoľne a premieňať tým chemickú energiu na elektrickú. V prípade Zn/Cu článku ide o reakcie:



Inak povedané, zinková elektróda sa bude rozpúšťať, lebo zinočnaté katióny oxidujú do roztoku, a medená elektróda bude rásť, lebo meďnaté katióny sa redukujú z roztoku. Teda zinočnatý katión nechá na zinkovej elektróde dva elektróny a hupsne do roztoku. Tieto dva elektróny prejdú cez uzavretý elektrický obvod a pritiaľnu si z druhého roztoku meďnatý katión, ku ktorému sa pridajú a vyredukuje sa meď. Tu prichádza náš zádrhel - elektrický obvod na obrázku nie je uzavretý. Aby prúd tiekol aj cez roztoky, musíme zabezpečiť ich prepojenie, aby bol pri zinkovej elektróde dostatok síranových aniónov a aby presne tieto síranové anióny mali kam odísť od medenej elektródy. Riešením by bolo teda prepojenie nádob na obrázku soľným mostíkom alebo oba roztoky v jednej nádobe rozdelené polopriepustnou membránou.

- b) Elektrochemický článok a elektrolýza majú určite spoločné to, že v oboch prebiehajú komplementárne redoxné reakcie. Taktiež platí, že na anóde vždy prebieha oxidácia a na katóde redukcia. Rozdiel je v tom, že pri elektrochemickom článku sa katóda nabíja kladne a anóda záporne, zatiaľčo pri elektrolýze je to opačne. Ďalším zjavným rozdielom je to, že pri elektrochemickom článku sú reakcie samovoľné a energiu uvoľňujú, kým pri elektrolýze musíme do systému naopak energiu dodávať vo forme elektrického prúdu.

Teória: alkány, alkény, alkíny

- a) Zlúčeniny uhlíka okrem jeho oxidov, kyseliny uhličitej, uhličitanov, kyseliny kyanovodíkovej a jej solí.
- b) Uhlík je štvorväzbový, vodík jednoväzbový a kyslík dvojväzbový.
- c) Napíšte sumárne, zjednodušené štruktúrne a úplné štruktúrne vzorce alkánov, alkénov a alkínov, ktoré majú 5 a menej uhlíkov. Ak viete, pomenujte ich.
- d) Metán, etán, propán, bután, pentán, hexán, heptán, oktán, nonán, dekán.
- e) Plynné C₁-C₄, kvapalné C₅-C₁₇, ťažšie tuhé
- f) Alkány C_nH_{2n+2}, alkény C_nH_{2n}, alkíny C_nH_{2n-2}. V každom z týchto tzv. *homologických radov* sa postupujeme nasledovne: máme základný uhlíkovodík (metán, etén, etín) a na vytvorenie uhlíkovodíka s o jedna väčším množstvom uhlíkov sa do jeho uhlíkového reťazca vždy vloží -CH₂-, teda sumárny vzorček musí byť lineárna funkcia, kde

so zväčšením počtu uhlíkov o jednej sa zväčší počet vodíkov o dva, čiže musí mať tvar C_nH_{2n+x} a x sa určí pomocou toho, akým spôsobom nám štruktúra uhľovodíka „modifikuje“ počet vodíkov, na ktoré na uhlíkoch ostáva miesto. Napríklad pri nerozvetvených alkánoch sa uhľovodík skladá z $-CH_2-$ skupín v strede reťazca a dvoch $-CH_3$ skupín, ktoré majú oproti $-CH_2-$ skupinám o jeden vodík navyše. Vzorec teda bude C_nH_{2n+2} .

Príklad: spaľovanie uhľovodíka

Z množstva spalín vieme určiť pomer uhlíka a vodíka v molekule.

$$n(C) = n(CO_2) = \frac{m(CO_2)}{M(CO_2)} = 2.27 \text{ mol}$$

$$n(H) = 2n(H_2O) = 2 \frac{m(H_2O)}{M(H_2O)} = 5 \text{ mol}$$

Pomer C:H je teda približne 1:2. Už len potrebujeme určiť celkový počet atómov v molekule. Nato použijeme molárnu hmotnosť neznaného spaľovaného uhľovodíku X. Označme n počet molekúl uhlíka v molekule uhľovodíku. Potom pre jeho molárnu hmotnosť platí:

$$M(X) = n(M(C) + 2M(H))$$

$$90 \text{ g/mol} = n(12 \text{ g/mol} + 2 \cdot 1 \text{ g/mol}) \Rightarrow n = 5$$

Sumárny vzorec uhľovodíka X je teda C_5H_{10} .

