SLOVENSKÁ KOMISIA CHEMICKEJ OLYMPIÁDY

CHEMICKÁ OLYMPIÁDA

57. ročník, školský rok 2020/21

Kategória A

Školské kolo

TEORETICKÉ ÚLOHY

chemická olympiáda

ÚLOHY Z ANORGANICKEJ A ANALYTICKEJ CHÉMIE

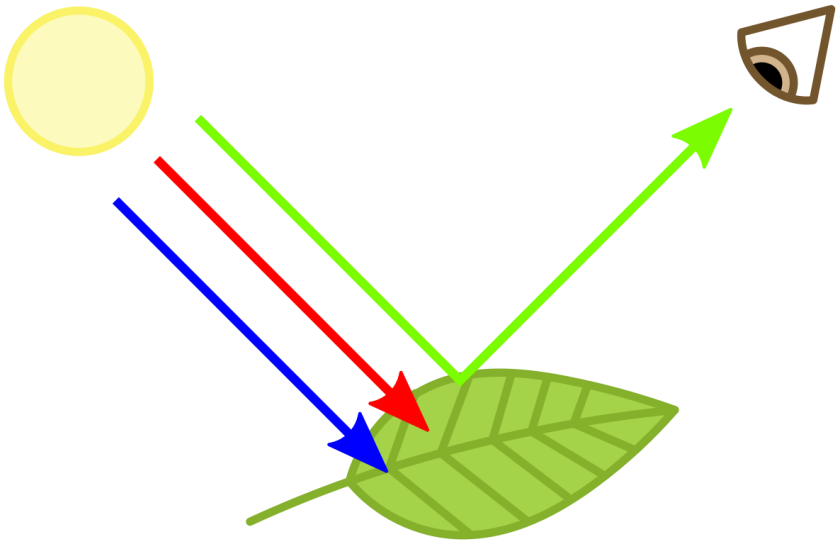
Chemická olympiáda – kategória A – 57. ročník – školský rok 2020/21
Školské kolo

Michal Juríček, Rastislav Šípoš

Maximálne 18 bodov
Doba riešenia 60 minút

Bioanorganická úloha 1, prvá časť (18 bodov)

Zelené sfarbenie listov spôsobuje rastlinný pigment chlorofyl. Dôvodom tohto sfarbenia je schopnosť chlorofylu absorbovať modré a červené svetlo, zatiaľ čo zelené svetlo odráža (obrázok 1). Absorpcia svetla chlorofylom je prvým zo série krokov, ktoré transformujú oxid uhličitý a vodu na energeticky bohaté zlúčeniny – sacharidy. Druhým produktom tejto reakcie je kyslík. Tento proces je známy ako fotosyntéza.



Obrázok 1. Chlorofyl je zelený, pretože absorbuje modré a červené svetlo, zatiaľ čo zelené svetlo odráža.

Naše telo používa sacharidy ako palivo, ktoré pomocou kyslíka oxiduje na oxid uhličitý a vodu. Ide o exergonický proces dýchania. Energiu, ktorá sa uvoľní pri dýchaní, používa naše telo ako zdroj energie pre ďalšie procesy, ako napríklad pohyb svalovej hmoty. Sumárna reakcia fotosyntézy je rovnaká ako sumárna reakcia dýchania s tým rozdielom, že prebieha v opačnom smere. Keďže dýchanie je exergonické, fotosyntéza musí byť endergonická. Ako je možné, že fotosyntéza aj napriek tomu prebieha? Je to

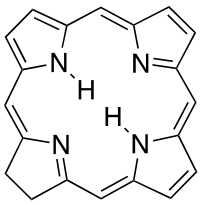
preto, že fotosyntéza je fotochemický proces, pri ktorom sa energia vo forme absorbovaného svetla využíva na „posúvanie reakcie smerom nahor“. Jedným z kľúčových hráčov pri tomto procese je chlorofyl, ktorý pri absorpcii energiu zo svetla zachytí a posúva ďalej.

Pri absorpcii svetla molekulou ako je chlorofyl, dochádza k excitácii, t. j. k prenosu elektrónu z obsadeného do neobsadeného orbitálu. Inak povedané, molekula v základnom stave sa po absorpcii svetla dostáva do tzv. excitovaného stavu, ktorý má vyššiu energiu. V prípade chlorofylu dochádza pri absorpcii viditeľného svetla k prenosu elektrónu z väzbového π do protiväzbového π^* orbitálu. Pri tomto prechode platí pravidlo zachovania spinu. Molekula chlorofylu v excitovanom stave môže energiu uvoľniť viacerými spôsobmi. Jednou možnosťou je návrat do základného stavu. Ak sa pri tomto procese uvoľní energia vo forme svetla, hovoríme o fluorescencii. Ak sa v blízkosti excitovanej molekuly chlorofylu nachádza druhá molekula chlorofylu v základnom stave, môže dôjsť k tzv. prenosu energie: pri návrate do základného stavu odovzdá excitovaná molekula časť energie molekule v základnom stave, ktorá prejde do excitovaného stavu (taktiež tu platí pravidlo zachovania spinu). Takýmto spôsobom sa odohráva prenos energie svetla z jednej molekuly chlorofylu na ďalšiu, až dokým sa energia nepresunie na miesto činu. Tu odovzdá excitovaná molekula chlorofylu elektrón molekule, ktorá slúži ako akceptor elektrónov. Na to, aby k prenosu elektrónu mohlo dôjsť, musí mať akceptor k dispozícii voľný orbitál, ktorý má nižšiu energiu ako orbitál chlorofylu, odkiaľ sa elektrón bude presúvať (opäť zachovávame spin). Konečným akceptorom elektrónu počas tejto tzv. svetelnej fázy je $NADP^+$, redukciou ktorého vzniká NADPH. Počas tmavej fázy potom NADPH spolu s ATP premieňajú oxid uhličitý na sacharidy.

