

CHEMICKÁ OLYMPIÁDA

62. ročník, školský rok 2025/26

Kategória A

Školské kolo

TEORETICKÉ ÚLOHY



ÚLOHY Z ANORGANICKEJ A ANALYTICKEJ CHÉMIE

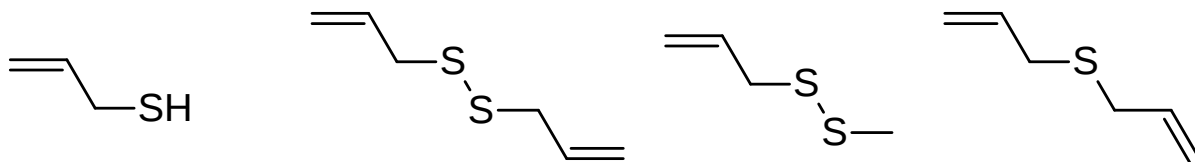
Chemická olympiáda – kategória A – 62. ročník – školský rok 2025/26
Školské kolo

Martin Brokeš, Šimon Budzák

Maximálne 18 bodov
doba riešenia 70 minút

Úloha 1 – cesnaková štvorka (8 bodov)

Ľudová medicína pozná cesnak ako takmer univerzálny liek. Pozostatkom liečby je intenzívny cesnakový dych. Žiadna z látok zodpovedných za cesnakový dych nie je v cesnaku prítomná, kým nedôjde k jeho ošúpaniu, rozrezaniu alebo drveniu. Jeho vôňa a účinné látky schované za ňou boli predmetom mnohých štúdií. Jedna z látok $X_1 - X_4$ (Obr. 1) zodpovedných za cesnakový dych bola podrobená nasledovnej analýze. Presne 100 mg látky **X** bolo spálených v prúde kyslíka. Jeden z produktov (produkt **A**) bol absorbovaný do vodného roztoku 3 % peroxidu vodíka, pričom vznikla látka **B**. Na celkovo 50 ml roztoku **B** bolo pri nasledovnej titracii spotrebovaných 8,8 ml roztoku $\text{Ba}(\text{ClO}_4)_2$ s koncentráciou $0,1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$.



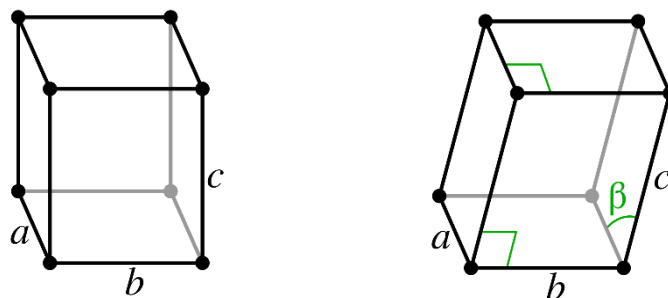
Obrázok 1: Štruktúra štyroch látok, zľava $X_1 - X_4$.

1. V stavovom tvare zapíšte vyčíslenú reakciu, ktorá prebieha pri titracii.
2. Zapíšte vyčíslenú reakciu premeny **A** na **B** v stavovom tvare.
3. Vyberte, ktorá z látok $X_1 - X_4$ bola analyzovaná. Zdôvodnite výpočtom.
4. Zapíšte vyčíslenú reakciu premeny **X** na **A** v stavovom tvare.

Úloha 2 – je dospelá mriežka mriež? (7 bodov)

Počet alotropických modifikácií síry presahuje číslo 30, čo z nej robí prvok s najväčším počtom alotropických modifikácií. Elementálna síra obsahuje hneď 3 z týchto modifikácií a to prevažne cyklooktasíru (S_8) spolu s ďalšími dvoma cyklickými modifikáciami síry, ktorými sú S_7 a S_6 . Samotná cyklooktasíra tvorí dva polymorfy – α

a β – ktoré pozostávajú z nezmeneného cyklického usporiadania S_8 . Čím sa tieto polymorfy líšia je však kryštalická mriežka (Obr. 2).



