



Шифр учасника (заповнюється журі)

---

# **IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023**

## **Заочний тур**

## **Умови та розв'язки**

**КИЇВ  
лютий 2023**

# IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023

## Пам'ятка учаснику олімпіади

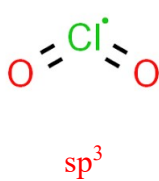
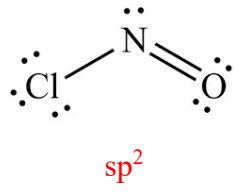
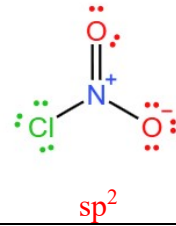
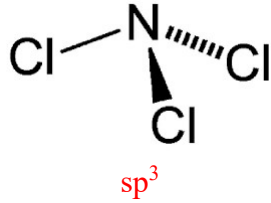
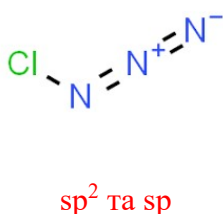
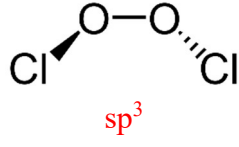
1. Умови заочного туру надані на  $n$  сторінках.
2. Повно та аргументовано відповідайте на питання, поставлені в умові задачі лише в листах відповідей у **відведених для цього полях**. Все, що написано в будь-якому іншому місці, не оцінюється. Правильні твердження, що не мають відношення до поставлених у задачі питань, не оцінюються.
3. Викладайте розв'язки завдань зручною для вас мовою. Граматичні помилки не впливають на оцінку роботи.
4. Якщо в умові задачі не сказано інше, при розрахунках використовуйте значення молярних мас елементів з двома знаками після коми.

## Таблиця періодичної системи елементів

1 H 1.008	2											13	14	15	16	17	18 He 4.003																												
3 Li 6.941	4 Be 9.012											5 B 10.81	6 C 12.01	7 N 14.01	8 O 16.00	9 F 19.00	10 Ne 20.18																												
11 Na 22.99	12 Mg 24.31	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13 Al 26.98	14 Si 28.09	15 P 30.97	16 S 32.07	17 Cl 35.45	18 Ar 39.95																												
19 K 39.10	20 Ca 40.08	21 Sc 44.96	22 Ti 47.87	23 V 50.94	24 Cr 52.00	25 Mn 54.94	26 Fe 55.85	27 Co 58.93	28 Ni 58.69	29 Cu 63.55	30 Zn 65.38	31 Ga 69.72	32 Ge 72.64	33 As 74.92	34 Se 78.96	35 Br 79.90	36 Kr 83.80																												
37 Rb 85.47	38 Sr 87.62	39 Y 88.91	40 Zr 91.22	41 Nb 92.91	42 Mo 95.96	43 Tc [98]	44 Ru 101.07	45 Rh 102.91	46 Pd 106.42	47 Ag 107.87	48 Cd 112.41	49 In 114.82	50 Sn 118.71	51 Sb 121.76	52 Te 127.60	53 I 126.90	54 Xe 131.29																												
55 Cs 132.91	56 Ba 137.33	57 La 138.91	72 Hf 178.49	73 Ta 180.95	74 W 183.84	75 Re 186.21	76 Os 190.23	77 Ir 192.22	78 Pt 195.08	79 Au 196.97	80 Hg 200.59	81 Tl 204.38	82 Pb 207.2	83 Bi 208.98	84 Po (209)	85 At (210)	86 Rn (222)																												
87 Fr (223)	88 Ra 226.0	89 Ac (227)	104 Rf (261)	105 Ha (262)																																									
<table border="1"> <tr> <td>58 Ce 140.12</td> <td>59 Pr 140.91</td> <td>60 Nd 144.24</td> <td>61 Pm (145)</td> <td>62 Sm 150.36</td> <td>63 Eu 151.96</td> <td>64 Gd 157.25</td> <td>65 Tb 158.93</td> <td>66 Dy 162.50</td> <td>67 Ho 164.93</td> <td>68 Er 167.26</td> <td>69 Tm 168.93</td> <td>70 Yb 173.05</td> <td>71 Lu 174.97</td> </tr> <tr> <td>90 Th 232.04</td> <td>91 Pa 231.04</td> <td>92 U 238.03</td> <td>93 Np 237.05</td> <td>94 Pu (244)</td> <td>95 Am (243)</td> <td>96 Cm (247)</td> <td>97 Bk (247)</td> <td>98 Cf (251)</td> <td>99 Es (254)</td> <td>100 Fm (257)</td> <td>101 Md (256)</td> <td>102 No (254)</td> <td>103 Lr (257)</td> </tr> </table>																		58 Ce 140.12	59 Pr 140.91	60 Nd 144.24	61 Pm (145)	62 Sm 150.36	63 Eu 151.96	64 Gd 157.25	65 Tb 158.93	66 Dy 162.50	67 Ho 164.93	68 Er 167.26	69 Tm 168.93	70 Yb 173.05	71 Lu 174.97	90 Th 232.04	91 Pa 231.04	92 U 238.03	93 Np 237.05	94 Pu (244)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (251)	99 Es (254)	100 Fm (257)	101 Md (256)	102 No (254)	103 Lr (257)
58 Ce 140.12	59 Pr 140.91	60 Nd 144.24	61 Pm (145)	62 Sm 150.36	63 Eu 151.96	64 Gd 157.25	65 Tb 158.93	66 Dy 162.50	67 Ho 164.93	68 Er 167.26	69 Tm 168.93	70 Yb 173.05	71 Lu 174.97																																
90 Th 232.04	91 Pa 231.04	92 U 238.03	93 Np 237.05	94 Pu (244)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (251)	99 Es (254)	100 Fm (257)	101 Md (256)	102 No (254)	103 Lr (257)																																



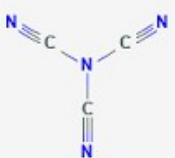

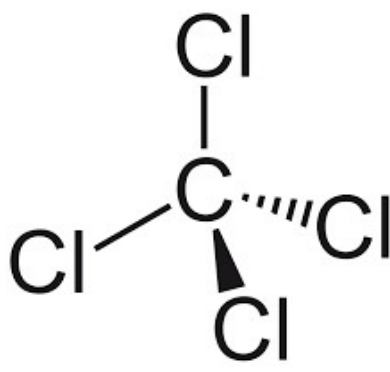
**IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023**  
заочний тур, умови та розв'язки

 <p><math>sp^3</math></p>	 <p><math>sp^2</math></p>	 <p><math>sp^2</math></p>	 <p><math>sp^3</math></p>
 <p><math>sp^2</math> та <math>sp</math></p>	 <p><math>sp^3</math></p>		
<p>Сумарно 2 бали за 10 структур                  По 0,26 за структуру, з яких                  По 0,156 за структурну формулу                  По 0,056 за правильно визначену гібридизацію некінцевого атому</p>			

Кожен з обраних Нохлем елементів здатен утворювати бінарну сполуку з Карбоном у його максимальному ступені окиснення.

**8.1.4.** Наведіть хімічні, а також структурні формули цих сполук. Опишіть характер зв'язків у цих сполуках, а також розташуйте ці сполуки за збільшенням довжини відповідного зв'язку між атомом Карбону та атомом улюбленого елементу Нохля. Коротко поясніть цю послідовність.

Примітка: для кожного елемента обирайте зв'язок найбільшого порядку, якщо таких зв'язків декілька.

<p><math>C_3N_4</math></p> 	<p><math>CO_2</math></p> 	<p><math>CCl_4</math></p> 
<p><b>Послідовність збільшення зв'язку:</b> <math>C_3N_4 &lt; CO_2 &lt; CCl_4</math>  <b>Пояснення:</b> зменшення кратності зв'язку зумовлює збільшення його довжини                  По 0,26 за хімічну+структурну формулу                  0,26 за правильну послідовність                  0,26 за правильне пояснення                  Сумарно 16</p>		

Сусід Карбону по групі – Силіцій також може утворювати подібні сполуки. У фізичних властивостях їх сполук з елементом 1 та 3 є багато спільного, а от сполуки з елементом 2 повністю відрізняються: у випадку Карбону це газ, у випадку Силіцію – тверда речовина.

**8.1.5.** Поясніть таку відмінність у фізичних властивостях цих сполук.

## IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023 заочний тур, умови та розв'язки

CO<sub>2</sub> має молекулярну структуру  
SiO<sub>2</sub> – атомна кристалічна ґратка, полімерна структура  
Сумарно 1б за правильне пояснення

8.1.6. **Розташуйте** елементи 1, 2, Карбон, Силіцій у порядку збільшення енергії іонізації. Відповідь **поясніть**.

**Порядок збільшення енергії іонізації:** Si < C < O < N  
**Пояснення:** Карбон має більшу енергію, ніж Силіцій, оскільки знаходиться у тій же групі, проте у нижчому періоді. Атом Азоту містить напівзаповнений 2р-підрівень, що є стабільним, тому має вищу енергію за Оксиген. Оксиген має вищу енергію, ніж Карбон, через більший заряд ядра.  
Сумарно 2б  
1б за правильний порядок, 0,5б за одну точкову помилку, 0б за дві та більше точкових помилок  
1б за повністю правильне обґрунтування пояснення

8.1.7. **Розташуйте** елементи 1, 3, Карбон, Силіцій у порядку збільшення енергії спорідненості до електрона. Відповідь **поясніть**.

**Порядок збільшення енергії спорідненості до електрона:** N < C < Si < Cl  
**Пояснення:** Хлор має найбільшу, адже тоді утворюється повністю заповнена оболонка. Атом Азоту містить напівзаповнений 2р-підрівень, що є стабільним, тому має найнижчу енергію. Спорідненість до електрона росте всередині групи зі збільшенням періоду, тому Силіцій має вищу енергію за Карбон.  
Сумарно 2б  
1б за правильний порядок, 0,5б за одну точкову помилку, 0б за дві та більше точкових помилок  
1б за повністю правильне обґрунтування пояснення

### Завдання 8.2. Сплав лужних металів (Автор: Кона Іван)

Оцінка за задачу (заповнюється журі)

Питання	8.2.1	8.2.2	8.2.3	8.2.4	8.2.5	Сума
Перевірка	3	2,5	1,5	1,5	1,5	10

Наважку сплаву калію з іншим лужним металом масою 13,89 г обробили надлишком води. Після повного розчинення сплаву у воді об'єм газу, що виділився та був виміряний при  $t = 25\text{ }^\circ\text{C}$  та  $p = 105\text{ кПа}$ , склав 2,00 л. Відомо, що мольна частка жодного з компонентів наважки не перевищує 60%.



8.2.1. **Визначте**, який інший лужний метал входив до складу сплаву.

Реакція для кожного з металів має однакове рівняння:  $2M + 2H_2O \rightarrow 2MOH + H_2$ .  
 $n(H_2) = pV/RT = 105000 \times 2,0 \cdot 10^{-3} / (8,314 \times 298) = 0,085$  моль,  $n(M) = 0,17$  моль.  
Середня молярна маса суміші дорівнює  $13,89/0,17 = 81,7$  г/моль.  
Прийmemo за  $x$  – мольну долю Калію, тоді:  
$$M_{cp} = x \cdot M_K + (1 - x) \cdot M_{Me} = 81,7$$

**IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023**  
**заочний тур, умови та розв'язки**

$$M_{\text{Me}} = \frac{81,7 - x \cdot M_{\text{K}}}{(1 - x)} = \frac{81,7 - 39,1 \cdot x}{(1 - x)}$$

Враховуючи, що молярна частка жодного з компонентів наважки не перевищує 60%, тобто  $0,4 < x < 0,6$ , приходимо до виразу:

$$110,1 < M_{\text{Me}} < 145,6$$

Серед лужних металів підходить тільки **Цезій – Cs**.

**Метал: Cs**

Розрахована кількість речовини водню – 0,5 балів;

Правильно складена нерівність (або рівняння) для розрахунку молярної маси невідомого компоненту – 2 бали;

Правильно визначений метал (Цезій) – 0,5 балів

**8.2.2. Розрахуйте масові частки компонентів у сплаві.**

$$\begin{cases} n(\text{Cs}) + n(\text{K}) = 0,17 \text{ моль} \\ 132,9 \cdot n(\text{Cs}) + 39,1 \cdot n(\text{K}) = 13,89 \text{ г} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} n(\text{Cs}) = 0,077 \text{ моль} \\ n(\text{K}) = 0,093 \text{ моль} \end{cases}$$

$$m(\text{Cs}) = 132,9 \cdot 0,077 = 10,23 \text{ г}; \Rightarrow w(\text{Cs}) = 73,7 \%$$

$$m(\text{K}) = 39,1 \cdot 0,093 = 3,66 \text{ г}; \Rightarrow w(\text{K}) = 26,3 \%$$

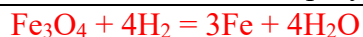
$$w(\text{K}) = \underline{26,3\%}$$

$$w(\text{Me}) = \underline{73,7\%}$$

Математично правильно складені рівняння для визначення мас або кількості моль компонентів у суміші – 1,5 бали;

Правильно розраховані масові частки – по 0,5 балів за кожен (1 бал)

**8.2.3. Розрахуйте максимальну масу  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , яку можна відновити до заліза газом, що виділився в результаті реакції сплаву з водою.**



$$n(\text{Fe}) = 1/4 \cdot n(\text{H}_2) = 0,0212 \text{ моль}$$

$$m(\text{Fe}_3\text{O}_4) = (55,8 \cdot 3 + 16 \cdot 4) \cdot 0,0212 = \underline{4,91 \text{ г}}$$

$$m(\text{Fe}_3\text{O}_4) = \underline{4,91 \text{ г}}$$

Правильно написане рівняння реакції – 0,5 балів;

Математично правильні розрахунки маси  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  - 0,5 балів

Правильна відповідь – 0,5 балів

Відомо, що 100 мл розчину, отриманого після реакції сплаву масою 13,89 г з водою, реагує із певним об'ємом розчину хлоридної кислоти з концентрацією 1 моль/л.

**8.2.4. Визначте об'єм розчину хлоридної кислоти, необхідний для повної нейтралізації утворених гідроксидів.**

Реакція для кожного гідроксиду металу має рівняння:  $\text{MOH} + \text{HCl} \rightarrow \text{MCl} + \text{H}_2\text{O}$ .

$$n(\text{HCl}) = n(\text{Cs}) + n(\text{K}) = 0,17 \text{ моль}$$

$$V(\text{HCl}) = \frac{n(\text{HCl})}{c(\text{HCl})} = 0,17 \text{ л} = \underline{170 \text{ мл}}$$

$$V(\text{HCl}) = \underline{170 \text{ мл}}$$

Наведені рівняння реакцій (або схеми) гідроксидів з кислотою – 0,5 балів;

Математично правильні розрахунки об'єму  $\text{HCl}$  - 0,5 балів;

Правильна відповідь – 0,5 балів;

## IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023

### заочний тур, умови та розв'язки

8.2.5. **Розрахуйте** молярні концентрації хлоридів кожного з металів в отриманому розчині.

$$c(\text{KCl}) = \frac{n(\text{K})}{V_{\text{заг}}} = \frac{0,093 \cdot 1000}{(100 + 170)} = \mathbf{0,34 \text{ M}}$$

$$c(\text{CsCl}) = \frac{n(\text{Cs})}{V_{\text{заг}}} = \frac{0,077 \cdot 1000}{(100 + 170)} = \mathbf{0,29 \text{ M}}$$

$$c_1 = \mathbf{0,34 \text{ M}}$$

$$c_2 = \mathbf{0,29 \text{ M}}$$

Правильний розрахунок кожної молярної концентрації – по 0,75 балів

### Завдання 8.3. Кросворд (Автор: Гриньова Анастасія)

Оцінка за задачу (заповнюється журі)

Питання	8.3.1	8.3.2	8.3.3	Сума
Перевірка	<b>7</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>10</b>

Прийшовши на олімпіаду з хімії, Микола отримав задачу, в якій потрібно розв'язати наступний кросворд. Оскільки хімія – експериментальна наука, то слова, які там зашифровані, пов'язані із посудом, експериментальними техніками тощо. Допоможіть Миколі впоратися із завданням та перемогти в цій олімпіаді.

	<sup>1</sup> П																		
	Р				<sup>2</sup> К														
	О				р											<sup>10</sup> Ц			
	Б			<sup>3</sup> Ф	и			<sup>5</sup> П								е			
	І			і	с			е								н			
	Р			л	<sup>7</sup> Т	е	р	м	О	<sup>11</sup> М	е	т	р						
	К			ь	а	е				а		р							
<sup>4</sup> Х	А	л	А	т	л	г				г		и							
				р	і	о				н		ф							
				<sup>9</sup> Б	у	н	з	е	н	а		і			у				
	<sup>8</sup> П			в	а	к				<sup>13</sup> Т	и	г	е	л	ь				
<sup>6</sup> М	І	р	Н	а	ц	а							у						
	П			н	і								в						
	Е			н	я				<sup>14</sup> С	т	У	п	к	а					
	Т			я											н				
	К														н				
	А			<sup>12</sup> Л	а	б	о	р	а	т	О	р	і	я					

По вертикалі:

1. Маленька циліндрична посудина для проведення хімічних реакцій або відбору зразків речовин
2. Яким методом можна розділити суміш мідного купоросу та кухонної солі?
3. Спосіб розділення сумішей, на якому заснована дія протигазу
5. Як добути із нафти бензин?

## IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023 заочний тур, умови та розв'язки

8. За допомогою чого можна відміряти 2 мл води із високою точністю?  
10. Як пришвидшити розділення суміші глини з водою? (Підказка: для цього суміш ставлять у пристрій, який обертає пробірку по колу)  
11. За допомогою чого можна найшвидше розділити суміш парафіну із залізом?

### По горизонталі:

4. Одяг хіміка



6. \_\_\_\_\_ колба  
7. За допомогою якого приладу можна дізнатися температуру кипіння однорідної суміші?  
9. Пальник \_\_\_\_\_ використовує газ як джерело енергії  
12. Приміщення, в якому працює хімік  
13. У якому посуді хімік може посушити в печі осад  $\text{BaSO}_4$ ?  
14. У якому посуді хімік може подрібнити зразок мінералу перед його детальним аналізом?

- 8.3.1. **Заповніть** кросворд.

0,5б за кожную відповідь, всього 7 балів

- 8.3.2. Відповіді на питання 2, 3, 5, 10, 11 є методами розділення сумішей, кожен із яких засновується на відмінностях у фізичних властивостях компонентів. **Встановіть відповідність** між фізичними властивостями та номером способу.

Температура кипіння	5
Розчинність	2
Густина	10
Розмір частинок	3
Магнітні властивості	11

0.4 бали за правильну відповідь, всього 2 бали

- 8.3.3 **Яким ще способом** можна розділити суміш парафіну та залізних ошурків?

Флотація – додати води, після чого залізні ошурки осядуть на дні посудини, а парафін спливе на поверхню.

-флотація або будь-який інший змістовний спосіб (наприклад, перегонка з зазначенням інертної атмосфери): 1 бал

-перегонка без зазначення специфічних умов, наприклад, інертної атмосфери: 0,5 бали (парафін загоряється на повітрі при  $200^\circ\text{C}$ , що нижче за його температуру кипіння)

-«відстоювання» без пояснення: 0 балів

### Задача 8.4. Простіше нікуди (Автор: Згінник Олександр)

Оцінка за задачу (заповнюється журі)

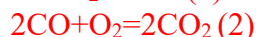
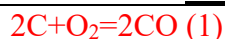
Питання	8.4.1	8.4.2	8.4.3	8.4.4	8.4.5	8.4.6	8.4.7	Сума
Перевірка	0,5	1	1,5	1	1,5	1,5	3	10

Вугілля може горіти утворюючи, як  $\text{CO}$ , так і  $\text{CO}_2$  в залежності від співвідношення  $\text{C}$  та  $\text{O}_2$ .



**IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023**  
**заочний тур, умови та розв'язки**

**8.4.1.** Напишіть рівняння реакцій про які йдеться в умові.



По 0,25б за кожну реакцію ( $\text{C} + \text{O}_2 = \text{CO}_2$  також зараховується)

Сумарно 0,5б

**8.4.2.** Для реакції взяли 6 г С та 2,24 л  $\text{O}_2$  за нормальних умов. Яка маса СО виділиться внаслідок реакції?

$$n(\text{C}) = m/M = 0,5 \text{ моль}$$

$$n(\text{O}_2)_0 = V/V_m = 0,1 \text{ моль}$$

$\text{O}_2$  в нестачі, тому перебігає лише перша реакція

$$n(\text{CO}) = 2 * n(\text{O}_2)_0 = 0,2 \text{ моль}$$

$$m(\text{CO}) = n(\text{CO}) * M(\text{CO}) = 5,6 \text{ г}$$

$$m(\text{CO}) = \underline{5,6 \text{ г}}$$

0,5б за визначення речовини в нестачі

0,5б за відповідь

Сумарно 1б

**8.4.3.** Для реакції взяли 6 г С та 7,84 л  $\text{O}_2$  за нормальних умов. Скільки літрів СО та  $\text{CO}_2$  утвориться?

$$n(\text{O}_2)_0 = V/V_m = 0,35 \text{ моль}$$

Для першої реакції  $\text{O}_2$  в надлишку. Спочатку утвориться СО

$$n(\text{CO})_0 = n(\text{C}) = 0,5 \text{ моль}$$

$$n(\text{O}_2)_1 = n(\text{O}_2)_0 - n(\text{C})/2 = 0,1 \text{ моль}$$

Потім СО частково прореагує з  $\text{O}_2$  (для цієї реакції СО в надлишку)

$$n(\text{CO}_2) = n(\text{O}_2)_1 * 2 = 0,2 \text{ моль} \quad V(\text{CO}_2) = 4,48 \text{ л}$$

$$n(\text{CO}) = n(\text{CO})_0 - n(\text{CO}_2) = 0,3 \text{ моль} \quad V(\text{CO}) = 6,72 \text{ л}$$

$$V(\text{CO}_2) = \underline{4,48 \text{ л}}$$

$$V(\text{CO}) = \underline{6,72 \text{ л}}$$

0.5 б. за розуміння повного проходження реакції до СО та часткового до  $\text{CO}_2$

по 0.5 б. за кожну відповідь

Сумарно 1.5 б

**8.4.4.** Для реакції взяли 6 г С та 13,44 л  $\text{O}_2$  за нормальних умов. Скільки літрів СО та  $\text{CO}_2$  утвориться?

$$n(\text{O}_2)_0 = V/V_m = 0,6 \text{ моль}$$

$\text{O}_2$  в надлишку для обох реакцій

$$V(\text{CO}) = \underline{0 \text{ л}}$$

$$V(\text{CO}_2) = \underline{11,2 \text{ л}}$$

по 0.5 б. за кожну відповідь.

Сумарно 1 б.

**8.4.5.** Розрахуйте парціальні тиски усіх газів у системах, наведених в п.8.4.2-8.4.4 після проведення реакції при постійному зовнішньому тиску 1 атм.

## IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023 заочний тур, умови та розв'язки

Парціальний тиск пропорційний кількості відповідного газу. А сума парціальних тисків повинна дорівнювати зовнішньому тиску.

Для п.8.4.2 серед газів після реакції залишиться лише CO  $p(\text{CO})=1$  атм

Для п.8.4.3 серед газів після реакції залишиться 0,2 моль  $\text{CO}_2$  та 0,3 моль CO.

$$p(\text{CO})=1,5p(\text{CO}_2)$$

$$p(\text{CO})+p(\text{CO}_2)=1 \text{ атм}$$

$$p(\text{CO}_2) = 0,4 \text{ атм}$$

$$p(\text{CO}) = 0,6 \text{ атм}$$

Для п.8.4.4 серед газів після реакції залишиться 0,5 моль  $\text{CO}_2$  та 0,1 моль  $\text{O}_2$ . Аналогічно до попереднього розрахунку

$$p(\text{CO}_2)=0,83 \text{ атм}$$

$$p(\text{O}_2)=0,17 \text{ атм}$$

по 0.5 б. за правильні розрахунки для кожної з умов

Сумарно 1.5 б.

**8.4.6. Розрахуйте** густину кожної з газових сумішей утворених у п.8.4.2-8.4.4 за нормальних умов та відносні густини за гелієм.

$$pV=mRT/M$$

$$m=pMV/(RT) \text{ для кожного газу.}$$

$$m_{\text{зар}}=m_1+m_2$$

$$\rho=m_{\text{зар}}/V=(p_1M_1+p_2M_2)/(RT) \text{ для суміші}$$

Парціальні тиски знаємо з п.5.

$$\text{Для п.8.4.2 } \rho=1,145 \text{ кг/м}^3$$

$$\text{Для п.8.4.3 } \rho=1,407 \text{ кг/м}^3$$

$$\text{Для п.8.4.4 } \rho=1,716 \text{ кг/м}^3$$

$D_{\text{He}}=(X_1 \cdot M_1 + X_2 \cdot M_2)/M_{\text{He}}$  де  $X_1, X_2$ -мольні частки відповідних газів. Чисельно(!!!) вони будуть дорівнювати парціальним тискам знайденим раніше

$$\text{Для п.2 } D_{\text{He}}=7$$

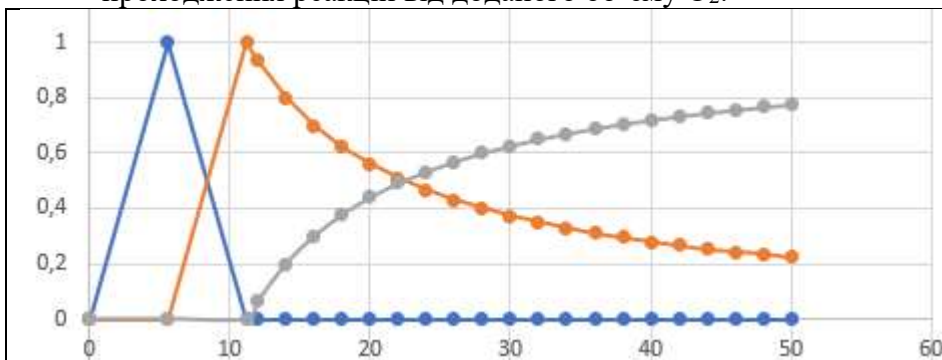
$$\text{Для п.3 } D_{\text{He}}=8,6$$

$$\text{Для п.4 } D_{\text{He}}=10,5$$

По 0.25 б. за кожне значення густини та відносної густини з гелієм

Сумарно 1.5 б.

**8.4.7.** Побудуйте графіки залежності об'ємних часток  $\text{CO}$ ,  $\text{O}_2$  та  $\text{CO}_2$  після проходження реакцій від доданого об'єму  $\text{O}_2$ .



Синій –  $\varphi(\text{CO})$

Помаранчевий –  $\varphi(\text{CO}_2)$

Сірий –  $\varphi(\text{O}_2)$

Вісь x – доданий об'єм  $\text{O}_2$  у літрах

Вісь y - об'ємна частка компонента суміші

**IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023**  
**заочний тур, умови та розв'язки**

По 1 б. за CO, O<sub>2</sub> та CO (по 0.33 б. якщо неправильні координати)  
Сумарно 3 б.

**Задача 8.5. Комар в клітці (Автор: Галатин Петро)**

Оцінка за задачу (заповнюється журі)

Питання	8.5.1	8.5.2	8.5.3	8.5.4	8.5.5	8.5.6	Сума
Перевірка	1,5	1	1,5	2	2,5	1,5	10

Більшість твердих речовин має кристалічну будову, яка характеризується чітким розташуванням частинок. Якщо з'єднати частинки умовними лініями, то вийде просторовий каркас, який називають кристалічною ґраткою. Точки, в яких розміщені частинки кристалу, називають вузлами ґратки. У вузлах уявної ґратки можуть перебувати атоми, йони або молекули.

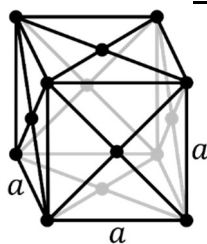
**8.5.1.** Назвіть типи кристалічних ґраток. Для кожної запропонуйте по два приклади речовин.

Атомна (арсен, кремній)  
Йонна (KCl, NaCl)  
Молекулярна (бром, вода)  
металічна (Na, K)

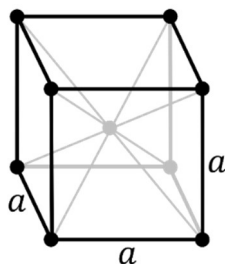
**8.5.2.** Поясніть, чому температура плавлення NaCl набагато більша ніж температура плавлення бром? Чи проводить NaCl струм у розплавленому стані? Чому?

Бром займає молекулярну кристалічну ґратку, NaCl – йонну, тому велика різниця температур плавлення.  
NaCl проводить струм у розплаві, адже внаслідок високих температур сіль іонізується, а наявність іонів є головною умовою для проходження струму.

**8.5.3.** Назвіть кожен з наведених елементарних комірок:

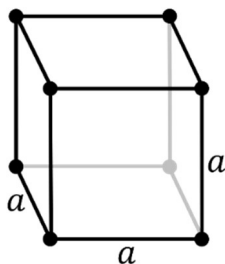


Кубічна ґранецентрована



Кубічна об'ємцентрована

IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023  
заочний тур, умови та розв'язки



Кубічна примітивна

8.5.4. **Розрахуйте** кількість атомів (N), що міститься в кожній наведеній вище елементарній комірці.

$$N_1 = 6 \cdot 1/2 + 8 \cdot 1/8 = 4 \text{ атоми}$$

$$N_2 = 8 \cdot 1/8 + 1 = 2 \text{ атоми}$$

$$N_3 = 8 \cdot 1/8 = 1 \text{ атом}$$

Деякий перехідний метал А утворює кубічну об'ємноцентрову гратку.

8.5.5. **Визначте** молярну масу цього елемента та **назвіть** його, якщо його густина 7,19 г/см<sup>3</sup>, а параметр комірки 2,885 Å. (Å = 10<sup>-10</sup> м).

$$m = \rho \cdot V = \rho \cdot a^3$$

$$m/M = N/N_A$$

$$\rho \cdot a^3 / M = N/N_A$$

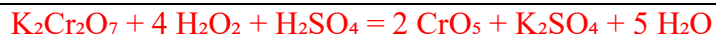
$$M = N_A \cdot \rho \cdot a^3 / N$$

$$M \approx 52 \text{ г/моль}$$

Метал: **Cr**

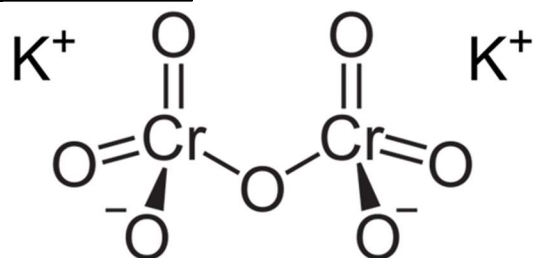
Деякий оксид металу А (сполука С) не здатен існувати у чистому вигляді через його нестабільність. Отримують його шляхом додавання до сполуки В гідроген пероксиду та сульфатної кислоти, що при нагріванні призводить до утворення С. Про появу у розчині С свідчить синє забарвлення, яке зникає через декілька секунд. Сполука В забарвлює розчин в оранжевий колір та є відомим окисником, який теж містить А.

8.5.6. **Визначте** зашифровані сполуки, якщо  $M(C) = 0,449M(B)$ . **Напишіть** рівняння реакції утворення С. **Зобразіть** просторову будову сполук В і С.



Сполука В: **K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>**

Структура В:



Сполука С: **CrO<sub>5</sub>**

Структура С:

**IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023**  
**заочний тур, умови та розв'язки**



**Задача 8.6. Ltd «ДЛХА» (Автор: Краплина Володимир)**

Оцінка за задачу (заповнюється журі)

Питання	8.6.1	8.6.2	Сума
Перевірка	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>10</b>

Випускник хімічного факультету Євгеній зрозумів, що може поєднати підприємницьку діяльність та хімію. Тому вирішив відкрити ФОП та створив компанію Ltd «Домашня Лабораторія Хімічного Аналізу». Було небагато коштів, тож він купив для своєї лабораторії спочатку лише базовий набір реактивів для хімічного аналізу, деякі концентровані кислоти та луги, а також посуд. «OOOOO, в мене точно ще щось є вдома, що допоможе мені в моїй справі», – подумав Євгеній, адже саме вдома він відкрив свою лабораторію.