Prečo si príroda vybrala atóm horčíka ako centrálny atóm v chlorofyle? Jedným z dôvodov je obmedzenie vedľajších reakcií po absorpcii svetla chlorofylom. V prípade ťažších kovov, ako je napríklad zinok, môže totiž v excitovanej molekule dochádzať k spinovo zakázanému prechodu, tzv. medzisystémovému prechodu. Ide o proces, kedy nedochádza k presunu elektrónu, mení sa len jeho spin. Molekula v singletovom excitovanom stave takto prejde do tripletového excitovaného stavu. Pri návrate do základného stavu môže táto molekula presunom energie excitovať molekulu dikyslíka z tripletového základného do singletového excitovaného stavu (zachovávame spin).

Tento proces sa volá senzitizácia. Singletový dikyslík je vysoko reaktívny a vo vyššej koncentrácii poškodzuje bunky.

1. Základnou štruktúrnou jednotkou chlorofylu je komplexná zlúčenina, ktorá vzniká reakciou chlorínu s octanom horečnatým. Nakreslite produkty tejto reakcie.

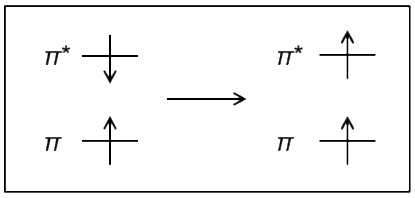


chlorín

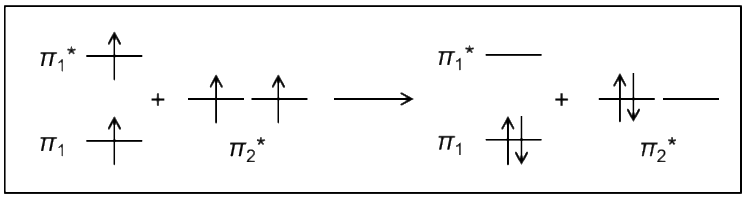
2. Vysvetlite, prečo nedochádza pri absorpcii svetla chlorofylom k excitácii elektrónu z *d* orbitálu centrálneho atómu kovu.

3. Priraďte príslušnú schému A–F ku každému z nasledovných procesov: excitácia, fluorescencia, prenos energie, prenos elektrónu, medzisystémový prechod, senzitizácia. Procesy A–C prebiehajú v rámci jednej molekuly, zatiaľ čo procesy D–F prebiehajú medzi dvomi molekulami (dolný index 1 a 2).

