



58. ročník

2021/2022

ŠKOLNÍ KOLO

Kategorie B

Teoretická část – Zadání

20 bodů



ANORGANICKÁ CHEMIE

10 BODŮ

Autor

RNDr. Petr Šmejkal, Ph.D.

Katedra učitelství a didaktiky chemie, Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, Praha

Recenze

doc. RNDr. Jan Kotek, Ph.D.

Katedra anorganické chemie, Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, Praha

Milí soutěžící,

letošní úlohy z anorganické chemie budou zaměřeny především na kovy, jejich chemické vlastnosti, výskyt, výrobu, přípravu a využití. Je vhodné seznámit se s chemickými vlastnostmi kovů s- a p-bloku periodického systému, a s vlastnostmi vybraných kovů d-bloku, především kovů první přechodné řady (zvláště Cr–Zn), z těžších kovů bude užitečné znát vlastnosti stříbra a zlata.

Užijte si řešení úloh, hodně zdaru,

Autor

Doporučená literatura:

- 1) Běžné středoškolské učebnice.
- 2) Wikipedie (preferenčně anglická) a jiné důvěryhodné stránky (přednášky z univerzit apod.) zabývající se zmíněnými tématy.
- 3) Pro ověření informací čerpaných z Internetu lze doporučit i patřičné pasáže z rozsáhlejších učebnic, např. C. E. Housecroft, A. G. Sharpe: Anorganická chemie, překlad 4. vydání, VŠCHT Praha, 2014.

**Úloha 1 Kovy a nekovy kolem nás a jejich vlastnosti****3,50 bodu**

- 1) **Doplňte následující věty. Jednotlivé prvky vepište spolu s jejich značkami do odpovědní tabulky a uveďte, zda se jedná o kov, polokov či nekov.**
- a) Zvyk je košile.
 - b) Obrozenci nazývali tento prvek jako đasík a jedná se o
 - c) Pěticentovou minci v USA nazývají podle kovu, z něž je vyrobena, jako
 - d) Prvek, který byl v první světové válce zneužit jako bojový plyn, se jmenuje
 - e) Známý rozhovor z filmu „Marečku, podejte mi pero“ zní: „.....! Je přítomen?“ „..... se odstěhoval do Humpolce!“, zní odpověď.
 - f) Latinský název tohoto prvku je Stibium. Česky se jmenuje, což někdy navádí studenty přiřazovat mu nesprávnou značku.
 - g) Tento prvek je pojmenován po Měsíci. Podobné jméno měla také starořecká bohyně měsíce a obdobný původ a znění má také ženské jméno, které nosí jedna z bývalých přítelkyň Justina Biebera, těž zpěvačka. Název tohoto prvku je
 - h) Řecký název tohoto prvku znamená v překladu „vytvořen z vody“. Jeho český název zní
 - i) Těžkých prvků je celá řada, ale minimálně u jednoho z nich je to vtištěno i do jeho názvu, který pochází z řeckého slova, které lze přeložit do češtiny jako „těžký“. Název prvku je
 - j) Alchymisté se pokoušeli obecné prvky přeměnit v tento prvek, který byl vždy považován za velmi cenný. Jedná se o
 - k) Tento prvek proslavil Kutnou Horu a byl hlavním zdrojem jejího bohatství. Z tohoto prvku bylo i slavné platidlo, které počal razit na samém počátku 14. století český král Václav II. Jedná se o
 - l) je zápornou elektrodou (při vybíjení, kdy se na ní generují elektrony) akumulátoru používaného v automobilech. Sloučenina tohoto prvku s navázanými čtyřmi ethylovými skupinami se dříve přidávala do benzínu jako antidetonační přísada.
 - m) Součástí naší planety jsou téměř všechny prvky periodické soustavy prvků, ale jen jeden z nich je po latinském názvu planety Země také pojmenován. Jedná se o
 - n) Josef Svatopluk Presl pojmenoval českými ekvivalenty prakticky všechny tehdy známé prvky. Některé z názvů se příliš nechytily (např. chaluzík či kostík), ale deset jich přetrvalo dodnes. Jedním z nich je málo reaktivní plyn, který nepodporuje hoření, což je vyjádřeno i jeho českým názvem. Jedná se o
 - o) Částice α je jádrem prvku, který se jmenuje