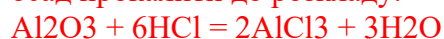
Не пройшло й тижня як нашому аналітику прийшло перше замовлення. Українська геологічна компанія в листі пише: «Дорогий Євгенію, ми надіслали вам 8 зразків суміші і ваше завдання полягає в тому, щоб написати методику для кожного компонента, як отримати його в чистому вигляді та позбутися від інших речовин, склад кожної суміші такий: Fe (0,5 моль), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (2 моль), MgCl<sub>2</sub> (1 моль), корок (6г), BaSO<sub>4</sub> (0,1 моль), CuCl<sub>2</sub> (0,1 моль), NaCl (0,1 моль), SiO<sub>2</sub> (0,1 моль)».

Молодий аналітик вирішив поділитися проблемою з учасниками олімпіади, тобто з вами, щоб ви йому допомогли.

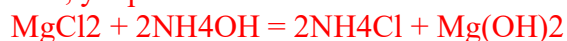
**8.6.1. Напишіть** методику (послідовність стадій, хімічні реакції, пояснення фізичних явищ, пояснення дій у стадіях) для виділення кожного компонента суміші. *Уточнення: усі реакції йдуть кількісно, з кожного зразка суміші потрібно виділити лише 1 речовину, інші речовини не важливі.*

**Виділення Fe:** дія магніту на суміш

**Виділення Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:** відділити Fe та корок, розчинити у воді, розчин профільтрувати, осад розчинити в HCl, профільтрувати, додати до фільтрату розчин аміаку, профільтрувати, осад прокалити до розкладу.



**Виділення MgCl<sub>2</sub>:** відділити Fe та корок, залити суміш водою, розчин профільтрувати (фільтрація), додати до розчину надлишок аміаку, профільтрувати, розчинити осад в HCl, упарити.



**IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023**  
**заочний тур, умови та розв'язки**

$Mg(OH)_2 + 2HCl = MgCl_2 + 2H_2O$
<b>Виділення корку:</b> дія магніту на суміш, додавання води, корок спливе на поверхню (флотація)
<b>Виділення <math>BaSO_4</math>:</b> відділити Fe та корок, розчинити у воді, розчин профільтрувати, осад кип'ятити в HF з додаванням KF, профільтрувати, осад промити водою, упарити $Al_2O_3 + 6HF + 6KF = 2K_3[AlF_6] + 3H_2O$ $SiO_2 + 4HF + 2KF = K_2[SiF_6] + 2H_2O$
<b>Виділення <math>CuCl_2</math>:</b> відділити Fe та корок, розчин профільтрувати (фільтрація), до розчину додати розчин йодиду калію, профільтрувати, зібрати осад та розчинити в гарячій концентрованій сульфатній кислоті, до розчину додати розчин барій хлориду, профільтрувати, упарити $2CuCl_2 + 4KI = 2CuI + I_2 + 4KCl$ $4CuI + 5H_2SO_4 = 4CuSO_4 + 2I_2 + H_2S + 4H_2O$ $CuSO_4 + BaCl_2 = CuCl_2 + BaSO_4$
<b>Виділення <math>NaCl</math>:</b> залити суміш водою, розчин профільтрувати (фільтрація), обережно додати до фільтрату аміак до припинення випадання осаду, упарити та прогріти сухий залишок для розкладу $NH_4Cl$ та $NH_4OH$ . $MgCl_2 + 2NH_4OH = 2NH_4Cl + Mg(OH)_2$ $CuCl_2 + 2NH_4OH = Cu(OH)_2 + 2NH_4Cl$ $NH_4OH = NH_3 + H_2O$ $NH_4Cl = NH_3 + HCl$
<b>Виділення <math>SiO_2</math>:</b> відділити Fe та корок, розчинити у воді, розчин профільтрувати, осад розчинити в HCl, профільтрувати, осад сплавити з натрій карбонатом, розчинити осад, фільтрувати, до розчину додати кислоту, осад фільтрувати, та прокалити $Al_2O_3 + 6HCl = 2AlCl_3 + 3H_2O$ $SiO_2 + Na_2CO_3 = Na_2SiO_3 + CO_2$ $Na_2SiO_3 + 2HCl = 2NaCl + H_2SiO_3$ $H_2SiO_3 = SiO_2 + H_2O$
По 1 балу за кожну правильно виділену речовину

Через тиждень йому знову написала геологічна компанія й запитала, чи можливо при дії на цю суміш лише одним хімічним реактивом отримати водень.

**8.6.2. Чи можливо** отримати водень з цієї суміші, а якщо так, то **напишіть** відповідну реакцію отримання. **Яку масу** суміші потрібно взяти, щоб отримати 11.93 л  $H_2$  (50°C, 5 атм)?

Можливо отримати водень в одну стадію дією на суміш розчином HCl.  
 $Fe + 2HCl = FeCl_2 + H_2$   
Кількість речовини  $H_2$  знаходяться за рівнянням ідеального газу:  
 $n(H_2) = PV/RT = (101,325 \cdot 5 \cdot 11,93) / (8,314 \cdot 323,15) = 2,25$  моль  
Отже потрібно 2,25 моль Fe. Тоді потрібно використати масу 4,5 зразків. Знаходимо масу 1 зразка.  
 $m(\text{потрібна}) = m(\text{зразка}) \cdot 4,5 = (0,5 \cdot 55,85 + 102 \cdot 2 + 95 + 12 + 233,33 \cdot 0,1 + 134,55 \cdot 0,1 + 58,5 \cdot 0,1 + 60 \cdot 0,1) \cdot 4,5 = 1717$  г  
**Чи можливо отримати водень? ТАК НІ**  
**Маса суміші для отримання водню: 1717 г**  
1 бал за відповідь на питання: чи можна отримати з суміші водень, і реакцію  
1 бал за розрахунок маси суміші

## IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023

### заочний тур, умови та розв'язки

#### Задача 8.7. Важливий процес (Автор: Гриньова Анастасія)

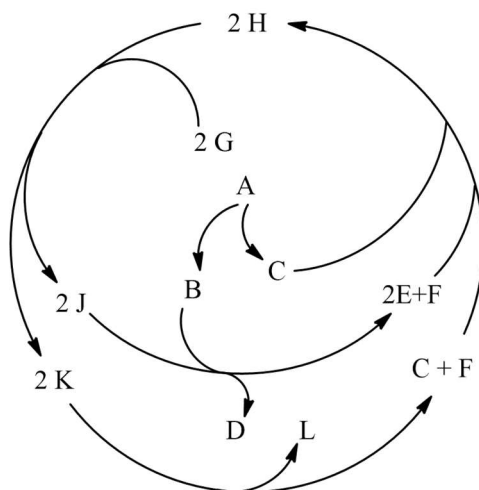
Оцінка за задачу (заповнюється журі)

Питання	8.7.1	8.7.2	8.7.3	8.7.4	Сума
Перевірка	6	1	2	1	10

На наведеній нижче схемі представлений промисловий процес отримання важливої сполуки **L**. Числа перед сполуками на схемі відповідають коефіцієнтам у рівняннях реакцій. У реакціях задіяні тільки речовини, наведені на схемі.

За нормальних умов лише **C** та **E** є газами і лише **F** є рідиною.

Відомо, що сполука **B** є оксидом (масова частка Оксигену складає 28,53%). Речовина **C** необхідна для фотосинтезу. До складу речовини **H** входять Гідроген ( $w = 6,38\%$ ), Оксиген ( $w = 60,71\%$ ) та ще 2 елементи другого періоду. Сполуки **G** та **K** широко використовуються в кулінарії, при цьому **G** є достатньо поширеною сполукою на Землі – її масова частка в морській воді складає приблизно 3%. Сполуку **K** відділяють використовуючи її відносно погану розчинність у воді.



#### 8.7.1. Розшифруйте речовини, для сполуки **H** наведіть формулу катіона й аніона.

Формулу сполуки **B**, яка є оксидом, можна записати як  $X_2O_n$ . Тоді  $2 \cdot M(X) / n \cdot M(O) = (100 - 28,53) / 28,53$ , розв'язуючи це рівняння отримуємо  $M(X) = 20,04 \cdot n$ . Далі перебором цілих значень  $n$  отримуємо реальну молярну масу елемента тільки для  $n=2$ ,  $M(X)=40,08$  г/моль, отже,  $X$  – Ca, **B** – **CaO**.

Речовина **C** є газом за нормальних умов, і при цьому необхідна для фотосинтезу.

Рівняння реакції фотосинтезу  $6CO_2 + 6H_2O = C_6H_{12}O_6 + 6O_2$ , отже, газом, який необхідний для цього процесу, може бути тільки  $CO_2$ . Тоді **C** – **CO<sub>2</sub>**.

Речовина **A** розкладається на  $CO_2$  і CaO у співвідношенні 1:1, отже, формула **A** – **CaCO<sub>3</sub>**.

Нехай до складу формульної одиниці речовини **H** входять  $x$  атомів Оксигену і  $y$  атомів Гідрогену. Тоді  $x \cdot 16 / y \cdot 1,008 = 60,71 / 6,38$ , отже,  $x/y = 0,6 = 3/5$ .

Для  $x=3$ ,  $y=5$  отримуємо, що на 2 інших елементи, що входять до складу **H**, припадає  $16 \cdot 3 / 0,6071 - 16 \cdot 3 - 1,008 \cdot 5 = 26,02$  г/моль. Це приблизно дорівнює  $M(Li) + M(F)$ ,  $2M(Li) + M(C)$  або точно дорівнює  $M(C) + M(N)$ . Якщо ці 2 елементи дійсно C і N, то брутто-формулу сполуки можна записати як  $H_5CNO_3$ .

Сумарне рівняння, за яким утворюється ця сполука:  $2CO_2 + 2E + 2F = 2H_5CNO_3$ .

Якщо «скоротити» це рівняння, то отримуємо уявне рівняння  $E + F = H_5NO$ . Єдині рідина і газ, які сюди підходять, **E** – **NH<sub>3</sub>**, **F** – **H<sub>2</sub>O**. Тоді **H** утворюється з  $CO_2 + NH_3 + H_2O$ , отже, враховуючи брутто-формулу, отриману раніше, **H** – **NH<sub>4</sub>HCO<sub>3</sub>**.

**IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023**  
заочний тур, умови та розв'язки

Сполука G наявна у морській воді в достатньо великій кількості, а також використовується в кулінарії. Звідси можна зробити висновок, що **G – NaCl**. Згідно зі схемою, H і G взаємодіють за рівнянням  $2\text{NH}_4\text{HCO}_3 + 2\text{NaCl} = 2\text{J} + 2\text{K}$ , причому далі в результаті розкладу 2 формульних одиниць K утвориться 1 молекула  $\text{CO}_2$ , 1 молекула  $\text{H}_2\text{O}$  і ще щось. Можна припустити, що між  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  і  $\text{NaCl}$  просто відбувається реакція обміну, і утворюються **K –  $\text{NaHCO}_3$**  і **J –  $\text{NH}_4\text{Cl}$** .  $\text{NaHCO}_3$  дійсно відносно погано розчинний у воді, крім того використовується в кулінарії для розпушування тіста. При нагріванні розкладається згідно з рівнянням  $2\text{NaHCO}_3 = \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ .  
Тоді **L -  $\text{Na}_2\text{CO}_3$** .  
 $2\text{NH}_4\text{Cl} + \text{CaO} = 2\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CaCl}_2$ , тобто, **D -  $\text{CaCl}_2$** .  
Процес, представлений на схемі – метод Сольве для виробництва  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

A <b><math>\text{CaCO}_3</math></b>	B <b><math>\text{CaO}</math></b>	C <b><math>\text{CO}_2</math></b>
D <b><math>\text{CaCl}_2</math></b>	E <b><math>\text{NH}_3</math></b>	F <b><math>\text{H}_2\text{O}</math></b>
G <b><math>\text{NaCl}</math></b>	Катіон сполуки H <b><math>\text{NH}_4^+</math></b>	Аніон сполуки H <b><math>\text{HCO}_3^-</math></b>
J <b><math>\text{NH}_4\text{Cl}</math></b>	K <b><math>\text{NaHCO}_3</math></b>	L <b><math>\text{Na}_2\text{CO}_3</math></b>

0,5 бала за кожну речовину, усього 6б

8.7.2. **Запишіть** сумарне рівняння процесу. **Чому** цей процес є дуже вигідним промислово?

**$\text{CaCO}_3 + 2\text{NaCl} = \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CaCl}_2$**   
Дешеві доступні реагенти, відходи складаються лише з  $\text{CaCl}_2$   
рівняння 0,5 + пояснення 0,5 = 1 бал

8.7.3. **Наведіть** тривіальні назви речовин B, C, K, L.

**B: негашене вапно**  
**C: вуглекислий газ**  
**K: питна сода**  
**L: кальцинована сода**  
0,5 бала за кожну речовину, усього 2б

8.7.4. **Для чого** в кулінарії використовують сполуку K? **Поясніть**, записавши рівняння реакції.

Одне з основних застосувань – розпушувач для тіста. Внаслідок реакції з будь-якою кислотою (наприклад, з оцтовою) виділяється газ, який робить тісто більш об'ємним.  
 **$\text{NaHCO}_3 + \text{CH}_3\text{COOH} = \text{CH}_3\text{COONa} + \text{CO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$**   
рівняння 0,5 + пояснення 0,5 = 1 бал

**Задача 8.8. Елемент (Автор: Зайченко Михайло)**

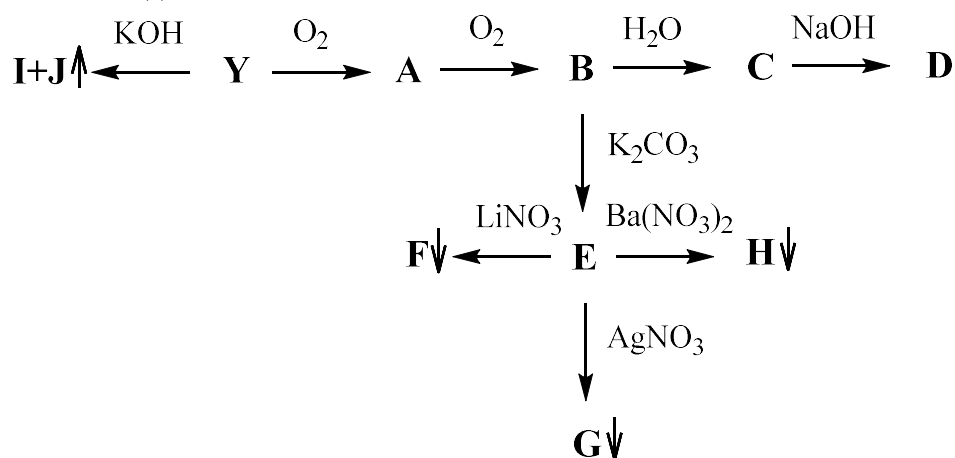
Оцінка за задачу (заповнюється журі)

Питання	8.8.1	8.8.2	8.8.3	8.8.4	Сума
Перевірка	<b>7,05</b>	<b>1,2</b>	<b>0,75</b>	<b>1</b>	<b>10</b>



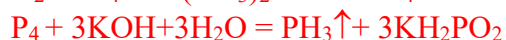
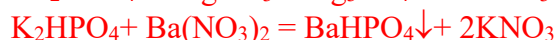
## IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023 заочний тур, умови та розв'язки

Елемент **X** був відомий арабським алхімікам ще у XII столітті, а одним з перших отримання простої речовини утвореної елементом **X** описав Роберт Бойль у статті «Спосіб приготування **X** з людської сечі».



**8.8.1.** Розшифруйте речовини на схемі, якщо **Y** – речовина білого кольору, містить лише елемент **X**, масова частка Оксигену у **B** та **E** – 56,34% та 36,74% відповідно, **F** та **G** складаються лише з трьох елементів, у речовині **H** жовтого кольору масова частка найважчого елементу становить 58.86%, а **D** утворюється при використанні надлишку **NaOH**. Наведіть відповідні рівняння реакцій.

За схемою можна зробити припущення, що сполука **B** – оксид з формулою  $X_2O_n$ . За масовою часткою Оксигену знаходимо що **X** – фосфор,  $n=5$ , також таке припущення можна зробити виходячи з опису отримання речовини. Аналогічно за масовою часткою Оксигену можна розрахувати склад солі **E** –  $K_2HPO_4$ . При додаванні нітратів до розчинів цієї кислоти солі утворюються відповідні осадки ортофосфатів. Склад сполуки **H** можна визначити якщо припустити що це також нерозчинний фосфат, відповідно найважчий елемент – барій.



Кожна речовина по 0,4 бали

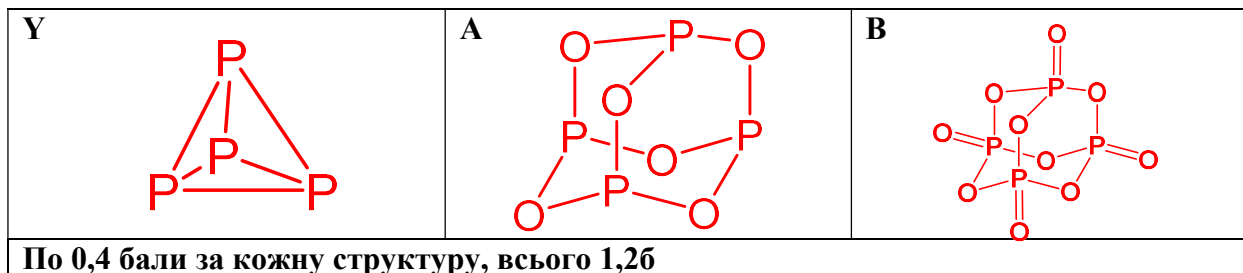
Кожна реакція по 0,25 балів

Усього 7,05 балів

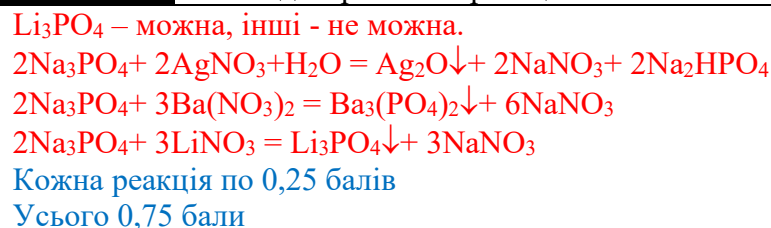
<b>X – P</b>	<b>Y – P<sub>4</sub></b>	<b>A – P<sub>4</sub>O<sub>6</sub></b>
<b>B – P<sub>4</sub>O<sub>10</sub></b>	<b>C – H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub></b>	<b>D – Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub></b>
<b>E – K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub></b>	<b>F – Li<sub>3</sub>PO<sub>4</sub></b>	<b>G – Ag<sub>3</sub>PO<sub>4</sub></b>
<b>H – BaHPO<sub>4</sub></b>	<b>I – KH<sub>2</sub>PO<sub>2</sub></b>	<b>J – PH<sub>3</sub></b>

**8.8.2.** Наведіть просторову будову **Y**, **A** та **B**.

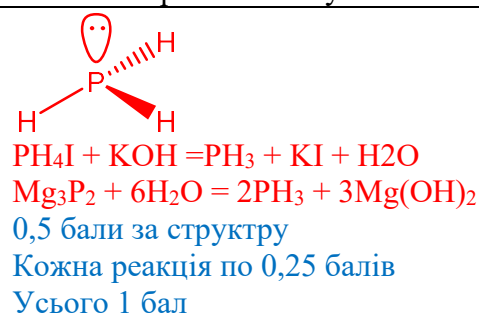
**IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023**  
заочний тур, умови та розв'язки



**8.8.3.** Чи можна отримати **F**, **G** та **H** реакцією **D** з відповідними нітратами? **Відповідь обґрунтуйте** та наведіть рівняння реакцій.



**8.8.4.** **Зобразіть** просторову будову **J**. **Наведіть** ще два принципово різних методи отримання газу **J**.



**Задача 8.9. Коли рак на горі свисне (Автор: Згінник Олександр)**

Оцінка за задачу (заповнюється журі)

<b>Питання</b>	<b>8.9.1</b>	<b>8.9.2</b>	<b>8.9.3</b>	<b>8.9.4</b>	<b>8.9.5</b>	<b>Сума</b>
Перевірка	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>10</b>

Позитронно-емісійна томографія (ПЕТ) - це ефективний спосіб виявлення різних захворювань, включаючи рак, хвороби серця і розлади мозку. Він полягає у медичній радіоізотопній діагностиці, під час якої за допомогою спеціальної камери роблять знімки внутрішньої частини тіла. Для цього спочатку в організм вводиться радіоактивна речовина, яка накопичується в певних частинах тіла, таких як мозок або серце. Далі ця спеціальна камера виявляє позитрони випромінені радіоактивною речовиною. Наприклад, для діагностики та лікування раку за допомогою ПЕТ використовують глюкозу, у якій одна з гідроксильних (-ОН) груп заміщена на радіоактивний ізотоп Флуору  $^{18}\text{F}$ .

**8.9.1. Напишіть** реакцію радіоактивного розпаду  $^{18}\text{F}$ .



Правильна реакція - 1б

## IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023 заочний тур, умови та розв'язки

**8.9.2. Чи буде** атом, утворений після радіоактивного розпаду звичайного нейтрального атома  $^{18}\text{F}$ , мати якийсь заряд? Якщо так, то **який**? Відповідь **поясніть**.

Оксиген буде мати заряд -1. Це впливає з принципу збереження заряду, бо позитрон має заряд +1.

Розмірковування - 1б, помилкові розмірковування 0,5б

Правильна відповідь - 1б

Сумарно - 2б

Пацієнтам вводять модифіковану глюкозу з  $^{18}\text{F}$  у вигляді розчину стільки аби радіація від неї була в межах 200 – 400 МБк. Цього достатньо для виявлення камерою, але не достатньо аби нашкодити людині. Рівень радіації пов'язаний з кількістю речовини наступною формулою

$$A_{Bq} = 0,69 \frac{N}{T_{1/2}}$$

де  $N$  – кількість радіоактивних атомів,  $T_{1/2}$  – період їх напіврозпаду.

**8.9.3. Розрахуйте** межі оптимальної концентрації (у моль/л) розчину модифікованої глюкози з  $^{18}\text{F}$ , який потрібно вводити людині, враховуючи що  $T_{1/2} = 110$  хв, а об'єм розчину 0,1 мл.

$$N = \frac{A_{Bq} * T_{1/2}}{0,69}$$

$$c = \frac{n}{V} = \frac{N}{N_a * V} = \frac{A_{Bq} * T_{1/2}}{0,69 * N_a * V}$$

$$c_1 = 3,18 * 10^{-8} \text{ М}$$

$$c_2 = 6,36 * 10^{-8} \text{ М}$$

**Межі концентрації: від  $3,18 * 10^{-8} \text{ М}$  до  $6,36 * 10^{-8} \text{ М}$**

Правильна формула розрахунку концентрації - 1б

Правильна концентрація - 2\*0,5б

Сумарно - 2б

**8.9.4. У яких межах** буде знаходитися радіоактивність зразка після 24 годин? Відповідь **підтвердіть** розрахунком.

$$\text{Кількість напіврозпадів за цей час } \frac{t}{T_{1/2}} \approx 13$$

Відповідно кількість речовини зменшиться в  $2^{13}$  разів, а з нею й радіоактивність (бо

$$A_{Bq} = 0,69 \frac{N}{T_{1/2}})$$

$$A_{Bq1} = \frac{200 \text{ МБк}}{2^{13}} = 24,4 \text{ кБк}$$

$$A_{Bq2} = \frac{400 \text{ МБк}}{2^{13}} = 48,8 \text{ кБк}$$

**Межі радіоактивності: від  $24,4 \text{ кБк}$  до  $48,8 \text{ кБк}$**

Кількість напіврозпадів - 1б

Формули для розрахунку - 1б

Правильні відповіді - 2\*0,5б

Сумарно - 3б

На практиці пацієнтам, яким вводиться модифіковану глюкозу з  $^{18}\text{F}$ , рекомендується уникати близького сусідства з особливо радіаційно чутливими особами, такими як діти та вагітні жінки, поки радіоактивність від них не зменшиться у 128 разів.

**8.9.5. Скільки часу** повинно пройти, аби пацієнт зміг зустрітися зі своїми дітьми після введення модифікованої глюкози? Відповідь **округліть** до годин.

## IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023

### заочний тур, умови та розв'язки

Зменшення радіактивності у 128 разів відповідає 7 напіврозпадам ( $128=2^7$ )

$t=7 \cdot T_{1/2}=770 \text{ хв}=12 \text{ год } 50 \text{ хв} \approx 13 \text{ год}$

16 – кількість напіврозпадів

16 – час

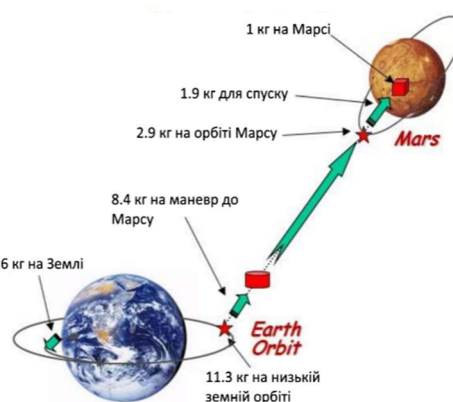
Сумарно - 26

### Задача 8.10. Підняти комара з Марса (Автор: Окс Юрій)

Оцінка за задачу (заповнюється журі)

Питання	8.10.1	8.10.2	8.10.3	8.10.4	8.10.5	Сума
Перевірка	1	2	3	2	2	10

Останніми десятиліттям відбувається активне дослідження Марсу. На цю планету свої апарати відправляють різні країни світу, проте поки що є неможливим відправлення зразків речовин чи космонавтів назад на Землю, якби вони туди б полетіли. Щоб покинути навіть таку неважку, відносно Землі, планету потрібна велика кількість палива і сам корабель, які ми маємо доставляти з Землі. На доставку 1 кг будь-якого додаткового вантажу на Марс необхідно, як мінімум, 225 кг додаткового пального в ракеті-носії, і, звичайно, для такого завдання потрібна значно більша ракета-носії. Подібна місія на Марс з поверненням на даний час є або неможливою, або дуже затратною.



Для вирішення проблеми запуску вантажу з Марсу була придумана концепція In-Situ Resource Utilization (ISRU) - використання ресурсів, добутих під час місії (тобто неземних). Виробляючи паливо на Марсі можна вирішити проблему запуску з нього вантажів і значно зменшити початкову масу ракети на Землі. У цій задачі ви детальніше ознайомитеся з одною з можливих систем ISRU.

Як паливо можна використовувати двокомпонентну систему окисника і відновника: зріджений кисень і речовину **A**. Для виробництва палива потрібні 2 речовини: вода і речовина **B**, які добувають з марсіанського ґрунту і атмосфери відповідно. Марс має розріджену атмосферу і середньорічну температуру  $-60^\circ\text{C}$ . У цій задачі ми приймемо, що атмосфера Марсу складається з трьох компонентів, а іншими газами справді можна знехтувати.

#### Етап I - отримання речовини B

Було зібрано  $1 \text{ м}^3$  повітря за температури  $-64^\circ\text{C}$ , стиснуто до 6 л за постійної температури, тиск став рівний 1 бару, потім температуру було доведено до  $-85^\circ\text{C}$ , за цих умов на стінках контейнера осів білий наліт речовини **B**, у газовому стані залишається речовина **C** і **D**. Жодна з цих речовин не горить в атмосфері кисню, і не підтримує горіння жодних існуючих газоподібних сполук за н.у., молярна маса речовини **B** на 4 г/моль більша, ніж у речовини **C**, серед цих речовин є одноатомна, двоатомна і трьохатомна. Одна з речовин є основним компонентом атмосфери Землі, інша - газ, що виділяється живими істотами в найбільшій кількості.

#### 8.10.1. Визначте речовини B, C, D.

B – $\text{CO}_2$	C – Ar	D – $\text{N}_2$
-------------------	--------	------------------

## IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023 заочний тур, умови та розв'язки

0.56 Ar, 0.256 N<sub>2</sub>, 0.256 CO<sub>2</sub> усього 16

Маса газів відразу після їхнього збирання – 15,05 г, після виморожування компоненту В – 0,4673 г. Вважайте, що виморожування В проходить повністю. Для розрахунків використовуйте значення молярних мас атомів з точністю двох знаків після коми.

**8.10.2.** **Визначте** тиск атмосфери Марсу за умов збирання газів, **визначте** мольний вміст кожного з трьох компонентів атмосфери.

$$n(\text{CO}_2) = m/M = (15,05 - 0,4673)/44 = 0,3314 \text{ моль}$$

$$\text{Сумарна кількість газів за Менделєєва-Клапейрона } n = pV/RT = 0,3451 \text{ моль.}$$

$$\text{Сумарна кількість } \text{N}_2 + \text{Ar} = 0,01365 \text{ моль}$$

Нехай азоту  $x$  моль, аргону  $y$  моль, тоді

$$28x + 40y = 0,4673$$

$$x + y = 0,01365$$

$$x = 0,006566 \text{ моль}$$

$$y = 0,007308 \text{ моль}$$

Тиск на поверхні Марсу визначається з умов збирання.

$$p = nRT/V = 600 \text{ Па}$$

$$\chi(\text{B}) = \underline{95,97\%}$$

$$\chi(\text{C}) = \underline{1,857\%}$$

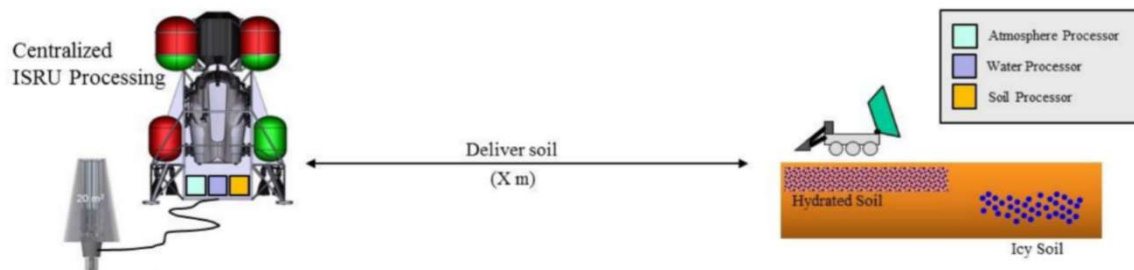
$$\chi(\text{D}) = \underline{2,183\%}$$

$$p = \underline{600 \text{ Па}}$$

Правильно розрахований тиск - 0.56, правильно розраховані частки трьох газів - по 0.56. усього 2 бали

### Етап II - отримання води

Марсіанський ґрунт в деяких областях на екваторі на глибині 1 м містить 3-8% замороженої води. Для її добування ґрунт збирають, поміщають в реактор і нагрівають до температури 320°C за тиску 0,8 бар, при цьому частина води випаровується, її видують з реактора сумішшю газів С і D, потім вона конденсується, а гази С і D повертаються в реактор. Було зібрано і перероблено 5 кг ґрунту; лічильник, що рахував кількість газу, який виходив з реактора, показав значення 4,45 м<sup>3</sup>, а зразок газової суміші об'ємом 0,4 л за тих самих умов важить 0,1996 г. Прийміть, що суміш С і D має таке саме співвідношення як у пункті 10.2, а склад газової суміші, яка виходить з реактора, завжди однакова. У той же час дослідження елементарного складу ґрунту показало, що масова частка



частинки з молярною масою 1 г/моль у ґрунті дорівнює  $7,444 \times 10^{-3}$ . Прийміть, що в марсіанському ґрунті водень знаходиться тільки у вигляді води.

**8.10.3** **Обчисліть** вміст води в марсіанському ґрунті і ефективність її добування, тобто вихід процесу.

Нехай ми маємо 1г ґрунту, тоді в ньому  $7,444 \times 10^{-3}$  г атомів H.

$$n(\text{H}_2\text{O}) = n(\text{H})/2 = 3,722 \times 10^{-3} \text{ моль, } m(\text{H}_2\text{O}) = 0,067 \text{ г, } w(\text{H}_2\text{O}) = 6,7\%$$

$$\text{Зразок газової суміші має густину } \rho = m/V = 0,499 \text{ г/л, } M_{\text{суміші}} = \rho Vm = \rho RT/p = 30,76$$

## IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023 заочний тур, умови та розв'язки

г/моль.

Можемо розглядати цю кінцеву суміш як суміш двох газів – води і (азоту з аргоном як єдине ціле). З попереднього пункту М суміші  $(Ar+N_2) = m/n = 33,49$  г/моль.

