

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2/192.00.1/Б/ОК8- _1_2024
	Випуск _1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 1

### ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою  
Державного університету  
«Житомирська політехніка»  
Протокол №6 від 27.11.2024

### МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

для виконання та оформлення лабораторних робіт та самостійної  
роботи з навчальної дисципліни

#### «ХІМІЯ»

для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «бакалавр»  
спеціальності

192 «Будівництво та цивільна інженерія»

освітньо-професійна програма «Промислове та цивільне будівництво»  
факультет гірничої справи, природокористування та будівництва  
кафедра гірничих технологій та будівництва ім. проф. Бакка М.Т

Розглянуто і рекомендовано  
на засіданні кафедри наук про Землю  
протокол від «26» серпня 2024 р. № 8

Розробник: к.т.н., доцент кафедри наук про Землю СКИБА Галина

Житомир  
2024

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ ОК8-_1_2024
	<i>Випуск_1</i>	<i>Зміни 0</i>	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 88/ 2</i>

Методичні рекомендації для написання та оформлення лабораторних робіт з дисципліни з «Хімія» для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» освітньо-професійна програма «Промислове та цивільне будівництво». Житомир: Державний університет «Житомирська політехніка», 2024. 88 с.

Наведено теоретичні основи та експериментальні частини лабораторних робіт, що відповідають освітнім програмам підготовки фахівців інженерного спрямування, загальні вказівки до виконання та оформлення лабораторних робіт з дисциплін «Хімія» а також завдання для самостійної роботи.

Рецензенти:

к. п. н., доцент кафедри наук про Землю ГЕРАСИМЧУК Олена;  
к. т. н., доцент кафедри гірничих технологій та будівництва ім. проф.  
Бакка М.Т ШАМРАЙ Володимир

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ ОК8-_1_2024
	Випуск _1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 3

## ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА .....	4
Лабораторна робота №1. Основні класи неорганічних сполук.....	6
Лабораторна робота №2. Будова атомів та періодичний закон елементів Д.І. Менделєєва.....	15
Лабораторна робота №3. Хімічний зв'язок і будова речовин.....	17
Лабораторна робота №4. Енергетика хімічних реакцій.....	21
Лабораторна робота №5. Хімічна кінетика і рівновага.....	26
Лабораторна робота №6. Розчини. Приготування розчинів.....	36
Лабораторна робота №7. Розчини електролітів.....	45
Лабораторна робота №8. Окисно-відновні реакції.....	54
Лабораторна робота № 9. Електрохімічні процеси.....	60
Лабораторна робота №10. Будова і властивості комплексних сполук.....	68
ДОДАТКИ .....	76

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ ОК8- 1_2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 4

## ПЕРЕДМОВА

Лабораторні роботи є важливою частиною навчального процесу для студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія». Вивчення хімії в контексті будівельних дисциплін дає можливість краще зрозуміти властивості матеріалів, реакції між речовинами та вплив хімічних процесів на довговічність і надійність конструкцій.

Ця методична розробка має на меті ознайомити студентів з основними хімічними процесами, які відіграють важливу роль у будівництві. Виконання лабораторних робіт дозволить закріпити теоретичні знання на практиці, розвинути навички проведення експериментів, аналізу отриманих даних та формування обґрунтованих висновків.

В ході лабораторних занять студенти дізнаються про такі аспекти, як корозія металів, властивості цементів, бетонів та інших будівельних матеріалів, а також екологічні питання, пов'язані з хімічними процесами в будівництві.

Методичні вказівки містять чіткі інструкції щодо виконання кожної роботи, список необхідних реактивів і обладнання, а також рекомендації щодо безпеки в хімічній лабораторії. Особлива увага приділяється правильному дотриманню техніки безпеки під час роботи з хімічними речовинами та обладнанням.

Вивчення хімії через лабораторні заняття сприятиме розвитку критичного мислення, системного підходу до вирішення завдань і підготовці висококваліфікованих фахівців у галузі будівництва та цивільної інженерії.

Дані методичні рекомендації є спробою втілення компетентнісного підходу до проведення лабораторних занять і самостійної роботи студентів у процесі вивчення ними дисципліни «Хімія». Вони роз'яснюють сутність компетентнісного підходу до навчання та умови його впровадження у навчальний процес.