Odpovědní tabulka:

Věta	Název prvku	Značka prvku	Kov/polokov/nekov
a)			
b)			
c)			
d)			
e)			
f)			
g)			
h)			
i)			
j)			
k)			
l)			
m)			
n)			
o)			

2) **Kovy mají mnohé vlastnosti podobné, v jiných se ale zase liší. Z následujících vlastností vyberte ty, které mají všechny kovy společné.**

- a) Dobrá elektrická vodivost.
- b) Dobrá tepelná vodivost.
- c) Hustota vyšší než hustota vody.
- d) Rozpouští se v koncentrované kyselině dusičné.
- e) Kovový lesk.
- f) Teplota tání vyšší než 350 °C.
- g) Stejná krystalová struktura – kovy jsou izostrukturální.



Nevýhodou některých běžně užívaných kovů (jako jsou např. železo, zinek nebo měď) a jejich slitin je jejich vysoká hustota ($7\text{--}9\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$), díky čemuž jsou výrobky z nich často těžké. Výhodou uvedených kovů je zase tepelná odolnost, ale také snadné zpracování (mj. díky jejich dobré kujnosti a tažnosti) nebo vysoká pevnost v tahu a tlaku. Pro letecký a kosmonautický průmysl je nízká hmotnost při zachování běžných vlastností kovů zásadní. I drobné zvýšení hmotnosti totiž násobně zvyšuje náklady na let a také užité vlastnosti letadla nebo kosmické lodi. Je tak nezbytné využít kovy jiné, které alespoň částečně zachovávají vlastnosti běžné pro kovy, ale mají nízkou hustotu.

- 3) Uveďte alespoň 3 kovy, které je díky jejich hustotě smysluplné v letectví využívat.
- 4) Vlastnosti čistých kovů lze mnohdy dále vylepšit tvorbou slitiny. Uveďte alespoň 2 slitiny vhodné pro využití v letectví a kosmonautice. Jaké je jejich složení a z jakého důvodu se pro letectví a kosmonautiku používají?
- 5) Vyluštěte následující tajenku obsahující název jedné slitiny. Ze kterých kovů je uvedená slitina složena?
- Zapáchající kov, prvek.
 - Kov s nejvyšší teplotou tání ($3422\text{ }^\circ\text{C}$).
 - Žlutý chalkogen.
 - Nejběžnější ruda olova.
 - Zkorodovaná vrstva na povrchu železného předmětu.

a)								
b)								
c)								
d)								
e)								

**Úloha 2 Reakce kovů****5,00 bodu**

1) Kovy se ve své reaktivitě značně liší. Určité odlišnosti lze najít i v rámci jednotlivých skupin.

- a) Uveďte obecnou rovnici reakce alkalických kovů s vodou.

- b) Uveďte, jak se mění reaktivita ve skupině alkalických kovů od Li směrem k Cs.

- c) Jak se mění ve skupině alkalických kovů elektronegativita?

Některé kovy reagují dobře s kyslíkem. Jedním z těchto kovů je hořčík, který je poměrně silným redukčním činidlem. V případě, že práškový hořčík zapálíme a poléváme mírným proudem vody, pozoruje zintenzivnění plamene.

2) Co je příčinou tohoto zintenzivnění? Napište rovnice odpovídajících reakcí.

Železo se velmi dobře rozpouští ve zředěné 10% kyselině sírové, ale v případě koncentrované kyseliny sírové reakci kupodivu nepozorujeme. Naopak, v koncentrované kyselině chlorovodíkové reakce běží ochotněji než ve zředěné 10% kyselině chlorovodíkové.

3) Můžete vysvětlit popsané chování? Kde se nereaktivitu železa vůči koncentrované kyselině sírové využívá?



- 4) Co je to diagonální podobnost a jak se projevuje mezi některými prvky v periodické soustavě prvků? Uveďte 2 příklady diagonální podobnosti u kovů. Pro každou z dvojic uveďte příklad vlastnosti, kde se diagonální podobnost projevuje.