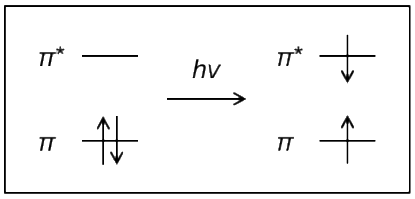
A



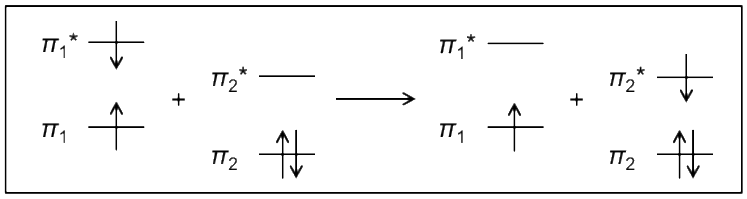
D



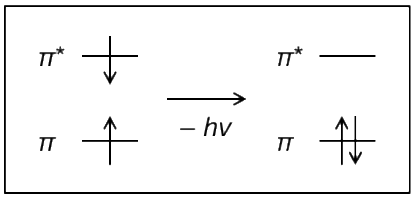
B



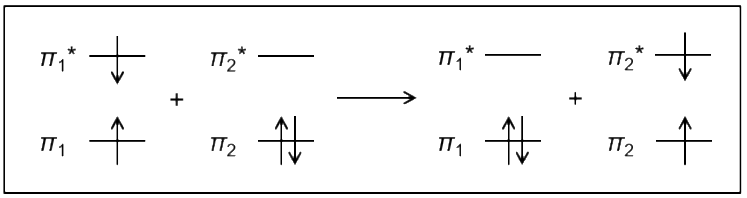
E



C

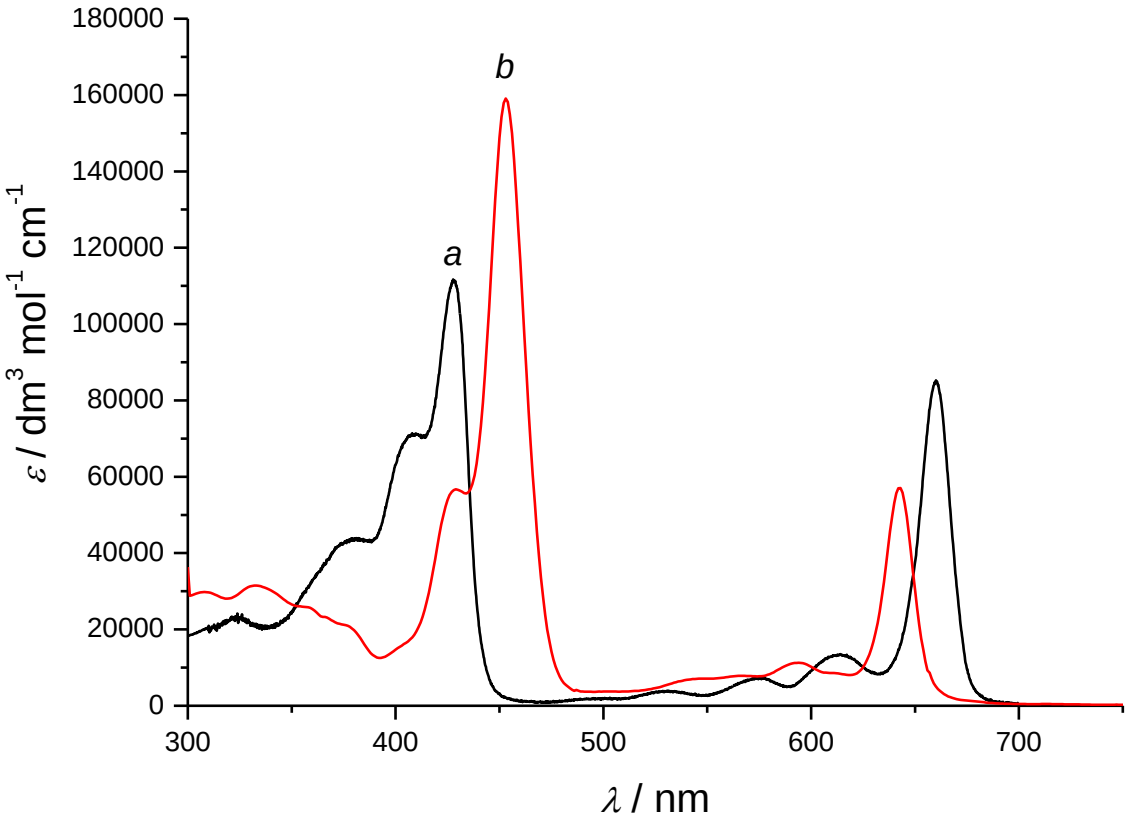


F



4. Potravinové farbivo E141 je analógom chlorofylu rozpustným vo vode. Jeho molekuly obsahujú odlišné bočné reťazce a atóm medi namiesto atómu horčíka. Vypočítajte magnetický moment farbiva E141.

V úlohách z biochémie sú uvedené štruktúrne vzorce chlorofylov *a* a *b* (CL *a*/*b*). Na obrázku 2 sú znázornené ich elektrónové absorpčné spektrá.



Obrázok 2. Elektrónové absorpčné spektrá chlorofylov a a b v dietyléteri.

Na základe ich spektrálnych vlastností ich vieme od seba odlíšiť a aj vypočítať ich koncentrácie vo vzorke, aj keď sú prítomné vedľa seba. Použité rozpúšťadlo mierne ovplyvňuje polohu absorpčných pásov, ale v literatúre sa dajú nájsť už namerané hodnoty maxím a absorpčných koeficientov pre naše konkrétne stanovenie.

5. Vypočítajte hmotnosť chlorofylu *a* a chlorofylu *b* v 1,000 grame púpavy, keď sa na izoláciu pigmentov použilo 2,500 g čerstvého materiálu. Rastlinný materiál sa v prvom kroku homogenizoval s pieskom a malým množstvom $CaCO_3$ a následne podrobil extrakcii s dietyléterom. Účinnosť extrakcie pigmentov dietyléterom bola 90 %. Výsledný objem éterového extraktu, po odstránení bunkových zvyškov a piesku, bol 25,00 cm^3. Z tohto objemu sa na stanovenie chlorofylov odobralo 0,1000 cm^3. K odobratému extraktu sa pridalo 1,400 cm^3 dietyléteru a zriedený extrakt sa použil na meranie absorbancie pri 642 a 660 nm. Namerané hodnoty absorbancie v kyvete hrúbky 1,000 cm boli A_{660} = 0,355 a A_{642} = 0,718. Hodnoty molárnych absorpčných koeficientov sú: ε_{660}(CL *a*) = 85 265 $dm^3\ mol^{-1}\ cm^{-1}$, ε_{642}(CL *a*) = 14 787 $dm^3\ mol^{-1}\ cm^{-1}$, ε_{660}(CL *b*) = 5 093 $dm^3\ mol^{-1}\ cm^{-1}$, ε_{642}(CL *b*) = 56 996 $dm^3\ mol^{-1}\ cm^{-1}$.

