

Харківська обласна хімічна олімпіада 2024 р.

10 клас

1. Азот. Повітря містить 78 % N_2 і здається, що рослинам для живлення мало б вистачити такої кількості азоту з повітря. Проте, є нагальною потреба застосування селітр. **Як ви вважаєте чому?**

У 1908 році Ф. Габером було запропоновано промисловий спосіб одержання амоніаку з простих речовин, однак пропускання суміші реагентів крізь нагрітий до $400^\circ C$ каталізатор (Fe, активований оксидами K_2O , Al_2O_3 , CaO та ін.) під тиском дає вихід продукту 25 % мольних.

1. Розрахуйте енергію Гіббса процесу при $25^\circ C$ та температурі процесу, обґрунтуйте чи призводить збільшення температури до виходу продукту? Як можна досягти виходу 100 %?

Для розрахунку використовуйте дані (залежністю ΔS та ΔH від температури знехтувати):

$$\Delta H_f^0_{298}(NH_3) = -46.19 \text{ кДж/моль}$$

$$S^0_{298}(NH_3) = 192.79 \text{ Дж/(моль}\times\text{K)}$$

$$S^0_{298}(N_2) = 192.1 \text{ Дж/(моль}\times\text{K)}$$

$$S^0_{298}(H_2) = 130.59 \text{ Дж/(моль}\times\text{K)}$$

2. Знайдіть відношення констант швидкостей прямої та зворотної реакції при температурі 298 K та тиску 1 атм та температурі процесу.

3. Який тиск повинен бути в системі, щоб забезпечити вихід амоніаку 25 % мольних за температури процесу, якщо для реакції було взято 2 моль азоту та 6 моль водню?

2. Обережно, отруйні гази. Відомо, що проста газувата речовина **A** зі слабким жовто-зеленим забарвленням, що важче повітря в 2.44 рази, розчиняється у гарячому ($60-80^\circ C$) розчині КОН. Після охолодження випадає білий кристалічний порошок. Одержаний порошок можна розділити перекристалізацією та одержати дві хімічні речовини **B** та **V** (також у формі білих порошоків) з масовими частками елемента **A** 28.93 % та 47.55 % відповідно. При дії на менш розчинну з них (**B**) концентрованої сульфатної кислоти серед інших продуктів виділяється газ (**Г**) зеленувато-жовтого кольору, а при дії на більш розчинну речовину (**V**) концентрованої сульфатної кислоти також виділяється газ (**Д**). Якщо подіяти сульфатною кислотою на вихідну суміш, то також виділиться газ, який є простою речовиною елемента (**A**). Цікаво, що гази (**Г**, **Д**, **A**) розчиняються у водному розчині NaOH при кімнатній температурі, причому **A** та **Г** утворюють суміш продуктів, що містять елемент **A**. Якщо реакцію газу **Г** з розчином NaOH провести із додаванням відновника (PbO), при цьому замість суміші продуктів, які містять елемент **A**, утворюється одна водорозчинна сполука **E**. Також ці гази взаємодіють із водним розчином натрій тіосульфату.

1. Назвіть сполуки **A** – **E**.

2. Запишіть рівняння усіх згаданих перетворень (11 реакцій).

3. Яку тривіальну назву має сполука **B**? Назвіть основну область її використання.

4. Зобразіть структурну формулу сполуки **Г**, вкажіть форму молекули та тип гібридизації некінцевих атомів.

3. Кінетика омилення. Два студенти вивчали кінетику омилення (гідролізу) етилацетату при температурах 0 та $25^\circ C$. Кожен із них змішав по 0.8987 г етилацетату зі 100 мл розчину гідроксиду натрію. Після чого обидва студенти відбирали аліквоти по 1.0 мл з реакційних сумішей через певні проміжки часу та титрували їх розчином хлоридної кислоти з концентрацією 0.0050 моль/л. На титрування вихідного розчину луґу витратили 20.4 мл розчину кислоти. Індикатор обраний таким чином, що визначається лише гідроксид.