Obrázok 2: Ortorombická kryštalová mriežka (α - S_8 , vľavo) a monoklinická kryštalická mriežka (β - S_8 , vpravo).

Rozmery ortorombickej kryštálovej mriežky sú $a = 1,0460$ nm, $b = 1,2861$ nm, $c = 2,4481$ nm pri 20 °C. Hustota je $2,07$ g/cm³.

Rozmery monoklinickej kryštálovej mriežky sú $a = 1,0926$ nm, $b = 1,0855$ nm, $c = 1,0790$ nm, $\beta = 95,92^\circ$ pri 24 °C. Hustota je $2,008$ g/cm³.

1. Vypočítajte priemerný počet atómov síry v základnej bunke pre obidva polymorfy. Objem monoklinickej kryštálovej mriežky sa počíta vzorcom $V = a \cdot b \cdot c \cdot \sin\beta$.

K premene z α - S_8 na β - S_8 dochádza pri 95 °C. Pri 114 °C dochádza k roztaveniu síry a k prechodu na tekutú síru s vysokou viskozitou. Pri tejto skupenskej a fázovej premene dochádza k zmene usporiadania atómov síry a rozpadu S_8 .

2. Za vysokú viskozitu tekutej síry je zodpovedný jej vysoký potenciál homokatenovať. Pri topení síry sa cyklická S_8 rozpadá za vzniku inej formy síry. Uveďte, o akú formu síry ide.

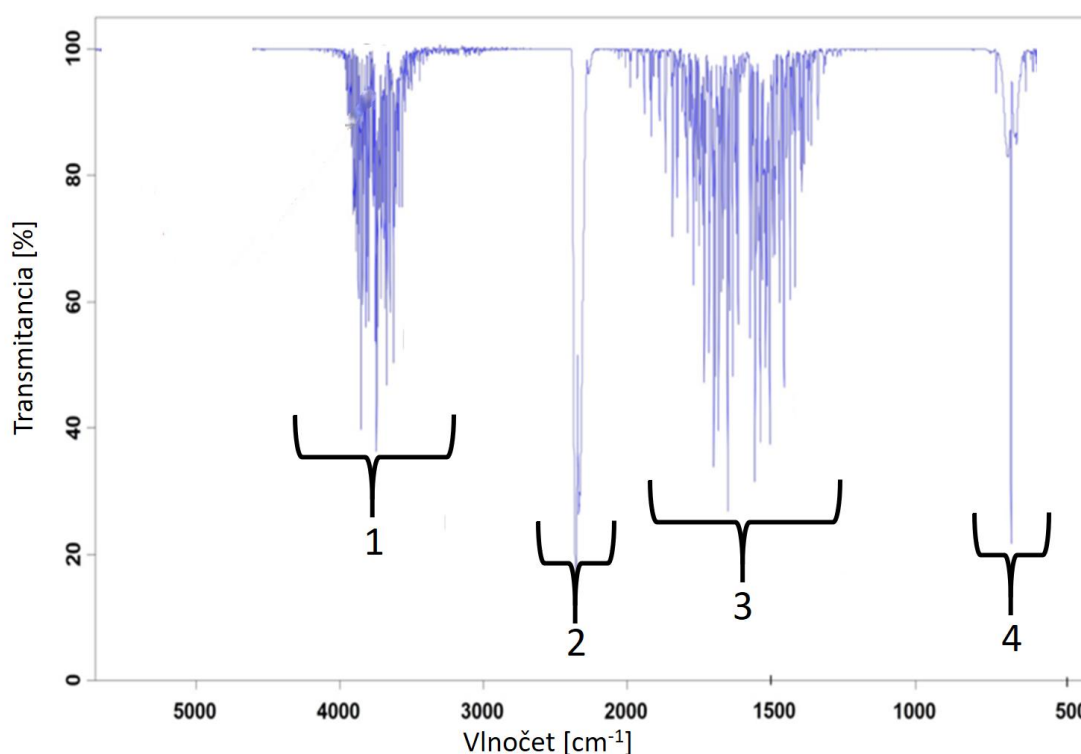
Síra je často sa vyskytujúcim prvkom zemskej kôry a mnohých minerálov a hornín. Jedným takýmto minerálom je sfalerit (ZnS), ktorý je významný svojou kryštalickou štruktúrou. Kryštalická štruktúra sfaleritu pripomína štruktúru diamantu a kopíruje ju mnoho ďalších minerálov. Pozostáva z plošne centrovanej kubickej mriežky (FCC) aniónov a polovične obsadených tetraédrických medzier kationmi.