6. Prečo sa pre meranie absorbancie vybrali tieto dve hodnoty vlnovej dĺžky?

M(chlorofyl *a*) = 893,509 g mol^{-1}, *M*(chlorofyl *b*) = 907,47 g mol^{-1}.

ÚLOHY Z BIOCHÉMIE

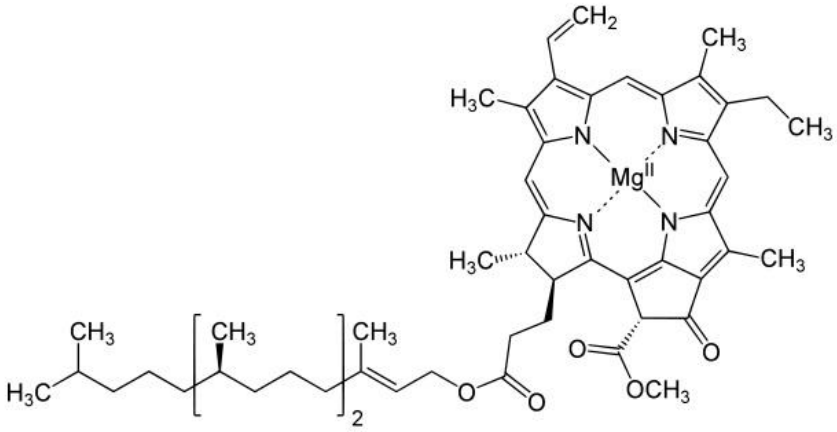
Chemická olympiáda – kategória A – 57. ročník – šk. rok 2020/21
Školské kolo

Boris Lakatoš

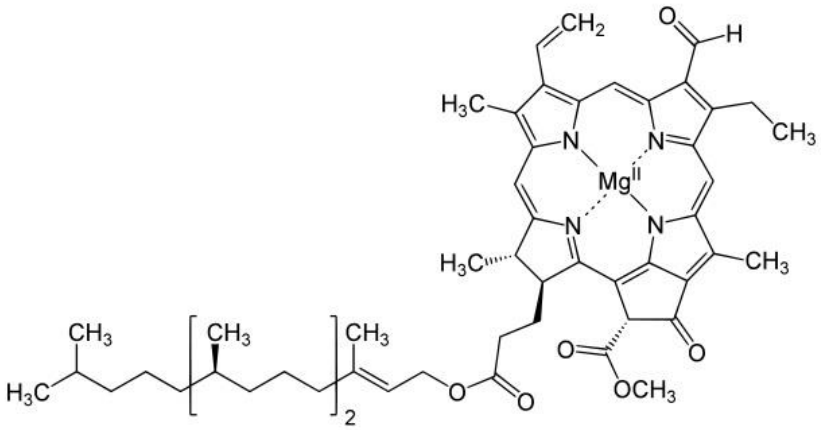
Maximálne 8 bodov
Doba riešenia: 40 minút

Bioanorganická úloha 1, druhá časť

Rastliny, riasy a fotosyntetizujúce baktérie využívajú energiu fotónov pochádzajúcich zo slnka (alebo aj žiarovky) na syntézu jednoduchých sacharidov, ktoré dokážu ďalej metabolizovať na komplexnejšie molekuly. Pri premene svetelnej energie na energiu chemickú im vo významnej miere pomáhajú molekuly chlorofylov a ďalších pigmentov. Kľúčovú úlohu však v procese fotosyntézy zohráva najmä chlorofyl a, ktorého štruktúru vidíte na obrázku 1a.



Obrázok 1a: Štruktúra chlorofylu a.



Obrázok 1b: Štruktúra chlorofylu b.

Syntézu chlorofylu a v laboratóriu prvýkrát vykonal a opísal Robert B. Woodward v roku 1960 (o ďalších 30 rokov neskôr publikoval aktualizovanú verziu) a jeho syntéza pozostávala zo 49 krokov. Východiskovou molekulou pre jeho syntézu bol etylacetoacetát (iné názvy: acetoctan etylový, etylester kyseliny acetoctovej, etylester kyseliny 3-oxobutánovej). V rastlinách je východiskovou molekulou syntézy chlorofylu (a aj iných tetrapyrolov) aminokyselina – kyselina glutámová. Aj v prípade syntézy chlorofylu rovnako ako pri syntéze hému je kľúčovým medziproduktom kyselina δ-aminolevulová (kyselina 5-amino-4-oxo-pentánová).

1. Nakreslite štruktúrne vzorce východiskových látok pre syntézu chlorofylu a v laboratórnych podmienkach (podľa Woodwarda) a v rastlinách.

2. Nakreslite štruktúrny vzorec kyseliny δ-aminolevulovej.

Predpokladá sa, že z celkového množstva svetelnej energie dopadajúcej na Zem za jeden deň, čo je približne $1{,}5.10^{22}$ kJ, je 1 % absorbované fotosyntetizujúcimi organizmami, ktoré ju premenia na energiu chemickú. Premena slnečnej alebo svetelnej energie na chemickú sa často vyjadruje ako množstvo oxidu uhličitého, ktorý je počas fotosyntézy fixovaný a vzniká hexóza a kyslík.