Результати вимірювань представлені в таблиці:

$T = 0^{\circ}\text{C}$		$T = 25^{\circ}\text{C}$	
t , хв	$V(\text{HCl})$, мл	t , хв	$V(\text{HCl})$, мл
1	18.2	0.5	15.3
2	16.5	1	12.2
5	12.8	2	8.7
10	9.3	3	6.8
15	7.3	5	4.7
30	4.5	8	3.2

1. Запишіть реакцію омилення етилацетату, визначте константи швидкості омилення етилацетату при температурах 0°C та 25°C . Обов'язково вкажіть розмірності.

2. Оцініть енергію активації реакції.

3. Визначте, за який час реакція омилення пройде на 90 % та 99 % при температурі 40°C та при початкових концентраціях реагентів 0.1 моль/л.

4. У лабораторії є фенолфталеїн (ФФ) та метиловий оранжевий (МО). Який з індикаторів для титрування ви б обрали для цієї роботи?

Довідкова інформація: $\text{pH}_{\text{переходу}}(\text{ФФ})$ 8.2 – 10.0; $\text{pH}_{\text{переходу}}(\text{МО})$ 3.1 – 4.4; $\text{pK}_a(\text{CH}_3\text{COOH}) = 4.76$.

Константа швидкості реакції та рівняння Ареніуса:

$$k = \frac{1}{t} \left(\frac{1}{c} - \frac{1}{c_0} \right), \quad k = A \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right)$$

4. Відоме правило. Колись давно один відомий вчений виявив, що при взаємодії бінарної сполуки **A** ($\omega(\text{H}) = 0.788\%$) з вуглеводнем **B** ($\omega(\text{C}) = 85.71\%$) утворюється тільки одна сполука **X**. З цього вчений зробив певне припущення, яке пізніше стало правилом та отримало його прізвище. Відомо, що окиснення **B** калій перманганатом в жорстких умовах супроводжується виділенням CO_2 і приводить до єдиного органічного продукту **C**. Сполука **C** не містить третинних атомів вуглецю, а на нейтралізацію 0.55 г **C** потрібно 12.5 мл 0.500 М розчину NaOH .

1. Встановіть сполуки **A** – **C** та **X**.

2. Назвіть та наведіть сучасне формулювання відповідного правила.

Використання замість **A** інших споріднених сполук, наприклад, **D** ($\omega(\text{H}) = 2.76\%$), може викликати певні складнощі. Так, взаємодія **B** і **D** з утворенням очікуваного продукту **E** протікає в 1000 разів повільніше, ніж реакція за участю сполуки **A**. Щоб прискорити цю реакцію, можна використовувати як реагенти сполуку **F** (містить три елементи, $\omega(\text{O}) = 13.45\%$) разом з вологим оксидом **G** ($\omega(\text{O}) = 47.07\%$).

3. Встановіть сполуки **D** – **G**. Поясніть, за рахунок чого може прискорюватися реакція за участю сполук **F** та **G**.

4. Окрім правил, в органічній хімії також є багато «іменних» реакцій. Наведіть два приклади таких реакцій, чітко вказавши реагенти, умови взаємодії та продукт(и) в кожному випадку.

5. Наведіть ще два принципово різних варіанти окиснення вуглеводню **B**.

5. Симетрична хіральність. Жодна з ізомерних бінарних органічних молекул **A–K** (вміст одного з елементів складає 11.86 %) не містить потрійного зв'язку та не має у своєму складі циклобутанового або циклоалкенового кільця. Речовини **A** і **B** є вживаними промисловими речовинами для отримання штучних каучуків, сполука **C** не містить кратних зв'язків та метильних груп, сполуки **D** та **E** хіральні, **F** та **G** – дієни, не здатні вступати у реакцію Дільса-Альдера, причому спектр ПМР речовини **G** містить, у тому числі, триплет. Молекули **H** та **I** – біцикли, причому **H** має у структурі четвертинний атом азоту. Сполука **K**

не є хіральною, містить цикл, подвійний зв'язок та має один третинний атом вуглецю у структурі.