3. Pomocou kryštálických rezov zakreslite štruktúru sfaleritu. V nákrese odlíšte typy atómov (S označte krúžkom a Zn označte krížikom). Rezy sú navzájom rovnobežné, prechádzajú skupinami atómov a dokonale mapujú štruktúru mriežky.

Úloha 3 – vzdušný tanec (3 body)

Analýza infračerveného spektra vzduchu poskytuje cenné informácie o jeho zložení aj o procesoch, ktoré ovplyvňujú zadržiavanie tepla v atmosfére. Na Obrázku 3 je infračervené spektrum vzduchu zaznamenané pri bežných podmienkach. K jednotlivým oblastiam infračerveného spektra 1 – 4 priradiť vibrácie:

- Valenčná vibrácia H_2O
- Valenčná vibrácia O_2
- Valenčná vibrácia N_2
- Asymetrická valenčná vibrácia CO_2
- Deformačná vibrácia H_2O
- Deformačná vibrácia CO_2



Obrázok 3: Infračervené spektrum vzduchu. Sú vyznačené 4 oblasti, ktoré je potrebné priradiť.

ÚLOHY Z FYZIKÁLNEJ CHÉMIE

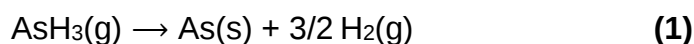
Chemická olympiáda – kategória A – 62. ročník – školský rok 2025/26
Školské kolo

Tibor Dubaj

Maximálne 17 bodov,
doba riešenia 60 minút

Úloha 1 (3 body)

Marshova skúška na prítomnosť arzénu je založená na redukcii vzorky pomocou zinku v kyslom prostredí, pričom vzniká arzán (AsH_3). Arzán sa následne termicky rozkladá na prvky podľa schémy



Na začiatku bol uzavretej nádobke čistý plynný arzán pri teplote 150°C . Po 10 min tlak arzánu v nádobke klesol o 15 %.

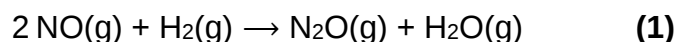
1.1 Vypočítajte rýchlostnú konštantu reakcie (1) vzhľadom na arzán za predpokladu, že ide o reakciu prvého poriadku.

1.2 Vypočítajte celkový tlak v nádobke po úplnom rozklade arzánu, ak jeho počiatočný tlak bol 75 kPa.

1.3 Vypočítajte čas potrebný na rozklad 99,9 % počiatočného množstva arzánu pri teplote 150°C .

Úloha 2 (7 bodov)

Pri vyšších teplotách sa oxid dusnatý redukuje vodíkom na oxid dusný podľa schémy



Kinetika tejto reakcie sa študovala pri teplote 820°C prostredníctvom počiatočnej rýchlosti zmeny tlaku N_2O v reaktore v závislosti od parciálnych tlakov reaktantov.

$p_0(\text{NO})/\text{kPa}$	$p_0(\text{H}_2)/\text{kPa}$	$(\Delta p(\text{N}_2\text{O})/\Delta t)_0/(10^{-3} \text{ kPa s}^{-1})$
16,0	8,0	11,57
8,0	8,0	2,89
8,0	24,0	8,68

2.1 Pomocou údajov v tabuľke určte poriadok reakcie vzhľadom na oba reaktanty a vypočítajte rýchlostnú konštantu k_p vzhľadom na N_2O pri 820 °C.