Reakce červeného kovu

Červený běžně dostupný kovově lesklý prvek **A** za horka reagoval s koncentrovanou kyselinou sírovou (**reakce 1**). Po zředění vodou byl ve zkumavce patrný modrý roztok látky **B**. Během reakce byl pozorován vznik bezbarvého páchnoucího plynu **C**. Roztok látky **B** byl rozdělen na 2 díly. K prvnímu dílu byl přidán kovový zinek. Roztok se odbarvil a vznikla sraženina prvku **A** (**reakce 2**). Sraženina **A** byla odfiltrována. Pokus o její rozpuštění v kyselině chlorovodíkové byl neúspěšný. Naopak, ve zředěné kyselině dusičné se rozpouští za vzniku modrého roztoku látky **D**, přičemž při provedení za nepřístupu vzduchu vzniká bezbarvý plyn **E** (**reakce 3**), který se vzduchem reaguje za vzniku červenohnědého plynu **F** (**reakce 4**). Do roztoku po odfiltrování sraženiny **A** byl po kapkách přidáván roztok NaOH. Vznikla bílá sraženina **G** (**reakce 5**). Ta byla odfiltrována a rozpuštěna v roztoku HCl za vzniku látky **H** (**reakce 6**). Sraženina **G** se rozpouští i v nadbytku NaOH za vzniku látky **I** (**reakce 7**). Pokud byl přidán roztok NaOH k druhému dílu roztoku látky **B**, vznikla světle modrá sraženina **J** (**reakce 8**), která se v nadbytku NaOH již nerozpustila. Po odfiltrování sraženiny **J** a jejím zahřívání nad plamenem došlo ke změně na černou látku **K** (**reakce 9**). Sraženina **J** se rozpustila v roztoku HCl za vzniku zelenomodrého roztoku **L** (**reakce 10**). Sraženinu **J** lze rozpustit i ve vodném roztoku amoniaku za vzniku temně modré látky **M** (**reakce 11**). Látka **K** se stejně jako látka **J** rozpustila v roztoku HCl, přičemž také vzniká **L** (**reakce 12**).

- 5) Identifikujte látky A–M.

A:	F:	K:
B:	G:	L:
C:	H:	M:
D:	I:	
E:	J:	



6) Vyjádřete rovnicemi všechny výše popsané chemické reakce.

Reakce 1:

Reakce 2:

Reakce 3:

Reakce 4:

Reakce 5:

Reakce 6:

Reakce 7:

Reakce 8:

Reakce 9:

Reakce 10:

Reakce 11:

Reakce 12:



- d) Uvedte alespoň jeden možný způsob, jak mohl de Hevesy zlato ze směsi vysrážet zpět. Napište odpovídající rovnici chemické reakce.
- e) Jak tlustá je medaile Nobelovy ceny? Průměr medaile je 66 mm. Výkyvy tloušťky způsobené reliéfem zanedbejte.

Jednou z nejvýznamnějších výrob kovů je bezesporu výroba železa. Jak známo, železo se vyrábí ve vysoké peci, vsázkou je železná ruda, například hematit (Fe_2O_3) nebo magnetit (Fe_3O_4), struskotvorná přísada (zejména vápenec a dolomit) a koks (prakticky čistý uhlík). Do spodní části pece se neustále vhání horký vzduch obohacený kyslíkem.

8) Otázky k výrobě železa:

- a) Proč se do spodní části vysoké pece vhání vzduch obohacený kyslíkem?
- b) Vysvětlete pojmy přímá a nepřímá redukce.
- c) Jaká je hlavní nečistota v surovém železe?



Titan patří k nejrozšířenějším prvkům zemské kůry (10. nejrozšířenější prvek). Jde o kov vynikajících mechanických vlastností. Vyznačuje se také vysokou biokompatibilitou a vynikající chemickou stálostí. Přes uvedené vlastnosti a četné zastoupení v zemské kůře byl ale kovový titan vzácným a drahým materiálem, což spočívalo v obtížnosti jeho výroby.

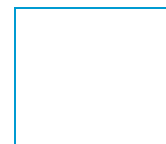
9) Otázky k výrobě titanu:

- a) Proč nelze titan vyrobit přímou redukcí oxidu titaničitého koksem, podobně jako se vyrábí železo?
- b) Jak se tedy titan vyrábí a jak se uvedený proces jmenuje? Postup výroby popište a uveďte příslušné rovnice.