Нехай мольна частка води в кінцевій суміші дорівнює  $x$ , тоді

$$18x + 33,49(1-x) = 30,76$$

$$x = 0,176$$

$n(H_2O) = x\rho V/RT = 12,72$  моль було отримано з 5 кг ґрунту.

$$m(H_2O) = 229 \text{ г}$$

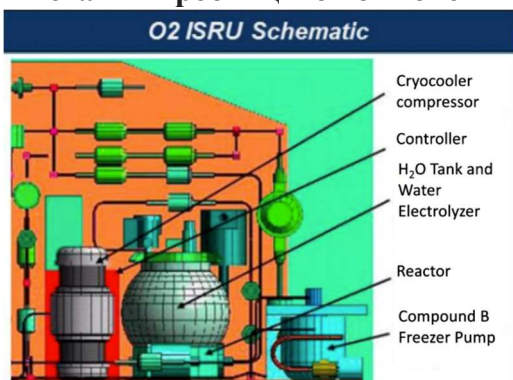
$$\eta = m(H_2O) \text{ добута} / m(\text{ґрунту}) * w(H_2O) = 68,4\%$$

$$\eta = \underline{68,4\%}$$

Повний вміст води – 1б, розрахунок води яка виділилась – 1,5б, вихід – 0,5б

Усього 3б

### III етап - виробництво компонентів палива



Після добування води проводять її електроліз, що відбувається за рівнянням  $2H_2O = 2H_2 + O_2$ . Таким чином з води добувають водень і кисень, останній зріджують і зберігають. Далі водень і сполука **В** вступають у каталітичну реакцію, продуктами цієї реакції є вода і сполука **А**. Середня молярна маса суміші реагентів складає 10,418 г/моль за стехіометричного співвідношення, а за конверсії 95% тиск в реакційній посудині зменшується з 50 бар до 31 бар. Воду, яка отримується у цій реакції, зберігають у резервному контейнері і не

використовують ще раз для добування водню!

#### 8.10.4. Визначте сполуку А. Напишіть реакцію, яка приводить до сполуки А.

Молярна маса суміші дає співвідношення водню до  $CO_2$  4:1, рівняння реакції

Сполука **А**:  $CH_4$

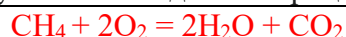
Реакція:  $CO_2 + 4H_2 = 2H_2O + CH_4$

Реакція – 0,5б, знайдений метан – 1,5б

Усього 2б

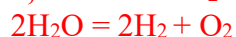
Для підйому деякого вантажу на орбіту Марса потрібно 22900 кг зрідженого кисню і 5725 кг **А**.

8.10.5. Напишіть реакцію горіння реагентів палива. Який об'єм атмосфери і яку масу ґрунту потрібно переробити, щоб задовольнити такі вимоги у паливі? Зверніть увагу, що умови і виходи всіх процесів залишаються такими самими, як у попередніх пунктах.



$n(CO_2) = n(CH_4) = m/M = 3,77 \cdot 10^5$  моль з урахуванням конверсії каталітичного синтезу

З пункту 8.10.2 з  $1 \text{ м}^3$  отримується 0,3314 моль, відповідно за пропорцією потрібно  $1,14 \cdot 10^6 \text{ м}^3 CO_2$ .



$n(H_2O) = 2n(O_2) = 1,43 \cdot 10^6$  моль.

З пункту 8.10.3 з 5 кг ґрунту отримано 12,72 моль води, відповідно за пропорцією потрібно 562,6 т ґрунту.

У випадку, якщо учасник порахував що для синтезу метану в такому разі буде недостатньо водню, який виділився при виробництві такої кількості кисню, правильна

**IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023**  
**заочний тур, умови та розв'язки**

відповідь маси ґрунту - 592,2 т. Зараховуються обидві відповіді.

Реакція - 0,5б, правильно розрахований ґрунт і атмосфера - по 0.75 балів

Усього 2б

\* Для всіх розрахунків: якщо метод розрахунку правильний, але є помилка в обчисленнях - за кожен пункт, який оцінюється, дається половина балів.

**IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023**  
заочний тур, умови та розв'язки

## 9 клас

### Завдання 9.1. (Автор: Кудрик Олександр)

Оцінка за задачу (заповнюється журі)

Питання	9.1.1	9.1.2	9.1.3	9.1.4	Сума
Перевірка	5	2	1	2	10

Через водний розчин суміші хлоридів А (містить X) і В пропускали струм силою 2,4 А та напругою 1,2 В до припинення зміни маси катоду. Час пропускання струму склав 268 хв, а на катоді виділилося 12,8 г металу X. Далі напругу збільшили до 2,8 В і пропускали струм до припинення зміни маси катоду. Час пропускання струму склав 188 хв, а на катоді виділилося 5,5 г металу Y та 0,896 л (н.у.) газу С. На аноді під час електролізу виділилося 7,168 л (н.у.) суміші газів D та E.

9.1.1. **Встановіть** формули газів С, D та E, хлоридів А і В, якщо газ D – має жовто-зелений колір. **Визначте** початкові маси А і В.

$$\text{Молярна маса X: } M = \frac{M \cdot n \cdot F}{I \cdot t} = 32n$$

$$n = 2, X - \text{Cu, A} - \text{CuCl}_2$$

Оскільки під час другої частини досліду на катоді виділявся газ, можна зробити висновок, що одночасно з електролізом хлориду проходив електроліз води, а газ С – водень.

Тоді D – хлор, E – кисень.

Знайдемо загальну кількість електронів, що пройшли через розчин:

$$v_{el} = \frac{I \cdot t}{F} = 0.28 \text{ моль,}$$

кількість електронів що витратилася на електроліз води:

$$v_{el, H_2O} = \frac{2 \cdot V_{H_2}}{22.4} = 0.08 \text{ моль,}$$

кількість Y:

$$\frac{v_{el} - v_{el, H_2O}}{2} = 0.2 \text{ моль.}$$

$$\text{Молярна маса X: } M = \frac{m \cdot n}{v} = 27.5n$$

$$n = 2, Y - \text{Mn, B} - \text{MnCl}_2$$

$$m(A) = 26.9 \text{ г, } m(B) = 12.6 \text{ г}$$

<b>CuCl<sub>2</sub></b> A	<b>MnCl<sub>2</sub></b> B	<b>H<sub>2</sub></b> C	<b>Cl<sub>2</sub></b> D	<b>O<sub>2</sub></b> E
------------------------------	------------------------------	---------------------------	----------------------------	---------------------------

9.1.2. **Обчисліть** вихід електролізу В за струмом. **Поясніть** причини зменшення виходу.

$$\frac{2v_B}{v_{el}} = 71.4\%$$

Оскільки Mn знаходиться лівіше водню у ряді напруг металів, одночасно з його електролізом можливий електроліз води, що зменшує вихід.

9.1.3. Як можна збільшити цей вихід?

Зменшити напругу ближче до термодинамічно розрахованої; збільшити густину струму; використати катод з великою перенапругою виділення водню, наприклад спеціально модифіковані.



## IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023 заочний тур, умови та розв'язки

9.1.4. **Обчисліть**  $E^0(\text{Au}^+/\text{Au})$ .

$$E^0(\text{Au}^+/\text{Au}) = 3 \cdot E^0(\text{Au}^{3+}/\text{Au}^0) - 2 \cdot E^0(\text{Au}^{3+}/\text{Au}^+) = 1.70 \text{ В}$$







**Завдання 9.2. (Автор: Пашко Михайло)**

Оцінка за задачу (заповнюється журі)


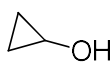


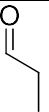
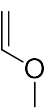
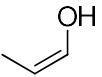
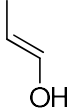
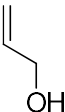
Питання	9.2.1	9.2.2	9.2.3	9.2.4	9.2.5	9.2.6	9.2.7	9.2.8	Сума
Перевірка	1	1,5	1	1	1,5	1,5	1	1,5	10

Для сполуки з формулою  $\text{C}_4\text{H}_8$  може існувати 6 ізомерних структур (не враховуючи енантіомерів).

9.2.1. **Намалюйте** всі ізомерні структури, вкажіть які сполуки є діастереомерами (якщо в сполуці є хіральний центр, позначте його зірочкою).

		
	 Діастереомер 1	 Діастереомер 2

9.2.2. **Намалюйте** всі ізомерні структури, вкажіть які сполуки є діастереомерами. Якщо в сполуці є хіральний центр, позначте його зірочкою.

				
	 Діастереомер 1	 Діастереомер 2		

9.2.3. **Наведіть** номери сполук, що є: спиртами, альдегідами, амінами, гетероциклами.

Спирти <span style="color: red;">3,8</span>
Альдегіди <span style="color: red;">12</span>
Аміни <span style="color: red;">3</span>
Гетероцикли <span style="color: red;">1,3,5,7,14</span>

9.2.4. **Наведіть** номери сполук, що містять активний атом галоген, що здатен вступати в реакції заміщення. **Наведіть** приклад такої реакції.

11

9.2.5. **Наведіть** номери сполук, що є структурними ізомерами один відносно одного.

- 1, 3, 4, 10, 13

## IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023

### заочний тур, умови та розв'язки

-2, 5, 12  
-6, 7, 14  
-9, 11

9.2.6. Які сполуки можуть мати діастереомери? **Намалюйте** протилежний ізомер для кожного прикладу.

-3, 11, 12

9.2.7. Які зі сполук в таблиці мають хіральні центри? **Наведіть** номери таких сполук та кількість хіральних центрів.

1(1), 3(2), 9(1), 11(1), 12(2)

9.2.8. **Скільки** енантіомерів та діастереомерів може утворювати кожна сполука з пп. 7?

1 – 2 енантіомера  
3 – 4 енантіомера, 2 діастереомера  
9 – 2 енантіомера  
11 – 2 енантіомера, 2 діастереомера  
12 – 4 енантіомера, 2 діастереомера

### Завдання 9.3. (Автор: Маханькова Валерія)

Оцінка за задачу (заповнюється журі)

Питання	9.3.1	9.3.2	9.3.3	9.3.4	9.3.5	9.3.6	Сума
Перевірка	2	2	1	2	2	1	10

Для підготовки до певного експерименту студент виміряв рН 0,146% розчину одноосновної органічної кислоти (густина розчину 1,00 г/мл) Потім відібрав піпеткою Мора 50,0 мл цього розчину, переніс у мірну колбу об'ємом 100,0 мл і долив дистильованою водою до мітки. Після цього виміряв рН другого розчину. На колбі з першим розчином він написав «рН = 3,179», на колбі з другим розчином «рН = 3,332». Єдине, що забув студент - це зазначити назву кислоти, яку на наступний день вже і не згадав.

Допоможи студенту відновити дані:

9.3.1. **Визначити** константу дисоціації кислоти

$K = 1,855 \cdot 10^{-5}$

9.3.2. **Визначити** молярну масу кислоти.

$M = 60,08$

9.3.3. **Визначити** формулу кислоти, якщо маси елементів, що утворюють цю кислоту, співвідносяться як 40,0:6,66:53,3.

Формула кислоти  $\text{CH}_3\text{COOH}$

## IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023 заочний тур, умови та розв'язки

9.3.4. Визначити молярність кислоти у першому та другому розчинах.

$C_1 = 0,024 \text{ M}$   
 $C_2 = 0,012 \text{ M}$

9.3.5. Яким стане рН розчину, якщо до 10 мл 0,146% розчину кислоти додати 10 мл розчину, що містить еквімолярну кількість натрієвої солі цієї ж кислоти?

$\text{pH} = 4,75$

9.3.6. Чи зміниться рН, якщо одержаний розчин розбавити водою вдвічі?

Ні

### Завдання 9.4. (Автор: Данилейко Кирило)

Оцінка за задачу (заповнюється журі)

Питання	9.4.1	9.4.2	9.4.3	9.4.4	Сума
Перевірка	3	4,5	0,5	2	10

Сульфідний мінерал **X**, окрім Сульфуру (масова частка 25,5%), також містить метали **A** та **B**. У природі часто зустрічається як домішка до іншого, більш відомого мінералу **Y**, що також містить Сульфур, **A** та **B**. Цікаво, що ступінь окислення металу **A** в мінералі **X** більш високий, ніж в мінералі **Y**, а ступінь окислення металу **B** навпаки більш висока в мінералі **Y**.

Наважку мінералу **X** масою 4 г було кількісно розчинено у надлишку концентрованого розчину сульфатної кислоти. Отриманий розчин нейтралізували, а об'єм довели дистильованою водою до 100 мл (**розчин 1**). До аліквоти **розчину 1** об'ємом 10 мл було додано надлишок розчину йодиду калію, отримана проба стала каламутною. Через 10 хв до проби додали крохмаль та відтитрували 0,2 М розчином тіосульфату натрію до зникнення синього забарвлення. На титрування витратили 24 мл розчину тіосульфату.

У іншу аліквоту **розчину 1** об'ємом 50 мл було занурено магнієву платівку. Через деякий час маса платівки збільшилася на 0,743 г, а сама вона вкрилася червоно-коричневим осадом металу **B**. При цьому залишковий розчин продовжував знебарвлювати перманганат калію. Платівку дістали з розчину, а до розчину додали надлишок карбонату натрію. Маса отриманого осаду після висушування склала 0,63 г.

9.4.1. Визначте метали **A**, **B**, а також мінерал **X**. Відповідь підтвердіть розрахунками.

Червоний колір осаду на платівці відповідає металічній міді, тому метал **B** - **Cu**.  
Сумарна маса металів у наважці мінералу:  $m_{\text{total}} = m(\text{X}) \cdot (1-w(\text{S})) = 2,99 \text{ г}$   
Якщо допустити, що весь йод у реакції з йодидом калію утворився в реакції з йонами  $\text{Cu}^{2+}$ , тоді  
 $n(\text{Cu}^{2+}) = n(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = cV = 4,8 \cdot 10^{-3} \text{ моль}$  в аліквоті

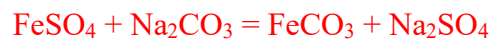
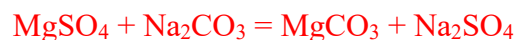
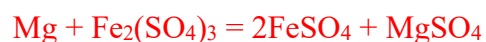
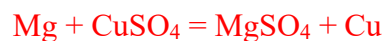
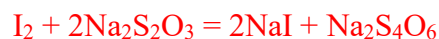
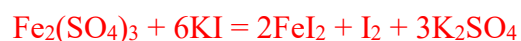
У наважці **X**  $n(\text{Cu}^{2+}) = 4,8 \cdot 10^{-2} \text{ моль}$ ,  $m(\text{Cu}) = 3,05 \text{ г}$ , що неможливо, тому в реакції з йодидом метал **A** також є окисником. Металічний магній є сильнішим відновником, ніж йодид-йон, тому метал **A** також бере участь в реакції з магнієм, проте не утворює осаду,

**IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023**  
заочний тур, умови та розв'язки

тому метал **A** утворює два розчинних йони. Логічно допустити, що **A - Fe**.  
Тоді нехай маємо  $x$  моль **Cu**,  $y$  моль **Fe**, тоді  
 $63,55x + 55,85y = 2,99$   
 $x + y = 4,8 \cdot 10^{-2}$   
 **$x = 0,04$  моль**  
 **$y = 0,008$  моль**  
 $n(S) = 0,032$  моль  
 Відповідно мінерал має формулу  **$Cu_5FeS_4$**

<b>Fe</b> <b>A</b>	<b>Cu</b> <b>B</b>	<b><math>Cu_5FeS_4</math></b> <b>X</b>
-----------------------	-----------------------	---

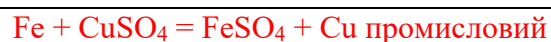
**9.4.2. Наведіть** рівняння реакцій усіх процесів, згаданих в умові. (9 шт)



**9.4.3. Зробіть** припущення щодо кількісного складу мінералу **Y**.

**$CuFeS_2$  – халькопірит**

**9.4.4. Запропонуйте** промисловий та лабораторний методи отримання металів **A** та **B**.



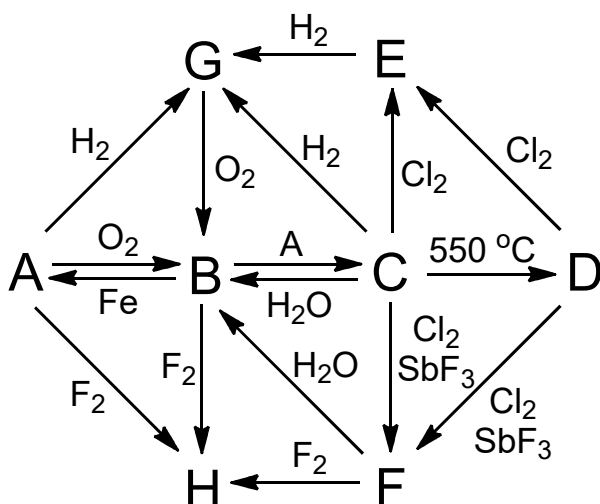
**Завдання 9.5. (Автор: Рябухін Сергій)**

Оцінка за задачу (заповнюється журі)

Питання	9.5.1	9.5.2	9.5.3	9.5.4	9.5.5	Сума
Перевірка	<b>6,4</b>	<b>1,7</b>	<b>0,4</b>	<b>0,5</b>	<b>1</b>	<b>10</b>

Схема взаємних перетворень простої твердої речовини **A**:

**IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023**  
заочний тур, умови та розв'язки



**9.5.1. Розшифруйте** схему перетворень, якщо відомо, що усі речовини містять у своєму складі **A** та є газами за кімнатної температури (25°C).

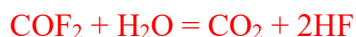
<b>C</b> <b>A</b>	<b>CO<sub>2</sub></b> <b>B</b>	<b>CO</b> <b>C</b>	<b>C<sub>3</sub>O<sub>2</sub></b> <b>D</b>
<b>COCl<sub>2</sub></b> <b>E</b>	<b>COF<sub>2</sub></b> <b>F</b>	<b>CH<sub>4</sub></b> <b>G</b>	<b>CF<sub>4</sub></b> <b>H</b>

**9.5.2. Наведіть** рівняння усіх реакцій та умови їх проведення (17 шт).

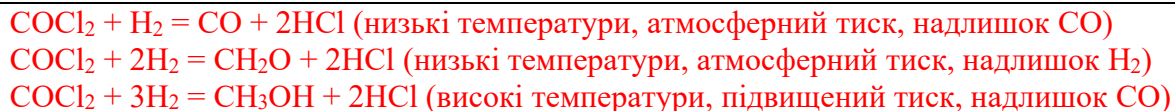
$C + O_2 = CO_2$
$3CO_2 + 4Fe = 3C + 2Fe_2O_3$
$CO_2 + C = 2CO$
$CO + H_2O = CO_2 + H_2$
$6CO = 2C_3O_2 + O_2$
$C + 2H_2 = CH_4$
$C + 2F_2 = CF_4$
$CO_2 + 2F_2 = CF_4 + O_2$
$CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O$
$CO + Cl_2 = COCl_2$
$3CO + 5Cl_2 + 2SbF_3 = 3COF_2 + 2SbCl_5$
$C_3O_2 + 4Cl_2 = 2COCl_2 + CCl_4$
$C_3O_2 + 6Cl_2 + 2SbF_3 = 2COF_2 + 2SbCl_5 + CF_2Cl_2$
$COCl_2 + 4H_2 = CH_4 + 2HCl + H_2O$
$2COF_2 + 2F_2 = 2CF_4 + O_2$
$CO + 3H_2 = CH_4 + H_2O$

## IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023

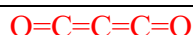
### заочний тур, умови та розв'язки



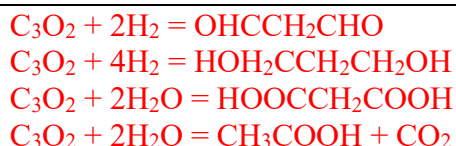
9.5.3. Які інші продукти можуть утворюватись при взаємодії **E** та  $\text{H}_2$ ? **Наведіть** відповідні умови та рівняння.



9.5.4 Яка будова сполуки **D**?



9.5.5. Як на вашу думку буде відбуватись взаємодія **D** з  $\text{H}_2$  та  $\text{H}_2\text{O}$ ? **Наведіть** відповідні рівняння.



### Завдання 9.6. (Автор: Іваниця Микита)

Оцінка за задачу (заповнюється журі)

Питання	9.6.1	9.6.2	9.6.3	9.6.4	9.6.5	9.6.6	Сума
Перевірка	3,4	2,4	1	1	1,2	1	10

Мінерал **A**, що складається з елементів **X**, **Y**, **Z** і кисню, є основним джерелом елемента **X** (вміст **X** в мінералі = 5,03%). Для відділення даного елемента від інших 1 кг мінералу кип'ятять в концентрованому розчині  $\text{NaOH}$ , що призводить до утворення солей **B**, **C** і **D** (реакція 1). Внаслідок поступового додавання до розчину сульфатної кислоти утворюється осад, що містить сполуки **E** і **F**, а також кислоту **G** (реакції 2-4). При подальшому додаванні сульфатної кислоти сполуки **E** і **F** переходять у розчин з перетворенням у солі **H** і **J**, відповідно (реакції 5 та 6). Натомість, кислота **G** залишається нерозчинною, і її відділяють фільтруванням. Термічний розклад **G** призводить до одержання 670,71 г **L**, оксиду елемента **Z** (реакція 7).

Для подальшого розділення **X** та **Y** на розчин **H** і **J** діють концентрованим розчином  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ . В осад знову випадає сполука **F**, а також основна сіль **M**, яка розчиняється в надлишку карбонату амонію з утворенням розчину сполуки **Q** (речовина містить елементи **X**:**C**:**H**:**N** у співвідношенні 4:6:24:6) (реакції 8-10). Осад **F** відфільтровують, ретельно і довго промивають водою. При його термічному розкладі випаровується 100,58 г води і лишається 189,70 г оксиду **R** (реакція 11).

## IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023 заочний тур, умови та розв'язки

Фільтрат, що містить Q, випаровують, і сухий залишок нагрівають в муфельній пічці до 800°C до завершення виділення всіх газів, і залишається лише оксид елементу X, речовина T (реакція 12). Його маса склала 136,29 г.

Вважайте, що всі перетворення відбуваються кількісно.

**9.6.1. Визначте** склад мінералу A, елементи X, Y, Z, а також **напишіть** формули речовин B, E, H, M, Q, T (містять елемент X), C, F, J, R (містять елемент Y), D, G і L (містять елемент Z).

X	Y	Z	A	B	C
Be	Al	Si	$\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$	$\text{Na}_2[\text{Be}(\text{OH})_4]$	$\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$
D	E	F	G	H	J
$\text{Na}_2\text{SiO}_3$	$\text{Be}(\text{OH})_2$	$\text{Al}(\text{OH})_3$	$\text{H}_2\text{SiO}_3$	$\text{BeSO}_4$	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$
L	M	Q		R	T
$\text{SiO}_2$	$(\text{BeOH})_2\text{CO}_3$	$(\text{NH}_4)_6[\text{Be}_4\text{O}(\text{CO}_3)_6]$		$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{BeO}$

**9.6.2. Напишіть** рівняння реакцій 1-12.

$\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18} + 14\text{NaOH} - 3\text{Na}_2[\text{Be}(\text{OH})_4] + 2\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4] + 6\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
$\text{Na}_2[\text{Be}(\text{OH})_4] + \text{H}_2\text{SO}_4 - \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{Be}(\text{OH})_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
$2\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4] + \text{H}_2\text{SO}_4 - \text{Na}_2\text{SO}_4 + 2\text{Al}(\text{OH})_3 + \text{H}_2\text{O}$
$\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 - \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{SiO}_3$
$\text{H}_2\text{SiO}_3 - \text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
$\text{Be}(\text{OH})_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 - \text{BeSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$
$2\text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 - \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + 6\text{H}_2\text{O}$
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + 3(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 + 3\text{H}_2\text{O} - 2\text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{CO}_2 + 3(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
$\text{BeSO}_4 + (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} - (\text{BeOH})_2\text{CO}_3 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{CO}_2$
$2(\text{BeOH})_2\text{CO}_3 + 4(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 - (\text{NH}_4)_6[\text{Be}_4\text{O}(\text{CO}_3)_6] + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{NH}_3$
$(\text{NH}_4)_6[\text{Be}_4\text{O}(\text{CO}_3)_6] - 6\text{NH}_3 + 6\text{CO}_2 + 4\text{BeO} + 3\text{H}_2\text{O}$
$2\text{Al}(\text{OH})_3 - \text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$

**9.6.3. Запропонуйте** метод виділення простої речовини X з T і **запишіть** відповідне рівняння реакції.

$\text{BeO} + \text{Ca} - \text{Be} + \text{CaO}$
---

**9.6.4 Поясніть**, в чому відмінність E і F від інших представників даного класу речовин? Назвіть це явище.

Це гідроксиди металів, які реагують як з кислотами, так і з основами. Це явище називається амфотерністю.
--

## IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023

### заочний тур, умови та розв'язки

9.6.5. Як видно з процедури відділення елементу X від Y, хімічні властивості їх похідних дуже подібні. **Поясніть** причину подібності хімії двох елементів, а також запишіть ще дві пари елементів, для яких характерна така сама закономірність.

Причина хімічної подібності в схожому радіусі елементів внаслідок поступовій зміні радіусів вниз по групі і вправо по періоду – так звана діагональна періодичність. В результаті діагональної періодичності схожими за властивостями є Li та Mg, а також B та Si.

9.6.6. **Де** в повсякденному житті можна зустріти мінерал А?

$\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$  – мінерал берил, широко застосовуються в ювелірній справі в якості каміння.

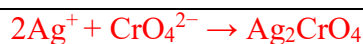
### Завдання 9.7. (Автор: Маханькова Валерія)

Оцінка за задачу (заповнюється журі)

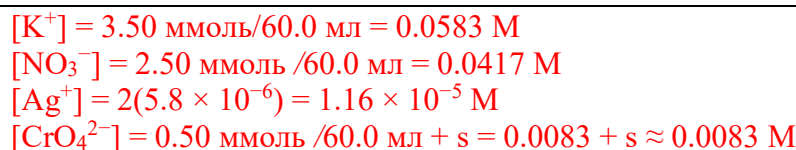
Питання	9.7.1	9.7.2	9.7.3	9.7.4	Сума
Перевірка	1	5	2	2	10

Багато солей аргентуму(I) є нерозчинними і легко утворюються за реакціями йонного обміну. Так, для одержання аргентум(I) хромату змішали 25 мл 0,100 М розчину аргентум(I) нітрату та 35 мл 0,05 М розчину калій хромату.

9.7.1. **Наведіть** молекулярне, а також повне та скорочене йонні рівняння цієї реакції.



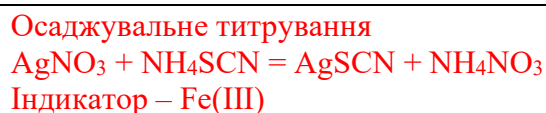
9.7.2. **Розрахуйте** концентрації кожного з йонів у отриманому розчині, врахувавши, що  $D(\text{Ag}_2\text{CrO}_4) = 1,1 \cdot 10^{-12}$



9.7.3. **Чи вдалося** кількісно осадити аргентум? (Кількісне осадження характеризується наявністю в осаді >99% речовини).

$$(2.50 \text{ ммоль} - 60.0 \text{ мл} \times 1.16 \times 10^{-5} \text{ ммоль/мл}) / 2.50 \text{ ммоль} \times 100\% = 99.97\%$$

9.7.4. Яким методом можна визначити концентрацію аргентум(I) нітрату? **Наведіть** відповідні рівняння реакцій. Який індикатор використовується у запропонованому Вами методі?





# IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023

## заочний тур, умови та розв'язки

### Завдання 9.8. (Автор: Кона Іван)

Оцінка за задачу (заповнюється журі)

Питання	9.8.1	9.8.2	9.8.3	9.8.4	9.8.5	9.8.6	9.8.7	Сума
Перевірка	1,4	1,2	1,6	2	1,3	1	1,5	10

Поширеним методом підігріву харчових пайків військових у польових умовах є використання так званого «безполум'яного нагрівача пайків» або FRH (Flameless Ration Heater).



Основним компонентом такого «нагрівача» є метал **X**, який реагує з водою, при чому виділяється достатня кількість енергії, здатна розігріти страву масою 256 г (8 унцій) у 12 г пластиковому контейнері за 12 хв. Ентальпії утворення реагентів та продуктів наведені у таблиці нижче:

Реагенти/продукти	H <sub>2</sub> O (р)	X(OH) <sub>n</sub> (тв)
Δ <sub>f</sub> H <sup>0</sup> , кДж/моль	-285,5	-923,8

**9.8.1. Визначте**, про який метал **X** йде мова, якщо при взаємодії 1 г **X** з надлишком води утворюється 1,02 л газу при стандартних умовах.

Реакція, що протікає під час нагрівання:  $X + nH_2O = X(OH)_n + n/2H_2$

Кількість речовини H<sub>2</sub> знайдемо за рівнянням Менделєєва-Клапейрона:

$$n(H_2) = \frac{PV}{RT} = \frac{1 \text{ атм} \cdot 1,02 \text{ л}}{0,0821 \cdot 298 \text{ К}} = 0,0417 \text{ моль}$$

Тоді кількість речовини **X** становить:

$$n(X) = \frac{1 \text{ г}}{M_X} = \frac{2 \cdot n(H_2)}{n} = \frac{0,0834}{n}$$
$$M_X = 12n$$

При  $n = 2 \Rightarrow M = 24 \text{ г/моль}$  – це Магній (Mg)

**9.8.2. Напишіть** термохімічне рівняння реакції, яка протікає під час нагрівання їжі у контейнері.



Розрахуємо ентальпію процесу за законом Гесса:

$$\Delta_r H^0 = \Delta_f H^0(H_2) + \Delta_f H^0(Mg(OH)_2) - 2\Delta_f H^0(H_2O) - \Delta_f H^0(Mg)$$

$$\Delta_r H^0 = 0 + (-923,8) - 2(-285,5) - 0 = -352,8 \text{ кДж/моль}$$

Термохімічне рівняння має вигляд:



Суміш 8 г металу **X** з 100 г води розігріває контейнер з порцією їжі на 56 °С. Враховуючи, що питома теплоємність їжі не відрізняється від теплоємності води -  $c_{H_2O} = 4200 \text{ Дж/(кг} \times \text{°C)}$ , а теплоємність пластику становить  $1000 \text{ Дж/(кг} \times \text{°C)}$ .

## IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023 заочний тур, умови та розв'язки

**9.8.3. Розрахуйте** коефіцієнт корисної дії (ККД) та середню потужність такого «нагрівача». Залежністю ентальпії від температури у цьому та наступному пунктах знехтуйте.

ККД розраховується за формулою:

$$\eta = \frac{Q_{\text{кор}}}{Q_{\text{затр}}} \cdot 100\%$$

$$Q_{\text{затр}} = n \cdot \Delta rH^0 = \frac{8}{24} \cdot 352,8 = 117,6 \text{ кДж};$$

$$Q_{\text{кор}} = Q_{\text{води}} + Q_{\text{їжі}} + Q_{\text{пластику}} = (c_{\text{води}}m_{\text{води}} + c_{\text{води}}m_{\text{їжі}} + c_{\text{пластику}}m_{\text{пластику}})\Delta T$$

$$Q_{\text{кор}} = (4200 \cdot 0,1 + 4200 \cdot 0,256 + 1000 \cdot 0,012) \cdot 56 = 84,4 \text{ кДж}$$

$$\eta = \frac{Q_{\text{кор}}}{Q_{\text{затр}}} \cdot 100\% = \frac{84,4}{117,6} \cdot 100\% = 71,8 \%$$

Середня потужність нагрівання розраховується як:

$$P = \frac{Q_{\text{затр}}}{t} = \frac{117600 \text{ Дж}}{12 \cdot 60 \text{ с}} = 163,3 \text{ Вт}$$

Відомо, що метал **X** добувають з деякого мінералу, що містить 83 % оксиду  $X_2O_n$ .

**9.8.4. Визначте**, яку масу цього мінералу потрібно добути, аби підігріти харчові пайки на  $56^\circ\text{C}$  для 200 українських солдат. ККД процесу нагрівання та процес розігріву однієї порції такий самий, як описано в попередньому пункті. (якщо ви не змогли відповісти на питання з пп. 9.8.3., то прийміть ККД = 100%).

Для розігріву 200 пайків потрібно теплоти:

$$Q_{\text{кор}}(\text{всього}) = 200 \cdot Q_{\text{кор}}(\text{одного}) = 200 \cdot 84,4 = 16880 \text{ кДж}$$

Враховуючі ККД процесу:

$$Q_{\text{затр}} = \frac{Q_{\text{кор}}}{\eta} = \frac{16880 \text{ кДж}}{0,718} = 23510 \text{ кДж}$$

Знаючи ентальпію процесу, знаходимо кількість Магнію, яка приймає участь:

$$n(\text{Mg}) = \frac{Q_{\text{затр}}}{\Delta rH^0} = \frac{23510 \text{ кДж}}{352,8 \text{ кДж/моль}} = 66,64 \text{ моль}$$

Тоді оксиду  $\text{MgO}$  потрібно:

$$m(\text{MgO}) = n(\text{Mg}) \cdot 40 = 2665,6 \text{ г}$$

Знаючи масову частку  $\text{MgO}$ , знаходимо масу мінералу:

$$m(\text{мінералу}) = \frac{2665,6 \text{ г}}{0,83} = 3212 \text{ г або } 3,2 \text{ кг}$$

Окрім основного компоненту у вигляді металу **X**, суміш для розігріву містить інший метал **Y** та бінарну сіль **AB**. Останні є каталізаторами реакції **X** з водою, так як сам процес йде дуже повільно.