1. Встановіть та наведіть формули усіх ізомерів, якщо молекули В, D, F та G мають нормальну будову.

2. Скільки різних моноклорпохідних можуть принципово утворити молекули С та F? Енантіомери тут вважайте однаковими моноклорпохідними. Наведіть відповідні структури моноклорпохідних F, назвіть їх.

3. Яким чином можна, не знаючи конкретних фізичних характеристик речовин, розрізнити речовини С та В? А та В?

6. Гальвані і Вольта.

Після приголомшливих дослідів Л. Гальвані з дослідження «тваринної електрики», А. Вольта запропонував генерування електричної енергії, яке полягало у поєднанні цинкових та мідних платівок, просякнутих кислотою. Таким чином було уперше винайдено джерело постійного електричного струму, назване пізніше гальванічним елементом. У даному завданні ми пропонуємо вам оцінити хімічні джерела струму різних конструкцій. Вертикальними лініями позначено межу контакту різних фаз. Солі знаходяться у вигляді водних розчинів.

А. $\text{Zn}|\text{Na}_2\text{SO}_4|\text{Cu}$

В. $\text{Al}|\text{KOH}|\text{графіт}|\text{NaBr}|\text{Cu}$

С. $\text{Fe}|\text{H}_2\text{SO}_4(\text{розв.})|\text{сольовий місток}|\text{KNO}_3|\text{Hg}$.

У всіх випадках зауважте, що електроди (крайня ліва та крайня права частина) з'єднані зовнішнім металевим провідником.

1. Запишіть іонні напівреакції усіх можливих електродних процесів, які відбуваються на початку процесу. У кожному випадку відзначте заряд та назву електродів. У разі перебігу реакцій, які не є електрохімічними, запишіть їх у іонному вигляді.

2. Оцініть коректність елементів А–С з точки зору тривалості їхньої роботи та технологічності.

3. Чи утворюються окремі гальванічні елементи, якщо елемент В розділити на $\text{Al}|\text{KOH}|\text{графіт}$ та $\text{графіт}|\text{NaBr}|\text{Cu}$? Якщо так, запишіть електрохімічні рівняння.

Для довідки:

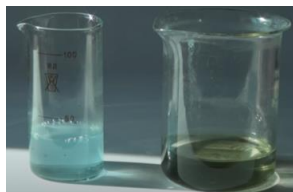
ЕЛЕКТРОХІМІЧНИЙ РЯД НАПРУГ МЕТАЛІВ																		
Li	K	Ba	Ca	Na	Mg	Al	Mn	Zn	Fe	Ni	Sn	Pb	H	Cu	Hg	Ag	Pt	Au

7. Ще один хамелеон.



В лабораторії було знайдено банку із твердою речовиною світло сірого кольору із характерним блиском (речовина А). Перші досліди показали, що речовина А не розчиняється в лугах та концентрований азотній кислоті. Але при взаємодії 2.0800 г речовини А із розведеним розчином хлороводневої кислоти хімік спостерігав повне розчинення невідомої речовини із виділенням бульбашок газу Б об'ємом 0.896 літра

(н.у.) та утворення розчину блакитного кольору (речовина В). Але хімік трохи відволікся, залишивши відкритий стакан з розчином в лабораторії, а коли повернувся, то колір розчину змінився на зелений (речовина Г).



При подальшому розведенні розчину з речовиною Г водою, забарвлення розчину повільно змінювалось з зеленого на зелено-голубий (сполука Д) і аж до фіолетового (сполука Е).

1. Назвіть сполуки А, Б, В, Г, Д та Е.

2. Запишіть рівняння хімічних реакцій, що згадано в завданні.

3. Поясніть, з утворенням яких сполук (Г, Д, Е), пов'язана зміна кольору розчину при його розведенні. Запишіть назву цих сполук за номенклатурними правилами IUPAC, зобразіть їх структурні формули.