Jednou z možností, jak připravit velmi čisté kovy, je elektrolýza. Množství kovu, které při elektrolýze získáme, lze určit pomocí Faradayových zákonů elektrolýzy. Lze také určit čas či náboj, který musí roztokem protéct, abychom připravili určité množství kovu.

10) Otázky k elektrolýze:

- a) Z jakého množství modré skalice (pentahydrátu síranu měďnatého) můžete vyredukovat 10,0 g mědi?
- b) Za jak dlouho se na katodě vyloučí 10,0 g mědi, pokud bude elektrolýza prováděna proudem 0,850 A?



Úloha 3 Tiskařský šotek

1,50 bodu

- 1) Kovy se ve sloučeninách vyskytují ve velmi rozličných oxidačních stavech. V následující tabulce ale šotek údaje rozházel. Opravte jeho řádění a přiřadte kovy k jejich oxidačním stavům. Dále uveďte alespoň jednu sloučeninu, ve které má daný kov tučně vyznačený oxidační stav.

Oxidační stav	Chybně přiřazený kov	Správně přiřazený kov	Vybraná sloučenina
0; II; III; IV ; VI; VII	Ag		
0; II; III; IV; VI; VIII	Zn		
0; II; III; IV; VI	Mn		
0; I; II; III; IV; V	Os		
II	V		
0; I; II	Cr		

- 2) Kovy mají různorodé vlastnosti a z toho vyplývá i jejich využití jako materiálů. V následující tabulce opět zařadil náš šotek a údaje rozházel. Přiřadte tak k dané aplikaci správný kov.

Použití	Chybně přiřazený kov	Správně přiřazený kov
Kloubní náhrady	Fe	
Výztuže betonu	Ti	
Vlákno žárovky	Mg	
Redukční činidlo	W	

- 3) Kovy a jejich sloučeniny jsou často využívány jako katalyzátory. V následující tabulce opravte chybně přiřazený katalyzátor k danému průmyslovému procesu.

Průmyslový proces	Chybně přiřazený katalyzátor	Správně přiřazený katalyzátor
Výroba kyseliny sírové	Fe	
Ztužování tuků	Pt/Rh	
Výroba amoniaku	V ₂ O ₅	
Výroba kyseliny dusičné	[IrI ₂ (CO) ₂] ⁻	
Výroba kyseliny octové	Ni	

**ORGANICKÁ CHEMIE****10 BODŮ****Autor****Ing. Jan Hrubeš, DiS.***Katedra učitelství a didaktiky chemie, Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, Praha***Recenze****prof. Ing. Jiří Hanusek, PhD.***Ústav organické chemie a technologie, Fakulta chemicko-technologická Univerzity Pardubice***doc. RNDr. Jan Kotek, Ph.D.***Katedra anorganické chemie, Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, Praha*

Vážení soutěžící,

leží před Vámi text domácího kola Chemické olympiády kategorie B. Tento rok je organická část chemie pojatá mírně odlišně než v letech předchozích. Celou olympiádou se jako zlatá nit táhne téma kyselosti v organické chemii. Zmíníme se proto o organokovových sloučeninách jako o jedné z nejsilnějších bází, podíváme se též na bazicky katalyzované reakce na α -uhlíku karbonylových sloučenin.

Syntéza a luštění různých reakčních schémat však nebudou hlavními tématy letošní olympiády. Tento ročník se bude snažit podkrýt taje oboru, který se nazývá fyzikální organická chemie. Na mnoha příkladech na vlastní kůži pocítíte, že i velmi malá změna ve struktuře látky se může projevit velkou změnou v její reaktivitě.

Pro zdárné řešení Vám doporučuji zopakovat si, co je to indukční a mezomerní efekt a jak se projevuje u derivátů benzenu. Hodit se budou taky pojmy z obecné chemie týkající se kyselosti. Doporučuji si též nastudovat základy Hammetovy korelace.