В результаті студенти отримують знання, уміння та навички, які дозволяють дати попередню оцінку можливого екологічного збитку від виробничих процесів, розробити способи його запобігання, а отже в подальшій професійній діяльності звести його до мінімуму.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ ОК8-_1_2024
	Випуск _1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 5

## Мета та завдання навчальної дисципліни

**Метою вивчення навчальної дисципліни** є одержання знань основ хімії які необхідні для плідної діяльності сучасного інженера у будівництві, яка пов'язана з одержанням, переробкою та застосуванням будівельних матеріалів а виробів. Даний курс є комплексним і включає основи загальної, неорганічної, кристалохімії. Все це направлено на цільову фундаментальну підготовку з хімії інженерів-будівельників.

**Завданнями навчальної дисципліни** є:

- вивчення будови і властивостей неорганічних речовин, мінералів, гірських порід, властивостей матеріалів;
- вивчення реакції між речовинами та вплив хімічних процесів на довговічність і надійність конструкцій;
- вивчення основ технології виробництва будівельних матеріалів. Ці знання необхідні для осмислення тих технологічних процесів, які протікають при виробництві будівельних матеріалів, при реалізації будівельних проектів.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен **знати** :

- основні закони і концепції хімії;
- сучасне представлення про будову речовини;
- основні термодинамічні і кінетичні закономірності хімічних процесів;
- властивості хімічних елементів, сполук і їх взаємоперетворення.

**вміти**: - виконувати підготовчі і основні операції при проведенні хімічного експерименту;

- користуватися сучасним хімічним обладнанням для досліджень якісного і кількісного складу примірників;
- встановлювати взаємозв'язок складу, будови, властивостей і застосування неорганічних сполук;
- вміти проводити генетичний зв'язок між неорганічними речовинами;
- проводити розрахунки, статистичну і графічну обробку результатів досліджень.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ ОК8-_1_2024
	Випуск _1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 6

## Лабораторна робота № 1

## Основні класи неорганічних сполук

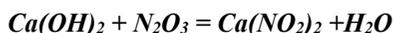
### Короткі теоретичні відомості

Найважливішими класами неорганічних сполук за функціональними ознаками є оксиди, кислоти, основи, амфотерні гідроксиди, солі.

Оксидами називаються бінарні оксигеновмісні сполуки, в яких Оксиген виявляє негативний ступінь окиснення. Отже, до оксидів належать майже всі бінарні сполуки елементів з Оксигеном, крім сполуки Оксигену з Флуором OF<sub>2</sub>. Ця сполука відноситься до фторидів, оскільки Оксиген в ній має ступінь окиснення +2. За хімічними властивостями оксиди поділяються на солетворні і несолетворні. Солетворні в свою чергу поділяються на основні, кислотні та амфотерні.

Основними оксидами називаються оксиди, гідрати яких є основними. До основних оксидів належать оксиди металів (не всі): Li<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, MnO, CrO, BaO, CaO та інші. Основні оксиди здатні реагувати з ангідридами кислот та кислотами і не реагують з основними оксидами та основами.

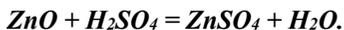
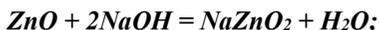
Кислотними оксидами називаються оксиди, які з водою утворюють кислоти. Тому кислотні оксиди часто називають ангідридами кислот. До кислотних оксидів належать V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, CrO<sub>3</sub>, MnO<sub>3</sub>, SO<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub> тощо. Кислотні оксиди не взаємодіють між собою і з кислотами, вступають у реакції з основними оксидами та основами. Наприклад:



В результаті таких реакцій утворюються солі.

Амфотерні оксиди одночасно виявляють властивості кислотних і основних оксидів: у разі дії на них кислот або ангідридів вони ведуть себе як основні, а в разі дії основних оксидів або основ як кислотні. Наприклад, амфотерний оксид цинку ZnO з гідроксидом Na і сульфатною кислотою реагує за рівняннями реакцій:

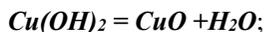
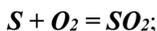
Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ OK8-_1_2024
	Випуск _1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 7



До амфотерних оксидів належать:  $Al_2O_3$ ,  $ZnO$ ,  $Cr_2O_3$ ,  $BeO$ ,  $SnO$ ,  $SnO_2$  тощо. Амфотерні оксиди у воді не розчиняються.

Якщо метал утворює декілька оксидів, то основними, як правило, бувають ті, що виявляють нижчий ступінь окиснення металу. Оксиди з проміжними ступенями окиснення металів здебільшого амфотерні, а оксиди металів із ступенями окиснення 5,6,7 майже завжди кислотні.