3. Napíšte sumárnu reakciu fotosyntézy.

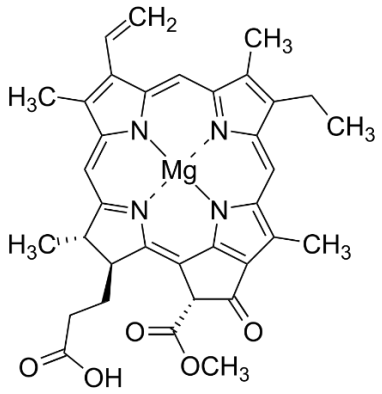
Hoci sa údaje líšia, odhady naznačujú, že fotosyntézou sa celosvetovo ročne fixuje $2{,}58.10^{14}$ kilogramov oxidu uhličitého, z toho je tretina fixovaná v oceánoch, predovšetkým fotosyntetickými morskými mikroorganizmami.

4. Vypočítajte, koľko ton CO_2 sa za uvedených podmienok fixuje v oceánoch a koľko by sa teoreticky fixovalo do suchozemských fotosyntetizujúcich organizmov (pri zachovaní rovnakej účinnosti fixácie), ak by sa množstvo absorbovanej svetelnej energie zvýšilo na 2,5 %.

Určite ste si všimli, že na jeseň listnaté stromy (opadavé) strácajú zelenú farbu a ich koruny sa stávajú žltými, oranžovými, červenými alebo hrajú viacerými farbami súčasne. Toto je spôsobené degradáciou chlorofylu. Chlorofyl b (Obrázok 1b) je najskôr metabolizovaný na chlorofyl a v dvojkrokovej redukcii.

5. Nakreslite štruktúru medziproduktu vzniknutého po prvej redukcii chlorofylu b.

Hoci sa v ďalších krokoch degradácie chlorofylu údaje v literatúre rozchádzajú, predpokladajte, že v nasledujúcej reakcii je z chlorínového jadra odštiepený dlhý alifatický reťazec účinkom enzýmu chlorofyláza. Produktmi tejto reakcie sú chlorofylid a (Obrázok 2) a fytol (acyklický diterpénový alkohol).

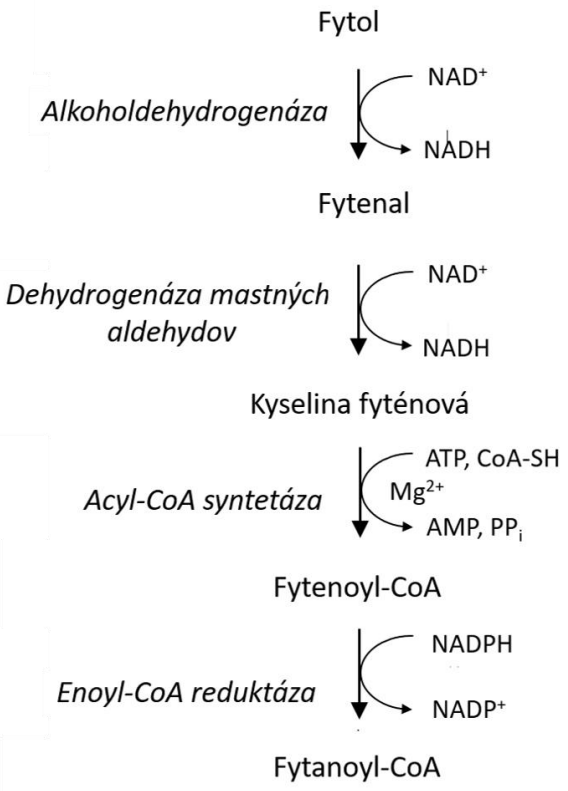


Obrázok 2: Štruktúra chlorofylidu a.

6. Nakreslite štruktúru fytolu a napíšte jeho systémový názov.

7. Do akej triedy enzýmov by ste zaradili enzým chlorofyláza.

Odštiepenie fytolu z molekuly chlorofylu sa nerealizuje len v rastlinách. Degradovať chlorofyl dokážu napr. baktérie žijúce v tráviacom trakte prežúvavcov, niektoré druhy hmyzu, ryby alebo aj niektoré druhy opíc. My ľudia síce chlorofyl degradovať nevieme, ale fytol metabolizovať vieme a rovnako ako baktérie v tráviacom trakte prežúvavcov z neho „vyrobíme“ karboxylovú kyselinu (kyselina fytánová vo forme jej acyl-koenzýmu A) sériou reakcií, ktorých priebeh je schematicky naznačený na obrázku na nasledujúcej strane.



Obrázok 3: Schéma premeny fytolu na kyselinu fytánovú.