2.2 Vypočítajte čas, za ktorý zreaguje polovica počiatočného množstva vodíka pri 820 °C, ak počiatočný tlak NO bol 99,9 kPa a počiatočný tlak vodíka bol 0,10 kPa.

Pre reakciu **(1)** bol navrhnutý nasledujúci mechanizmus:



2.3 Za predpokladu, že tlak medziproduktu sa rýchlo ustáli na konštantnej hodnote, odvodte rýchlostnú rovnicu vzniku N_2O v tvare $\Delta p(N_2O)/\Delta t = \dots$.

2.4 Za akých podmienok je rýchlostná rovnica odvodená v otázke 3 zhodná s rýchlostnou rovnicou získanou v prvej otázke?

$$(a) k_{-1} \ll k_2 p(H_2) \quad (b) k_{-1} \gg k_2 p(H_2) \quad (c) k_{-1} \gg k_2 \quad (d) k_1 \gg k_{-1}$$

Úloha 3 (7 bodov)

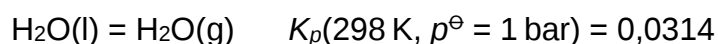
Redukcia vodnej pary oxidom uhoľnatým (tzv. WGS reakcia, *water–gas shift*) prebieha pri vysokých teplotách podľa schémy $CO(g) + H_2O(g) = CO_2(g) + H_2(g)$. Ide o významný priemyselný zdroj vodíka. Pre reakciu poznáme hodnoty rovnovážnej konštanty: $K_p(298 \text{ K}, p^\ominus = 1 \text{ bar}) = 104 \cdot 10^3$ a $K_p(600 \text{ K}, p^\ominus = 1 \text{ bar}) = 24,2$.

3.1 Vypočítajte hodnoty $\Delta_r H^\ominus$ a $K_p(550 \text{ K}, p^\ominus = 1 \text{ bar})$ za predpokladu, že reakčná entalpia a entropia nezávisia od teploty.

3.2 Plynná zmes CO a H_2O sa v molárnom pomere 1:2 privádza na tuhý katalyzátor pri celkovom tlaku 1 MPa a teplote 550 K. Vypočítajte najvyšší stupeň premeny CO , ktorý sa takto môže dosiahnuť.

Z hodnôt K_p vidno, že z hľadiska výťažku by bolo výhodné reakciu uskutočňovať pri čo najnižšej teplote. Nedávno boli publikované práce, ktoré umožňujú vykonať WGS reakciu v kvapalnej fáze na fotokatalyzátore.

3.3 Vypočítajte hodnotu $K_p(298 \text{ K}, p^\ominus = 1 \text{ bar})$ WGS reakcie v prípade, že voda reaguje ako kvapalina. Využite znalosť nasledujúcej (fázovej) rovnováhy