Найпростіші оксиди добувають безпосереднім окисненням елементів киснем, термічним розкладанням основ, кислот і солей, які містять Оксиген. Прикладами можуть бути такі реакції:

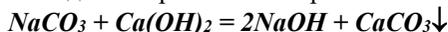


Існує декілька номенклатурних правил оксидів. Якщо елемент утворює кілька оксидів, то в їх назвах, згідно з номенклатурними правилами ІЮПАК, зазначають ступінь окиснення електропозитивного елемента римською цифрою в дужках після назви сполуки. Наприклад:  $FeO$  - ферум (II) оксид,  $Fe_2O_3$  - ферум (III) оксид,  $CuO$  - купрум (II) оксид,  $Cu_2O$  - купрум (I) оксид.

Основами називаються сполуки, до складу яких входять атом металу і гідроксильні групи –  $OH$ .

Число гідроксильних груп у молекулі основи відповідає валентності металу і визначає кислотність основи. Наприклад,  $NaOH$  – однокислотна основа;  $Ca(OH)_2$  – двокислотна основа.

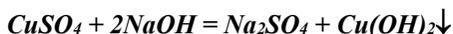
Добувають основи декількома способами. Розчинні основи (луги) у виробництві добувають електролізом водних розчинів їх солей ( $NaCl$ ,  $KCl$  тощо), а також дією на розчини їх карбонатів гашеним вапном:



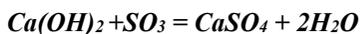
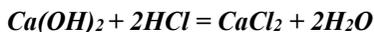
Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ ОК8-_1_2024
	Випуск _1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 8

У лабораторних умовах луги можна добути також дією на воду лужними і лужноземельними металами або їхніми оксидами.

Нерозчинні основи добувають дією розчинних основ на солі того металу, основу якого потрібно добути.



Основи взаємодіють з кислотами та кислотними оксидами з утворенням солей:



За номенклатурними правилами ІЮПАК речовини, які містять ОН-групи називаються гідроксидами. Якщо елемент утворює декілька гідроксидів, то в його назві позначають ступінь окиснення металу римською цифрою в дужках після назви гідроксиду:  $\text{Cu(OH)}_2$  - купрум (II) гідроксид,  $\text{Fe(OH)}_2$  - ферум (II) гідроксид,  $\text{Fe(OH)}_3$  - ферум (III) гідроксид. Існують також інші назви гідроксидів:  $\text{Fe(OH)}_2$  - ферум дигідроксид тощо.

Кислотами називаються сполуки, що містять у молекулах атоми Гідрогену, здатні заміщуватись на атоми металу з утворенням солей. За кількістю таких атомів Гідрогену у кислоті визначається основність кислоти:  $\text{HCl}$  - одноосновна кислота,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  - двохосновна кислота,  $\text{H}_3\text{PO}_4$  - трьохосновна тощо.

За міжнародною номенклатурою назви безосигеновмісних кислот складаються з назви елемента чи групи атомів, які утворюють кислоту та слова „гідроген” з додаванням суфікса –ід або –ид.  $\text{HCl}$  – гідроген хлорид,  $\text{HBr}$  – гідроген бромід,  $\text{H}_2\text{S}$  – дигідроген сульфід.

За міжнародною номенклатурою назва оксигеновмісних кислот складається за наступною схемою: при утворенні назви кислоти до кореня латинського найменування елемента додають:

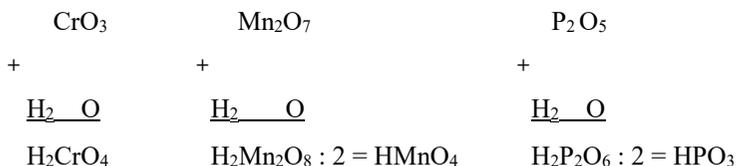
- при найменшому ступені окиснення додається префікс гіпо- та суфікс –іт або -ит;
- при дещо більшому ступені окиснення –ит або -іт;
- при вищому ступені окиснення – суфікс -ат.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ ОК8-_1_2024
	Випуск _1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/9

Наприклад:

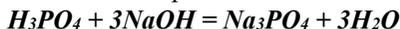
$\text{HNO}_2$  – нітритна кислота;       $\text{HNO}_3$  – нітратна кислота;  
 $\text{H}_2\text{SO}_4$  – сульфатна кислота;       $\text{H}_2\text{SO}_3$  – сульфітна кислота;  
 $\text{H}_2\text{CrO}_4$  – хроматна кислота;       $\text{H}_2\text{CO}_3$  – карбонатна кислота;

Для складання формули кислоти із відповідного ангідриду (оксиду), необхідно до формули ангідриду додати воду:

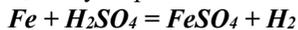


Хімічні властивості кислот.