8. Napíšte názvy molekúl, ktoré slúžia ako koenzýmy pre oxidačno-redukčné reakcie pri premene fytolu na fytanoyl-CoA.

ÚLOHY Z FYZIKÁLNEJ CHÉMIE

Chemická olympiáda – kategória A – 57. ročník – školský rok 2020/21
Školské kolo

Ján Reguli

Maximálne 17 bodov,
doba riešenia 60 minút

Úloha 1 (1,5 bodu)

V uzavretej pevnej nádobe s objemom 1 m^3 je 40 mólov vzduchu pri teplote 300 K. Vzduch sme zohriali o 50 °C odporovou špirálou, ktorou sme mu dodali teplo 25 kJ. Aká je izochorická molárna tepelná kapacita vzduchu? O koľko stúpol v nádobe tlak a aká je jeho konečná hodnota?

Nádobu sme potom tepelne izolovali a natlačili sme do nej ďalší vzduch. Vypočítajte látkové množstvo pridaného vzduchu, ak sa tlak v nádobe zvýšil na 200 kPa (stále pri 350 K).

Úloha 2 (2 body)

Adiabatická vratná kompresia plynu sa uskutočňuje z tlaku 0,1 MPa na tlak 10 MPa zo začiatočnej teploty 25 °C a objemu 10 m^3. Závislosť tlaku od objemu je daná rovnicou $PV^{1,2} = \mathrm{const}$. Vypočítajte teplotu plynu po stlačení, konečný objem plynu a prácu dodanú plynu.

Úloha 3 (3,5 bodu)

Predpokladajme, že sústava v plynnom stave prejde z počiatočného stavu p_1 = 0,1 MPa, V_1 = 10 dm^3, T_1 = 300 K dodaním tepla q = 3 000 J v konštantnom objeme na tlak p_2 a teplotu T_2. Vratnou izotermickou expanziou na počiatočný tlak p_1 zaujme sústava objem V_3. Z tohto stavu sa vráti do počiatočného stavu späť izobarickou kompresiou. Určte, za predpokladu ideálneho stavového správania a $C_{p,\mathrm{m}}$ = 30 J K^{-1} mol^{-1}, hodnoty T_2, p_2, V_3, teplo, prácu, zmenu vnútornej energie a entalpie sústavy pre všetky tri deje. Vytvorte p-V diagram (graf závislosti tlaku od objemu), znázorňujúci priebeh uvedeného deja.

Úloha 4 (3 body)

Do nádoby s piestom sme naliali zmes dvoch alkoholov A a B (tvoriacu ideálny roztok), v ktorej bol mólový zlomok $X_\mathrm{A} = 0{,}60$. Z nádoby sme vývevou odsali vzduch,

pripojili sme ju k tlakomeru, zohriali na 61 °C a piestom udržiavali tlak na $101{,}325\ \mathrm{kPa}$. Pri tejto teplote majú tlaky nasýtených pár čistých alkoholov hodnoty $p^*_\mathrm{A} = 88{,}068\ \mathrm{kPa}$, $p^*_\mathrm{B} = 121{,}2105\ \mathrm{kPa}$ a takmer celá sústava je kvapalná. Aké je zloženie oboch fáz (mólové zlomky oboch alkoholov $x_{\mathrm{i},1}$, $y_{\mathrm{i},1}$)?

V nádobe sme postupne zvyšovali teplotu, pritom sme piestom stále udržiavali tlak $101{,}325\ \mathrm{kPa}$. Zväčšovalo sa tak množstvo parnej fázy, až sa pri 62,5 °C odparil celý roztok. Aké bolo vtedy zloženie parnej fázy ($y_{\mathrm{i},2}$)? Aké je zloženie poslednej kvapky kvapalnej fázy ($x_{\mathrm{i},2}$)? Pri tejto teplote majú tlaky nasýtených pár čistých alkoholov hodnoty $p^*_\mathrm{A} = 90{,}148\ \mathrm{kPa}$, $p^*_\mathrm{B} = 124{,}475\ \mathrm{kPa}$.

Znázornite fázový diagram závislosti teploty od zloženia kvapalnej a parnej fázy pri uvedenom tlaku, ak pri ňom majú teploty varu hodnoty 70 °C (A) a 50 °C (B). Vyznačte v ňom oba uvedené stavy.

Úloha 5 (1 bod)

Pri teplote 100 °C je tlak nasýtenej pary čistého benzénu $p^*_\mathrm{A} = 179{,}2\ \mathrm{kPa}$ a čistého toluénu $p^*_\mathrm{B} = 74{,}17\ \mathrm{kPa}$. Sústava, obsahujúca benzén a toluén, vrie pri teplote 100 °C pri tlaku 101,325 kPa. Zistite zloženie kvapalnej a parnej fázy uvedenej sústavy. Predpokladajte, že kvapalná fáza je ideálny roztok a parnú fázu považujte za stavovo ideálnu.

Úloha 6 (3 body)

V ideálnej plynnej sústave prebieha v konštantnom objeme jednosmerná reakcia

$$\mathrm{A(g)} \rightarrow \mathrm{P(g)} + \tfrac{1}{2}\,\mathrm{R(g)}$$

Jej rýchlostná konštanta má pri teplote 337 K hodnotu $3.10^{-2}\ \mathrm{min^{-1}}$. Koľko percent látky A zostane v reakčnej zmesi po zahrievaní pri teplote 337 K po dobu jednej hodiny? O koľko percent stúpne v nádobe tlak? (Na začiatku bola v sústave len látka A.)

