

Изборно такмичење за Међународну олимпијаду ученика основних школа 2025. године

Задатак 1

Помешан је арсен-пентафлуорида ($0,0094 \text{ mol}$) са спрашеним селеном ($0,025 \text{ mol}$) у анхидрованом флуороводонику на 78°C , па је смеша постепено загрејана на 0°C у току три дана. Настали испарљиви производ је кондензован ($0,0031 \text{ mol}$) и идентификован као арсен-трифлуорид на основу инфрацрвеног спектра. Уклањањем растварача под вакуумом, заостала је кристална тамно зелена чврста супстанца А ($0,0031 \text{ mol}$). У овој супстанци се могу уочити само два типа јона; један се састоји само од селенових атома, а други од атома арсена и флуора. Други производи нису настајали у реакцији. Узмите да је реакција била квантитативна. **22п**

а) Напишите формулу супстанце А.

б) Напишите Луисову формулу катјона супстанце А, ако знате да она садржи два прстена једнаке величине.

в) Ако је познато да се при растварању супстанце А у води таложи елементарни црвени селен и да је то реакција диспропорције, напишите могућу јонску једначину реакције овог растварања, ако као један од производа настаје селенитна киселина.

Решење задатка 1

Дати подаци:

- Маса реагенса: $\text{AsF}_5 = 0.0094 \text{ mol}$, $\text{Se} = 0.025 \text{ mol}$
- Испарљиви производ: $\text{AsF}_3 = 0.0031 \text{ mol}$
- Заостала чврста супстанца: 0.0031 mol , тамно зелена
- Састав супстанце А: два типа јона - селенидни и арсен-флуор јони

Моларни однос реагенса у чврстој супстанци

Број молова арсена у заосталој супстанци:

$$n_{\text{As}}^{\text{A}} = n_{\text{As}} - n_{\text{As}} = 0.0094 - 0.0031 = 0.0063 \text{ mol}$$

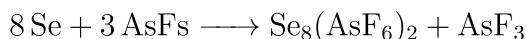
Број молова селена у чврстој супстанци:

$$n_{\text{Se}}^{\text{A}} = 0.025 \text{ mol}$$

Однос Se : As:

$$\frac{n_{\text{Se}}}{n_{\text{As}}} \approx \frac{0.025}{0.0063} \approx 4$$

Реакција:



Хемијска структура супстанце А

Познато је да полиселениди формирају Se_8 прстенове. Пошто је потребан баланс наелектрисања:

- Анјон: Se_8^{2-} - Катјон: AsF_6^+

За баланс набоја: 2 AsF_6^+ катјона за 1 Se_8^{2-} анјон.

Формула супстанце А: $\text{Se}_8(\text{AsF}_6)_2$

Бодовање дела а) 6 поена

• Материјски биланс/стехиометрија реакције (утврђивање односа молова и прелаза $\text{AsF}_5 \rightarrow \text{AsF}_3$) — 2 поена

– Тачно постављен биланс материје и молски односи.

– Делимично тачан биланс (нпр. пропуштен један корак) — 1 поен.

• Идентификација јонског састава супстанце А (катјон само од Se атома; анјон од As и F) — 2 поена

– Јасно наведено да је катјон на бази Se, а анјон As/F.

– Ако је наведено само једно од ова два — 1 поен.

• Правилан набојни биланс и исправна сумарна формула соли А — 2 поена

– Пуна и исправна формула (нпр. $[\text{Se}]^2(\text{AsF})$).

– Ако је грешка само у индексу/формалном набоју, али је логика исправна — 1 поен.

Луисова формула катјона AsF_6^+

Катјон је бицикличан: два једнака петочлана прстена, кондензована структура; формални набоји су локализовани само на Se атомима који припадају „дељеном“ делу два прстена.

Бодовање дела б) 10 поена

• **Правилан број атома Se у катјону, структура са два прстена једнаке величине (петочлани) — 4 поена**

– Насликана/описана бициклична кондензована структура ($2 \times \text{C}_5$ мотив са делом који се дели.

– Ако је један прстен погрешне величине, али је бицикличност препозната — 2 поена.

– Ако је наведено „два прстена“ без кондензације — 1 поен.

• **Формални набоји само на Se атомима који су у „мосту“/кондензованом делу — 2 поена**

– Тачно распоређени формални набоји.