1. Кислоти реагують з основами, вступаючи в реакцію нейтралізації, і з основними оксидами. Наприклад:



2. Водні розчини розбавлених кислот (крім нітратної) реагують з металами, які стоять в ряду активностей лівіше гідрогену, з витісненням  $\text{H}_2$  та з утворенням солей. Наприклад:



3. З концентрованою  $\text{H}_2\text{SO}_4$  та  $\text{HNO}_3$  (розбавленою та концентрованою) метали взаємодіють без виділення  $\text{H}_2$ . Наприклад:



4. Розчини кислот кислі на смак, замінюють колір індикаторів: синього лакмусу – на червоний, метилоранжевого – на червоний.

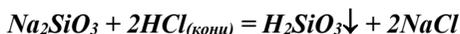
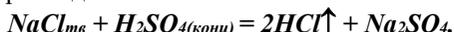
Способи одержання кислот.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ OK8-_1_2024
	Випуск _1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 10

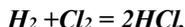
1. Взаємодія ангідридів кислот з водою. Наприклад:



2. Взаємодія солей з кислотами. Діючи на розчинні солі сильними кислотами (як правило сульфатною), одержують слабкі чи летючі кислоти. Наприклад:



3. Синтез із простих речовин. Цим способом одержують гідроген елементні сполуки, водні розчини яких являються кислотами. Наприклад:



Солі – це складні речовини, до складу яких завжди входять атоми металу (катіони) і кислотні залишки (аніони).

Солі діляться на середні, кислі, основні, подвійні та змішані.

Середні солі являються продуктами повного заміщення атомів гідрогену в кислоті на атоми металу.

При назвах солей найбільш широко використовується міжнародна номенклатура, згідно якої назви середніх солей складаються із назви металу та кислотного залишку. Якщо метал має змінну валентність, так її вказують у дужках римськими цифрами після назви металу. Наприклад:  $CaSO_4$  – кальцій сульфат;  $Fe_2(SO_4)_3$  – ферум (III) сульфат тощо.

Кислі солі є продуктами неповного заміщення атомів гідрогену в багатоосновній кислоті на атоми металу. Одноосновні кислоти ( $HCl$ ,  $HNO_3$  та інші) містять тільки один атом гідрогену, здатний заміщуватись на метал. Тому такі кислоти кислих солей не утворюють. Приклади кислих солей та їх назв:  $KHSO_4$  –калій гідроген сульфат;  $KH_2PO_4$  – калій дигідрогенфосфат,  $K_2HPO_4$  – дикалій гідроген фосфат тощо.

Основні солі є продуктами неповного заміщення гідроксильних груп в основах на кислотні залишки. Однокислотні основи ( $NaOH$ ,  $KOH$ ) містять лише одну гідроксильну групу, яка може заміщуватись

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ OK8-_1_2024
	Випуск _1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 11

на кислотний залишок. Тому такі основи основних солей не утворюють.

Заряд катіону основної солі дорівнює алгебраїчній сумі зарядів металу та незаміщених гідроксильних груп. Наприклад:  $Mg(OH)_2$  – основа,  $MgOH^+$  – катіон.  $[Mg^{+2}(OH)]^{-1}$

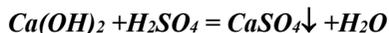
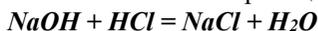
Приклади основних солей та їх назв:  $Fe(OH)_2Cl$  – ферум дигідроксохлорид,  $FeOHCl_2$  – ферум гідроксохлорид,  $(MgOH)_2SO_4$  – димагній дигідроксосульфат і т. д.

Подвійні солі містять два катіони різних металів, зв'язані з однаковим кислотним залишком. Їх формули записують або у вигляді двох солей через крапку:  $K_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3$  або, разом  $KAl(SO_4)_2$ .

Змішані солі містять два аніони різних кислот та катіон одного металу. Наприклад:  $CaCl_2$  –  $CaOCl_2$  або  $CaOCl_2$ .