**9.8.5. Визначте** усі компоненти суміші для розігріву, якщо метал **Y** є головним компонентом ядра Землі, а сіль **AB** містить 39,3 % лужного металу.

## IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023

### заочний тур, умови та розв'язки

Основний компонент ядра Землі – Залізо ( $Y = Fe$ ), а якщо припустити, що лужний метал у складі АВ – Натрій, то за розрахунками за масовою часткою виходить формула АВ = NaCl.

9.8.6. **Поясніть**, як додавання металу Y та солі АВ пришвидшує основну реакцію розігріву.

NaCl розчиняється у воді, утворюючи електроліт, в якому порошки Магнію та Заліза утворюють мільйони гальванічних пар, що прискорює окисно-відновну реакцію Магнію з водою.

9.8.7. **Розрахуйте** масовий склад суміші для розігріву, якщо при використанні 100 г останньої вдається нагріти 11 харчових пайків, а відношення масових часток  $w(AB)/w(Y) = 0,75$ . ККД процесу нагрівання та процес розігріву однієї порції таке саме, як у пп. 9.8.3).

Знайдемо енергію для розігріву 11 пайків:

$$Q_{\text{кор}}(\text{всього}) = 11 \cdot Q_{\text{кор}}(\text{одного}) = 11 \cdot 84,4 = 928,4 \text{ кДж}$$

$$Q_{\text{затр}} = \frac{Q_{\text{кор}}}{\eta} = \frac{928,4 \text{ кДж}}{0,718} = 1293 \text{ кДж}$$

Знаючи ентальпію процесу, знаходимо масу Магнію у суміші:

$$m(Mg) = \frac{Q_{\text{затр}}}{\Delta_r H^0} \cdot M = \frac{1293 \text{ кДж} \cdot 24 \text{ г/моль}}{352,8 \text{ кДж/моль}} = 88 \text{ г}$$

Тоді масова частка Магнію складає 88 %, а Заліза та солі – 12 %. Знаючи співвідношення масовий часток, зробимо рівняння:

$$\begin{cases} w(Fe) + w(NaCl) = 12 \% \\ w(NaCl)/w(Fe) = 0,75 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} w(Fe) = 6,9 \% \\ w(NaCl) = 5,1 \% \end{cases}$$

### Завдання 9.9. (Автор: Пашко Микола)

Оцінка за задачу (заповнюється журі)

Питання	9.9.1	9.9.2	9.9.3	9.9.4	9.9.5	Сума
Перевірка	5,2	1,6	0,8	1,5	0,9	10

Речовина А є найпоширенішим природним мінералом елементу Х. А розчиняється у соляній кислоті з утворенням розчину речовини В та виділенням газу D. При розчиненні А у сірчаній кислоті утворюється розчин речовини С та виділяється газ Е. З 10 грам речовини А утворюється 2,58 л (за н.у.) газу D та 1,29 л (за н.у.) газу Е. Якщо до розчину В або С додати гідроксид натрію то випаде білий осад F. Якщо до розчину В або С додати розчин гідроксиду натрію з перекисом водню то випаде бурий осад G з масовою часткою елементу Х – 52,39%. Мінерал А може бути сплавлений з гідроксидом калію в присутності газу Е в результаті чого утворюється сполука H з масовою часткою елементу Х – 27,88%. Електролізом концентрованого розчину H отримують речовину I, що є основним промисловим методом її отримання, при цьому на катоді виділяється водень. При дії на речовину I концентрованої сірчаної кислоти утворюється нестабільна масляниста рідка речовина J, яка з часом розкладається на А та газ Е, при цьому втрата маси становить 21,64%. Якщо А нагріти до 600 °C то утвориться речовина K та газ Е, а втрата маси складе

**IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023**  
заочний тур, умови та розв'язки

9,21%. **К** можна далі відновити воднем з утворенням речовини **L**, котра також може бути отримана при нагріванні **F**. З 10 грам **F** утворюється 7,98 грам **L**. Просту речовину **X** у промисловості отримують взаємодією **L** з алюмінієм.

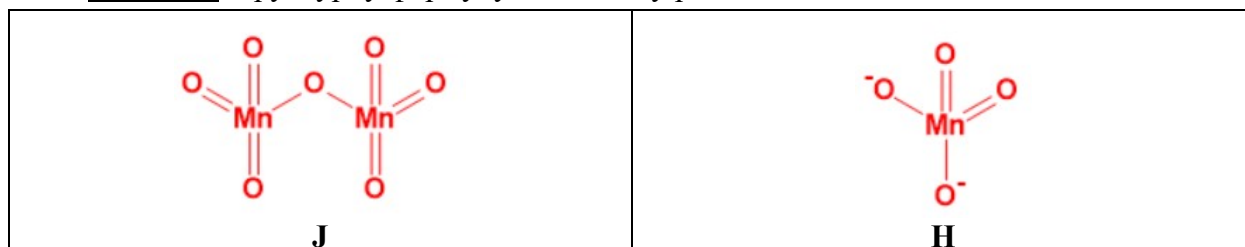
9.9.1. **Визначте** зашифровані речовини **A-L, X**.

$\text{MnO}_2$ <b>A</b>	$\text{MnCl}_2$ <b>B</b>	$\text{MnSO}_4$ <b>C</b>	$\text{Cl}_2$ <b>D</b>
$\text{O}_2$ <b>E</b>	$\text{Mn(OH)}_2$ <b>F</b>	$\text{MnO(OH)}_2$ <b>G</b>	$\text{K}_2\text{MnO}_4$ <b>H</b>
$\text{KMnO}_4$ <b>I</b>	$\text{Mn}_2\text{O}_7$ <b>J</b>	$\text{Mn}_2\text{O}_3$ <b>K</b>	$\text{MnO}$ <b>L</b>
$\text{Mn}$ <b>X</b>			

9.9.2. **Наведіть** рівняння реакцій утворення **B, C, H, I**.

→ <b>B</b>	$\text{MnO}_2 + 4\text{HCl} \rightarrow \text{MnCl}_2 + \text{Cl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
→ <b>C</b>	$2\text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{MnSO}_4 + \text{O}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$
→ <b>H</b>	$2\text{MnO}_2 + 4\text{KOH} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{K}_2\text{MnO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$
→ <b>I</b>	$2\text{K}_2\text{MnO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{KMnO}_4 + 2\text{KOH} + \text{H}_2\uparrow$

9.9.3. **Наведіть** структурну формулу **J** та аніону речовини **H**.



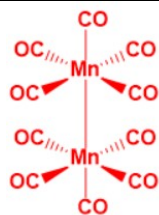
При відновленні йодиду елемента **X** алюмогідридом літію під тиском монооксиду вуглецю утворюється речовина **M**, котра існує у вигляді димеру. **M** взаємодіє з газом **D**, утворюючи речовину **N**, та з амальгамою натрію, утворюючи речовину **O**. З 10 грам **M** утворюється 11,82 грами **N** та 11,18 грам **O**.

9.9.4. **Визначте** зашифровані речовини **M, N, O**. Напишіть ступень окиснення елемента **X** в цих трьох речовинах.

$[\text{Mn(CO)}_5]_2$ <b>M</b>	$[\text{Mn(CO)}_5\text{Cl}]$ <b>N</b>	$\text{Na}[\text{Mn(CO)}_5]$ <b>O</b>
с.о. <b>X</b> у <b>M</b> = 0	с.о. <b>X</b> у <b>N</b> = +1	с.о. <b>X</b> у <b>O</b> = -1

9.9.5. **Зобразіть** будову молекули **M** та поясніть, чому вона існує у вигляді димеру?

**IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023**  
заочний тур, умови та розв'язки



Будова М –

Чому М існує у вигляді димера?

У стані димера на зовнішньому енергетичному рівні атому марганцю знаходиться 18 електронів

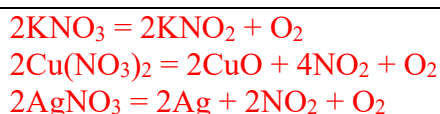
**Завдання 9.10. (Автор: Рябухін Сергій)**

Оцінка за задачу (заповнюється журі)

Питання	9.10.1	9.10.2	9.10.3	9.10.4	9.10.5	Сума
Перевірка	2,1	2,1	2,1	1,6	2,1	10

Суміш нітратів калію, міді та срібла масою 18,36 г прожарили при 600°C. Об'єм газів, що при цьому виділився, склав 4,032 л (за н.у.), а маса твердого залишку після обробки водою зменшилася на 3,4 г.

**9.10.1. Наведіть рівняння реакцій, що відбулися.**



**9.10.2. Розрахуйте масові частки нітратів у суміші.**

Із твердих продуктів розкладу у воді залишиться лише нітрит. Розрахуємо масу нітрату калію.

$$m(\text{KNO}_3) = 3,4 \cdot M(\text{KNO}_3) / M(\text{KNO}_2) = 4,04 \text{ (г)}$$

Із цієї маси виділиться 0,448 л O<sub>2</sub>

Звідси сума мас нітратів міді та срібла дорівнює 18,36-4,04=14,32 (г), а сума об'ємів газів, що виділилися при їх розкладі – 4,032-0,448=3,584 (л)

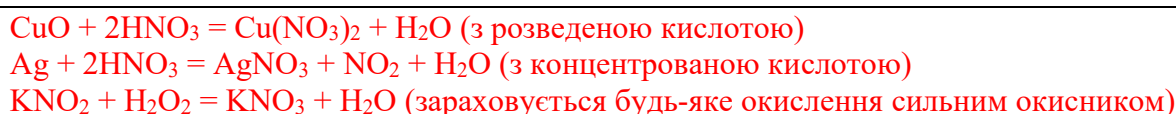
Нехай маємо а г нітрату міді, тоді нітрату срібла (14,32-а) г

Виходячи з рівнянь п.5.1 з а г нітрату міді виділиться 0,298а л газів, а, відповідно, з (14,32-а) г нітрату срібла 0,198(14,32-а) л газів.

Вирішуючи систему рівнянь отримуємо а=7,49

Тобто m(Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) = 7,49 (г), а m(AgNO<sub>3</sub>) = 6,83 (г).

**9.10.3. Наведіть методи отримання вихідних нітратів з продуктів їх розкладу, що утворилися в пп. 9.10.1.**



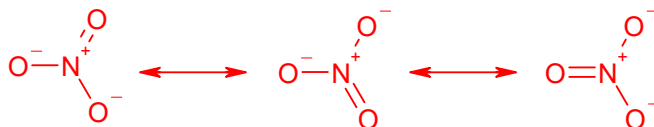
**IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023**  
**заочний тур, умови та розв'язки**

**9.10.4. Які іони** будуть міститися у водному розчині вихідної суміші?

$K^+$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Ag^+$ ,  $NO_3^-$ .

Оскільки це водний розчин, то в незначних кількостях будуть присутні іони  $H_3O^+$  та  $OH^-$ , однак їх наявністю можна знехтувати.

**9.10.5. Наведіть** структурну та резонансні формули нітрат-аніону.



**IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023**  
заочний тур, умови та розв'язки

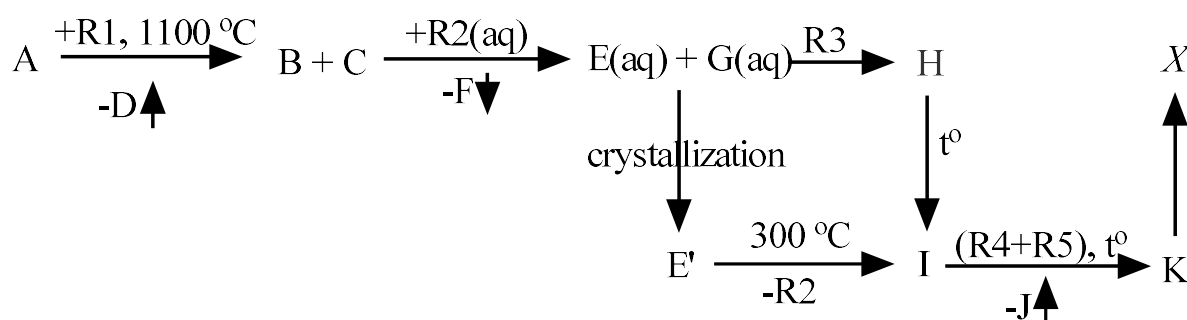
# 10 клас

**Завдання 10.1 (Автор: Гавриленко Костянтин)**

Оцінка за задачу (заповнюється журі)

Питання	10.1.1	10.1.2	10.1.3	10.1.4	10.1.5	10.1.6	10.1.7	10.1.8	10.1.9	Сума
Максимум	36	4	20	12	6	8	5	2	5	98

Елемент **X** та його сполуки мають важливе значення в сучасній промисловості. На схемі нижче зображено процес отримання **X** з його основного мінералу **A**:



(aq) – означає, водний розчин;  $\uparrow$  та  $\downarrow$  - виділення газу та випадіння осаду, відповідно; “crystallization” – кристалізація з розчину. На схемі опущене виділення води чи її додавання під час хімічних перетворень.

10.1.1. **Розшифруйте** зашифровані речовини, якщо сполуки **D** та **J** є газами за кімнатної температури, мають однаковий якісний склад а їх густини відрізняються в 1,571 рази; сполуки **R1**, **B** та **C** мають однакову стехіометрію; сполуки **D**, **F** та **I** – однакову стехіометрію; взаємодія водних розчинів сполук **R1** та **R2** призводить до утворення розчину сполуки **G**; взаємодія сполук **J** та **R4** веде до утворення речовини зі стехіометрією сполуки **E**; масова частка **X** в **E** складає 51,21 %, а в **E'** – 28,31 %; **E'** є кристалогідратом сполуки **E**; **R4** та **R5** – прості речовини.

*3+3 бали – розрахунки за %, 2 бали – розрахунки по пропорції, 5x2 бали – відповідність структур умові. Кожна правильна структура – 1 бал.*

<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>H</b>	<b>I</b>
ZrSiO <sub>4</sub>	Na <sub>2</sub> ZrO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	ZrOCl <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	NaCl	ZrO <sub>2</sub> ·H <sub>2</sub> O	ZrO <sub>2</sub>
<b>J</b>	<b>K</b>	<b>X</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>R4</b>	<b>R5</b>	<b>E'</b>
CO	ZrCl <sub>4</sub>	Zr	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	HCl	NaOH	Cl <sub>2</sub>	C	ZrOCl <sub>2</sub> ·8H <sub>2</sub> O

10.1.2 **Запропонуйте** реагент та умови перетворення для реакції **K**→**X**.

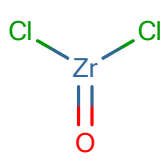
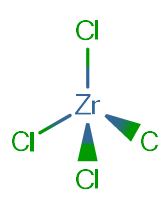
*Mg, нагрівання. (2+2 бали)*

## IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023 заочний тур, умови та розв'язки

**10.1.3** Запишіть рівняння всіх реакцій, згаданих вище.

$ZrSiO_4 + 2Na_2CO_3 = Na_2ZrO_3 + Na_2SiO_3 + 2CO_2$
$Na_2ZrO_3 + 2HCl = ZrOCl_2 + 2NaCl + H_2O$
$Na_2SiO_3 + 2HCl = SiO_2 + 2NaCl + H_2O$ ( $Na_2SiO_3 + 2HCl + (n-1)H_2O = SiO_2 \cdot nH_2O + 2NaCl$ )
$ZrOCl_2 \cdot 8H_2O = ZrO_2 + 2HCl + 6H_2O$
$ZrOCl_2 + 2NaOH + H_2O = H_4ZrO_4 + 2NaCl + H_2O$ ( $Zr(OH)_4$ та $ZrO_2 \cdot nH_2O$ також приймаються)
$H_4ZrO_4 = ZrO_2 + 2H_2O$
$ZrO_2 + 2C + 2Cl_2 = ZrCl_4 + 2CO$
$ZrCl_4 + 2Mg = Zr + 2MgCl_2$
$Na_2CO_3 + 2HCl = CO_2 + 2NaCl + H_2O$
$CO + Cl_2 = COCl_2$
<i>Кожне правильно написане рівняння з коефіцієнтами – 2 бали</i>

**10.1.4** На підставі теорії гібридизації намалюйте будову сполук **D**, **E** та **K** в газовій фазі (вважайте їх всіх мономерами) та вказіть гібридизацію центрального атому.

<p><b>D</b> <math>O=C=O</math>, <math>sp</math></p>	<p><b>E</b></p>  <p style="text-align: right;"><math>, sp^2</math></p>	<p><b>K</b></p>  <p style="text-align: right;"><math>, sp^3</math></p>
<i>Правильна геометрія – 2 бали, правильна гібридизація – 2 бали.</i>		

Відомо, що структури двох з вищезазначених сполук не відповідають передбаченням отриманим з теорії гібридизації.

**10.1.5** Вкажіть, які це сполуки? Серед зазначених нижче оберіть можливу(і) причину(и) такої невідповідності:

Сполуки, структура яких не відповідає передбаченню: **E та K**

- а) наявність галогенів в молекулі;
- б) наявність периферійних атомів кисню в молекулі;
- в) схильність центрального атому до утворення  $\pi$ -зв'язків;
- г) **схильність центрального атома до утворення сполук немалекулярної будови;**
- д) **наявність доступних за енергією d-орбіталей.**

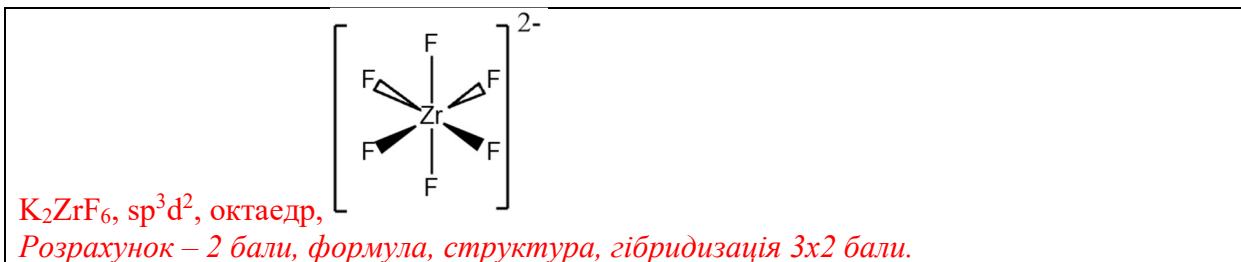
*Сполуки 1+1 бали, правильне твердження – 2 бали (неправильне твердження – -2 бали, але не менше 0).*

Як вихідний мінерал так і всі інші сполуки **X** завжди мають домішки елемента **Y**, який має майже ті самі хімічні властивості, що й **X**. Для використання **X** в певних галузях, вміст **Y** в ньому має бути меншим за 0,05 мас. %. Одним з перших методів очищення сполук **X** від домішок **Y** була багаторазова перекристалізація речовини **L**, яка може бути отримана стоппленням **A** з еквівалентною кількістю гексафторосилікату калію при 900 °С. **L** містить 40,22 мас. % фтору у своєму складі.



## IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023 заочний тур, умови та розв'язки

10.1.6 **Визначте L**, намалюйте будову її аніону та вкажіть гібридизацію центрального атому.



Розчинність **L** у воді становить 20,76 г на 100 г води при 100 °С та 1,22 г на 100 г води при 10 °С.

10.1.7 **Розрахуйте** масу води та **L**, які необхідні для отримання 50,00 г перекристалізованої сполуки **L**. Визначте вихід перекристалізації.

255,89 г води та 53,12 г сполуки **L**.

Вихід: 94,13 %

*По 2 бали за кожну правильну цифру.*

Для отримання **L** в якій кількості домішок **Y** не перевищує граничних норм треба послідовно провести 15 перекристалізацій, про які йшлося вище.

10.1.8 **Розрахуйте** вихід **L**, очищеної від **Y**.

Вихід: 40,29 %. (2 бали з розрахунком)

Відомо, що в твердому стані **Y** утворює гексагональну щільноупаковану гратку з наступними параметрами елементарної комірки:  $a = 318,8$  пм та  $c = 504,2$  пм (див. Рисунок).

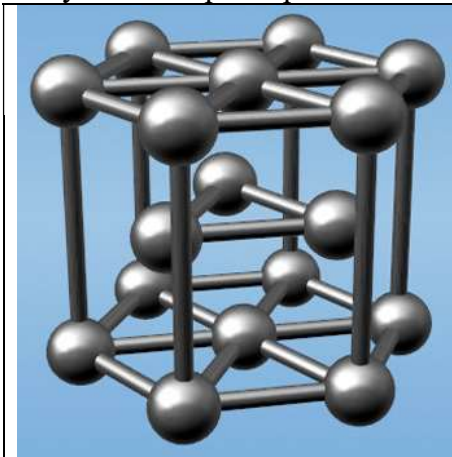


Рисунок. Фрагмент гексагональної щільноупакованої гратки.

10.1.9 **Розрахуйте** атомну масу **Y** та визначить цей елемент, якщо його виміряна густина дорівнює  $13,31$  г/см<sup>3</sup>.

$A_r$  (розрахована) = 177,8

Елемент – Hf. Неточність атомної маси в порівнянні з табличним значенням ймовірно пов'язана з неточністю вимірів густини або параметрів елементарної комірки

*Розрахунок – 3 бали,  $A_r$  – 1 бал, елемент – 1 бал*

Завдання 10.2 «Один, два, три, чотири – цикл!» (Автор: Желавський Олексій)

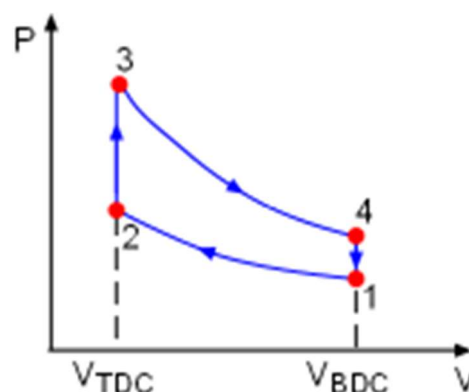
Оцінка за задачу (заповнюється журі)

## IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023 заочний тур, умови та розв'язки

Питання	10.2.1	10.2.2	10.2.3	10.2.4	10.2.5	10.2.6	Сума
Максимум	2	4	4	8	6	10	34

Бензинові двигуни стали невід'ємною частиною нашого життя, але мало хто замислюється які саме принципи закладені в основу їх роботи. В цій задачі вам пропонується обчислити деякі із процесів в термодинамічному циклі бензинових двигунів, що наведений нижче. Основний принцип – повітряно-паливна суміш вприскується в циліндр, який потім стискає газ від об'єму  $V_{BDC}$  до  $V_{TDC}$  (процес 1-2), після чого відбувається запалювання палива (2-3), розширення газу що штовхає поршень у кінцеве положення (3-4) та охолодження (4-1). Процеси 1-2 та 3-4 відбуваються за рахунок швидкого переміщення поршня в циліндрі і тому теплообміну з оточуючим середовищем не відбувається.

	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>
$\Delta_f H^0_{298}$ , кДж/моль	0	-393,51	-241,82	-208,45
$C_p$ , Дж/(К·моль)	29,35	37,11	33,58	188,87



**Довідка:** Густина повітря і газової суміші однакова – 1,200 г/л, ізобарна та ізохорна питома теплоємність газової суміші 1,411 та 1,008 кДж/кг відповідно і є сталими для всього циклу, склад повітря – 78% азоту та 22% кисню за об'ємом.

Повітряно-паливна суміш, що використовується в циклі, змішується в карбюраторі в співвідношенні повітря: паливо = 16:1 за масою. Вважайте, що в якості палива використовується н-октан. Також відомо, що при стисканні газу від об'єму  $V_{BDC}$  до  $V_{TDC}$  поршень циліндру радіусом 65,10 мм проходить відстань 75,15 мм, а  $V_{TDC}$  складає 14,60 % від  $V_{BDC}$ .

**10.2.1 Розрахуйте** склад повітряно-паливної суміші (в об'ємних частках).

Спочатку розрахуємо молярну масу повітря:

$$M = 28.014 \cdot 0.78 + 32 \cdot 0.22 = 28.89 \text{ г/моль}$$

Далі, в суміші маси октану і повітря співвідносяться як  $m:16m$ , отже сумарна кількість речовини:

$$n(\text{суміші}) = \frac{m}{114.23} + \frac{16m}{28.89} = 0.5626m$$

Тепер легко визначити мольні/об'ємні частки:

$$\chi(C_8H_{18}) = 1.55 \%, \chi(O_2) = 21.61 \%, \chi(N_2) = 76.84 \%$$

$$16 \text{ розрахунок} + 16 \text{ відповідь} = 26$$

**10.2.2 Розрахуйте** об'єм системи та масу паливної суміші в точці 1 ( $V_{BDC}$ ).

Розрахуємо об'єм в точці 1, де циліндр займає найнижче положення в циліндрі. Об'єм, що зменшується при стисканні дорівнює об'єму що проходить поршень:

$$V = \pi r^2 h = 3.14 \cdot 6.51^2 \cdot 7.515 = 1000 \text{ cm}^3$$

Тоді, при стисканні це дорівнює зменшенню на 85,4 %, отже:

## IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023 заочний тур, умови та розв'язки

$$V_1 = 1000/0.854 = 1.17 \text{ л}$$
$$\text{Маса суміші } m = 1.17 \text{ л} \cdot (1.2 \text{ г/л}) = 1.4 \text{ г}$$

2б розрахунок + 2б відповідь = 4б

**10.2.3 Розрахуйте** температуру в точці 2 ( $T_2$ ), якщо в точці 1:  $P_1 = 100 \text{ кПа}$ ,  $T_1 = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Для розрахунку температури  $T_2$  скористаємось рівняннями для адіабатичного процесу  
 $TV^{\gamma-1} = \text{const}$

$$\gamma = C_p/C_v = 1.411/1.008 = 1.4 \text{ – адіабатична стала}$$

$$T_2 = T_1 \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}$$

Пам'ятаємо, що  $V_2 = 0.146V_1$

$$\text{Тоді, } T_2 = 643.72 \text{ К} = 370.57 \text{ }^\circ\text{C}$$

3 б розрахунок + 1 б відповідь = 4 б

Відомо, що коли реакція перебігає за температурою, дуже відмінною від 298К, то потрібно враховувати залежність її теплового ефекту від температури за законом Кірхгофа.

**10.2.4 Запишіть** рівняння згорання октану в кисні і **розрахуйте** питомий тепловий ефект реакції (кДж/г октану) за температури  $T_2$ . Вважайте значення питомих  $C_p$  незалежними від температури. Якщо ви не виконали п.3, приміть  $T_2 = 320 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Рівняння:  $C_8H_{18} + 12.5O_2 = 8CO_2 + 9H_2O$  (1б рівняння + 1б коефіцієнти = 2б)

Закон Кірхгофа за умови, коли питомі теплоємності не залежать від температури:

$$\Delta H^{T_2} = \Delta H^{T_1} + \Delta C_p(T_2 - T_1)$$

Де  $\Delta C_p$  – різниця питомих теплоємностей продуктів і реагентів із врахуванням стехіометричних коефіцієнтів (розраховується аналогічно з ентальпією реакції за наслідком закону Гесса)

$$\Delta C_p = 8 * 37.11 + 9 * 33.58 - 12.5 * 29.35 - 188.87 = 43.35 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К}$$

Ентальпія реакції за стандартних умов

$$\Delta H^{298} = -8 * 393.51 - 9 * 241.82 + 208.45 = -5116.0 \text{ кДж/моль}$$

Перераховуємо для  $T_2 = 643.72 \text{ К}$

$$\Delta H^{T_2} = -5116000 + 43.35(643.72 - 298.15) = -5101.0 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}} = -44.66 \frac{\text{кДж}}{\text{г}}$$

$$(\text{Для } T_2 = 320 \text{ }^\circ\text{C} = 593.15 \text{ К, } \Delta H^{T_2} = -44.67 \frac{\text{кДж}}{\text{г}})$$

5 б розрахунок (1б за ентальпію при 298, 1 б за зміну теплоємності, 2 б за Кірхгофа) + 1 б відповідь = 6 б

**10.2.5 Розрахуйте** температуру в точці 3 ( $T_3$ ). Вважайте, що вся енергія йде на нагрівання газу. Якщо ви не виконали попередні пункти, приміть  $T_2 = 320 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\Delta H^{T_2} = 42 \text{ кДж/г}$ , маса повітряної-паливної суміші, що вприскується – 1,3 г.

Процес 2-3 – ізохорний, підвищення температури відбувається за рахунок сгорання палива. Розрахуємо кількість енергії, що виділиться

$$m(\text{октану}) = 1.4 \text{ г} \times \frac{1}{16} = 0.0875 \text{ г}$$

**IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023**  
**заочний тур, умови та розв'язки**

$$Q = 0.0875 \text{ г} * 44.66 \text{ кДж/г} = 3.9 \text{ кДж}$$

Ця енергія витрачається на нагрівання всього газу в циліндрі, тому

$$Q = m * C_v * (T_3 - T_2)$$

$$3.9 = 0.0014 * 1.008 * (T_3 - 643.72)$$

$$T_3 = 3407.32 \text{ К} = 3134.18 \text{ }^\circ\text{C}$$

(для другого набору параметрів  $T_2 = 320 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\Delta_r H = 42 \text{ кДж/г}$ ,  $m = 1.3 \text{ г}$ :  $T_3 = 3197.32 \text{ К}$ )

*5 б розрахунок (2 б пояснення, 3 б за розрахунки) + 1 б відповідь = 6 б*

**10.2.6 Розрахуйте** корисну роботу та коефіцієнт корисної дії циклу (ККД). Якщо ви не виконали попередні пункти, приміть  $T_2 = 320 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $T_3 = 2800 \text{ }^\circ\text{C}$ , маса повітряно-паливної суміші, що вприскується – 1,3 г.

Процеси 2-3 та 3-4 – ізохорні, отже робота газу в них дорівнює 0.

Тому, єдині два процеси, де виконується робота – адіабатичні. Для них робота дорівнює:

$$A_{12} = m C_v (T_1 - T_2)$$

Сумарна робота циклу

$$A = A_{12} + A_{34} = m C_v (T_1 - T_2) + m C_v (T_3 - T_4)$$

Знайдемо температуру  $T_4$  так само, як в пункті 2:

$$T_4 = T_3 \left( \frac{V_3}{V_4} \right)^{\gamma-1}, V_3 = 0.146 V_4$$

$$T_4 = 1456.67 \text{ К}$$

$$A = A_{12} + A_{34} = 0.0014 * 1.008 * ((298.15 - 643.72) + (3134.18 - 1456.67)) = 1.88 \text{ кДж} \text{ (1.77 кДж для іншого набору даних)}$$

ККД можна тепер розрахувати як відношення корисної роботи до загальної енергії, що була надана системі при спалюванні октану:

$$\eta = 1.88 / 3.9 = 48.2 \%$$

Або використавши адіабатичні рівняння, прийти до формули ККД, що залежить тільки від  $T_2$  та  $T_1$ :

$$\eta = \frac{m C_v (T_1 - T_2) + m C_v (T_3 - T_4)}{m C_v (T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} = 1 - \frac{T_1 \left( \frac{T_4}{T_1} - 1 \right)}{T_2 \left( \frac{T_3}{T_2} - 1 \right)}$$

Оскільки  $V_2 = V_3$ ,  $V_1 = V_4$  то:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} = \frac{T_4}{T_3} = \left( \frac{V_3}{V_4} \right)^{\gamma-1}$$

$$\frac{T_4}{T_1} = \frac{T_3}{T_2}$$

$$\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2}$$

$\eta = 1 - 298.15 / 643.72 = 53.7\%$  (більш точне значення, що не включає похибки обчислення роботи та енергії).

*8 б розрахунок (4 б пояснення, 4 б за розрахунки) + 2 б відповідь = 10 б*

# IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023

## заочний тур, умови та розв'язки

### Завдання 10.3 Токсичні рівноваги (Автор: Запорожець Ірина)

Оцінка за задачу (заповнюється журі)

Питання	10.3.1	10.3.2	10.3.3	10.3.4	10.3.5	10.3.6	10.3.7	10.3.8	10.3.9	Сума
Максимум	2	6	6	6	5	2	2	2	4	35

Сполуки арсену є токсичними для більшості живих організмів. Проте в озері Моно, США (на рисунку), було знайдено бактерію GFAJ-1, яка здатна витримувати високі концентрації цього елемента. Припускали навіть, що ця бактерія може використовувати арсен замість фосфору в своєму метаболізмі. Але це припущення було спростовано подальшими дослідженнями.