Úloha 7 (3 body)

Rozklad nitramidu (M = 62,03 g $\mathrm{mol^{-1}}$) v zásaditom prostredí

$$\mathrm{NH_2NO_2(s)} \rightarrow \mathrm{N_2O(g)} + \mathrm{H_2O(l)}$$

je reakciou prvého poriadku. Jej priebeh sa sleduje zbieraním plynu, uvoľneného počas reakcie. V priebehu experimentu sa pri teplote 15 °C rozkladalo 50,0 mg nitramidu. Objem suchého plynu uvoľneného po 70,0 min bol 6,59 $\mathrm{cm^3}$ pri tlaku 100 kPa. Vypočítajte rýchlostnú konštantu a polčas reakcie rozkladu nitramidu.

ÚLOHY Z ORGANICKEJ CHÉMIE

Chemická olympiáda – kategória A – 57. ročník – školský rok 2020/21
Školské kolo

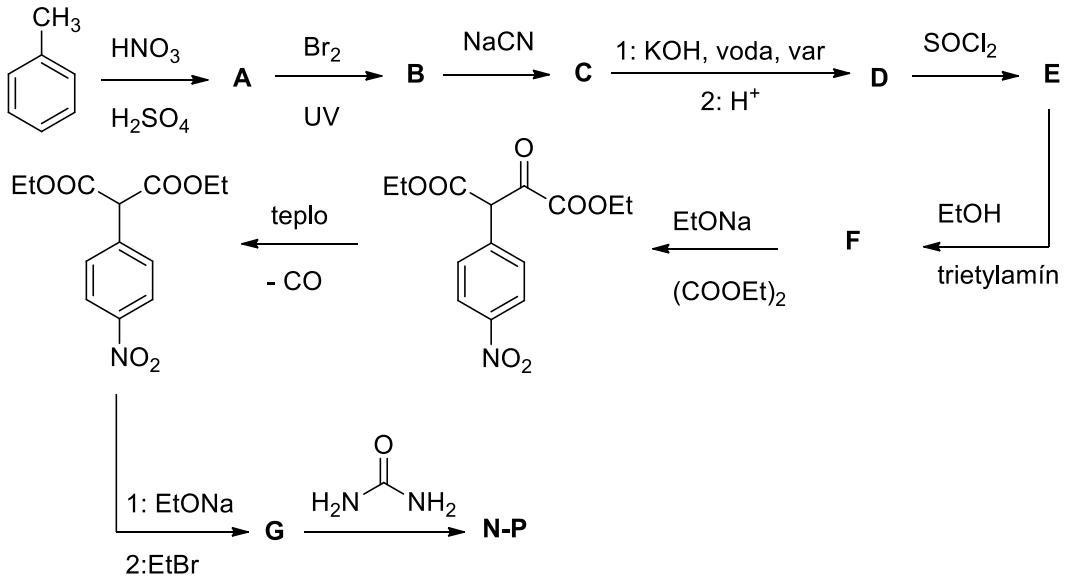
Radovan Šebesta, Michal Májek

Maximálne 17 bodov
Doba riešenia: 60 minút

Úloha 1 (5,75 bodov)

Fenobarbital bol pôvodne vyvinutý ako hypnotikum, ale v tejto triede liečiv ho dnes nahradili bezpečnejšie látky s menším potenciálom vyvolať závislosť. Avšak vďaka jeho silnej antikonvulzívnej (protizáchvatovej) aktivite sa stále často používa pri liečbe epilepsie. Chemik Emil sa v rámci svojho výskumu antikonvulzív pokúsil o syntézu nitro-derivátu fenobarbitalu **N-P** z toluénu:

a) Doplňte medziprodukty **A-G**.



b) Chemik Emil pri reakcii **A** na **B** použil železné miešadlo na miešanie reakcie. To sa v reakčnej zmesi čiastočne rozpustilo. Emil izoloval okrem látky **B** aj zmes vedľajších (organických) produktov. Keď použil namiesto železného teflónové miešadlo, tieto produkty nevznikali. Navrhnite štruktúru aspoň jedného z týchto vedľajších produktov.

c) Emilovi sa minul etanolát sodný, tak pri syntéze **G** použil namiesto neho metanolát sodný. Zistil však, že po tejto zámene vzniká okrem látky **G** aj zmes vedľajších (organických) produktov. Navrhnite štruktúru aspoň jedného z týchto vedľajších produktov.

d) Ako by Emil mohol pripraviť čistý etanolát sodný, ktorý potrebuje pre syntézu **G**?

e) Napíšte mechanizmus tvorby látky **F** z **E**.