4. Для сполуки Г вкажіть координаційне число та ступінь окиснення центрального атома, а також, дентантність та заряд лігандів.

Періодична система елементів Д. І. Менделєєва

1												13	14	15	16	17	18	
1 H 1.008																	2 He 4.003	
3 Li 6.94	4 Be 9.01												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 24.30	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13 Al 26.98	14 Si 28.09	15 P 30.97	16 S 32.06	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 -	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	57-71	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 -	85 At -	86 Rn -	
87 Fr -	88 Ra -	89-103	104 Rf -	105 Db -	106 Sg -	107 Bh -	108 Hs -	109 Mt -	110 Ds -	111 Rg -								

57 La 138.91	58 Ce 140.12	59 Pr 140.91	60 Nd 144.24	61 Pm -	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
89 Ac -	90 Th 232.04	91 Pa 231.04	92 U 238.03	93 Np -	94 Pu -	95 Am -	96 Cm -	97 Bk -	98 Cf -	99 Es -	100 Fm -	101 Md -	102 No -	103 Lr -

Таблиця розчинності неорганічних сполук

Іони	Br ⁻	CH ₃ COO ⁻	CN ⁻	CO ₃ ²⁻	Cl ⁻	F ⁻	I ⁻	NO ₃ ⁻	OH ⁻	PO ₄ ³⁻	S ²⁻	SO ₄ ²⁻
Ag ⁺	Н	М	Н	Н	Н	Р	Н	Р	-	Н	Н	М
Al ³⁺	Р	+	?	-	Р	М	Р	Р	Н	Н	+	Р
Ba ²⁺	Р	Р	Р	Н	Р	М	Р	Р	Р	Н	Р	Н
Be ²⁺	Р	+	?	+	Р	Р	Р	Р	Н	Н	+	Р
Ca ²⁺	Р	Р	Р	Н	Р	Н	Р	Р	М	Н	М	М
Cd ²⁺	Р	Р	М	+	Р	Р	Р	Р	Н	Н	Н	Р
Co ²⁺	Р	Р	Н	+	Р	Р	Р	Р	Н	Н	Н	Р
Cr ³⁺	Р	+	Н	-	Р	М	Н	Р	Н	Н	+	Р
Cs ⁺	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р
Cu ²⁺	Р	Р	Н	+	Р	Р	-	Р	Н	Н	Н	Р
Fe ²⁺	Р	Р	Н	+	Р	М	Р	Р	Н	Н	Н	Р
Fe ³⁺	Р	-	-	-	Р	Н	-	Р	Н	Н	-	Р
Hg ²⁺	М	Р	Р	-	Р	+	Н	+	-	Н	Н	+
Hg ₂ ²⁺	Н	М	-	Н	Н	М	Н	+	-	Н	-	Н
K ⁺	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р
Li ⁺	Р	Р	Р	Р	Р	Н	Р	Р	Р	М	Р	Р
Mg ²⁺	Р	Р	Р	М	Р	Н	Р	Р	Н	Н	Н	Р
Mn ²⁺	Р	Р	Н	+	Р	Р	Р	Р	Н	Н	Н	Р
NH ₄ ⁺	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	-	+	Р
Na ⁺	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р
Ni ²⁺	Р	Р	Н	+	Р	Р	Р	Р	Н	Н	Н	Р
Pb ²⁺	М	Р	Н	+	М	М	М	Р	Н	Н	Н	Н
Rb ⁺	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р
Sn ²⁺	+	+	-	-	+	М	М	+	Н	Н	Н	Р
Sr ²⁺	Р	Р	Р	Н	Р	Р	Р	Р	М	Н	Р	Н
Tl ⁺	М	Р	Р	Р	М	Н	Н	Р	Р	М	Н	М
Zn ²⁺	Р	Р	Н	+	Р	Р	Р	Р	Н	Н	Н	Р

Позначення: Р – добре розчинний; М – малорозчинний; Н – практично нерозчинний; + – повністю реагує з водою чи не випадає з водного розчину; - – не існує, ? – дані про розчинність відсутні.