#### Частина А

Для дослідження GFAJ-1 в лабораторії використовували розчини, які отримали шляхом змішування 0,500 М розчину NaOH (розчин А) та 0,500 М розчин  $\text{H}_3\text{AsO}_4$  (розчин Б)

**10.3.1 Розрахуйте рН вихідного розчину  $\text{H}_3\text{AsO}_4$  ( $\text{pK}_{a1}=2,19$ ,  $\text{pK}_{a2}=6,94$ ,  $\text{pK}_{a3}=11,5$ ).**

Враховуючи значну різницю між ступінчастими константами дисоціації  $\text{H}_3\text{AsO}_4$ , рН розчину арсенатної кислоти буде переважно визначатись рівновагою

	$\text{H}_3\text{AsO}_4$	$\rightleftharpoons$	$\text{H}^+$	+	$\text{H}_2\text{AsO}_4^-$
$C_0, \text{M}$	0.500				
$[\text{ }], \text{M}$	$0.500 - x$		$x$		$x$

Тоді

$$K_{a1} = x^2 / (0.500 - x)$$

Оскільки константа рівноваги досить велика, ми не можемо знехтувати  $x$  у знаменнику, тож необхідно розв'язувати повне квадратне рівняння.

$$x = [\text{H}^+] = 0,05368 \text{ M}$$

$$\text{pH} = 1,27$$

2 бали, -1 бал, якщо використано наближення  $x \ll 0,5$ .

**10.3.2 Розрахуйте рН розчину, що утвориться, якщо змішати:**

- 10,00 мл розчину А та 10,00 мл розчину Б;
- 15,00 мл розчину А та 10,00 мл розчину Б;
- 30,00 мл розчину А та 10,00 мл розчину Б.

а) – 2 бали

В результаті змішування рівних об'ємів NaOH та  $\text{H}_3\text{AsO}_4$  утворюється  $\text{NaH}_2\text{AsO}_4$  з концентрацією 0,25 М, рН розчину якого визначається дисоціацією та протонуванням  $\text{H}_2\text{AsO}_4^-$ . В даному випадку розчин досить концентрований, тому можемо використовувати спрощену формулу  $\text{pH} = (\text{pK}_{a1} + \text{pK}_{a2})/2 = 4,57$

б) – 2 бали

В результаті змішування утворився розчин, що містить по 0,1 М  $\text{NaH}_2\text{AsO}_4$  та  $\text{Na}_2\text{HAsO}_4$ . рН визначається рівновагою

**IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023**  
заочний тур, умови та розв'язки

	$\text{H}_2\text{AsO}_4^-$	$\rightleftharpoons$	$\text{H}^+$	+	$\text{HAsO}_4^{2-}$
$C_0, \text{M}$	0.1				0.1
$[\ ], \text{M}$	$0.1 - x$		$x$		$0.1+x$

В даному випадку, можна припустити, що  $x \ll 0,1$ , тоді  $\text{pH} = \text{pK}_{a2} = 6,94$

в) – 2 бали

В результаті змішування утворився  $\text{Na}_3\text{AsO}_4$  з концентрацією 0,125 М. pH розчину буде визначатися переважно гідролізом арсенат-аніона

	$\text{AsO}_4^{3-}$	+	$\text{H}_2\text{O}$	$\rightleftharpoons$	$\text{HAsO}_4^{2-}$	+	$\text{OH}^-$
$C_0, \text{M}$	0.125						
$[\ ], \text{M}$	$0.125 - x$				$x$		$x$

$$\frac{x^2}{0.125 - x} = \frac{K_w}{K_{a3}}$$

$$x = 0,01836 = [\text{OH}^-]$$

$$\text{pH} = 14 + \log(x) = 12,26$$

До мірної колби об'ємом 100,00 мл внесли певні об'єми розчинів А і Б. Розчин довели до мітки дистильованою водою та ретельно перемішали. В результаті отримали розчин С з  $\text{pH} = 10,4$  та загальною концентрацією  $\text{As(V)}$  0,040 М.

**10.3.3 Розрахуйте** рівноважні концентрації  $[\text{AsO}_4^{3-}]$ ,  $[\text{HAsO}_4^{2-}]$ ,  $[\text{H}_2\text{AsO}_4^-]$  у розчині С.

Складемо матеріальний баланс та розрахуємо частку (As), який знаходиться у різних формах.

$$c(\text{As}) = [\text{H}_3\text{AsO}_4] + [\text{H}_2\text{AsO}_4^-] + [\text{HAsO}_4^{2-}] + [\text{AsO}_4^{3-}]$$

У сильнолужному середовищі можемо знехтувати внесками  $[\text{H}_3\text{AsO}_4]$  та  $[\text{H}_2\text{AsO}_4^-]$ , тому можемо записати

$$c(\text{As}) \cong [\text{HAsO}_4^{2-}] + [\text{AsO}_4^{3-}]$$

Мольна частка  $\text{AsO}_4^{3-}$  може бути розрахована як

$$\alpha(\text{AsO}_4^{3-}) = [\text{AsO}_4^{3-}] / ([\text{HAsO}_4^{2-}] + [\text{AsO}_4^{3-}]) = 1 / (1 + [\text{H}^+] / K_{a3})$$

$$[\text{AsO}_4^{3-}] = c(\text{As}) \alpha(\text{AsO}_4^{3-}) = c(\text{As}) / (1 + [\text{H}^+] / K_{a3})$$

$$[\text{AsO}_4^{3-}] = 2,944 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

$$[\text{HAsO}_4^{2-}] = [\text{H}^+] [\text{AsO}_4^{3-}] / K_{a3} = 3,7057 \cdot 10^{-2} \text{ M}$$

$$[\text{H}_2\text{AsO}_4^-] = [\text{H}^+] [\text{HAsO}_4^{2-}] / K_{a2} = 1,286 \cdot 10^{-5} \text{ M}$$

*розрахунок та кінцева відповідь – 2 бали для кожного іону, усього 6 балів.*

**10.3.4 Розрахуйте** об'єми (мл) розчинів А та Б, які були використані для приготування розчину С.

Усього розчин С містить 0,004 моль As, отже, для його приготування необхідно  $0,004 / 0,500 = 0,0080$  л (8,00 мл) розчину Б. За  $\text{pH} = 10,4$  домінуючими формами As у розчині будуть  $\text{HAsO}_4^{2-}$  та  $\text{AsO}_4^{3-}$ .

$$\text{pH розчину визначається рівнянням: } \text{pH} = \text{pK}_a + \log(c(\text{AsO}_4^{3-}) / c(\text{HAsO}_4^{2-}))$$

$$\log(c(\text{AsO}_4^{3-}) / c(\text{HAsO}_4^{2-})) = 10,4 - 11,5 = -1,1.$$

**IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023**  
**заочний тур, умови та розв'язки**

Тоді маємо систему рівнянь:  
 $n(\text{AsO}_4^{3-}) + n(\text{HAsO}_4^{2-}) = 0,0040$   
 $n(\text{AsO}_4^{3-})/n(\text{HAsO}_4^{2-}) = 0,0794$

$n(\text{AsO}_4^{3-}) = 0,2944$  ммоль  
 $n(\text{HAsO}_4^{2-}) = 3,7056$  ммоль  
(Тут також можна було використати результат, отриманий в п. 3)  
Тоді кількість речовини NaOH, що необхідна, складає  
 $n(\text{NaOH}) = 3n(\text{AsO}_4^{3-}) + 2n(\text{HAsO}_4^{2-}) = 8,2944$  ммоль  
 $V(\text{NaOH}) = n/c = 16,59$  мл

*Розраховані об'єми – А: 4 бали, Б – 2 бали, усього 6 балів.*

**Частина Б.**

Один із методів видалення арсену зі стічних вод металургійних підприємств - осадження його у вигляді  $\text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2$  ( $D_P = 7,24 \cdot 10^{-22}$ ). Недоліком цього підходу є значна розчинність  $\text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2$ , що також залежить від рН, тому за зміни зовнішніх умов осад  $\text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2$  може ставати джерелом забруднення доквілля арсеном.

**10.3.5 Виведіть рівняння,** яке пов'язує розчинність  $\text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2$  з його добутком розчинності, константами дисоціації  $\text{H}_3\text{AsO}_4$ , та рН розчину.

Нехай розчинність  $\text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2$  становить  $s$  моль/л. Тоді у розчині буде  $3s$  моль/л йонів  $\text{Ca}^{2+}$  та  $2s$  моль/л усіх форм As. При цьому концентрація  $[\text{AsO}_4^{3-}] = 2s \cdot \alpha(\text{AsO}_4^{3-})$ .  $\alpha(\text{AsO}_4^{3-})$  розраховується аналогічно пункту 3, але якщо ми хочемо, щоб формула працювала для різних рН, необхідно включити до матеріального балансу усі можливі форми As.

Тоді  $\alpha(\text{AsO}_4^{3-}) = \frac{[\text{AsO}_4^{3-}]}{([\text{HAsO}_4^{2-}] + [\text{AsO}_4^{3-}] + [\text{HAsO}_4^{2-}] + [\text{AsO}_4^{3-}])} =$

$= \frac{1}{(1 + 10^{-\text{pH}}/K_{a3} + 10^{-2\text{pH}}/(K_{a2}K_{a3}) + 10^{-3\text{pH}}/(K_{a1}K_{a2}K_{a3}))}$   
Добуток розчинності  $K_{sp} = [\text{Ca}^{2+}]^3[\text{AsO}_4^{3-}]^2 = (3s)^3 \cdot (2s \cdot \alpha(\text{AsO}_4^{3-}))^2 = 27 \cdot 4 \cdot s^5 \alpha^2(\text{AsO}_4^{3-}) = 108s^5 \alpha^2(\text{AsO}_4^{3-})$ .

Тоді  $s = \sqrt[5]{\frac{K_{sp}}{108 \alpha^2(\text{AsO}_4^{3-})}} = \sqrt[5]{\frac{K_{sp}}{108} \left(1 + \frac{10^{-\text{pH}}}{K_{a3}} + \frac{10^{-2\text{pH}}}{K_{a2}K_{a3}} + \frac{10^{-3\text{pH}}}{K_{a1}K_{a2}K_{a3}}\right)^2}$

*5 балів, 2 бали якщо наведене рівняння працює лише у певному діапазоні рН (врахована лише одна чи дві протолітичні рівноваги); -1 бал за пропущений квадрат.*

До зразку  $\text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2$  масою 10,00 г додали 100,0 мл буферного розчину з рН=5,6, який не містить кальцію та арсену.

**10.3.6 Розрахуйте** розчинність (г/л)  $\text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2$  у такому буферному розчині.

Вважайте, що компоненти буферного розчину не беруть участь у конкуруючих рівновагах.

Використовуючи формулу з п. 5, отримуємо:

$s = 0,01858$  моль/л, або ж 7,40 г/л

*2 бали*

**10.3.7 Розрахуйте** сумарну концентрацію (моль/л) As(V) у буферному розчині над  $\text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2$ .

Загальна концентрація арсеновмісних сполук  $c(\text{As}) = 2s = 0,03716$  моль/л

*2 бали*

**IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023**  
**заочний тур, умови та розв'язки**

Формула з п. 5 не враховує конкуруючі протолітичні рівноваги за участі іонів  $\text{Ca}^{2+}$ .

**10.3.8** **Вкажіть**, для якого середовища формула з п. 5 даватиме найбільшу похибку:

- А) сильноокислого;
- Б) нейтрального;
- В) сильнолужного.

**Правильна відповідь В:** формула не враховує утворення гідросокомплексів  $\text{Ca}^{2+}$  у сильнолужному середовищі, що призводить до більшої розчинності, ніж та, що розрахована за формулою з п. 5.

*2 бали*

**10.3.9** **Оберіть** із запропонованих варіантів спосіб/способи, що дозволяють знизити загальну концентрацію  $\text{As(V)}$  у розчині над  $\text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2$ :

- А) додати до розчину  $\text{NaOH}$ ;
- Б) додати до розчину  $\text{HCl}$ ;
- В) додати до розчину  $\text{CaCl}_2$ ;
- Г) додати до розчину  $\text{NaH}_2\text{AsO}_4$ ;
- Д) додати до розчину ще 100 мл такого ж буферного розчину.

**Правильні відповіді А, В:** Для зменшення розчинності необхідно збільшувати рН (тобто, додати  $\text{NaOH}$ ) або додати надлишок  $\text{Ca}^{2+}$ .

*Кожне правильне твердження – 2 бали, кожне неправильне твердження - -2 бали, але не менше 0 балів за пункт.*

**Завдання 10.4 Крижана електрохімія (Автор: Оніжук Микита)**

Оцінка за задачу (заповнюється журі)

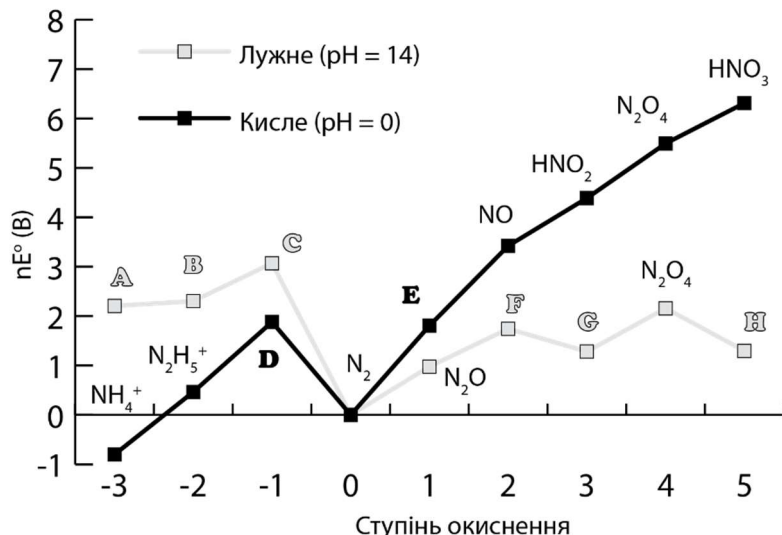
Питання	10.4.1	10.4.2	10.4.3	10.4.4	10.4.5	10.4.6	10.4.7	10.4.8	Сума
Максимум	8	4	8	4	5	8	2	8	47

Ступінь окиснення	$nE^\circ$ (В)	
	Кисле	Лужне
-3	-0,800	2,206
-2	0,466	2,303
-1	1,882	3,070
0	0,000	0,000
1	1,806	0,977
2	3,422	1,744
3	4,388	1,282
4	5,494	2,135
5	6,311	1,297



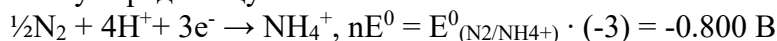
## IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023 заочний тур, умови та розв'язки

Діаграми Фроста використовуються для якісного аналізу відносної стійкості речовин в різних середовищах. На них вказуються стандартні потенціали напівреакцій відновлення до ступеню окиснення 0 помноженні на кількість електронів які вступають в напівреакцію в перерахунку на один атом елементу. Нижче на малюнку наведено діаграма Фроста для сполук нітрогену, а поруч в таблиці надані відповідні значення  $nE^0$ :



Наприклад з цієї таблиці видно, що для  $\text{HNO}_3$  в кислому середовищі для реакції:  
 $\text{HNO}_3 + \text{H}^+ + 5\text{e}^- \rightarrow \frac{1}{2}\text{N}_2 + \text{H}_2\text{O}$ , значення  $nE^0 = E^0_{(\text{HNO}_3/\text{N}_2)} \cdot 5 = 6,311 \text{ В}$ .

А для аміаку в кислому середовищу:



**10.4.1** Визначте невідомі речовини на графіку.

A	B	C	D	E	F	G	H
$\text{NH}_3$	$\text{N}_2\text{H}_4$	$\text{NH}_2\text{OH}$	$\text{NH}_3\text{OH}^+$	$\text{N}_2\text{O}$	$\text{NO}$	$\text{NO}_2^-$	$\text{NO}_3^-$

*1 бал за кожну сполуку*

За допомогою діаграм Фроста можливо порівнювати схильність речовин утворювати певний продукт.

**10.4.2** В якому середовищі (кислому, нейтральному, лужному) азот був би більш схильний до утворення ступеню окиснення -3? Відповідь аргументуйте з використанням даних, наведених вище.

**В кислому**

Можливі пояснення:

а) на графіку  $\text{N}_2/\text{NH}_4^+$  має позитивний схил, а  $\text{N}_2/\text{NH}_3$  – негативний, тобто в кислому середовищі  $\text{N}_2$  був би більш схильний бути окисником.

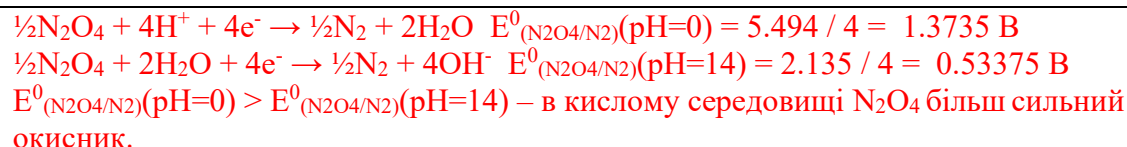
б) Реакція відновлення має 4 протони зліва – більш кисле середовище здвигає рівновагу вправо.

с)  $E^0_{(\text{N}_2/\text{NH}_4^+)} = 0.233 \text{ В} > E^0_{(\text{N}_2/\text{NH}_3)} = -0.735 \text{ В}$ .

*2 бали відповідь + 2 бали пояснення*

**10.4.3** Знайдіть окисно-відновний потенціал пари  $\text{N}_2\text{O}_4/\text{N}_2$  в кислому та лужному середовищах. Запишіть рівняння відповідних напівреакцій. В якому середовищі  $\text{N}_2\text{O}_4$  є більш сильним окисником?

**IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023**  
заочний тур, умови та розв'язки



*2 бали кожен потенціал + 1 бал кожна реакція + 2 бали відповідь*

**10.4.4 Розрахуйте** потенціал пари  $\text{N}_2\text{O}_4/\text{N}_2$  при  $\text{pH} = 10$  ( $T = 298 \text{ К}$ )? Якщо ви не знайшли окисно-відновний потенціал  $\text{N}_2\text{O}_4$ , прийміть його рівним  $E^0 = 0.400 \text{ В}$  для лужного середовища. Іонний добуток води дорівнює  $K_w = 10^{-14}$ .

В кислому середовищі:

$$E = E^0 + \frac{RT}{Fn} \ln([\text{H}^+]^4) = E^0 - \frac{2.303RT}{F} \text{pH} = 0.7822$$

В лужному:

$$\text{pOH} = \text{p}K_w - \text{pH} = 14 - 10 = 4$$

$$E = E^0 - \frac{RT}{Fn} \ln([\text{OH}^-]^4) = E^0 + \frac{2.303RT}{F} \text{pOH} = 0.7702,$$

Використовуючи реальний потенціал, та  $E = 0.6365 \text{ В}$  з  $E^0 = 0.400 \text{ В}$ .

*2 бали відповідь + 2 бали розрахунки*

**10.4.5 Розрахуйте** окисно-відновний потенціал пари  $\text{N}_2\text{H}_5^+/\text{NH}_4^+$  в кислому середовищі та запишіть рівняння відповідної напівреакції.

$$E^0_{\text{N}_2\text{H}_5^+/\text{NH}_4^+} = \frac{(-2)E^0_{\text{N}_2/\text{N}_2\text{H}_5^+} - (-3)E^0_{\text{N}_2/\text{NH}_4^+}}{1} = 0.466 + 0.800 = 1.266 \text{ В}$$

Рівняння реакції:  $\frac{1}{2}\text{N}_2\text{H}_5^+ + 1\frac{1}{2}\text{H}^+ + 1\text{e}^- = \text{NH}_4^+$

*1 бал рівняння + 4 бали потенціал.*

Також, діаграми Фросту можуть використовуватись щоб знайти які речовини схильні диспропорціювати на сусідні ступені окиснення. Якщо нахил зліва від ступеня окиснення більший ніж нахил справа, така речовина більш схильна диспропорціювати.

**10.4.6 Які ступені** окиснення з наведених нижче були би схильні диспропорціювати та в яких середовищах. Якщо диспропорціювання йде, **запишіть** рівняння реакції.

Ступінь окиснення	Схильність	Реакція в лужному	Реакція в кислому
-3	Ні	-	-
-1	Так	$4\text{NH}_2\text{OH} \rightarrow \text{N}_2\text{H}_4 + \text{N}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$	$4\text{NH}_3\text{OH}^+ \rightarrow \text{N}_2\text{H}_5^+ + \text{N}_2 + 4\text{H}_2\text{O} + 3\text{H}^+$
0	Ні	-	-
+3	Ні	-	-
+4	Так	$\text{N}_2\text{O}_4 + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{NO}_2^- + \text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$	$\text{N}_2\text{O}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HNO}_2 + \text{HNO}_3$

*2б кожна правильна схильність -1б кожна неправильна схильність + 1б кожна реакція.*

В неявному вигляді, в діаграмах Фроста схована інформація про константи рівноваги.

## IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023 заочний тур, умови та розв'язки

**10.4.7** Запишіть реакцію відновлення нітрогену в ступені окиснення +3 в кислому та лужному середовищах.

В кислому:  $\text{HNO}_2 + 3\text{e}^- + 3\text{H}^+ \rightarrow \frac{1}{2}\text{N}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$  (1)

В лужному:  $\text{NO}_2^- + 3\text{e}^- + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \frac{1}{2}\text{N}_2 + 4\text{OH}^-$  (2)

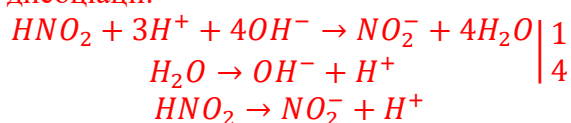
2 бали

**10.4.8** Використовуючи іонний добуток води, знайдіть константу дисоціації нітритної кислоти.

Віднявши другу реакцію від першої з попереднього пункту, отримаємо:



Додавши до цієї реакції реакцію автопротолізу води помноженої на чотири, ми отримуємо константу дисоціації:



Тоді енергія Гіббса реакції (1) пов'язана із константою дисоціації та з потенціалом через подібні перетворення:

$$\Delta G^\circ = -RT(\ln K_a - 4\ln K_w) = -nE_{\text{HNO}_2/\text{NO}_2^-}^\circ \cdot F$$

Де:

$$nE_{\text{HNO}_2/\text{NO}_2^-}^\circ = nE_{\text{HNO}_2/\text{N}_2}^\circ - nE_{\text{NO}_2^-/\text{N}_2}^\circ = 4.388 - 1.282 = 3.106$$

Тоді:

$$\ln K_a = \frac{nE_{\text{HNO}_2/\text{NO}_2^-}^\circ \cdot F + 4RT \ln K_w}{RT} = -8.048$$

Знаходимо константу:

$$K_a = 3.20 \cdot 10^{-4}$$

За відсутності повного рішення 1 б за реакцію дисоціації.

### Завдання 10.5 Ігри ізомерів (Автори: Волочнюк Дмитро, Гананольський Антон)

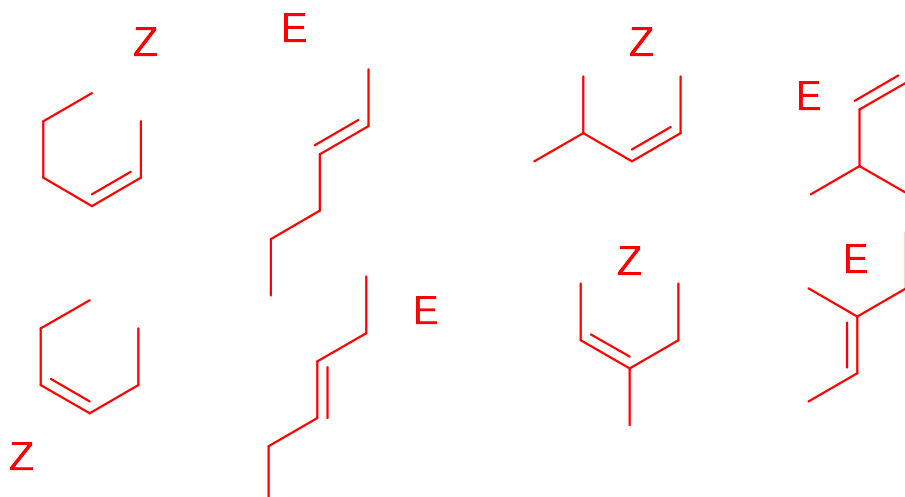
Оцінка за задачу (заповнюється журі)

Питання	10.5.1	10.5.2	10.5.3	10.5.4	10.5.5	10.5.6	Сума
Максимум	8	8	5	5	10	2	38

Серед сполук  $\text{C}_6\text{H}_{12}$  існують геометричні ізомери, що можуть бути поділені на дві групи: ізомери що обумовлені різним розташуванням замісників навколо подвійного зв'язку та ізомери що обумовлені різним розташуванням замісників циклу.

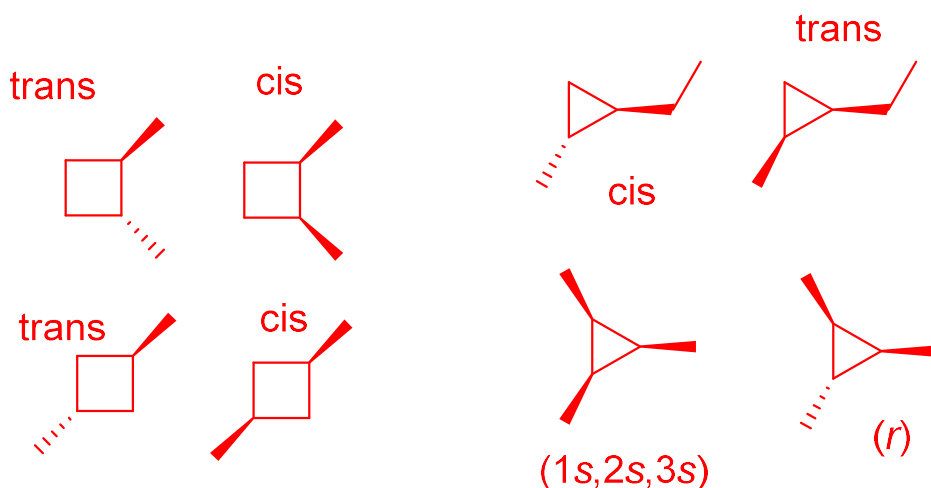
**10.5.1** Зобразіть всі пари геометричних ізомерів  $\text{C}_6\text{H}_{12}$ , що мають подвійний зв'язок. При зображенні пари вказіть чи є сполука E-, Z-, або цис-, транс- ізомером.

**IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023**  
заочний тур, умови та розв'язки



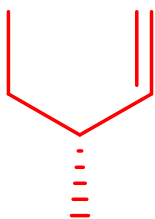
*1б за кожен правильно названий та позначений ізомер, -0,5б за кожен неправильно зображений.*

**10.5.2** Зобразіть всі пари геометричних ізомерів  $C_6H_{12}$ , що мають цикл. При зображенні пари вказіть чи є сполука E-, Z-, або цис-, транс- ізомером. У випадку, коли використання E-, Z-, або цис-, транс- індиксів неоднозначне можете використовувати будь які інші.



*1б за кожен правильно названий та позначений ізомер, -0,5б за кожен неправильно зображений.*

**10.5.3** Намалюйте всі ізомери  $C_6H_{12}$ , що мають один центр хіральності та є R-енантіомерами.

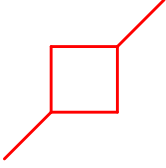
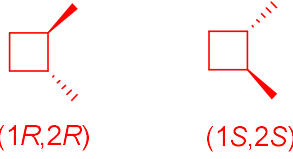


*5б за правильно показаний ізомер, -2б за зайві ізомери.*

Сполука А в реакції фотохімічної димеризації теоретично може бути прекурсором для синтезу декількох ізомерів  $C_6H_{12}$ , що мають два різних вуглецевих скелета.

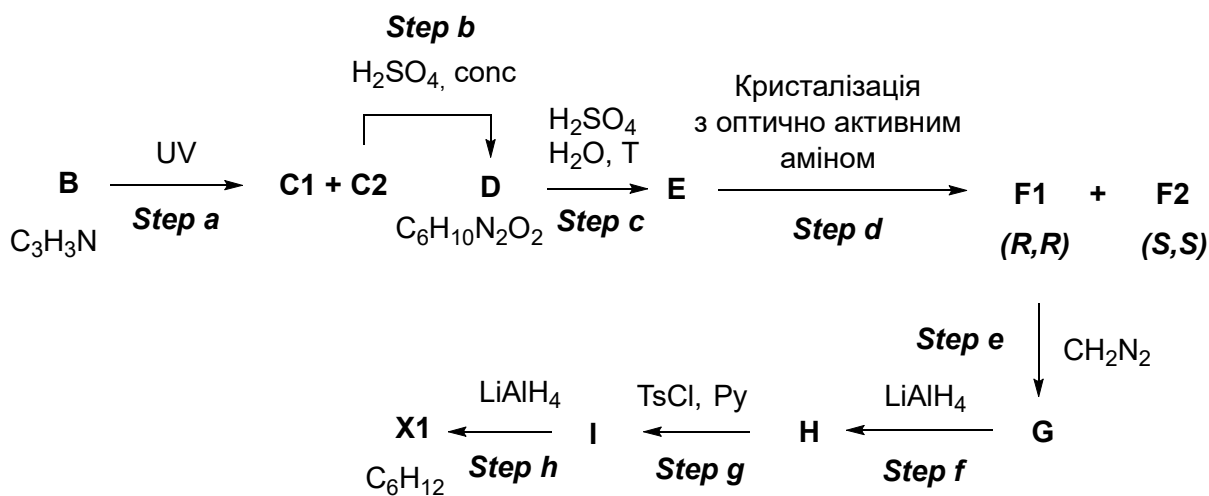
**IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023**  
заочний тур, умови та розв'язки

**10.5.4** Наведіть структуру сполуки **A** та двох відповідних вуглецевих скелетів вуглеводню  $C_6H_{12}$ . Вкажіть на на якому з цих двох вуглецевих скелетах можливі оптичні ізомери та наведіть їх структури з відповідними стереохімічними індексами.

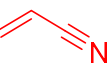
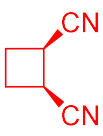
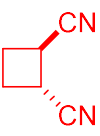
<p><b>A</b></p> 	<p><math>C_6H_{12}</math></p>  <p>Можливість хіральності <input type="checkbox"/></p>	<p><math>C_6H_{12}</math></p>  <p>Можливість хіральності <input type="checkbox"/></p>
<p>Оптично активні ізомери:</p>  <p>(1R,2R)      (1S,2S)</p>		

*1б за кожен правильно названий та позначений ізомер, -0,5 за кожен неправильно зображений.*

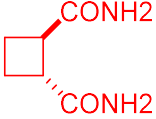
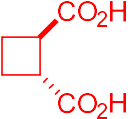
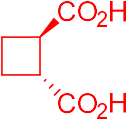
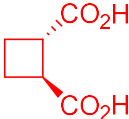
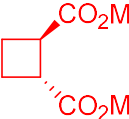
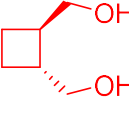
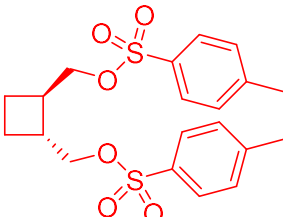

В реальному житті фотохімічна димеризація **A** не є препаративною. Для отримання відповідних ізомерів  $C_6H_{12}$  використовують «обхідні» методи. Так для отримання оптично активних ізомерів можна використати наступну схему.



**10.5.5** Розшифруйте схему, якщо відомо: (i) **C1** та **C2** є діастереомерами; (ii) **F1** та **F2** є енантіомерами з відповідними конфігураційними індексами, що вказані на схемі; (iii)  $TsCl$  це пара-толуенсульфохлорид, а  $Py$  це піридин.



<p><b>B</b></p> 	<p><b>C1</b></p> 	<p><b>C2</b></p> 
<p><b>D</b></p>	<p><b>E</b></p>	<p><b>F1</b></p>

**IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023**  
заочний тур, умови та розв'язки

		
<b>F2</b> 	<b>G</b> 	<b>H</b> 
<b>I</b> 	<b>X1</b> 	

*1б за кожен правильно зображену сполуку, 0,5 за неправильний стереоізомер.*

**10.5.6** Наведіть структуру речовини **X2**, що була отримана з **F2** з використанням стадій **Step e – Step h**, та наведіть структуру речовини **X3**, що була отримана з **C1** з використанням стадій **Step b – Step h**.