ÚLOHY Z ORGANICKEJ CHÉMIE

Chemická olympiáda – kategória A – 62. ročník – školský rok 2025/26
Školské kolo

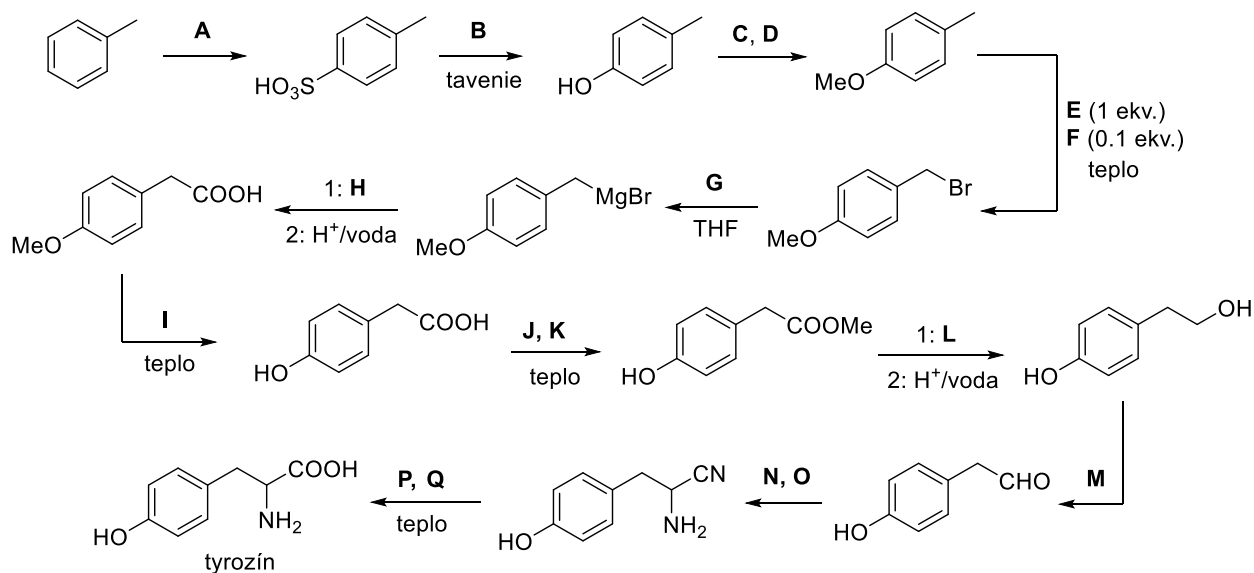
Michal Májek, Radovan Šebesta

Maximálne 17 bodov
doba riešenia 60 minút

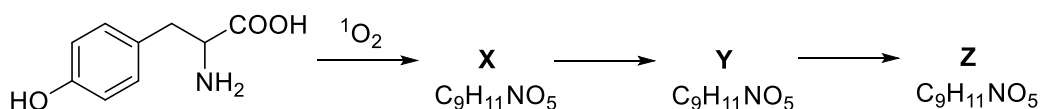
Úloha 1 (6 bodov)

Singletový kyslík môže byť pre živý organizmus nebezpečný, pretože ľahko reaguje s mnohými stavebnými blokmi biomolekúl – napríklad s aminokyselinou tyrozínom.

a) Doplňte reagenty **A – Q** pri syntéze tyrozínu.



b) Pri reakcii tyrozínu so singletovým kyslíkom pomocou [4+2] cykloadície najprv vzniká látka **X**, ktorá nie je aromatická a obsahuje hemiacetálový uhlík. Tá sa samovoľne rozpadá na ketón **Y**. Ani ten však nie je stabilný a dochádza k jeho premene na bicycklickú štruktúru **Z**. Navrhňte štruktúru látok **X**, **Y**, **Z**.



Úloha 2 (4 body)

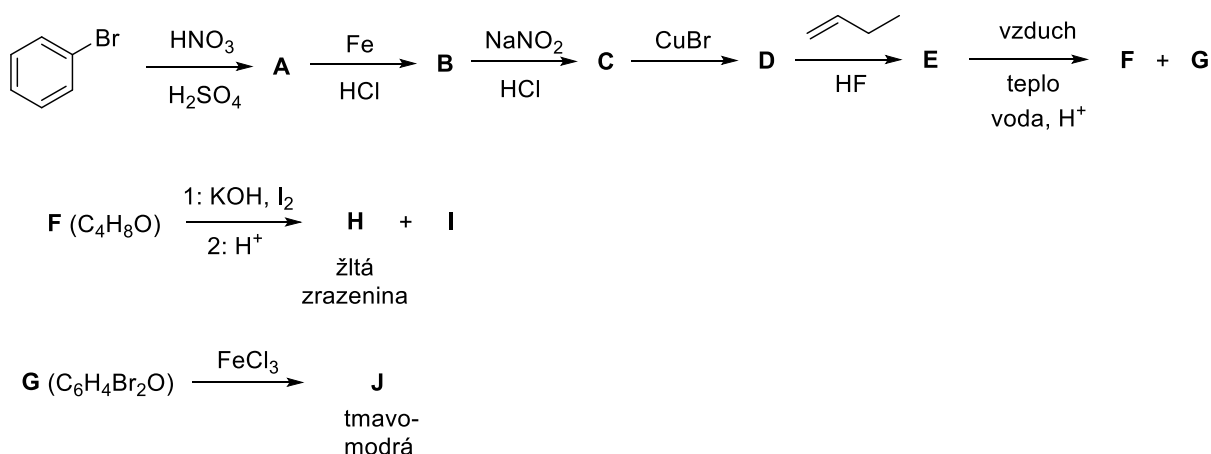
Látka **E** sa dá získať nižšie uvedeným spôsobom z brómbenzénu. Následne zlúčenina **E** podlieha za zvýšenej teploty reakcii s atmosférickým kyslíkom.