Přeji Vám při řešení úloh hodně zdaru,

Autor

Doporučená literatura:

- 1) A. Mareček, J. Honza: Chemie pro čtyřletá gymnázia, I. díl, PROTON Brno, 1997 či novější, str. 110–124 (acidobazické reakce, hydrolýza solí).
- 2) A. Mareček, J. Honza: Chemie pro čtyřletá gymnázia, II. díl, Nakladatelství Olomouc, 1998 či novější, str. 119–126 (indukční a mezomerní efekt), 183–186 (vliv substituentů na reaktivitu monosubstituovaných benzenů).
- 3) A. Mareček, J. Honza: Chemie pro čtyřletá gymnázia, III. díl, Nakladatelství Olomouc, 2005 či novější, str. 22–24 (organokovové sl.), 30–32 (kyselost alkoholů a fenolů), 49–50 (aldolová kondenzace), 56–58 (síla karboxylových kyselin), 76 (hydrolýza esterů).

Rozšiřující literatura:

- 4) O. Exner: Korelační vztahy v organické chemii, SNTL/ALFA 1981, str. 70 – 95 (Hammetova korelace).
- 5) J. McMurry: Organická chemie, VUTIUM Brno 2007 či novější, str. 30–50 (kyseliny a báze), 329–331 (příprava organo-hořečnatých a organolithných činidel), 743–746 (vliv substituentů na kyselost karb. kyselin), 820–841 (reakce na alfa-uhlíku karbonylových sloučenin), 854–861 (aldolová kondenzace).
- 6) https://en.wikipedia.org/wiki/Hammett_equation [online, anglicky].



Úloha 1 Rozcvička

3,00 bodu

- 1) **Seřadte následující látky podle kyselosti od nejkyselejší po nejméně kyselou. Nakreslete též struktury těchto látek a vyznačte, který vodík je v molekule nejvíce kyselý.**

ethanol – acetamid (ethanamid) – 2,4,6-trinitrofenol – acetylaceton (pentan-2,4-dion) – voda

- 2) **Seřadte následující látky podle bazicity od nejbazičtější po nejméně bazickou. Nakreslete též jejich struktury (u anorganických solí stačí uvést sumární vzorec).**

anilin – diethylamin – hydrid sodný – uhličitan sodný – butyllithium – voda

- 3) **Nakreslete vzorce obou produktů reakce butyllithia s jedním ekvivalentem diethylaminu. Produkt obsahující dusík též pojmenujte.**

**Úloha 2 Syntéza****3,50 bodu**

Různé karbanionty (anionty se záporným nábojem na uhlíku) mohou být syntetickému chemikovi velmi užitečné. Příklady využití karbaniontů jsou např. malonesterová či acetoctanová syntéza.

- 1) Nakreslete struktury diethyl-malonátu (diethyl-propandioátu) a ethyl-acetoacetátu (ethyl-3-oxobutanoátu) a určete, který vodík bude v každé molekule nejkyselější.**

Diethyl-malonát může reagovat s vhodnou bází za vzniku diethyl-malonátového aniontu. Ten je stabilizovaný rezonancí.

- 2) Nakreslete tři různé rezonanční struktury diethyl-malonátového aniontu.**

Takto vzniklý anion pak může reagovat ve smyslu nukleofilní substituce.

- 3) Nakreslete strukturu hlavního produktu reakce diethyl-malonátového aniontu s jedním ekvivalentem ethylbromidu.**

Vzniklý produkt ovšem stále obsahuje kyselý vodík, tudíž reakce může probíhat analogicky s dalším ekvivalentem ethylbromidu.



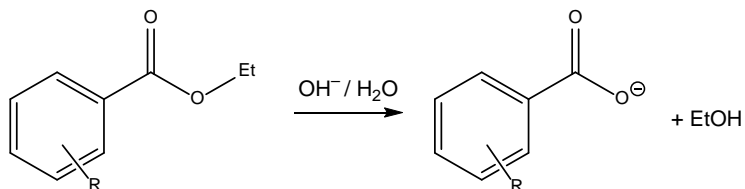
- 4) **Nakreslete strukturu hlavního produktu reakce diethyl-malonátu se dvěma ekvivalenty ethylbromidu a dvěma ekvivalenty báze (kupříkladu ethanolátem sodným).**

Posledním krokem syntézy bývá hydrolýza esteru a dekarboxylace.