<b>X2</b>  <i>1 бал</i>	<b>X3</b>  <i>1 бал</i>
--	--

**Завдання 10.6 Фреони (Автори: Волочнюк Дмитро, Гананольський Антон)**

Оцінка за задачу (заповнюється журі)

Питання	10.6.1	10.6.2	10.6.3	10.6.4	10.6.5	10.6.6	10.6.7	10.6.8	Сума
Максимум	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>37</b>

До 20-х років ХХ ст. аміак мав широке використання як рефрижерант. Проте його токсичність та характерний сильний запах не дозволяв поширити тодішні технології охолодження харчових продуктів, осель та індустриальних об'єктів.

## IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023 заочний тур, умови та розв'язки

Саме тому індустріальний гігант General Motors сформував команду на чолі з Томасом Мідглем молодшим в 1928 році. Ця команда синтезувала та тестувала сполуки, що отримали назву *фреони*. В 1930 році колаборація General Motors з компанією DuPont ввела на ринок одну з найбільш комерційно успішних сполук, під назвою Freon-12. Ця органічна сполука не містить жодного атому водню. Масова частка флуору в ній складає 31,43%, а карбону 9,93%. Ця сполука була пізніше заборонена до використання в 1996 році в результаті введення в дію Монреальського протоколу. Причиною для цієї заборони стала реакція Freon-12 з озоном, що призвела до появ дір в озоновому шарі нашої планети.



**10.6.1** Визначте молекулярну формулу сполуки Freon-12.  
Відповідь підтвердить розрахунками.

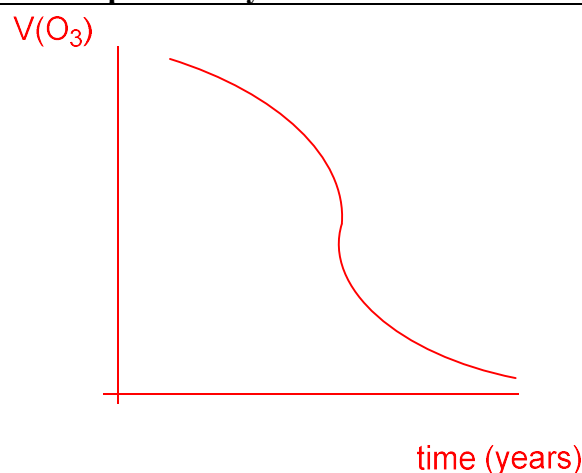
$\text{CF}_2\text{Cl}_2$   
5 балів

Сам Freon-12 є досить хімічно інертною сполукою. Саме тому довгий час його використання як рефрижеранта не викликало ніяких занепокоєвань. Проте через певний час виявилось, що при проникненні в верхні шари атмосфери ця сполука дисоціює під впливом ультрафіолету. Після цього утворені радикали реагують з Озоном. Озон приймає участь в «гасінні» ультрафіолетового опромінення при його потраплянні в атмосферу.

**10.6.2** Напишіть реакцію яка пояснює яким чином дисоціює Freon-12 під впливом ультрафіолету.

$\text{CF}_2\text{Cl}_2 = \text{CF}_2\text{Cl}\cdot + \text{Cl}\cdot$   
2 бали

**10.6.3** Зобразіть в загальній рисах графік залежності кількості озону в атмосфері від часу за умов постійного індустріального використання Freon-12 та прокоментуйте його.



3 бали

**10.6.4** Запишіть реакцію(ї), яка може відбуватися між продуктами дисоціації Freon-12 за озоном.

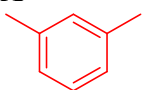
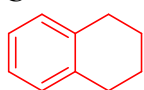
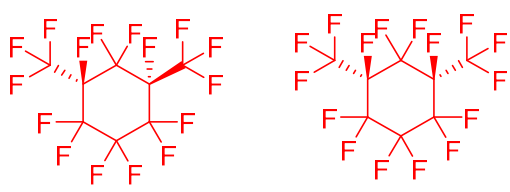
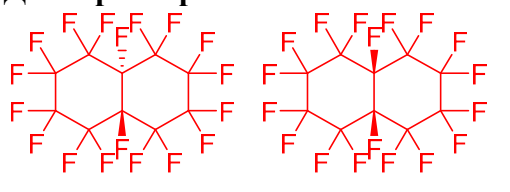
$2\text{Cl}\cdot + \text{O}_3 = \text{ClO} + \text{O}_2$   
2 бали

## IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023

### заочний тур, умови та розв'язки

Фреони є представниками фтороорганічних сполук. Окремим класом фтороорганічних сполук є перфторвуглеводні, тобто сполуки які складаються лише з атомів карбону та флуору. Основним методом отримання такого типу сполук є взаємодія вуглеводнів з неорганічним фторидом **X** (містить 49,16% флуору). Так при взаємодії вуглеводню **A** (містить 90,51% карбону, має 4 типи атомів водню) з **X** отримується перфторвуглеводнь **B** (містить 75,98% флуору). Аналогічно фторування вуглеводню **C** (90,85% карбону, має 4 типи атомів водню) за допомогою **X** дає перфторвуглеводнь **D** (містить 74,01% флуору). Слід зазначити, що сполуки **B** та **D** можуть існувати у вигляді двох діастереомерів.


**10.6.5 Розшифруйте** сполуки **X**, **A** та **C**. **Наведіть** структури двох діастереомерів для **B** та **D**.

<b>X</b> $\text{CoF}_3$	<b>A</b> 	<b>C</b> 
<b>Діастереомери B</b> 		
<b>Діастереомери D</b>  <p style="color: red; margin-top: 10px;"><i>1 бал за кожну правильну сполуку</i></p>		

На відміну від вуглеводнів різноманіття синтезованих та охарактеризованих перфторвуглеводнів є набагато меншим. Так, сполук з загальною формулою  $\text{C}_n\text{F}_n$  відомо лише 4 (**Y1**, **Y2**, **Y3** та **Y4**).

**10.6.6 Намалюйте** сполуки **Y1**, **Y2**, **Y3** та **Y4** якщо відомо:

- Сполука **Y1** є надзвичайно нестабільним газом, що полімеризується з вибухом навіть при низьких температурах.
- Сполука **Y2** є рідиною за нормальних умов з температурою плавлення 5 °C та кипіння 80 °C та має один тип атомів флуору.
- Сполука **Y3** є рідиною за нормальних умов з температурою плавлення 6 °C та кипіння 52 °C, та може бути отримана фотолізом **Y2**.
- Сполука **Y4** є безбарвною кристалічною речовиною з температурою плавлення 160 °C та має один тип атомів флуору.

Сполука	Молекулярна формула	Структурна формула
<b>Y1</b>	$\text{C}_2\text{F}_2$	

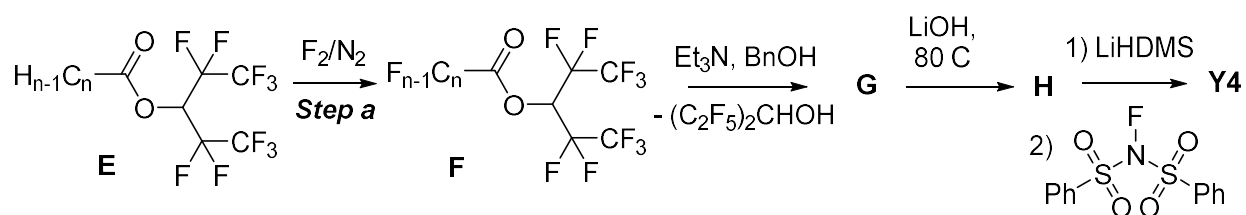


**IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023**  
заочний тур, умови та розв'язки

Y2	C <sub>6</sub> F <sub>6</sub>	
Y2	C <sub>6</sub> F <sub>6</sub>	
Y4	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub>	

*2 бали за кожну правильну сполуку*

Сполука **Y4** була визнана найкрасивішою молекулою 2022 року за версією Chemical and Engineering News. Її синтез приведено нижче. Сполуку **F** проблематично виділити у чистому вигляді, тому вона була переведена у сполуку **G** (містить 36,51% флуору, має 3 типи атомів фтору), що була очищена. Сполука **G** при обробці LiOH при підвищеній температурі дає **H** (містить 57,80 % флуору, має 3 типи атомів флуору), що був переведений у **Y4**.



**10.6.7 Розшифруйте сполуки Е-Н.**

<b>E</b>	<b>F</b>
<b>G</b>	<b>H</b>

*2 бали за кожну правильну сполуку*

**10.6.8 Чому неможливо синтезувати сполуку Y4** прямим флуоруванням відповідного вуглеводню, проте можливо здійснити реакцію (**Step a**)?

# IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023

## заочний тур, умови та розв'язки

При прямому флуоруванні можливий розрив С-С зв'язку. Проте, якщо ввести в молекулу стерично ускладнюючу групу, ці ефекти стають меншими.

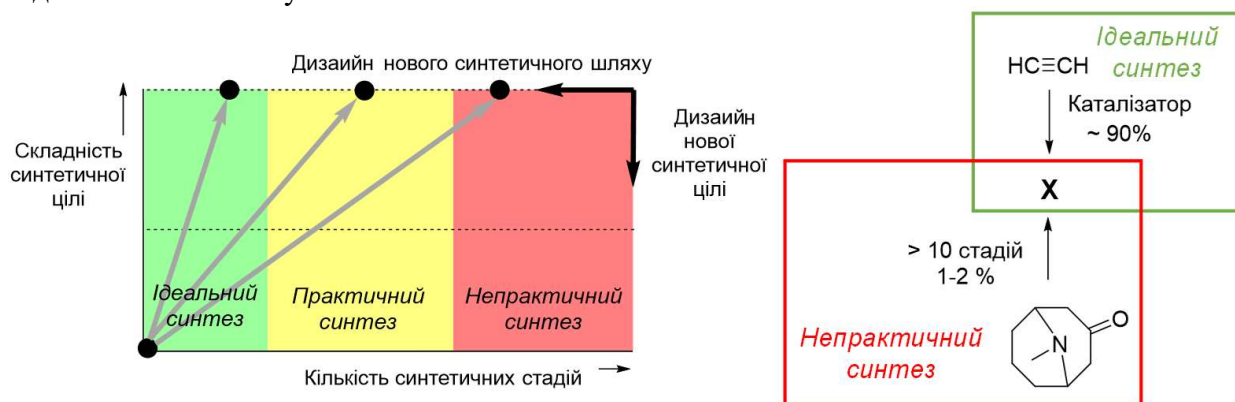
2 бали

### Завдання 10.7 “Ідеальний” синтез (Автори: Волочнюк Дмитро, Ганнопольський Антон)

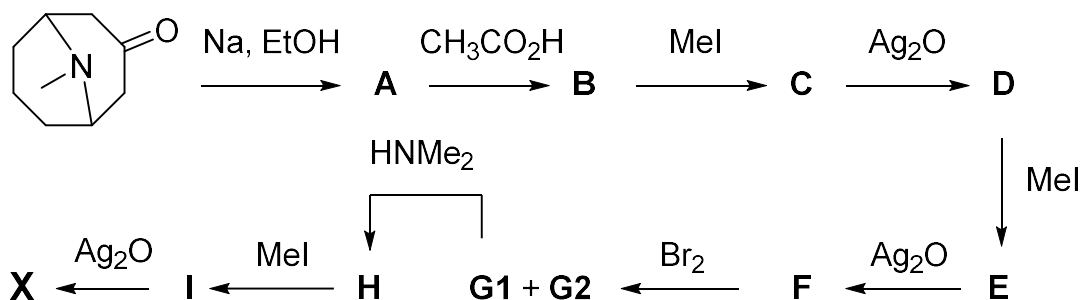
Оцінка за задачу (заповнюється журі)

Питання	10.7.1	10.7.2	10.7.3	10.7.4	10.7.5	Сума
Максимум	11	3	5	4	6	29

У 2009 році у престижному журналі Nature було дано визначення ідеального органічного синтезу: “Виробництво цільової молекули за одну синтетичну операцію з легкодоступних вихідних матеріалів зі 100% виходом і без утворення побічних продуктів. Синтез повинен бути простим, безпечним, економічно прийнятним і екологічно чистим.” Звісно досягнути ідеальності у синтезі дуже складно і в багатьох випадках майже неможливо, тому вчені оперують практичністю синтезу. Однак як приклади майже ідеального і непрактичного синтезів у цій публікації наводилися два синтези сполуки X. Один з них був проведений у 1905 році і давав в багато стадій загальний вихід ~ 1%, що робило цей синтез непрактичним. Однак на початку 40-х років компанія BASF розробила простий синтез цієї сполуки, виходячи з ацетилену в одну стадію, що є прикладом «ідеального» синтезу.

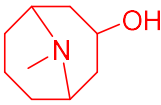

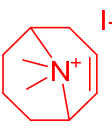
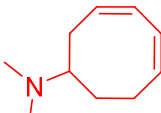
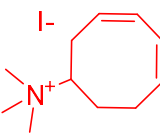

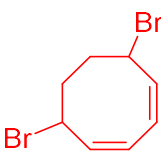
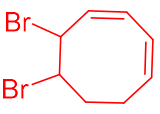
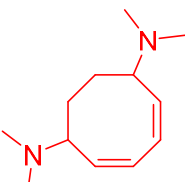
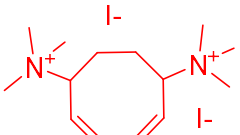



Нижче наведено зашифровану схему непрактичного синтезу сполуки X.



**IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023**  
заочний тур, умови та розв'язки

**10.7.1 Розшифруйте схему**, якщо відомо: (i) сполука **X** має один сигнал у спектрах  $^1\text{H}$  ЯМР та  $^{13}\text{C}$  ЯМР; (ii) сполука **B** містить тільки карбон, водень та нітроген; (iii) сполука **F** є вуглеводнем; (iv) сполука **F** може реагувати з одним еквівалентом броду за двома шляхами з отриманням ізомерних сполук **G1** та **G2**, проте лише **G2** може вести до отримання сполуки **X**.

<b>A</b> 	<b>B</b> 	<b>C</b> 
<b>D</b> 	<b>E</b> 	<b>F</b> 
<b>G1</b> 	<b>G2</b> 	<b>H</b> 
<b>I</b> 	<b>X</b> 	

*1 бал за кожен правильну сполуку*

**10.7.2 Який саме** каталізатор (**Cat1**) використовується для синтезу **X** з ацетилену? При зміні каталізатора **Cat1** на інший (**Cat2**) з ацетилену утворюється бензен. **Наведіть структуру** каталізатора **Cat2** та **поясніть**, чому зміна каталізатору призводить до зміни напрямку реакції.

<b>Cat1:</b> $\text{NiCl}_2$	<b>Cat2:</b> $\text{NiCl}_2(\text{PPh}_3)_2$
<b>Пояснення:</b> неможливий темплатний ефект на іоні металу.	

*1 бал за кожен правильно визначену сполуку, 2 бали за правильне пояснення.*

Сполука **X** не є термостійкою. За нагрівання вище  $100\text{ }^\circ\text{C}$  ця сполука ізомеризується в похідну **J**, що при опроміненні ультрафіолетом може перетворитися на газ **K** та ароматичну сполуку **M**.

**10.7.3 Визначте структури J, K та M. Наведіть механізм перетворення X у J.**

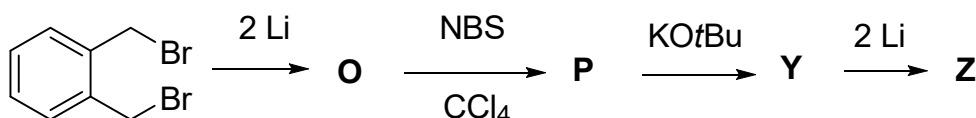
<b>J</b>	<b>K</b>	<b>M</b>
----------	----------	----------

**IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023**  
заочний тур, умови та розв'язки



<b>Механізм:</b>		

*1 бал за кожен правильну сполуку та 2 бали за правильний механізм*

Окрім сполуки **X**, було винайдено сполуку **Y** (C<sub>16</sub>H<sub>12</sub>), яка є безбарвною кристалічною речовиною. Вона містить структурний елемент **X**, та широко використовується у координаційній хімії, зокрема як ефективна каталітична отрута. Сполуку **Y** можна отримати за схемою, що наведено нижче. Ця сполука також легко реагує з лужними металами, наприклад, з літієм дає сполуку **Z** (Li<sub>2</sub>C<sub>16</sub>H<sub>12</sub>), що забарвлена у яскравий червоно-коричневий колір.




**10.7.4** Наведіть структури O, P, Y та Z, якщо відомо: (i) утворення O це реакція Вюрца; (ii) NBS це N-бромсукцинімід; (iii) всі перетворення у цій схемі проводилися в інертній атмосфері без доступу кисню та вологи повітря.

<b>O</b> 	<b>P</b>
<b>Y</b> 	<b>Z</b>

*2 бали за кожен правильну сполуку.*

**10.7.5** Наведіть просторову будову Y та Z. Поясніть різницю у просторовій будові та забарвленості Y та Z.

Просторова будова Y 	Просторова будова Z <b>Плаский діаніон:</b>
--	--

**IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023**  
**заочний тур, умови та розв'язки**

<i>1 бал</i>	<i>1 бал</i>
<b>Пояснення</b> різниці у просторовій будові Діаніон має 18 рі-електронів, тобто є ароматичним й, відповідно, плоским, на відміну від дибензоциклооктатетраєну що є антиароматичним.	
<i>2 бали</i>	
<b>Пояснення</b> різниці у забарвленні Ароматичні сполуки поглинають світло більшої довжини хвилі, ближче до видимого діапазону.	
<i>2 бали</i>	

**Задача 10.8 Порівняйте вуглеводні (OldSchool\_20031013)**

Оцінка за задачу (заповнюється журі)

Питання	10.8.1	10.8.2	Сума
Максимум			

Ароматичні вуглеводні за властивостями відрізняються від циклоалкенів з такими ж розмірами кілець.

**10.8.1** Які з перелічених нижче ознак відповідають ароматичним вуглеводням, а які – циклоалкенам (закресліть *неправильне*)? Відповідь підтвердіть рівняннями реакцій та прикладами сполук.

- I) схильність до реакцій електрофільного приєднання;
- II) схильність до реакцій електрофільного заміщення;
- III) схильність до реакцій радикального заміщення;
- IV)  $sp^2$ -гібридизація всіх атомів у молекулі;
- V)  $sp^2$ -гібридизація всіх атомів у кільці;
- VI)  $sp^3$ -гібридизація всіх атомів у молекулі;
- VII) плоска форма кільця;
- VIII) плоска форма всієї молекули;
- IX) наявність цис-, транс-ізомерії.

**IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023**  
**заочний тур, умови та розв'язки**

Номер ознаки	Клас вуглеводнів	Приклад (сполука та/або реакція)
I	ароматичні циклоалкени	
II	ароматичні циклоалкени	
III	ароматичні циклоалкени	
IV	ароматичні циклоалкени	
V	ароматичні циклоалкени	
VI	ароматичні циклоалкени	
VII	ароматичні циклоалкени	
VIII	ароматичні циклоалкени	
IX	ароматичні циклоалкени	

Для ароматичних вуглеводнів характерні ознаки II, V, VII, III (за певних умов). Для циклоалкенів – I, III (за певних умов), IX.

**10.8.2** З урахуванням механізму реакцій заміщення в ароматичному ядрі та електронних ефектів замісників **розташуйте** наведені нижче речовини у порядку збільшення виходу *n*-ізомеру при дії на них бром у присутності залізних ошурок:

I) пропілбензол; II) нітробензол; III) бензолсульфо кислота; IV) толуол;  
V) хлорбензол.



Нітро- та сульфогрупи – орієтанти II роду, причому нітрогрупа – більш сильний орієтант. Тому у випадку бензолсульфо кислоти вихід *p*-ізомеру буде вище. Інші замісники у бензолному ядрі – орієтанти I роду. Внаслідок стеричних перешкод у випадку пропілбензолу вихід *p*-ізомеру вище, ніж при бромованні толуолу, а найвищий вихід *p*-ізомеру буде при бромованні хлорбензолу, оскільки атом хлору володіє від'ємним індуктивним ефектом, який найсильніше проявляється саме в *o*-положенні.

**IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023**  
заочний тур, умови та розв'язки

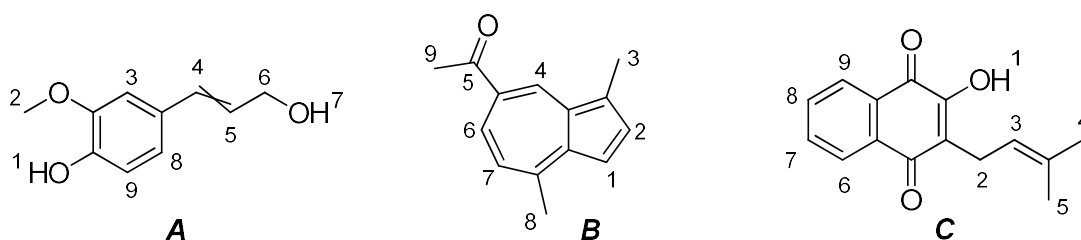
## 11 клас

**Завдання 11.1. (Автор: Григоренко Олександр)**

Оцінка за задачу (заповнюється журі)

Питання	11.1.1	11.1.2	11.1.3	11.1.4	Сума
Перевірка	<b>4,2</b>	<b>4,8</b>	<b>0,4</b>	<b>0,6</b>	<b>10,0</b>

**Три сполуки.** Серед наведених нижче сполук А – С одна має синій колір, інша – жовтий, а третя є безбарвною. У додатку до цієї задачі наведено їх <sup>1</sup>H ЯМР спектри у дейтерованому хлороформі.



**11.1.1. Співвіднесіть** речовини, їх кольори та номери спектрів (за необхідності на спектрах можна малювати структури речовин та проміжні співвіднесення)

Речовина	Колір	№ спектру <sup>1</sup> H ЯМР
<b>A</b>	<b>не має</b>	<b>3</b>
<b>B</b>	<b>синій</b>	<b>1</b>
<b>C</b>	<b>жовтий</b>	<b>2</b>

**11.1.2.** Скорочено **наведіть** мультиплетності сигналів у <sup>1</sup>H ЯМР спектрах (с – синглет, д – дублет, т – триплет, кв – квартет, дд – дублет дублетів, м – мультиплет тощо) та якомога повніше **співвіднесіть** їх з номерами протонів (використовуйте нумерацію атомів, яку наведено в умові задачі).

**Сигнали у спектрі <sup>1</sup>H ЯМР № 1 (м. ч.)**

Хімічний зсув	7.92	7.44	7.29	7.20	6.76	2.57	2.53	2.48
Мультиплетність	<b>С</b>	<b>д</b>	<b>д</b>	<b>д</b>	<b>д</b>	<b>с</b>	<b>с</b>	<b>с</b>
№ протону(ів)	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>1 або 2</b>	<b>1 або 2</b>	<b>7</b>	<b>3, 8 або 9</b>	<b>3, 8 або 9</b>	<b>3, 8 або 9</b>

**Сигнали у спектрі <sup>1</sup>H ЯМР № 2 (м. ч.)**

Хімічний зсув	8.63	8.09	8.03	7.73	5.24	3.28	1.59
---------------	------	------	------	------	------	------	------

**IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023**  
**заочний тур, умови та розв'язки**

Мультиплетність	<b>С</b>	<b>м</b>	<b>м</b>	<b>м</b>	<b>т</b>	<b>д</b>	<b>с</b>
№ протону(ів)	<b>1</b>	<b>6 або 9</b>	<b>6 або 9</b>	<b>7, 8</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>5, 6</b>

**Сигнали у спектрі <sup>1</sup>H ЯМР № 3 (м. ч.)**

Хімічний зсув	7.13	6.91	6.86	6.76	6.41	6.18	4.13	3.88	2.85
Мультиплетність	<b>с</b>	<b>д</b>	<b>с</b>	<b>д</b>	<b>д</b>	<b>дт</b>	<b>т</b>	<b>с</b>	<b>т</b>
№ протону(ів)	<b>1</b>	<b>8</b>	<b>3</b>	<b>9</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>7</b>

**11.1.3.** Сигнал при 6.41 м.ч. у спектрі № 3 проявляє константу спінової взаємодії  $J = 14.5$  Гц. Про що це **свідчить**?

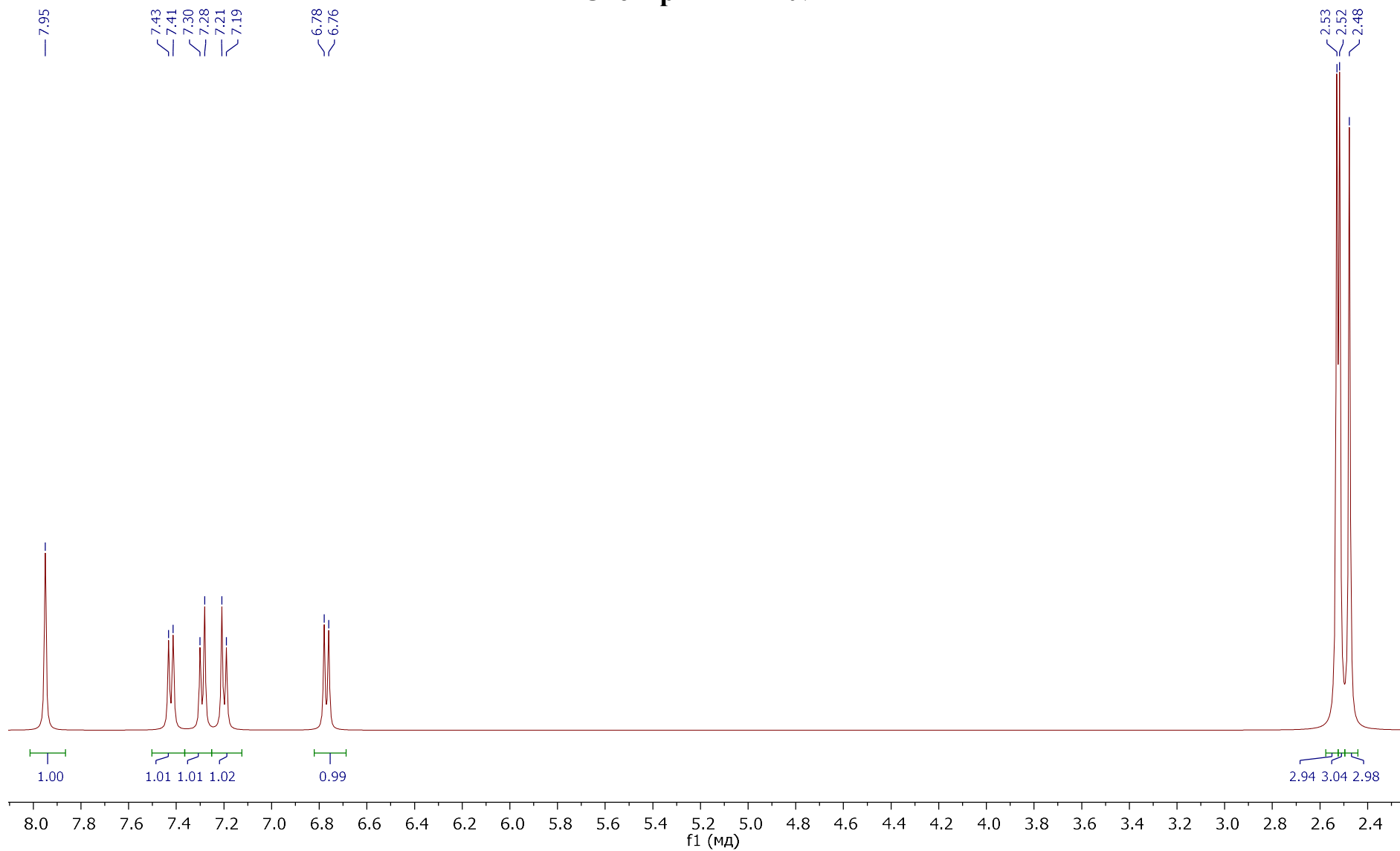
**Це свідчить про те, що сполука А має транс-конфігурацію подвійного зв'язку.**

**11.1.4.** <sup>13</sup>C ЯМР спектр однієї із сполук А – С містить сигнал при 199.0 м.ч. **Якому атому та якій сполуці** він відповідає?