Úloha 2 (2,0 body)

Haloformová reakcia kedysi slúžila na identifikáciu zlúčenín, ktoré obsahujú fragment -CO-CO_3. Táto reakcia však má aj preparatívny význam pri príprave niektorých karboxylových kyselín, kde sa ako oxidačné činidlo zväčša používa roztok Sava (NaClO)

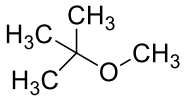
a) Napíšte Lewisov vzorec oxidačného činidla ClO^-

b) Vodný roztok chlórnanu sodného v bázickom prostredí oxiduje *p*-brómacetofenón na sodnú soľ kyseliny *p*-brómbenzoovej. Napíšte rovnicu pre túto premenu (so všetkými činidlami a produktami), napíšte oxidačné stavy všetkých atómov pri ktorých dochádza pri tejto reakcii k zmene oxidačného čísla a vyčíslite túto reakciu.

c) Navrhnite prípravu východiskovej látky – *p*-brómacetofenónu z benzénu. Môžete (ale nemusíte) využiť niektoré z reagentov: NaCN, $NaNO_2$, KOH, CuBr, $ZnCl_2$, KF, HNO_3, HCl, H_2SO_4, Fe, etanol, acetylchlorid.

Úloha 3 (5,5 bodov)

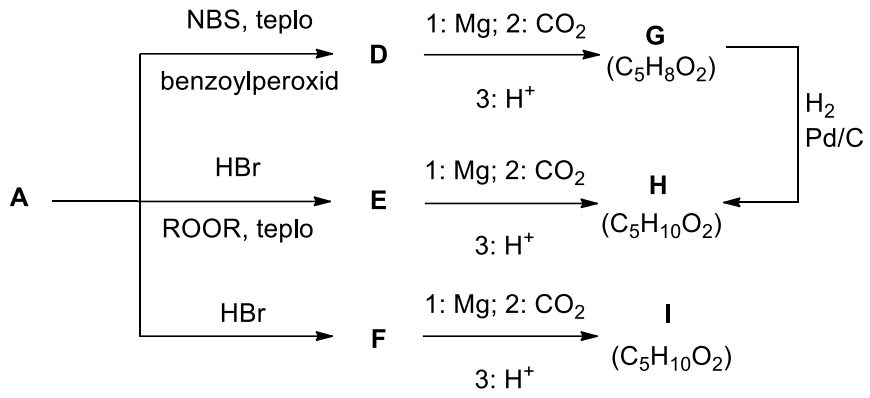
Metyl(*terc*-butyl)éter (MTBE) je aditívum do benzínu, ktoré slúži na zvyšovanie jeho oktánového čísla. Vyrába sa z alkénu **A** a alkoholu **B** za kyslej katalýzy. Alkén **A** podlieha katalytickej hydrogenácii (Pd/C, H_2) za vzniku alkánu **C**, ktorý má v ^{1}H NMR spektre len dva signály v pomere integrálnych intenzít 1:9.



MTBE

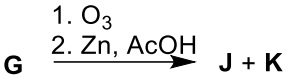
a) Aké sú štruktúry látok **A**, **B** a **C**?

Látka **A** sa dá za rôznych podmienok brómovať za vzniku troch rôznych brómderivátov **D-F**. Tie následne reakciou s horčíkom, CO_2 a po okyslení poskytnú látky **G**-**I**. Látka **G** sa dá transformovať na **H** katalytickou hydrogenáciou.



b) Aké sú štruktúry **D**-**I**?

c) Látka **G** podlieha reakcii s ozónom a po následnom spracovaní v prostredí Zn/AcOH, poskytne dve látky **J**, **K**. Látka **J** je extrémne dobre vo vode rozpustný plyn a látka **K** je nestála pri zvýšenej teplote – rozkladá sa na acetón, pričom z roztoku unikajú bublinky plynu. Aká je štruktúra látok **J** a **K**?



Úloha 4 (3,75 bodov)

Pri reakcii trifluórmetylbenzénu so zmesou kyseliny dusičnej a sírovej vznikajú tri produkty **A, B,** a **C**. Hmotnostná spektrometria ukázala, že všetky tri zlúčeniny majú rovnaký molekulový ión *m*/*z* 191,0. Pričom zlúčeniny **A** vzniklo 6%, **B** 91% a **C** 3%. Zlúčeniny **A**-**C** majú nasledujúce ^{1}H NMR spektrá:

A - δ^{H}: 7,89 (d, 1H); 7,85 (m, 2H); 7,75 (d, 1H) ppm.

B - δ^{H}: 8,50 (s, 1H); 8,48 (d, 1H); 7,98 (dd, 1H); 7,77 (d, 1H) ppm.

C - δ^{H}: 8,37 (d, 2H); 7,87 (d, 2H) ppm.

Určte štruktúry zlúčenín **A**-**C** a priraďte NMR signály.

Poznámka: Signál „dd“ je dublet dubletu, ktorý vzniká ak sú v susedstve vodíka dva rôzne vodíky.

Autori: Mgr. Michal Juríček, PhD., doc. Ing. Boris Lakatoš, PhD., Ing. Michal Májek, PhD., doc. Ing. Ján Reguli, CSc. (vedúci autorského kolektívu), prof. Mgr. Radovan Šebesta, DrSc., Ing. Rastislav Šípoš, PhD.

Recenzenti: Ing. Tibor Dubaj, PhD., Mgr. Jela Nociarová, Ing. Ján Pavlík, PhD., Ing. Kristína Plevová, PhD., doc. Ing. Martin Šimkovič, PhD.

Slovenská komisia Chemickej olympiády

Vydal: IUVENTA – Slovenský inštitút mládeže, Bratislava 2020