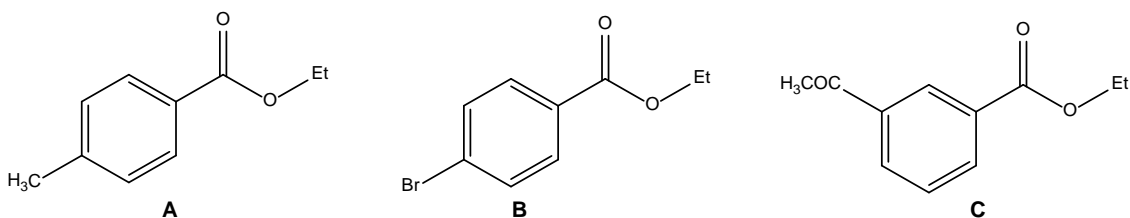
- 5) **Nakreslete výsledný produkt, pokud hydrolýze a dekarboxylaci podrobíme látku z předchozí otázky.**

**Úloha 3 Bazická hydrolyza esterů****3,50 bodu**

Estery kyseliny benzoové i jejich derivátů lze snadno přeměnit bazickou hydrolyzou na odpovídající karboxylové kyseliny a alkoholy. Schéma této reakce je následující (R je jakýkoliv substituent na jádře):



1) **Pojmenujte jednotlivé deriváty kyseliny benzoové na následujícím obrázku.**



2) **Nakreslete struktury následujících molekul: ethylester kyseliny 4-nitrobenzoové (D), ethyl-3-chlorbenzoát (E), ethylester kyseliny 4-dimethylaminobenzoové (F).**



Substituenty navázané na aromatickém jádře disponují mimo jiné tzv. polárními efekty, jejichž projevem je změna celkové elektronové hustoty v aromatickém jádře, popřípadě její rozložení. Tyto efekty se liší jednak způsobem přenosu elektronové hustoty (indukční efekt se přenáší po sigma-vazbách, kdežto mezomerní efekt po pí-vazbách) a znaménkem (kladný efekt substituentu elektronovou hustotu v jádře zvyšuje, kdežto záporný efekt ji snižuje).

- 3) **U každé sloučeniny z předchozích otázek rozhodněte, jestli daný substituent (neuvažujte vzájemnou polohu skupin substituentu a COOEt) může vykazovat indukční, mezomerní, nebo oba efekty. Rozhodněte též, jestli je daný efekt kladný, nebo záporný.**

Jak je ze schématu v úvodu patrné, při hydrolýze esteru vzniká benzoátový anion. Ten ovšem bude pro různě substituovaná jádra různě bazický.

- 4) **Určete, ze kterého esteru z otázky 2 vznikne hydrolýzou nejméně bazický a ze kterého nejvíce bazický anion.**



Bazicitá aniontu kruciálně souvisí s rychlostí reakce. Mnohdy platí, že reakce probíhá snáze, pokud se tvoří stabilnější produkty. Pro všechny deriváty z otázek 1 a 2 pak platí, že rychlost analogické reakce vyjádřená jako logaritmus rychlostní konstanty $\log(k)$ je lineárně závislá na kyselosti odpovídajících benzoových kyselin vyjádřené jako $\log(K_A)$. Tato úměrnost se dá charakterizovat vztahem $\log(k) = \rho \cdot \log(K_A) + B$, kde ρ a B jsou konstanty.

Pokud budeme znát např. kyselosti zkoumaných derivátů benzoových kyselin a jakoukoliv jednu rychlostní konstantu hydrolyzy, můžeme vyjádřit rychlost reakce vybraného derivátu kyseliny benzoové pomocí rychlosti reakce jiného derivátu (například nesubstituované kyseliny benzoové) a příslušných konstant kyselosti K_A . To je velmi užitečné; podobným způsobem lze počítat řadu dalších vlastností různě substituovaných sloučenin.

Pokud si pro reakci nesubstituované kyseliny benzoové zavedeme:

$$\log(k^H) = \rho \cdot \log(K_A^H) + B$$

a pro reakci obecného derivátu substituovaného skupinou „R“:

$$\log(k^R) = \rho \cdot \log(K_A^R) + B$$

můžeme algebraickými úpravami odvodit rovnici, již se podle jejího objevitele říká *Hammettova*.

- 5) **Vyjádřete algebraicky rychlost reakce obecného derivátu benzoové kyseliny (postačí jako $\log(k^R)$) v závislosti na rychlosti reakce nesubstituovaného esteru $\log(k^H)$ a příslušných konstantách kyselosti.**