a) Doplňte štruktúru medziproduktov **A – E**.

Pozn.: Látka **D** má v ^1H NMR spektre jediný signál.

b) Látky **F** a **G** poskytujú reakcie charakteristické pre funkčné skupiny: Látka **F** po reakcii s jódom v zásaditom prostredí poskytuje žltú zrazeninu a látka **G** po reakcii s chloridom železitým farbí roztok na tmavomodro. Aká je štruktúra látok **F** a **G**?

c) Aká je štruktúra látok **H**, **I**, **J**?



Úloha 3 (4,4 bodov)

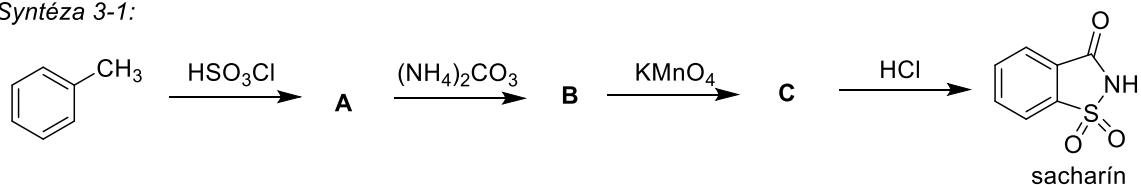
Sacharín, ako najbežnejšie umelé sladidlo sa pôvodne vyrábal z toluénu nasledovným sledom chemických reakcií (*Syntéza 3-1*). Neskôr bola ako vylepšená cesta vyvinutá syntéza z metyl-antranilátu (metyl ester kyseliny 2-aminobenzoovej) (*Syntéza 3-2*). Sacharín možno okrem sladenia kávy použiť aj v organickom laboratóriu v tzv. sacharínovej Gabrielovej syntéze na prípravu primárnych, ale po malej modifikácii aj sekundárnych amínov (*Syntéza 3-3*).

a) Určte štruktúry medziproduktov **A – C** v syntéze sacharínu (3-1).

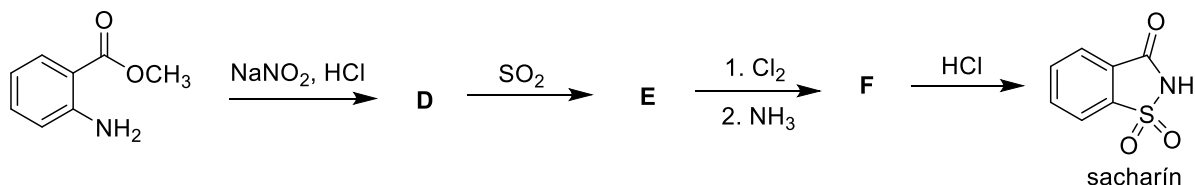
b) Určte štruktúry medziproduktov **D – F** v syntéze sacharínu (3-2).

c) Určte štruktúry zlúčenín **G – K** v sacharínovej verzii Gabrielovej syntézy (3-3)