– Ако је један набој добро постављен, други погрешно — 1 поен.

• **Валентни електронски парови/везе коректно приказани (Луисов опис без контрадикција) — 2 поена**

– Приказано коректно попуњавање валентних омотача.

– Мања графичка/нотациона грешка — 1 поен.

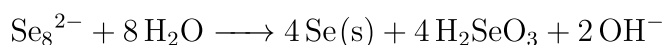
• **Општа конзистентност (стереохемија није обавезна, али не сме бити јасних контрадикција) — 2 поена**

– Без унутрашњих логичких грешака у нацрту.

– Ситне неусклађености — 1 поен.

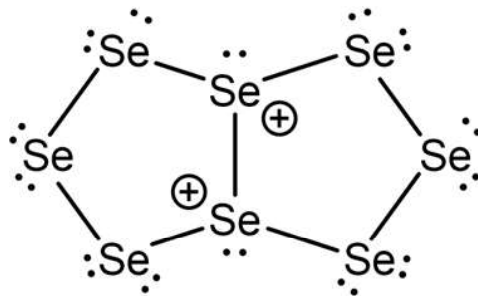
Реакција диспропорције у води

При растварању у води, Se_8^{2-} јон се диспропорционише:



- Таложи се елементарни црвени селен ($\text{Se}(\text{s})$) - Настала је селенитна киселина (H_2SeO_3) - Реакција је типичан пример диспропорције полиселенидног јона

Тражи се једначина у којој се издваја $\text{Se}(0)$ (црвени селен) и настаје селенитна киселина (H_2SeO_3); Se се истовремено и оксидује и редукује.



Slika 1: Enter Caption

Бодовање дела в) 6 поена

• Исправно написана јонска/молекулска једначина која даје Se(0) и (H_2SeO_3) као производе — 4 поена

- Пуна стехиометрија и набојни биланс.
- Ако су продукти добри, али стехиометрија није у потпуности избалансирана — 2–3 поена.

• Баланс набоја и атома (Se, O, H) уз навођење улоге воде/протона по потреби — 2 поена

- Набоји и атоми избалансирани.
- Мала грешка у коефицијентима — 1 поен.

Задатак 2

Почетне концентрације сумпор-диоксида и кисеоника износе 0,8 и 0,4 mol/dm^3 . Реакција између њих се одиграва према следећој једначини реакције: $2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{g})$. Како ће се променити брзина реакције у односу на почетну када у реакционој смеси остане 25% од почетне количине кисеоника? Резултат изразити као цео број.

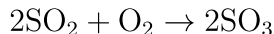
Решење задатка 2

Дати подаци:

- Почетне концентрације: $[\text{SO}_2]_0 = 0.8 \text{ mol/dm}^3$, $[\text{O}_2]_0 = 0.4 \text{ mol/dm}^3$
- Реакција:
$$2 \text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 2 \text{SO}_3(\text{g})$$
- На крају, остало 25% почетне концентрације кисеоника.

Општа формула за брзину

За реакцију:



ако претпоставимо да је ред реакције по сваком реагенсу једнак стехиометрији (или да је брзина реакције дата експериментално као $r = k[\text{SO}_2]^2[\text{O}_2]$), имамо:

$$r \sim [\text{SO}_2]^2[\text{O}_2]$$

—

Промене концентрација

Нека је почетна концентрација кисеоника $[\text{O}_2]_0 = 0.4 \text{ mol/dm}^3$.

На крају остаје 25% почетне концентрације:

$$[\text{O}_2] = 0.25 \cdot [\text{O}_2]_0 = 0.25 \cdot 0.4 = 0.1 \text{ mol/dm}^3$$

Реакција стехиометријски троши 2 мола SO_2 по 1 мола O_2 , па се концентрација SO_2 смањује за:

$$\Delta[\text{SO}_2] = 2 \cdot \Delta[\text{O}_2] = 2 \cdot (0.4 - 0.1) = 0.6 \text{ mol/dm}^3$$

Преостала концентрација SO_2 :

$$[\text{SO}_2] = [\text{SO}_2]_0 - \Delta[\text{SO}_2] = 0.8 - 0.6 = 0.2 \text{ mol/dm}^3$$