- Ak neobsahuje násobnú väzbu, bude to cykloalkán s jedným cyklom. Cyklopentán, metylcyklobután, etylcyklopropán, 1,1-dimetylcyklopropán, 1,2-dimetylcyklopropán
- Ak obsahuje násobnú väzbu, je to zjavne alkén a obsahuje jednu dvojitú väzbu. Možnosti sú pent-1-én, pent-2-én, 2-metylpent-1-én, 3-metylpent-1-én.

$$M(C) = 12 \text{ g/mol}, M(H) = 1 \text{ g/mol}, M(O) = 16 \text{ g/mol}.$$

Príklad: elektrochemický článok

Otázka ktorú v tejto úlohe musíme zodpovedať, je, za aký čas sa zinková elektróda úplne rozpustí. Opäť vieme aplikovať Faradayove zákony elektrolýzy, pretože ide o proces, kedy elektrický prúd generovaný článkom odnesie dva elektróny z každého atómu zinku a vznikne kation. Čo sa týka hmotnosti zinku, na ktorú sa pýtame, je to to isté, ako keby sme sa pýtali, za aký čas sa vyredukuje 4.5 g zinku na katóde elektrolyzéra, do ktorého vháňame prúd 3.5 mA. Dosaďme teda naše zadané veličiny do vzorca pre elektrolýzu, ktorý sme použili v minulej sérii:

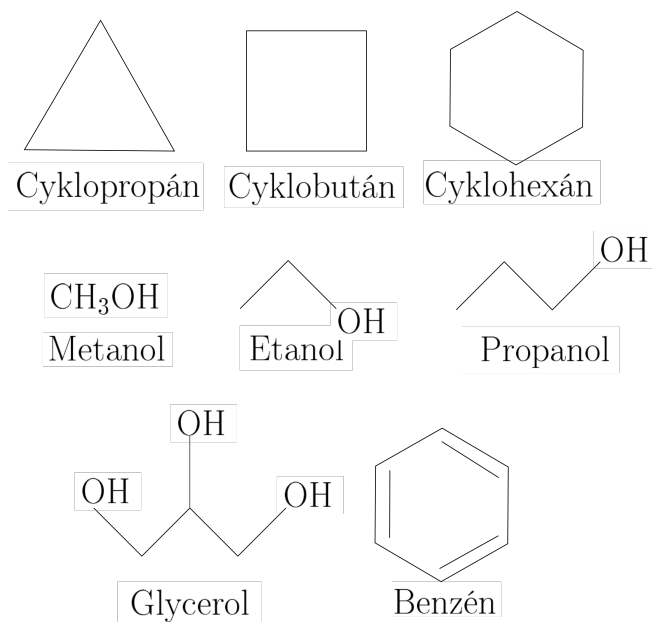
$$m = \frac{A \cdot t \cdot M}{F \cdot z}$$

$$4.5 \text{ g} = \frac{3.5 \cdot 10^{-3} \text{ A} \cdot t \cdot 65 \text{ g/mol}}{96485 \text{ C/mol} \cdot 2}$$

$$t = \frac{4.5 \text{ g} \cdot 96\,485 \text{ C/mol} \cdot 2}{3.5 \cdot 10^{-3} \text{ A} \cdot 65 \text{ g/mol}} = 3.817 \cdot 10^6 \text{ s} = 1\,060 \text{ h}$$

12. séria

Teória: cyklické zlúčeniny a alkoholy



Obr. 1: Vzorce a názvy vybraných zlúčenín

Príklad: molárny objem plynu

Hodnotu molárneho objemu plynu za uvedených podmienok môžeme overiť použitím stavovej rovnice. Vyjadríme si z nej objem a dosadíme zadané hodnoty:

$$pV = nRT$$
$$V = \frac{nRT}{p} = \frac{n \cdot 8.314 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1} \cdot 273.15 \text{ K}}{101\,325 \text{ Pa}} = n \cdot 0.022\,414 \text{ m}^3 = n \cdot 22.414 \text{ l}$$

Príklad: hustota plynu

Hustota, ktorú vieme vypočítať zo vzťahu $\rho = \frac{m}{V}$, vieme tiež vypočítať zo stavovej rovnice. Len si ju treba trošku upraviť. Zoberme si vzorec pre výpočet hmotnosti z látkového množstva $m = n \cdot M$ a za látkové množstvo dosadíme výraz zo stavovej rovnice:

$$m = \frac{pV}{RT} \cdot M$$

Dosadíme to do vzorca pre hustotu a dosadíme zadané hodnoty pre kyslík:

$$\rho_{\text{O}_2} = \frac{pM}{RT} = \frac{101\,325 \text{ Pa} \cdot 32 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}}{8.314 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1} \cdot 300.15 \text{ K}} = 1.299 \text{ kg/m}^3$$

Pri týchto podmienkach vieme taktiež odhadnúť hustotu vzduchu. Keďže zloženie vzduchu so 78% dusíka a 21% kyslíka sa uvádza v objemových percentách, platí približne:

$$\rho_{vzduch} = 0.21 \cdot \rho_{O_2} + 0.78 \cdot \rho_{N_2}$$

kde hustotu dusíka môžeme vypočítať rovnako ako hustotu kyslíka:

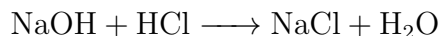
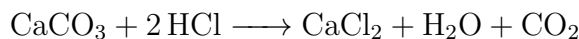
$$\rho_{N_2} = \frac{pM}{RT} = \frac{101\,325 \text{ Pa} \cdot 28 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}}{8.314 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1} \cdot 300.15 \text{ K}} = 1.137 \text{ kg/m}^3$$

Túto hodnotu už len dosadíme do vzťahu pre hustotu vzduchu:

$$\rho_{vzduch} = 0.21 \cdot 1.299 \text{ kg/m}^3 + 0.78 \cdot 1.137 \text{ kg/m}^3 = 1.160 \text{ kg/m}^3$$

Príklad: spätná titrácia

Reakcie v tomto príklade sú:



$M(\text{CaCO}_3) = 100.0869 \text{ g/mol}$ Celkové látkové množstvo HCl označme $n(\text{HCl}) = c(\text{HCl})V(\text{HCl})$. To sa použilo jednak na rozklad CaCO_3 (n_1) a zvyšok sa zneutralizoval pomocou NaOH. Zjavne teda platí $n(\text{HCl}) = n_1 + n_2$, $n_2 = c(\text{NaOH})V(\text{NaOH})$, zo stechiometrických pomerov $n_1 = 2n(\text{CaCO}_3)$.

Z tohto vyplýva:

$$n(\text{CaCO}_3) = \frac{1}{2}(c(\text{HCl})V(\text{HCl}) - c(\text{NaOH})V(\text{NaOH}))$$

$$m(\text{CaCO}_3) = M(\text{CaCO}_3)n(\text{CaCO}_3) = M(\text{CaCO}_3)\frac{1}{2}(c(\text{HCl})V(\text{HCl}) - c(\text{NaOH})V(\text{NaOH}))$$

$$m(\text{CaCO}_3) = 150.43 \text{ mg}$$

Príklad: stavová rovnica

Zadanie neklamalo, bonus to bol naozaj náročný. Situácia je taká, že pri konštantnom objeme prebieha chemická reakcia v plynnej fáze, počas ktorej sa časť molekúl plynu "rozdvojí" - teda z časti látkového množstva budeme mať jeho dvojnásobok. Podľa stavovej rovnice bude situácia pred reakciou vyzeráť takto:

$$n = \frac{p_1 V}{T_1 R}$$

kde n je látkové množstvo N_2O_4 v počiatočnom stave. Ak si označíme zreagovanú časť N_2O_4 ako n_x , bude látkové množstvo NO_2 po reakcii $2n_x$. Celkové látkové množstvo plynu po reakcii bude teda $n - n_x + 2n_x = n + n_x$. Po vyjadrení zo stavovej rovnice pre druhý stav dostávame:

$$n + n_x = \frac{p_2 V}{T_2 R}$$

Z čoho si vieme n_x vyjadriť nasledovne:

$$n_x = \frac{p_2 V}{T_2 R} - n = \frac{p_2 V}{T_2 R} - \frac{p_1 V}{T_1 R} = \frac{V}{R} \left(\frac{p_2}{T_2} - \frac{p_1}{T_1} \right)$$

Pomer počtu molekúl N_2O_4 ku počtu molekúl NO_2 je rovný pomeru ich látkových množstiev, teda $n - n_x : 2n_x$. Za n a n_x môžeme dosadiť výrazy, ktoré sme si práve odvodili:

$$n - n_x : 2n_x = \frac{V}{R} \left(2\frac{p_1}{T_1} - \frac{p_2}{T_2} \right) : 2\frac{V}{R} \left(\frac{p_2}{T_2} - \frac{p_1}{T_1} \right) = \left(2\frac{p_1}{T_1} - \frac{p_2}{T_2} \right) : 2 \left(\frac{p_2}{T_2} - \frac{p_1}{T_1} \right)$$

Teraz k rovnovážnej konštante. Vzťah pre rovnovážnu konštantu tejto reakcie je nasledovný:

$$K = \frac{[\text{N}_2\text{O}_4]}{[\text{NO}_2]^2}$$

Môžeme rovno dosadiť výrazy pre $n - n_x$ a $2n_x$, ktoré sme vyjadrili.

$$K = \frac{\frac{V}{R} \left(2\frac{p_1}{T_1} - \frac{p_2}{T_2} \right)}{\left(2\frac{V}{R} \left(\frac{p_2}{T_2} - \frac{p_1}{T_1} \right) \right)^2} = \frac{2\frac{p_1}{T_1} - \frac{p_2}{T_2}}{4\frac{V}{R} \left(\frac{p_2}{T_2} - \frac{p_1}{T_1} \right)^2}$$