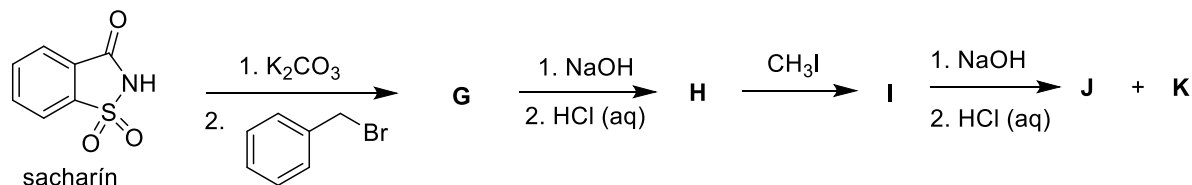
Syntéza 3-1:



Syntéza 3-2:

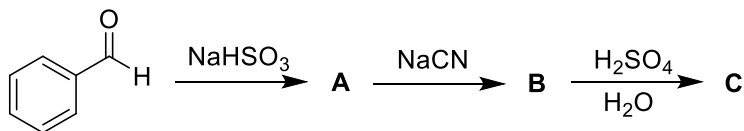


Syntéza 3-3:



Úloha 4 (2,6 bodov)

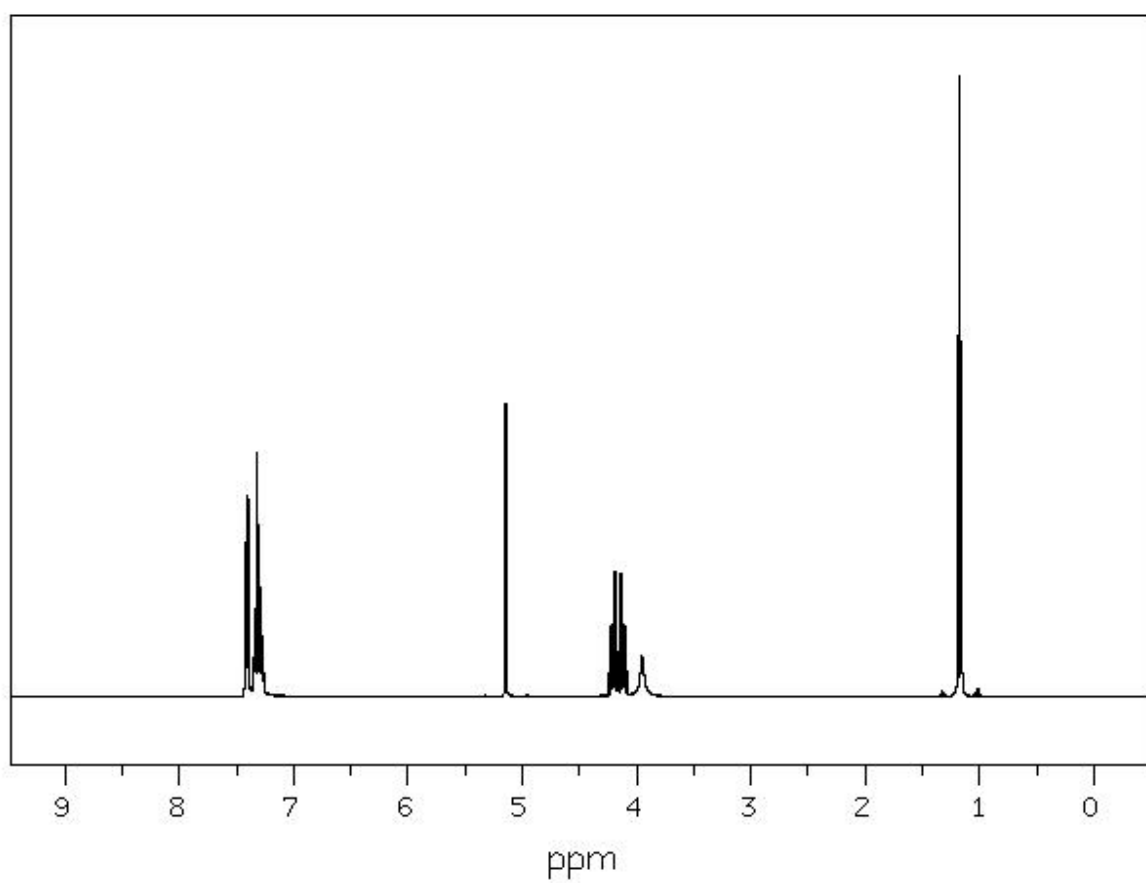
Kyselina mandľová sa využíva chemickom aj farmaceutickom priemysle. Pripraviť ju možno z benzaldehydu nasledujúcou jednoduchou syntézou. Napíšte štruktúrne vzorce látok **A** – **C**.