—

Однос брзина

Брзина реакције је пропорционална:

$$r \sim [\text{SO}_2]^2[\text{O}_2]$$

- Почетна брзина:

$$r_0 \sim (0.8)^2 \cdot 0.4 = 0.64 \cdot 0.4 = 0.256$$

- Брзина на крају:

$$r \sim (0.2)^2 \cdot 0.1 = 0.04 \cdot 0.1 = 0.004$$

Однос:

$$\frac{r_0}{r} = \frac{0.256}{0.004} \approx 64$$

Бодовање

Реакција: $2 \text{ SO(g)} + \text{O(g)} \rightarrow 2 \text{ SO(g)}$. Полазне концентрације: $[\text{SO}] = 0.8 \text{ mol/dm}^3$; $[\text{O}] = 0.4 \text{ mol/dm}^3$. Тражи се однос v/v када остане 25% почетног O .

• Написан општи брзински закон нпр. $v = k[\text{SO}_2]^m[\text{O}_2]^n$ и иницијални $v_0 = k[\text{SO}_2]_0^m[\text{O}_2]_0^n$ — 3 поена

– Коректно формулисан однос $\frac{v}{v_0} = \left(\frac{[\text{SO}_2]}{[\text{SO}_2]_0}\right)^m \left(\frac{[\text{O}_2]}{[\text{O}_2]_0}\right)^n$.

– Ако је заборављен један фактор — 2 поена.

• Препознато да је O_2 ограничујући у датом тренутку и израчунат однос концентрација при 25% O_2 — 2 поена

- $[O_2] = 0.25[O_2]_0 \rightarrow$ фактор за O_2 је 0.25^n .
- Делимично препознато — 1 поен.
- **Повезивање са стехиометријом (ако се тражи експлицитно), или јасно наведен однос без нагађања редова — 1 поена**
 - Прихвата се решење у облику функције m, n ако нису дати редови.
 - **Ако решење преузима елементарне редове ($m=2, n=1$) уз образложење, правилан нумерички однос $v/v' — 2$ поена**
 - За $m=2, n=1$ и претпоставку пропорционалног пада $[SO]$ према стехиометрији — пун бод.
 - Мали алгебарски лапсус — 1 поен.

Задатак 3

При растварању 1,6 g CuSO_4 144,9 g воде издваја се 665 kJ топлоте, а при растварању 1,25 g CuSO_4 апсорбује се 59,65 kJ. Израчунајте енталпију настајања кристалохидрата бакар-сулфата из чврстог анхидрованог бакар-сулфата и воде. Вредности заокружених атомских маса које треба користи у задатку (g/mol): Cu 64, S 32, O 16, H 1. Резултат изразити на две децимале.

Решење задатка 3

При растварању имамо два експеримента:

1. Раствор анхидрованог CuSO_4 :

$$m(\text{CuSO}_4) = 1.6 \text{ g}, \quad q = 665 \text{ kJ}$$

2. Раствор кристалног хидрата $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$:

$$m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 1.25 \text{ g}, \quad q = 59.65 \text{ kJ апсорбованих}$$

—

Израчунавање молова

Анхидровани CuSO_4 : Молска маса:

$$M(\text{CuSO}_4) = 64 + 32 + 4 \cdot 16 = 64 + 32 + 64 = 160 \text{ g/mol}$$

Број молова:

$$n(\text{CuSO}_4) = \frac{1.6}{160} = 0.01 \text{ mol}$$

Кристалохидрат $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$: Молска маса воде у хидрату:

$$M(5\text{H}_2\text{O}) = 5 \cdot (2 \cdot 1 + 16) = 5 \cdot 18 = 90 \text{ g/mol}$$

Молска маса целог хидрата:

$$M(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 160 + 90 = 250 \text{ g/mol}$$

Број молова:

$$n(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = \frac{1.25}{250} = 0.005 \text{ mol}$$

—

Енталпија растворања по молу

Анхидровани CuSO_4 :

$$\Delta H_{\text{rastv}}(\text{CuSO}_4) = \frac{665 \text{ kJ}}{0.01 \text{ mol}} = 66\,500 \text{ kJ/mol}$$

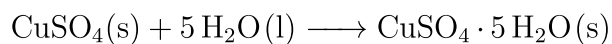
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$:

$$\Delta H_{\text{rastv}}(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = \frac{-59.65 \text{ kJ}}{0.005 \text{ mol}} = -11\,930 \text{ kJ/mol}$$

- Минус јер је апсорбује топлоту.