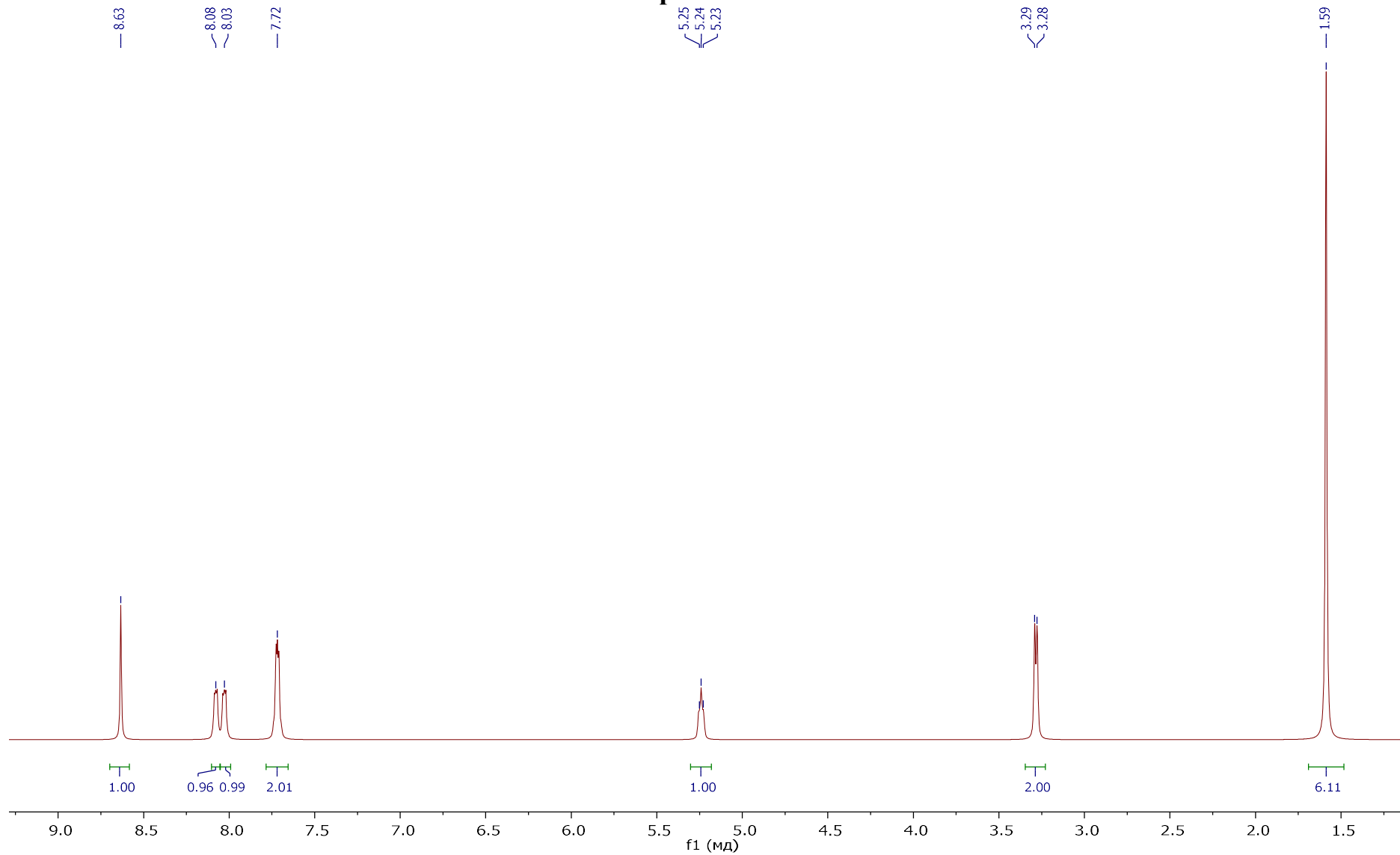
**Це атом Карбону № 5 карбонільної групи сполуки В.**



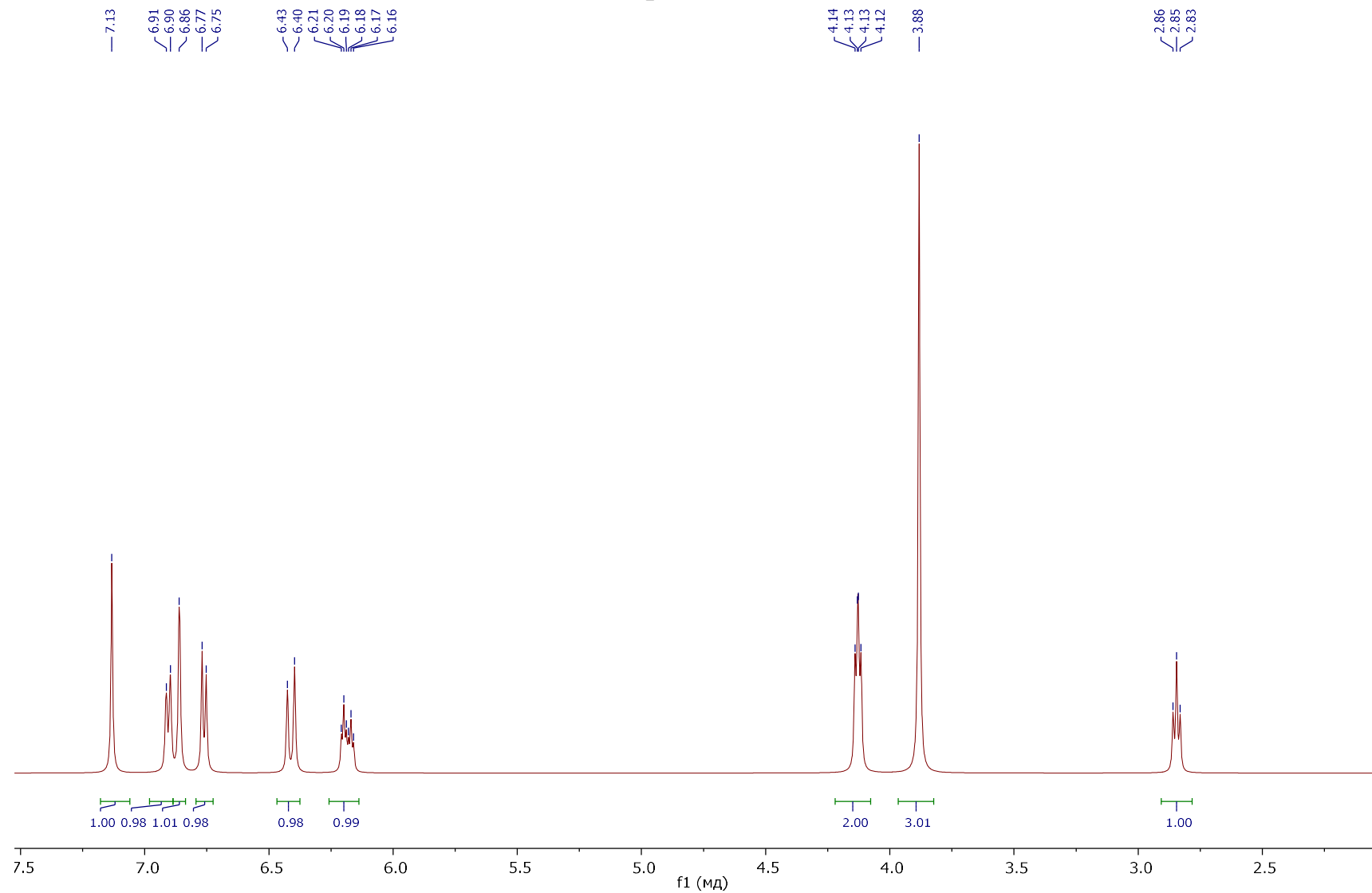
IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023 63  
заочний тур, умови та розв'язки  
Спектр  $^1\text{H}$  ЯМР № 1



IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023 64  
заочний тур, умови та розв'язки  
Спектр  $^1\text{H}$  ЯМР № 2



IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023 65  
заочний тур, умови та розв'язки  
Спектр  $^1\text{H}$  ЯМР № 3



**IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023**  
заочний тур, умови та розв'язки

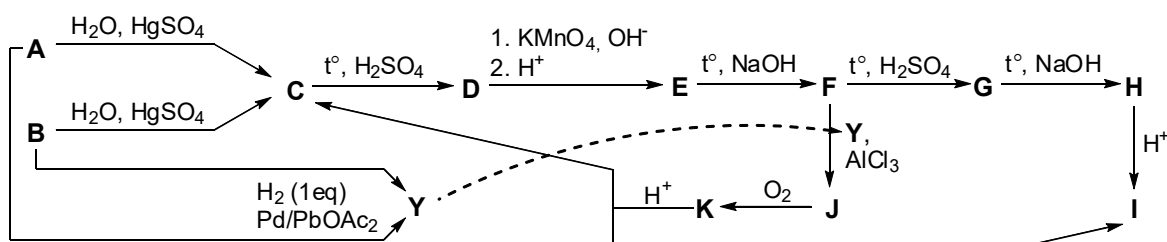
**Завдання 11.2. (Автори: Ляпунов Олександр, Усенко Олександр)**

Оцінка за задачу (заповнюється журі)

Питання	11.2.1	11.2.2	11.2.3	Сума
Перевірка	<b>7,8</b>	<b>1,1</b>	<b>1,1</b>	<b>10,0</b>

Нижче наведено схему перетворень.

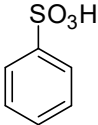
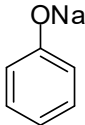
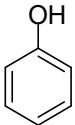
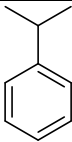
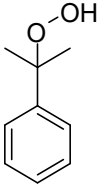

Вуглеводні **A** та **B** є структурними ізомерами та містять 90% карбону за масою. Часткове гідрування обох речовин (1 еквівалент  $H_2$ ) призводить до речовини **Y**. **A** взаємодіє з амоніачним розчином Аргентум оксиду з утворенням вибухонебезпечного осаду речовини **X**. Обробка **A**, **B** або їх суміші водою у кислому середовищі за присутності солей  $Hg^{2+}$  призводить до єдиного продукту **C**. Нагрівання **C** з сульфатною кислотою дає симетричний вуглеводень **D**, окиснення якого призводить до речовини **E**. Продукт реакції **E** з гідроксидом натрію при сплавленні з надлишком лугу призводить до речовини **F**. **G** є продуктом реакції **F** з концентрованою сульфатною кислотою, також здатен реагувати з гідроксидом натрію. Сплавлення його з надлишком лугу призводить до речовини **H**, дія розчину кислоти на яку дає продукт **I**. За присутності каталізатора  $AlCl_3$  **F** взаємодіє з **Y** (1 еквівалент), утворюючи речовину **J**. Остання за певних умов активно реагує з киснем повітря, утворюючи нестабільну речовину **K**, яка під дією кислот перетворюється на суміш **C** та **I**.



**11.2.1. Напишіть** структурні формули речовин **A – X**.

<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
$H_3C-C\equiv CH$	$H_2C=C=CH_2$	
<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>
<b>G</b>	<b>H</b>	<b>I</b>

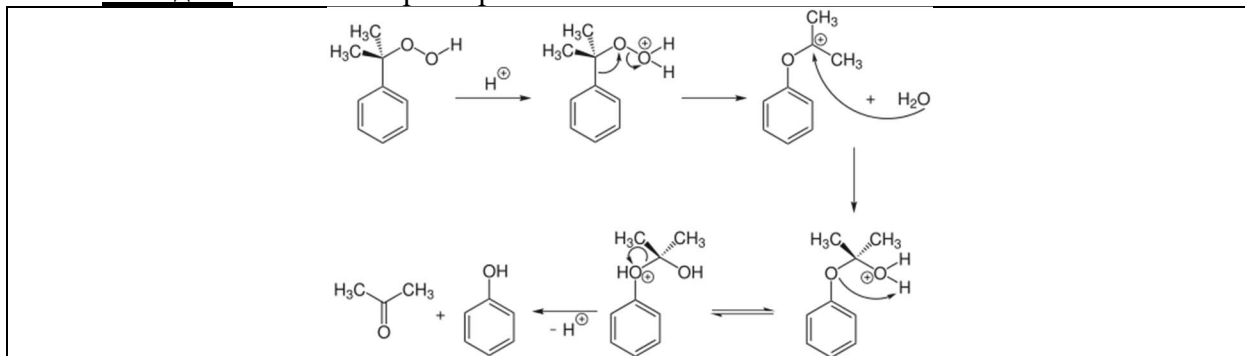
**IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023**  
заочний тур, умови та розв'язки

		
<b>J</b>	<b>K</b>	<b>Y</b>
		
<b>X</b>		
$\text{H}_3\text{C}-\text{C}\equiv\text{CAg}$		

**11.2.2. Запропонуйте** хімічний метод розділення суміші **C** та **I**.

Утворення солі фенолом при дії лугу, відділення ацетону та регенерація фенолу дією кислоти; утворення бісульфітного похідного, відділення фенолу та регенерація ацетону дією лугу; інший придатний варіант

**11.2.3. Наведіть** механізм перетворення **K** → **C** + **I**.



**Завдання 11.3. (Автор: Кудрик Олександр)**

Оцінка за задачу (заповнюється журі)

Питання	11.3.1	11.3.2	11.3.3	11.3.4	11.3.5	11.3.6	Сума
Перевірка	<b>2</b>	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>10</b>

6,1 г бензойної кислоти розчинили у одному літрі метанолу і додали каталітичну кількість іонообмінної смоли Amberlyst 15. Реакцію проводили за температури 21°C. Через визначені проміжки часу з реакційної суміші відбирали аліквоти і аналізували їх склад. Результати – мольні співвідношення кількості бензойної кислоти і метилбензоату - наведені у таблиці.

## IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023 заочний тур, умови та розв'язки

Час, хв	50	100	150	200	250	300	350	400
Бензойна Кислота, %	95,3	90,8	86,5	82,5	78,6	74,9	71,4	68,0
Метилбензоат, %	4,7	9,2	13,5	17,5	21,4	25,1	28,6	32,0

11.3.1. **Встановіть** загальний порядок реакції.

Можливий варіант розв'язку: за однакові інтервали часу (наприклад, кожні 100 секунд) відношення початкової концентрації до кінцевої стали (у даному випадку 1.1). Отже, порядок перший.

Також можна перевірити константи між сусідніми точками для першого порядку, побудувати пряму у лінеаризованих координатах.

11.3.2. **Обчисліть** ефективну константу швидкості реакції, вкажіть її розмірність. Вважайте, що побічних реакцій немає.

$$\ln \frac{c}{c_0} = kt$$

Оскільки у формулі записане відношення концентрацій, замість концентрацій можна використати відсотковий вміст, наведений у таблиці.

За будь-якими 2 точками:  $k \approx 9.7 \cdot 10^{-4} \text{ хв}^{-1}$

За методом початкових концентрацій  $k \approx \frac{\Delta c}{c_0 t} = 9.4 \cdot 10^{-4} \text{ хв}^{-1}$

Правильний розрахунок для іншого порядку оцінюється повним балом

Цю саму реакцію провели за температури 64°C. Отримане значення константи швидкості виявилось більшим у 15 разів.

11.3.3. **Обчисліть** енергію активації реакції.

$$\ln \frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{R} * \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

$$E_a = 51.9 \text{ кДж/моль}$$

Для визначення впливу кількості каталізатора на швидкість реакції була проведена серія експериментів в ідентичних умовах, але з різною масовою часткою Amberlyst 15 (відносно бензойної кислоти). Початкові швидкості серії реакцій наведені у таблиці.

Масова частка Amberlyst 15, %	3	4	5	6
Початкова швидкість, моль·л <sup>-1</sup> ·хв <sup>-1</sup>	$3,7 \cdot 10^{-5}$	$4,8 \cdot 10^{-5}$	$6,0 \cdot 10^{-5}$	$7,1 \cdot 10^{-5}$

Кінетичне рівняння для даної реакції:  $v = k[\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}]^x \cdot [\text{MeOH}]^y \cdot m(\text{Cat})^z$   
 $m(\text{Cat})$  - маса каталізатора

11.3.4. Виходячи з наведених даних, **встановіть** параметри  $x$  та  $z$ .

**IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023**  
заочний тур, умови та розв'язки

$$\frac{v_1}{v_2} = \left(\frac{m(\text{Cat})_1}{m(\text{Cat})_2}\right)^z = \left(\frac{w(\text{Cat})_1}{w(\text{Cat})_2}\right)^z$$

$$z = 1$$

З умов першого експерименту кількість каталізатора залишалася сталою, метанолу – майже сталою, а загальний порядок – перший. Отже,  $x = 1$

У наступному експерименті 6,1 г бензойної кислоти розчинили у 10,1 мл метанолу і додали каталітичну кількість сульфатної кислоти. Через проміжок часу, достатній для повного встановлення рівноваги, склад реакційної суміші проаналізували. Отримали мольне співвідношення бензойної кислоти до метилбензоату: 1:7,65. Густина метанолу – 0,972 г/мл.

**11.3.5. Розрахуйте** константу рівноваги цієї реакції. Вважайте, що реакційна суміш є гомогенною протягом реакції.

$$K = \frac{[\text{H}_2\text{O}][\text{MeOBz}]}{[\text{MeOH}][\text{BzOH}]}$$

Оскільки об'єм приймається сталим, можна замінити концентрації на співвідношення кількостей речовини.

	MeOH	BzOH	MeOBz	H <sub>2</sub> O
$v$ , моль	0.307 - $x$	0.05 - $x$	$x$	$x$

$$\frac{x}{0.05 - x} = 7.65$$

$$x = 0.0442 \text{ моля}$$

$$K = \frac{7.65x}{0.307 - x} = 1.29$$

**11.3.6. Встановіть** конверсію за бензойною кислотою, якщо наведену вище реакцію провести з 20,2 мл метанолу за ідентичності інших умов.

	MeOH	BzOH	MeOBz	H <sub>2</sub> O
$v$ , моль	0.6136 - $x$	0.05 - $x$	$x$	$x$

$$\frac{x^2}{(0.6136 - x) * (0.05 - x)} = 1.29$$

$$x = 0.047$$

За аналогічними розрахунками отримуємо конверсію у 94%

**Завдання 11.4. (Автор: Пашко Микола)**

Оцінка за задачу (заповнюється журі)

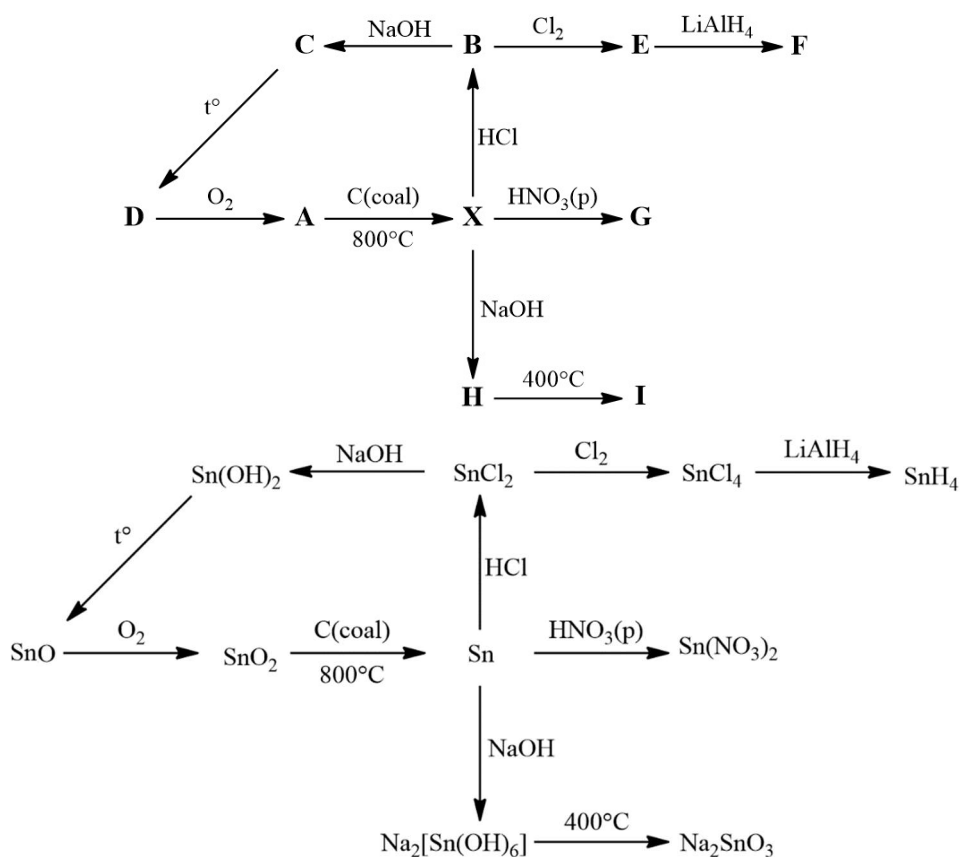
Питання	11.4.1	11.4.2	11.4.3	11.4.4	11.4.5	Сума
Перевірка	5 (0,3*10+0,2*10)	0,6 (0,3*2)	1 (0,3*2+0,2*2)	2,4 (0,4*6)	1 (0,6+0,2*2)	10

## IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023 заочний тур, умови та розв'язки

У промисловості просту речовину **X** отримують відновлюючи вугіллям бінарну речовину **A**, яка є природнім мінералом. Речовина **X** виявляє амфотерні властивості, при розчиненні її у хлоридній та розведеній нітратній кислоті утворюються розчини сполук **B** і **G** відповідно, а при розчиненні у концентрованому розчині натрій гідроксиду утворюється речовина **H**. При прожарюванні речовина **H** втрачає 20,25% маси перетворюючись на **I**. Висушена від води сполука **B** може бути окиснена хлором з утворенням рідкої речовини **E**. При відновленні **E** алюмогідридом літію в розчині діетилового етеру утворюється газ **F** з масовою часткою **X** 96,74%. Якщо до водного розчину **B** додати розчин лугу, то випадає осад **C**, при прожарюванні якого утворюється бінарна речовина **D**, яка при взаємодії з киснем утворює **A**.

Нижче описані перетворення наведено у вигляді схеми.

**11.4.1. Визначте** зашифровані речовини **A-I**, **X**, та запишіть рівняння реакцій.



**Розрахунки:**

Газ **F** має дуже високу масову частку елемента **X**, логічно припустити, що він складається з **X** та водню і має формулу  $\text{XH}_n$ , тоді можемо виразити молярну масу **X** через  $n$ :

$$M_r(\text{X}) = \frac{1 \cdot n}{1 - 0.9674} - 1 \cdot n$$

При  $n = 4$ ,  $M_r(\text{X}) = 118.7$ , тоді **X** - Sn

При взаємодії Sn з натрій гідроксидом утворюється сполука  $\text{Na}_2[\text{Sn}(\text{OH})_m]$ , для олова  $m$  може бути 4 або 6, 20,25% маси при прожарюванні втрачає  $\text{Na}_2[\text{Sn}(\text{OH})_6]$ , отже він і є **H**.

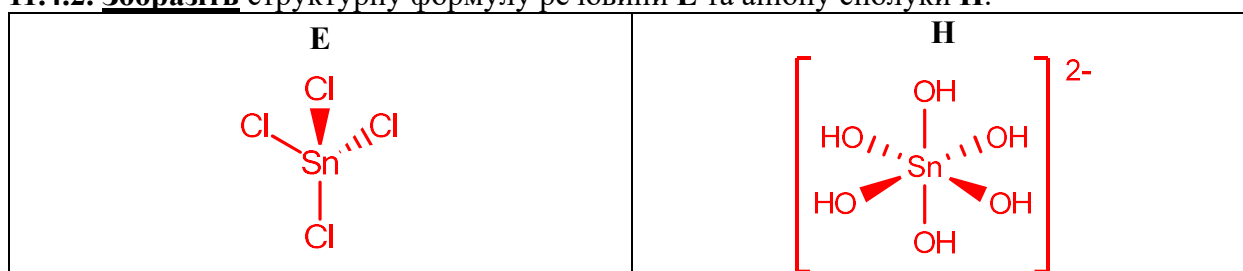
$\text{SnO}_2$	$\text{SnCl}_2$	$\text{Sn}(\text{OH})_2$	$\text{SnO}$
<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>



**IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023**  
заочний тур, умови та розв'язки

$\text{SnCl}_4$	$\text{SnH}_4$	$\text{Sn}(\text{NO}_3)_2$	$\text{Na}_2[\text{Sn}(\text{OH})_6]$
<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>H</b>
$\text{Na}_2\text{SnO}_3$	$\text{Sn}$		
<b>I</b>	<b>X</b>		
<b>A→X</b>	$\text{SnO}_2 + 2\text{C} \rightarrow \text{Sn} + 2\text{CO}$		
<b>X→B</b>	$\text{Sn} + 2\text{HCl} \rightarrow \text{SnCl}_2 + \text{H}_2$		
<b>X→G</b>	$\text{Sn} + 4\text{HNO}_3 \rightarrow \text{Sn}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$		
<b>X→H</b>	$\text{Sn} + 2\text{NaOH} + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}_2[\text{Sn}(\text{OH})_6] + 2\text{H}_2$		
<b>H→I</b>	$\text{Na}_2[\text{Sn}(\text{OH})_6] \xrightarrow{(t)} \text{Na}_2\text{SnO}_3 + \text{H}_2\text{O}$		
<b>B→E</b>	$\text{SnCl}_2 + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{SnCl}_4$		
<b>E→F</b>	$\text{SnCl}_4 + \text{Li}[\text{AlH}_4] \rightarrow \text{SnH}_4 + \text{LiCl} + \text{AlCl}_3$		
<b>B→C</b>	$\text{SnCl}_2 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Sn}(\text{OH})_2 + 2\text{NaCl}$		
<b>C→D</b>	$\text{Sn}(\text{OH})_2 \xrightarrow{(t)} \text{SnO} + \text{H}_2\text{O}$		
<b>D→A</b>	$\text{SnO} + \text{O}_2 \rightarrow \text{SnO}_2$		

**11.4.2. Зобразіть** структурну формулу речовини **E** та аніону сполуки **H**.



При взаємодії водного розчину **H** з  $\text{CO}_2$  випадає білий осад речовини **A1**, добре розчинний у  $\text{NaOH}$  та  $\text{HCl}$ . Через деякий час осад **A1** перетворюється на **A2**, який вже нерозчинний у  $\text{NaOH}$  та  $\text{HCl}$ . Також речовина **A2** може бути отримана при взаємодії **X** з концентрованим гарячим розчином нітратної кислоти. При прожарюванні **A1** та **A2** утворюється речовина **A**.

**11.4.3. Наведіть** формули речовин **A1** та **A2** і запишіть рівняння реакцій їх утворення

<b>A1</b> - $\alpha\text{-SnO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$	<b>A2</b> - $\beta\text{-SnO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$
---	--

**IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023**  
заочний тур, умови та розв'язки

<b>H→A1</b>	$\text{Na}_2[\text{Sn}(\text{OH})_6] + \text{CO}_2 \rightarrow \alpha\text{-SnO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{CO}_3 + (3-x)\text{H}_2\text{O}$
<b>X→A2</b>	$\text{Sn} + 4\text{HNO}_3 \rightarrow \beta\text{-SnO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O} + 4\text{NO}_2 + (2-x)\text{H}_2\text{O}$

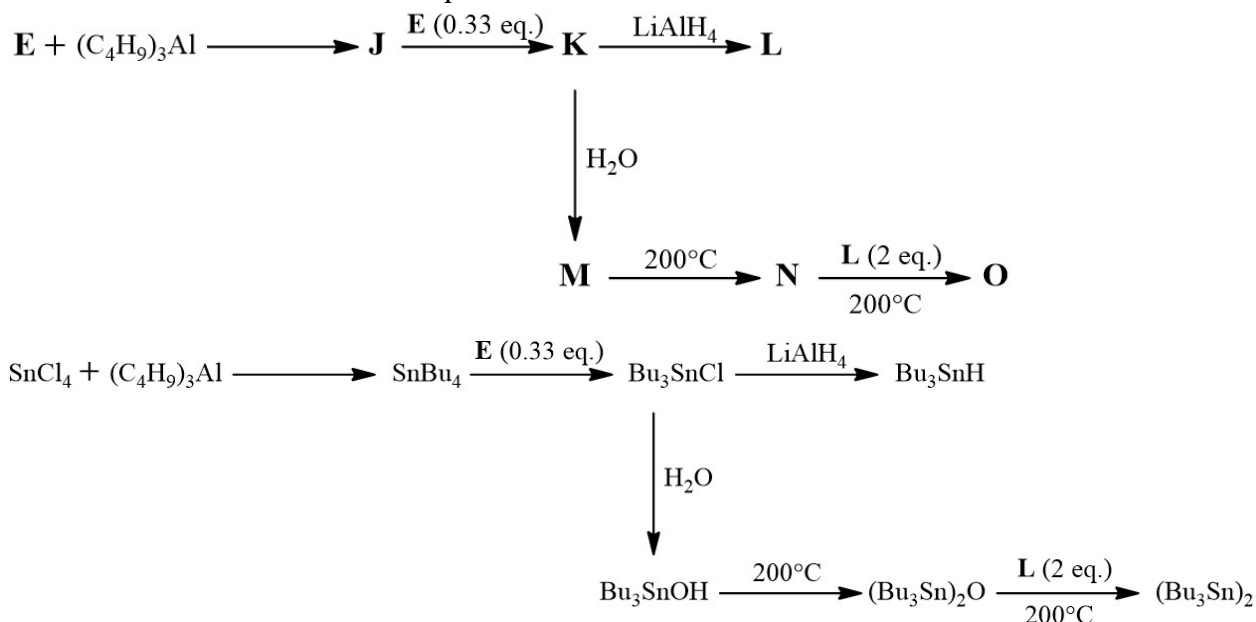
Сполуки елемента **X** широко використовуються в органічному синтезі. Нижче наведена схема отримання двох найбільш поширених в органічній хімії реагентів що містять **X**: речовини **L** і **O**. На першій стадії **E** реагує з надлишком трибутилалюмінію з утворенням **J**. При взаємодії **J** з 1/3 еквівалента **E** утворюється **K**. Якщо відновити **K** алюмогідридом літію, то утворюється речовина **L**. При гідролізі **K** утворюється речовина **M**, яка при нагріванні перетворюється на речовину **N**. При взаємодії **N** з **L** утворюється **O**.

**11.4.4. Визначте** речовини **E, J, K, L, M, N, O** якщо відомо наступне:

- усі зашифровані речовини є рідинами

-  $\omega(\text{X})$  в **N** 39,87%

- При спаленні 10,0 г **L** утворюється 9,25 л  $\text{CO}_2$  (за н.у.) та 8,67 г  $\text{H}_2\text{O}$ , а при спалюванні 10,0 г **O** утворюється 9,28 л  $\text{CO}_2$  (за н.у.) та 8,39 г  $\text{H}_2\text{O}$ , в обох випадках у сухому залишку після спалювання залишається тільки речовина **A**.



Розрахунки:			
<b>SnBu<sub>4</sub></b>	<b>Bu<sub>3</sub>SnCl</b>	<b>Bu<sub>3</sub>SnH</b>	<b>Bu<sub>3</sub>SnOH</b>
<b>J</b>	<b>K</b>	<b>L</b>	<b>M</b>
<b>(Bu<sub>3</sub>Sn)<sub>2</sub>O</b>	<b>(Bu<sub>3</sub>Sn)<sub>2</sub></b>		
<b>N</b>	<b>O</b>		

При взаємодії **J** з **n** еквівалентами **E** утворюється суміш речовин **K** та **K1**, яка після відновлення алюмогідридом літію утворює суміш **L** та **L1**.

**11.4.5. Визначте** речовини **K1** та **L1** і кількість еквівалентів **n**.

**IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023**  
заочний тур, умови та розв'язки

Розрахунки:

Оскільки в утвореній суміші є речовина **K** ( $\text{Bu}_3\text{SnCl}$ ) то **K1** є продуктом взаємодії **K** з залишком  $\text{SnCl}_4$ :



Тоді **L1** є  $\text{Bu}_2\text{SnH}_2$

Запишемо загальне рівняння реакції  $\text{SnBu}_4$  з  $n$  еквівалентами  $\text{SnCl}_4$  та подальшого відновлення:



Виразимо  $v(\text{Bu}_4\text{Sn}_{n+1}\text{H}_{4n})$  через  $n$ :

$$v(\text{Bu}_4\text{Sn}_{n+1}\text{H}_{4n}) = \frac{10}{57 \cdot 4 + 118.7 \cdot (n+1) + 4 \cdot n}$$

$v$  утвореного  $\text{CO}_2$  буде в 16 разів більша за  $v(\text{Bu}_4\text{Sn}_{n+1}\text{H}_{4n})$ , отримаємо рівняння:

$$\frac{10}{57 \cdot 4 + 118.7 \cdot (n+1) + 4 \cdot n} \cdot 16 = \frac{8.45}{22.4}$$

Розв'язавши рівняння знайдемо  $n$

$$n = 0.63$$

**K1** –  $\text{Bu}_2\text{SnCl}_2$

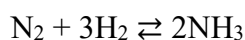
**L1** –  $\text{Bu}_2\text{SnH}_2$

**Завдання 11.5. (Автор: Пашко Микола)**

Оцінка за задачу (заповнюється журі)

Питання	11.5.1	11.5.2	11.5.3	11.5.4	11.5.5	11.5.6	11.5.7	Сума
Перевірка	<b>2,5</b>	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>0,75</b>	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>0,75</b>	<b>10</b>

Процес Габера-Боша – промисловий метод синтезу аміаку з азоту та водню під тиском (більше 100 атмосфер) та при нагріванні ( $400\text{--}500^\circ\text{C}$ ) у присутності каталізатора. Суміш азоту та водню пропускається через нагрітий каталізатор під високим тиском. Застосування каталізатора (пористе залізо з домішками  $\text{Al}_2\text{O}_3$  та  $\text{K}_2\text{O}$ ) дозволяє прискорити досягнення рівноважного стану. За рахунок високого тиску рівновага у реакції зміщується у бік аміаку.



У реактор об'ємом 100 л помістили суміш азоту і водню у відношенні 1:3 під тиском 150 бар при  $25^\circ\text{C}$ . Після нагрівання до  $525^\circ\text{C}$  і встановлення рівноваги тиск у реакторі склав 357 бар.

**11.5.1. Розрахуйте** константу рівноваги реакції синтезу аміаку при  $525^\circ\text{C}$  та склад рівноважної суміші.

Розрахунки:

Порахуємо початкові  $v$  азоту і водню:

$$v(\text{N}_2 + \text{H}_2) = \frac{15000 \cdot 100}{8.314 \cdot 298.15} = 605 \text{ моль,}$$

$$v(\text{N}_2) = 151,25 \text{ моль, } v(\text{H}_2) = 453.75 \text{ моль,}$$

Запишемо рівняння реакції та виразимо  $v$  компонентів рівноважної суміші через  $x$ :



$$v_{\text{поч}} \quad 151,25 \quad 453,75 \quad 0$$

$$v_{\text{реак}} \quad x \quad 3x \quad 2x$$

$$v_{\text{рівн}} \quad 151,25-x \quad 453.75-3x \quad 2x \quad v_{\text{рівн. заг.}} = 605 - 2x$$

**IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023**  
заочний тур, умови та розв'язки

$605 - 2x = \frac{35700 \cdot 100}{8.314 \cdot 798.15}$ , звідси знайдемо $x = 33.5$ моль, тепер порахуємо мольні частки компонентів рівноважної суміші: $\chi(N_2) = 21,89\%$ , $\chi(H_2) = 65,66\%$ , $\chi(NH_3) = 12,45\%$ Тепер виразимо та порахуємо константу рівноваги: $K_p = \frac{p_{NH_3}^2}{p_{N_2} \cdot p_{H_2}^3} = \frac{\chi_{NH_3}^2}{\chi_{N_2} \cdot \chi_{H_2}^3 \cdot P^2} = \frac{0.1245^2}{0.2189 \cdot 0.6566^3 \cdot 357^2} = 1.96 \cdot 10^{-6} \text{ бар}^{-2}$	
$K_p = 1,96 \cdot 10^{-6} \text{ бар}^{-2}$	$K_p = 1,96 \cdot 10^{-6} \text{ бар}^{-2}$
$\chi(H_2) = 65,66\%$	$\chi(H_2) = 65,66\%$

У реактор об'ємом 100 л помістили суміш азоту і водню у відношенні 1:1 (початковий тиск 150 бар, 25°C). Після нагрівання до 625°C рівноважний тиск аміаку склав 29,4 бар.