Etylster kyseliny mandľovej **D** ($\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{O}_3$) má v ^1H NMR spektre tieto signály:

1.20 (t, 3H), 3.62 (s, 1H), 4.19 (q, 2H), 5.14 (s, 1H), 7.17-7.75 (m, 5H).

Napíšte vzorec etylesteru kyseliny mandľovej (**D**) a priradte signály v ^1H NMR spektre.



ÚLOHY Z BIOCHÉMIE

Chemická olympiáda – kategória A – 62. ročník – školský rok 2025/26
Školské kolo

Pavol Štefík, Boris Lakatoš

Maximálne 8 bodov
Doba riešenia: 30 minút

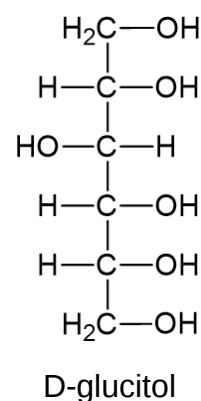
1. Vytvorte správne dvojice:

- | | |
|---------------|-------------------|
| (A) Sacharóza | (1) Sladový cukor |
| (B) Maltóza | (2) Mliečny cukor |
| (C) Laktóza | (3) Repný cukor |

2. Ku každému disacharidu z úlohy 1 napíšte:

- či patrí medzi redukujúce alebo neredukujúce sacharidy
- názvy monosacharidov, z ktorých je zložený

3. D-glucitol je alkohol odvodený od aldohexózy „X“, ktorý sa používa ako náhradné sladidlo. Na obrázku je znázornený vzorec D-glucitolu vo Fischerovej projekcii.



- Napíšte názov sacharidu „X“, od ktorého je D-glucitol odvodený.
- Nakreslite Fischerov vzorec a Haworthovu projekciu β -anoméru sacharidu „X“ vo forme pyranózy.
- Napíšte názov sacharidu, ktorý je C2 epimérom sacharidu „X“.

4. Fotoautotrofné organizmy dokážu syntetizovať sacharidy z oxidu uhličitého a vody s využitím energie slnečného žiarenia v procese fotosyntézy.

- Napíšte rovnicu reakcie, ktorá opisuje syntézu glukózy ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) v procese fotosyntézy.
- Vypočítajte množstvo oxidu uhličitého v gramoch, ktoré je potrebné na syntézu 1,5 gramu glukózy v procese fotosyntézy. Pri výpočte vychádzajte z rovnice reakcie v podúlohe (a).

$$M(\text{CO}_2) = 44 \text{ g mol}^{-1}, M(\text{glukóza}) = 180 \text{ g mol}^{-1}$$

Autori: Martin Brokeš, doc. RNDr. Šimon Budzák, PhD., Ing. Tibor Dubaj, PhD., doc. Ing. Boris Lakatoš, PhD., Ing. Michal Májek, PhD., prof. Mgr. Radovan Šebesta, DrSc., Ing. Pavol Štefík, PhD.

Recenzenti: Mgr. Jela Nociarová, PhD., Adam Kleman, doc. Ing. Ján Reguli, CSc. (vedúci autorského kolektívu), doc. Ing. Martin Šimkovič, PhD., Mgr. Barbora Zahradníková, PhD.

Slovenská komisia Chemickej olympiády

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