Енталпија настајања кристалохидрата

Енталпија настајања хидрата из анхидрованог соли и воде:



Енталпија:

$$\Delta H_{\text{formation}} = \Delta H_{\text{rastv}}(\text{CuSO}_4) - \Delta H_{\text{rastv}}(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})$$

$$\Delta H_{\text{formation}} = 66.5 - (-11.93) = 78.43 \text{ kJ/mol}$$

—

Резултат:

Енталпија настајања кристалохидрата $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ је:

$$\Delta H_{\text{formation}} = -78.43 \text{ kJ/mol}$$

Бодовање

Дата је топлота растварања CuSO_4 (анхидрат) и $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$. Тражи се енталпија настајања кристалохидрата из чврстог анхидрата и течне воде (Хесов закон).

• **Јасно записане термохемијске једначине за оба процеса растварања (са знаковима топлота) — 3 поена**

- Коректан избор знака за егзотермичан/ендотермичан процес.
- Ако је знак за један процес погрешан — 1–2 поена.

• **Конструисана Хесова шема за реакцију: $\text{CuSO}(\text{s}) + 5 \text{H}(\text{s})$ — 3 поена**

- Логички исправно сабирање/одузимање једначина.
- Мања пропуст — 1–2 поена.

• **Нумерички прорачун ΔH формирања кристалохидрата са јединицом — 4 поена**

- Коначна вредност и знак коректни; наведене релевантне масе/молови из задатка.
- Мали рачунски пропуст — 2–3 поена.

Задатак 4

Израчунати pH раствора амонијум-пропионата концентрације $0,12 \text{ mol/dm}^3$ ако знате да је константа киселости пропионске киселине $K_a = 1,33 \cdot 10^{-5}$, а константа базности амонијака $K_b = 1,79 \cdot 10^{-5}$, а јонски производ воде $K_w = 10^{-14}$. Резултат изразити на две децимале.

Решење задатка 4

Концентрација амонијум-пропионата је $c = 0,12 \text{ mol/dm}^3$, константа киселости пропионске киселине је $K_a = 1,33 \cdot 10^{-5}$, константа базности амонијака је $K_b = 1,79 \cdot 10^{-5}$, а јонски производ воде је $K_w = 10^{-14}$.

Амонијум-пропионат је со слабих киселина и база, па се pH раствора може приближно израчунати као:

$$\text{pH} = 7 + \frac{1}{2} \log \frac{K_b(\text{NH}_4^+)}{K_a(\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH})}$$

Убацивањем вредности добијамо:

$$\text{pH} = 7 + \frac{1}{2} \log \frac{1,79 \cdot 10^{-5}}{1,33 \cdot 10^{-5}} = 7 + \frac{1}{2} \log 1,345 \approx 7 + 0,065 \approx 7,07$$

Резултат:

$\text{pH} \approx 7,07$

Бодовање

Раствор амонијум-пропионата има концентрацију $c = 0,12 \text{ mol/dm}^3$, дата је константа киселости пропионске киселине $K_a(\text{HPr})$ и константа базности амонијака $K_b(\text{NH}_3)$, као и јонски производ воде $K_w = 10^{-14}$.

[label=●, leftmargin=*]

1. **Правилан избор модела:** хидролиза соли слабе киселине и слабе базе / ефикасна константа — 3 поена

- Коришћење односа K_a и K_b ; ако је $K_a \approx K_b \Rightarrow \text{pH} \approx 7$.
 - Навођење релевантних једначина хидролизе.
2. **Извођење израза за pH:** (нпр. $\text{pH} \approx \frac{1}{2}(\text{p}K_{a1} + \text{p}K_{a2})$ или еквивалентан приступ) — 4 поена
- Јасан алгебарски ток без прескакања кључних корака.
 - Мали пропуст у лог запису — 2–3 поена.
3. **Нумерички прорачун и коментар:** (кисела/базна/готово неутрална) — 3 поена
- Крајњи број са разумним заокруживањем.
 - Ако је знак у логу погрешно применјен — 1–2 поена.