**11.5.2. Розрахуйте** мольні частки азоту і аміаку в рівноважній суміші та загальний тиск.

Розрахунки: Порахуємо початкові $\nu$ азоту і водню: $\nu(N_2) = 302,5$ моль, $\nu(H_2) = 302,5$ моль, Запишемо рівняння реакції та виразимо $\nu$ компонентів рівноважної суміші через $x$		
	$N_2 + 3H_2 = 2NH_3$	
$\nu_{\text{поч}}$	302,5      302,5      0	
$\nu_{\text{реак}}$	x            3x            2x	
$\nu_{\text{рівн}}$	302,5-x    302,5-3x    2x	
Знайдемо рівноважне $\nu(NH_3) = \frac{2940 \cdot 100}{8.314 \cdot 898.15} = 39.37 = 2x$ , звідки $x = 19.7$ $\nu(N_2)_{\text{рівн.}} = 282,8$ моль, $\nu(H_2)_{\text{рівн.}} = 243,4$ моль, $\nu_{\text{рівн. заг.}} = 565,57$ $\chi(N_2) = 50\%$ , $\chi(H_2) = 43.04\%$ , $P = \frac{565.57 \cdot 8.314 \cdot 898.15}{100} = 422,3$ бар		
$P = 422,3$ бар	$\chi(N_2) = 50\%$	$\chi(H_2) = 43,04\%$

**11.5.3. Розрахуйте, за якого тиску** при 525°C вихід аміаку при використанні суміші азоту і водню у відношенні 1:3 буде складати 95%.

Розрахунки: Запишемо рівняння реакції, виразимо $\nu$ компонентів рівноважної суміші та порахуємо їх мольні частки:		
	$N_2 + 3H_2 = 2NH_3$	
$\nu_{\text{поч}}$	1            3            0	
$\nu_{\text{реак}}$	0,95      2,85      1,9	
$\nu_{\text{рівн}}$	0,05      0,15      1,9	$\nu_{\text{рівн. заг.}} = 2,1$
$\chi_{\text{рівн}}$	0,0238    0,0714    0,9248	
Тепер виразимо константу рівноваги та порахуємо рівноважний тиск з отриманого рівняння:		
$K_p = \frac{\chi_{NH_3}^2}{\chi_{N_2} \cdot \chi_{H_2}^3 \cdot P^2} = \frac{0.9048^2}{0.0238 \cdot 0.0714^3 \cdot P^2} = 1.96 \cdot 10^{-6} \text{ бар}^{-2}$		
$P = \sqrt{\frac{0.9048^2}{0.0238 \cdot 0.0714^3 \cdot 1.96 \cdot 10^{-6}}} = 2.2 \cdot 10^5 \text{ бар}$		
$P = 2.2 \cdot 10^5 \text{ бар}$		

## IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023 заочний тур, умови та розв'язки

11.5.4. У промисловості зазвичай процес відбувається за таких тисків, за яких вихід аміаку складає 10–20%. **Оберіть один або декілька** правильних варіантів відповідей.

- а) При високих тисках зменшується швидкість реакції.  
б) В промисловості неможливо досягти тиску, при котрому вихід аміаку буде більше 90%.  
в) Проведення реакції з виходами 10–20% при невеликих тисках з подальшою рециркуляцією газів що не прореагували економічно більш вигідне.  
г) При тисках необхідних для виходу аміаку більше 20% починають проходити побічні реакції, що знижує загальний вихід аміаку.

в)

11.5.5. **Розрахуйте** ентальпію реакції синтезу аміаку.

Розрахунки:

Порахуємо константу рівноваги при температурі 625°C використовуючи данні з пункту 2:

$$K_p^{625} = \frac{\chi_{NH_3}^2}{\chi_{N_2} \cdot \chi_{H_2}^3 \cdot P^2} = \frac{0,0696^2}{0,5 \cdot 0,4303^3 \cdot 422,3^2} = 6,81 \cdot 10^{-7} \text{ бар}^{-2}$$

Запишемо рівняння залежності константи рівноваги від температури та порахуємо з нього ентальпію реакції

$$\ln \frac{K_p^{625}}{K_p^{525}} = \frac{\Delta H}{R} \left( \frac{1}{798,25} - \frac{1}{898,15} \right)$$

$$\ln \frac{6,81 \cdot 10^{-7}}{1,96 \cdot 10^{-6}} = \frac{\Delta H}{8,314} \left( \frac{1}{798,25} - \frac{1}{898,15} \right)$$

$$\Delta H = -63 \text{ кДж/моль}$$

$$\Delta H = -63 \text{ кДж/моль}$$

11.5.6. **Розрахуйте, за якої температури** при тиску 357 бар вихід аміаку (при використанні суміші азоту і водню у відношенні 1:3) складе 95%.

Розрахунки:

Порахуємо константу рівноваги за якої вихід аміаку буде складати 95% при тиску 357 бар:

	$N_2$	+	$3H_2$	=	$2NH_3$	
$v_{\text{поч}}$	1		3		0	
$v_{\text{реак}}$	0,95		2,85		1,9	
$v_{\text{рівн}}$	0,05		0,15		1,9	$v_{\text{рівн. заг.}} = 2,1$
$\chi_{\text{рівн}}$	0,0238		0,0714		0,9248	

$$K_p = \frac{\chi_{NH_3}^2}{\chi_{N_2} \cdot \chi_{H_2}^3 \cdot P^2} = \frac{0,9048^2}{0,0238 \cdot 0,0714^3 \cdot 357^2} = 0,7415 \text{ бар}^{-2}$$

Запишемо рівняння залежності константи рівноваги від температури та порахуємо температуру при якій константа рівноваги буде 0,7415 бар<sup>-2</sup>

$$\ln \frac{K_p^T}{K_p^{525}} = \frac{\Delta H}{R} \left( \frac{1}{798,25} - \frac{1}{T} \right)$$

$$\ln \frac{0,7415}{1,96 \cdot 10^{-6}} = \frac{-630}{8,314} \left( \frac{1}{798,25} - \frac{1}{T} \right)$$

$$T = 339 \text{ К}$$

$$T = 339 \text{ К (66 °C)}$$

## IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023 заочний тур, умови та розв'язки

11.5.7. Чому в промисловості використовують високі температури незважаючи на те, що реакція є екзотермічною? **Оберіть один або декілька** правильних варіантів відповідей.

- а) При використанні менших температур швидкість реакції є недостатньою.  
б) Використання високих температур, при яких вихід аміаку складає 10–20%, з подальшою рециркуляцією газів, що не прореагували, економічно більш вигідне.  
в) При використанні низьких температур аміак переходить у рідкий стан, що порушує технологічний процес.  
г) При низьких температурах швидше псується каталізатор.

а)

### Завдання 11.6. (Автор: Кандаскалов Дмитро)

Оцінка за задачу (заповнюється журі)

Питання	11.6.1	11.6.2	11.6.3	11.6.4	Сума
Перевірка	7	1	1	1	10

Є деякий жовтий ароматичний вуглеводень А. Його можна відновити трьома еквівалентами водню на паладії до насиченого циклоалкану Б, який далі не відновлюється. Окиснювальний озоноліз А призводить до утворення лише однієї органічної сполуки В ( $\omega_C=26,67\%$ ,  $\omega_H=2,22\%$  та О) та інших неорганічних продуктів реакції. Також вуглеводень А може утворювати з хлоридом Г (масова частка металу 58,72%) сандвічевий комплекс Д з масовою часткою карбону 43,90%. При відновленні літій алюмогідридом вуглеводню А утворюється вуглеводень Е, що має вісь симетрії другого порядку. Вуглеводень А здатний до легкої димеризації та полімеризації.

11.6.1. **Визначте** вуглеводень А та речовини Б - Е.

Можна почати з кількісних характеристик, брутоформула В –  $\text{CNO}_2$ , тобто підходить  $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$  або  $\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_8$  (що малоймовірно). Отже В -  $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$ , тобто оксалатна кислота. Тоді зразу спадає на думку, що це бензен. Перевіримо це за даними про «сандвіч» Д. Спочатку знайдемо формулу хлориду. За даними про масові частки еквівалент металу – 50,5, при ступені окиснення +2 підходить Рутеній, отже Г –  $\text{RuCl}_2$ . За даними про відновлення воднем можна знайти, що загальна формула вуглеводню –  $\text{C}_n\text{H}_{2n-6}$ . Оскільки утворюється сандвічева сполука, то тоді формула Д –  $\text{Ru}(\text{C}_n\text{H}_{2n-6})_2\text{Cl}_2$ .

$$0,439 = \frac{2 \cdot 12n}{101 + 71 + 2 \cdot (14n - 6)} \Rightarrow n = 6$$

Отже вуглеводень дійсно  $\text{C}_6\text{H}_6$ .

Але бензен неможливо відновити літій алюмогідридом, по друге він не жовтий, і по третє не димеризується і не полімеризується!!!!

Тобто треба шукати інший варіант. Почнемо спочатку. Ми знаємо, що утворюється циклоалкан, який не відновлюється воднем, значить він не напружений, тобто містить від 5-ти атомів карбону в центрі. Циклогексан бути не може (адже А – не бензен), отже єдиний варіант Б – метил циклопентан, тоді А (фульвен)

**IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023**  
заочний тур, умови та розв'язки

A  $\xrightarrow{3H_2}$  B

В циклі А містить 5  $\pi$ -електронів, для ароматичності не вистачає одного електрону, тоді можна уявити дипольну структуру (яка пояснює появу кольору)

E ←  $LiAlH_4$  A

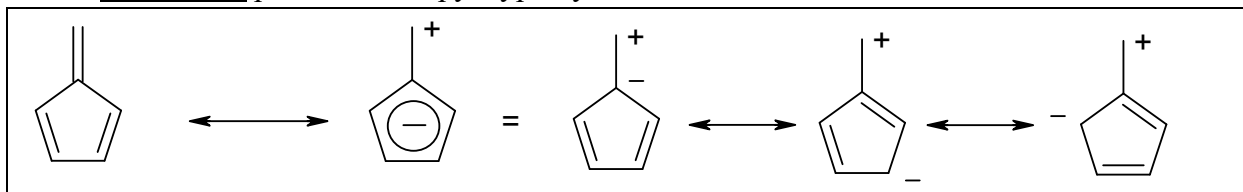
A  $\xrightarrow{O_3/H_2O}$  B

<b>А</b>	<b>Б</b>	<b>В</b>
<b>Г</b>	<b>Д</b>	<b>Е</b>
$RuCl_2$	$Ru(C_6H_6)_2Cl_2$	

**11.6.2. Поясніть** причину забарвленості вуглеводню А.

Наявність дипольного моменту в молекулі

**11.6.3. Напишіть** резонансні структури вуглеводню А.



**11.6.4. Поясніть** причину формування комплексу Д.

## IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023 заочний тур, умови та розв'язки

Молекула фульвену містить 6  $\pi$ -електронів, йону рутенію (II) не вистачає 12 електронів до 18-електронного стану, отже він формує 6 донорно-акцепторних зв'язків з одним фульвеном і 6 донорно-акцепторних зв'язків з одним з іншим.

### Завдання 11.7. Мінерал (Автор: Алексеєв Сергій)

Оцінка за задачу (заповнюється журі)

Питання	11.7.1	11.7.2	11.7.3	11.7.4	11.7.5	11.7.6	Сума
Перевірка	1	2,2	3,5	1,3	1	1	10
	0,5+0,5	11*0,2					

Структура деякого мінералу відповідає формулі  $M_xSi_yO_z$ , де  $M$  атом металу;  $x, y, z$  – цілі числа. У природних зразках мінералу на позиції  $M$  можуть знаходитися іони різних металів ( $A$  та  $B$ ), тоді його формула приймає вигляд  $(A_tB_{1-t})_xSi_yO_z$ , де  $t$  – дробне число (різне для різних зразків мінералу) у діапазоні  $0 < t < 1$ .

Зразок мінералу масою 0,5000 г сплавили з  $Na_2CO_3$  на повітрі. До одержаного продукту додали надлишок розчину  $HCl$ , одержану суміш випарили на водяній бані, знов змішали з розчином  $HCl$ , осад 1 відфільтрували, промили і прожарили при  $1000^\circ C$ . Його маса становила 0,1475 г.

Фільтрат і промивну рідину зібрали у мірну колбу 100 мл. Одержаний розчин 1 дає яскраво-червоне забарвлення з  $KSCN$  та синій осад з  $K_4Fe(CN)_6$ , що є якісними реакціями на іони металу  $A$ .

Для визначення  $A$  аліквоту 20,00 мл розчину 1 частково нейтралізували ( $pH = 2$ ), додали сульфосаліцилову кислоту і відтитрували 0,05 М розчином трилону Б до червоного забарвлення. Об'єм становив 18,5 мл.

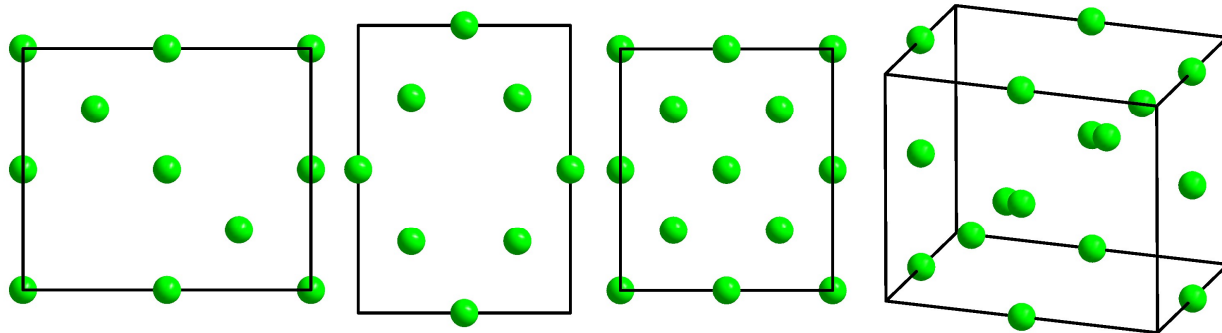
Іншу аліквоту розчину 1 об'ємом 2,00 мл розвели водою приблизно до 50 мл, додали 2 мл 1М розчину  $NaOH$ , після чого 2 мл 10% розчину  $MgSO_4$ . Осад, що утворився, відфільтрували і промили водою. Потім осад розчинили в 10 мл 10% ортофосфатної кислоти, додали 10 мл 1%  $AgNO_3$  та 0,3 г  $K_2S_2O_8$  і прокип'ятили. Розчин забарвився у яскраво-малиновий колір, що є ознакою наявності металу  $B$ . Розчин розбавили водою у мірній колбі на 50 мл, його оптична густина при 545 нм (кювета 1 см) склала  $A_{545} = 0,453$ . Оптичні густини та концентрації металу  $B$  у градувальних розчинах (ці розчини містять точно відомі концентрації металу  $B$  і піддавалися ідентичній обробці) наведені у таблиці 1.

$B$ , мг/л	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0
$A_{545}$	0,062	0,153	0,276	0,430	0,541	0,712

Цей мінерал кристалізується у ромбічній сингонії (елементарна комірка має форму прямокутного паралелепіпеда (цеглини), розміри комірки становлять  $a = 0,50$  нм,  $b = 1,0$  нм,  $c = 0,60$  нм). У структурі мінералу кожен атом  $Si$  зв'язаний з 4 атомами  $O$ , а кожен атом  $O$  – з одним  $Si$  та трьома  $M$ .



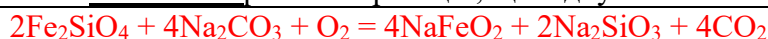
**IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023**  
заочний тур, умови та розв'язки



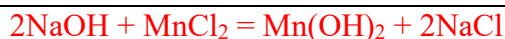
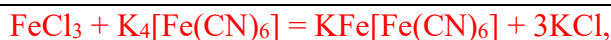
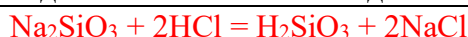
**11.7.1. Встановіть метали А та В.**

**A – Fe, B – Mn**

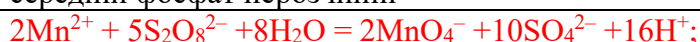
**11.7.2. Напишіть рівняння реакцій, що відбуваються.**



$\text{Mn}_2\text{SiO}_4 + 3\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{O}_2 = 2\text{Na}_2\text{MnO}_3 + \text{Na}_2\text{SiO}_3 + 3\text{CO}_2$  (Mn при сплавленні мінералу з содою може окиснитися і до більших ступенів окислення, але це не принципово).



$\text{Mn}(\text{OH})_2 + 2\text{H}_3\text{PO}_4 = \text{Mn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + 2\text{H}_2\text{O}$  : пишемо дигідрофосфат, бо гідрофосфат та середній фосфат нерозчинні



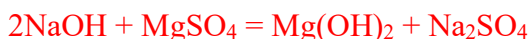
**11.7.3. Розрахуйте** склад зразку мінералу та виведіть його формулу (у вигляді  $(\text{A}_t\text{B}_{1-t})_x\text{Si}_y\text{O}_z$ ).

**$(\text{Fe}_{0.94}\text{Mn}_{0.06})_2\text{SiO}_4$**

**11.7.4. Поясніть**, навіщо проводилися позначені курсивом дії в ході аналізу.

Випарили – щоб перетворити колоїдну  $\text{H}_2\text{SiO}_3$  у форму осаду, а всі сполуки  $\text{Mn}^{+4}$  і інших вищих ступенів окислення Mn перетворити в  $\text{Mn}^{+2}$ .

Хлорид заважатиме визначенню Mn у вигляді перманганату. Тому гідроксиди осаджують і розчиняють, щоб позбутися хлоридів. Mn міститься у пробі у не дуже високій концентрації, тому може осаджуватися не повністю або утворювати колоїд. Осад  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  є колектором для  $\text{Mn}(\text{OH})_2$ .



$\text{AgNO}_3$  – каталізатор при окисленні персульфатом

**IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023**  
**заочний тур, умови та розв'язки**

**11.7.5. Розрахуйте** густину мінералу.

На картинці намальовано атоми зеленого кольору (A). Це атоми одного і того ж виду: або метал, або Силіцій, або Оксиген. Розрахуємо їх кількість, що припадає на елементарну комірку. Вони розташовані: 3 всередині, 4 на ребрах, 6 на гранях та 8 на вершинах елементарної комірки.

$$\text{Кількість атомів A у комірці: } 3+4/4+6/2+8/8 = 8$$

A – метал:

$$Z = 8/2 = 4 \text{ формульні одиниці на комірку}$$

$$\rho = ZM/(V \cdot N_{Av}) = 4M/(abc \cdot N_{Av}) = 4.51 \text{ г/см}^3.$$

A – Силіцій:

$$Z = 8/1 = 8 \text{ формульних одиниць на комірку}$$

$$\rho = ZM/(V \cdot N_{Av}) = 8M/(abc \cdot N_{Av}) = 9.02 \text{ г/см}^3. \text{ Це значення для силікатних мінералів абсурдне!}$$

A – Оксиген:

$$Z = 8/4 = 2 \text{ формульні одиниці на комірку}$$

$$\rho = ZM/(V \cdot N_{Av}) = 4M/(abc \cdot N_{Av}) = 2.26 \text{ г/см}^3.$$

**11.7.6. Встановіть** координаційне число металу в його структурі (якщо формулу мінералу встановити не вдалося, проведіть розрахунок густини та КЧ для  $\text{La}_4(\text{SiO}_4)_3$  з параметрами комірки  $a = 0,90 \text{ нм}$ ,  $b = 1,1 \text{ нм}$ ,  $c = 0,65 \text{ нм}$ ).

Склад мінералу  $\text{M}_2\text{SiO}_4$

$$\text{КЧ(M)} = 3 \cdot (4/2) = 6$$

$\text{La}_4(\text{SiO}_4)_3$

$$\text{КЧ(La)} = 3 \cdot (3 \cdot 4/4) = 9$$

$$\text{Кількість атомів La у комірці: } 3+4/4+6/2+8/8 = 8$$

$$2 \text{ формульні одиниці на комірку, } \rho = 2M/(abc \cdot N_{Av}) = 4.29 \text{ г/см}^3.$$

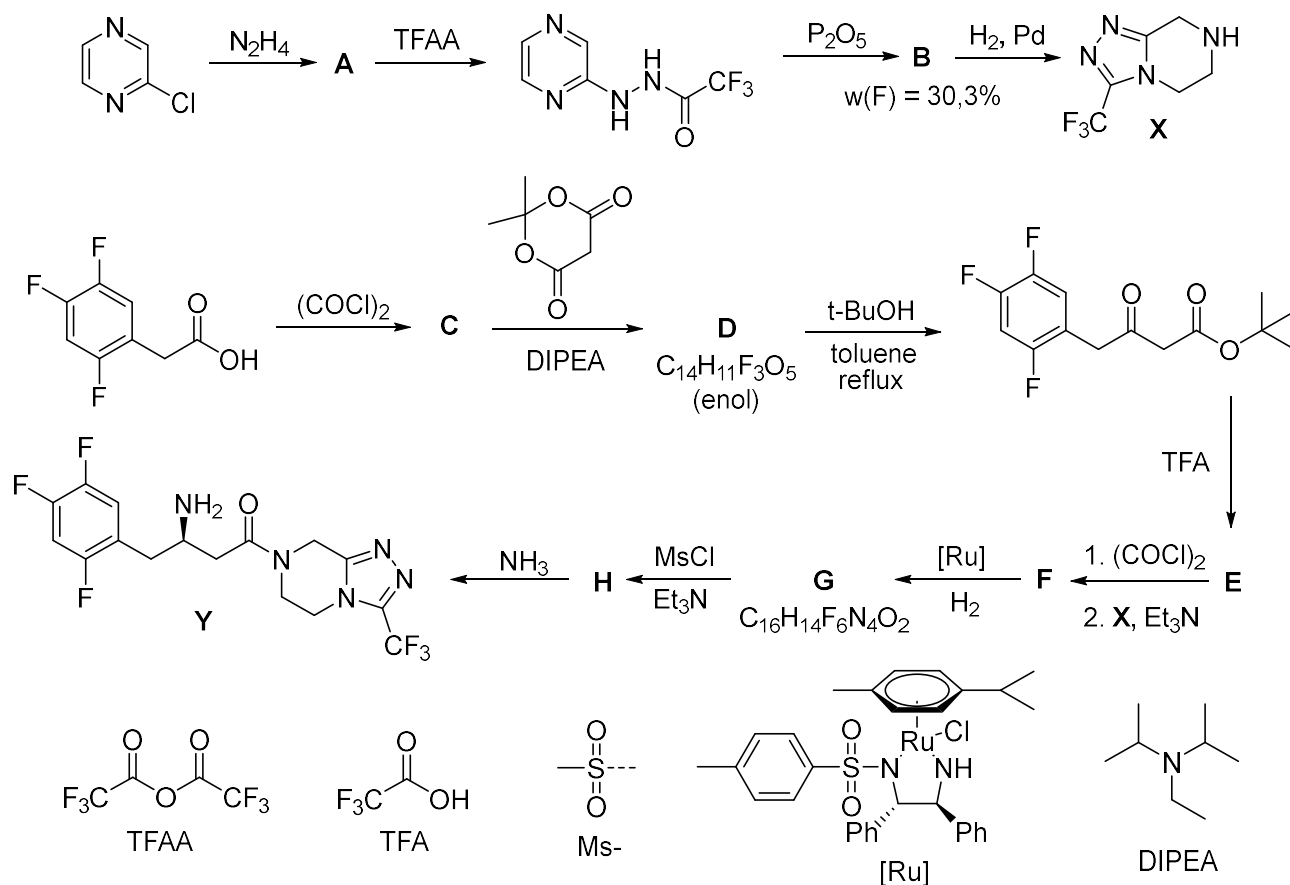
**Завдання 11.8. (Автор: Авраменко Микола)**

Оцінка за задачу (заповнюється журі)

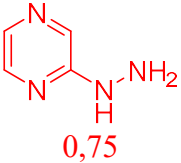
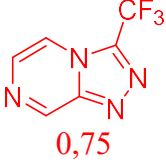
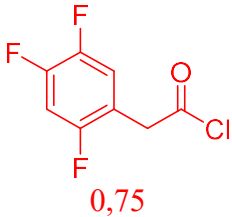
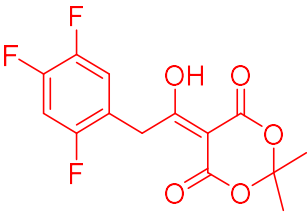
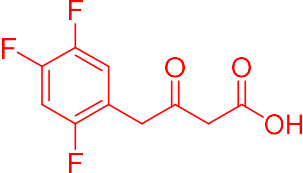
Питання	11.8.1	11.8.2	11.8.3	Сума
Перевірка	<b>7</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>10</b>

Нижче наведено один з можливих синтезів сполуки Y. Цей метод так і не знайшов промислового використання через розробку інших більш дешевих та легких методів. Зверніть увагу, що сполука D існує у енольній формі. Оптична чистота отриманого Y – 98%.

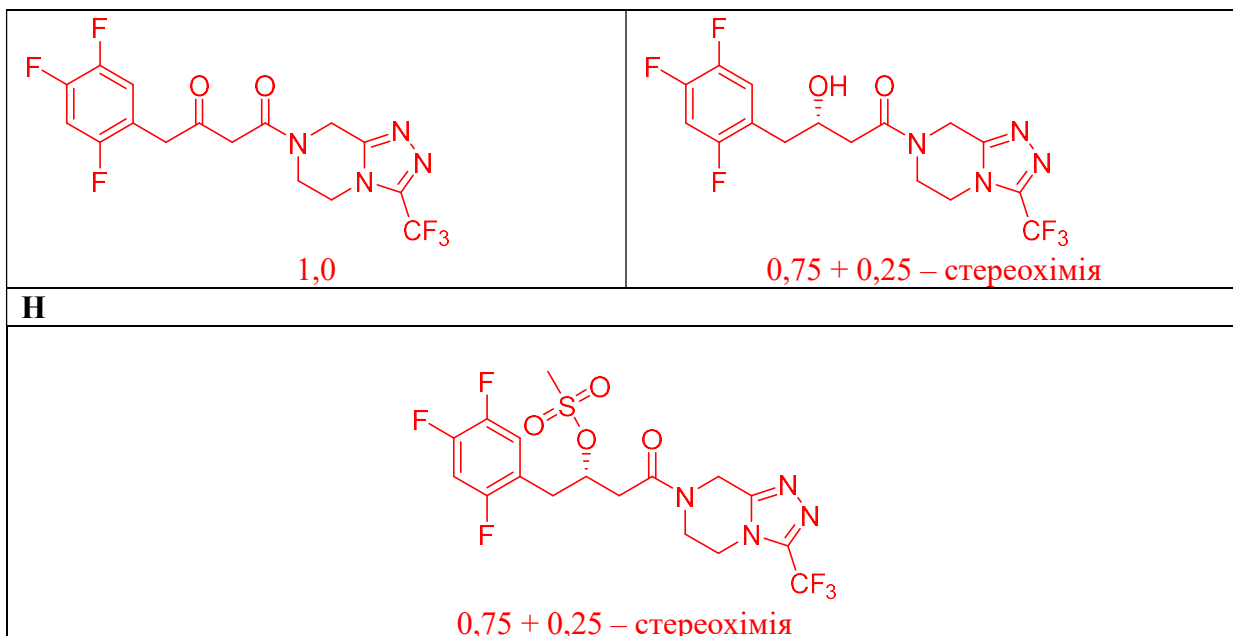
**IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023**  
заочний тур, умови та розв'язки



**11.8.1. Наведіть** структури сполук А – Н, обов'язково вказуючи абсолютну конфігурацію стереоцентрів.

A	B	C
 <p>0,75</p>	 <p>0,75</p>	 <p>0,75</p>
D	E	
 <p>1,0</p>	 <p>0,75</p>	
F	G	

**IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023**  
заочний тур, умови та розв'язки



**11.8.2. Яка роль** Et<sub>3</sub>N в перетворенні Е в F? Яку слід очікувати **конверсію** за відсутності Et<sub>3</sub>N та 1,0 еквіваленті X?

Et<sub>3</sub>N – основа. (0,5 бали)

Конверсія – 50% (HCl що утворився буде протонувати X) (0,5 бали)

**11.8.3. Вкажіть, за яким механізмом** відбувається перетворення Н в Y, якщо воно є стереоспецифічним?

**Який порядок** слід очікувати за кожним із реагентів?

**Підкресліть** правильне слово в твердженні нижче.

**Скільки** еквівалентів амоніаку треба для цієї реакції?

Механізм: S<sub>N</sub>2 (0,5 бали)

Порядки. NH<sub>3</sub>: 1

Н: 1 (2\*0,25 = 0,5 бали)

Цей механізм відбувається зі збереженням/*інверсією*/рацемізацією стереоцентру (правильне підкресліть/обведіть) (0,5 бали)

Кількість еквівалентів амоніаку: 2 - один еквівалент як основа (нейтралізувати MsOH), а інший як нуклеофіл. (0,5 бали)

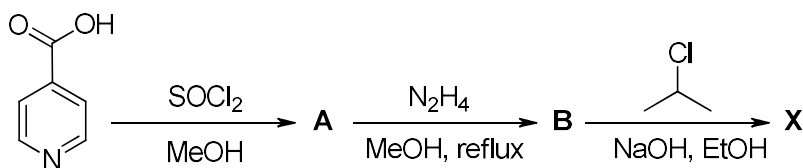
**Завдання 11.9. (Автор: Архипов Антон)**

Оцінка за задачу (заповнюється журі)

Питання	11.9.1	11.9.2	Сума
Перевірка	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>10</b>

## IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023 заочний тур, умови та розв'язки

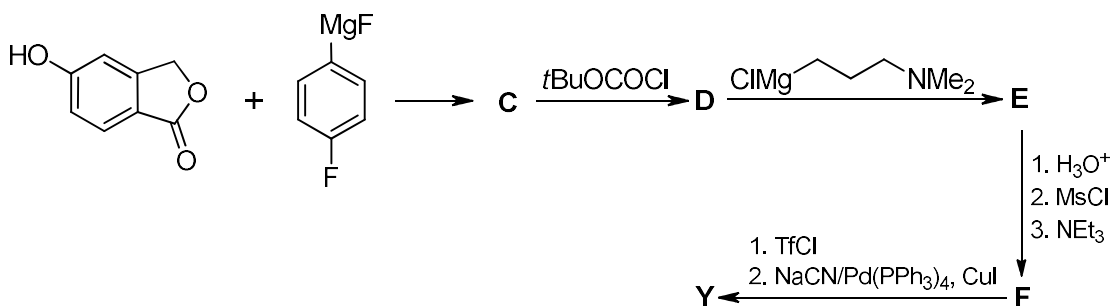
Одним із перших типів антидепресантів є препарати, що належать до класу інгібіторів моноаміноксидази. Синтез одного із представників цього класу препаратів, може бути проведений з піридин-карбонової кислоти за схемою:



11.9.1. Знайдіть сполуки **A**, **B** та **X**.

A	B	X

Антидепресанти, що належать до групи інгібіторів моноаміноксидази, мають багато побічних ефектів та є несумісними з багатьма іншими препаратами. Більш сучасними є препарати, що належать до групи селективних інгібіторів зворотного захоплення серотоніну. Схему синтезу одного із таких препаратів наведено нижче.

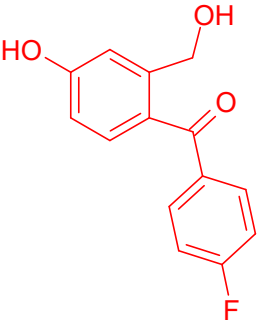
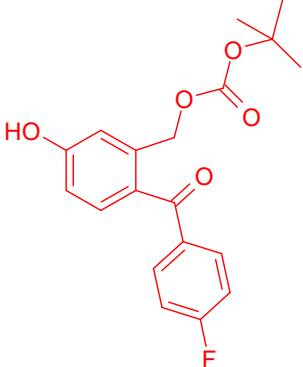
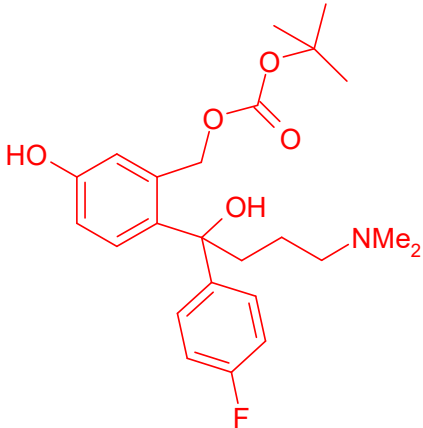


### критерії оцінювання

- Якщо сполука наведена вірно: 1 бал за сполуку (всі сполуки з пункту 11.9.1), 1 бал за сполуку Y (пункт 11.9.2), 1.5 бали за сполуки C, D, E, F (пункту 11.9.2)
- Якщо сполука наведена майже вірно (додаткові, або зайві водні) – половина балів за сполуку

**IV дистанційна Всеукраїнська хімічна олімпіада, 2023**  
заочний тур, умови та розв'язки

11.9.2. Знайдіть сполуки С - F та Y.

C	D	E
		
F	Y	