#### Способи одержання солей.

1. Взаємодія кислот з основами. Наприклад:



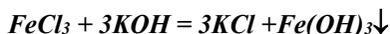
2. Взаємодія кислот з солями. Для здійснення цієї реакції необхідно, щоб сіль, яка утворюється випадала в осад, або щоб нова кислота була більше летючою, ніж вихідна. Наприклад:



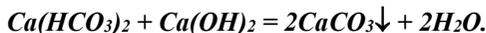
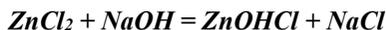
При дії надлишку кислоти на середні солі цим методом одержують кислі солі, переводять основні солі в середні. Наприклад:



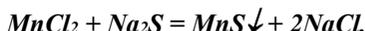
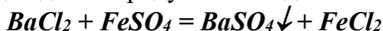
3. Взаємодія основ з солями. Цим методом одержують середні солі, інші основи, основні солі, переводять кислі солі в основні. Наприклад:



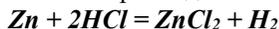
Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ OK8-_1_2024
	Випуск _1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 12



4. Взаємодія між двома солями. Ці реакції протікають до кінця в тому випадку, якщо один із продуктів випадає в осад. Наприклад:



5. Взаємодією металів з кислотами. Метали, які стоять в ряду активностей лівіше гідрогену з розбавленими кислотами реагують з утворенням солей. Наприклад:



### Експериментальна частина

**Прилади та реактиви:** сірка, магнієві ошурки, металічний цинк, розчин лакмусу  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ( $\rho = 1,84$ ), розчини:  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (1:5),  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ; дистильована вода, хімічні стакани (100 - 200мл), колба (300мл), пробірки, лійка, фарфорова чашка, фільтрувальний папір, апарат Кіппа, технохімічні терези, набір наважків, пальник, сушильна шафа.

**Дослід №1 Добування оксидів  $\text{SO}_2$ ,  $\text{MgO}$ , безпосереднім окисненням сірки та магнію.**

#### Порядок виконання роботи:

Помістіть на металеву ложечку невелику кількість сірки та нагрійте в полум'ї газового пальника. Коли сірка загориться внесіть в склянку з дистильованою водою, до якої попередньо додайте краплю індикатора метил-оранжевого, та збовтайте. Такий самий дослід проробіть з магнієвими ошурками, проте в колбу з дистильованою водою попередньо додайте краплю розчину індикатора фенол-фталеїну.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ ОК8-_1_2024
	Випуск _1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 13

Запис даних досліджу. Напишіть рівняння реакцій горіння сірки та магнію, рівняння розчинення продуктів згорання у воді. Які речовини утворились? Назвіть їх. Як змінився колір індикатора? Зробіть висновок про характер утворених оксидів.

*Дослід №2*     **Добування купрум (II) оксиду розкладанням купрум (II) гідроксиду.**

Порядок виконання роботи:

Діючи на розчин купрум (II) сульфату надлишком лугу, добудьте купрум (II) гідроксид. Нагрійте його. Спостерігайте за зміною кольору.

Запис даних досліджу. Напишіть рівняння реакцій одержання купрум (II)гідроксиду та його розкладу. Поясніть зміну кольору осаду.

*Дослід №3*     **Взаємодія натрію з водою**

Порядок виконання роботи:

В кристалізатор налийте до половини водопровідної води, додайте 1-2 краплі індикатора фенол-фталеїну. Візьміть пінцетом із бюкса кусочок металічного натрію величиною з половину горошини, просушіть його фільтрувальним папером і помістіть у воду. Ведіть спостереження тих змін, які відбуваються під час реакції.

Запис даних досліджу. Напишіть рівняння реакції Взаємодії натрію з водою. Поясніть зміну кольору води в кристалізаторі.

*Дослід №6*     **Одержання малорозчинної основи алюміній гідроксиду та вивчення його хімічного характеру.**

Порядок виконання роботи:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ OK8-_1_2024
	Випуск _1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 14

В дві пробірки помістити по чотири краплі розчину алюміній сульфату і додати по чотири краплі розчину амоній гідроксиду. Спостерігайте утворення осаду. В одну пробірку з утвореним осадом додайте чотири краплі розчину сульфатної кислоти, а в іншу чотири краплі розчину натрій гідроксиду. Спостерігайте зміни, що відбуваються.

#### Запис даних досліджу.

Напишіть рівняння реакцій, які спостерігали, поясніть зміни. Зробіть висновок про хімічний характер добутого алюміній гідроксиду.

#### Завдання для самоконтроля

1. Які оксиди можна добути нагріванням таких речовин:  $H_2SiO_3$ ,  $Pb(NO_3)_2$ ,  $Fe(OH)_3$ ,  $CaCO_3$ ? Напишіть рівняння реакцій і назвіть хімічні сполуки.
2. З якими з перелічених нижче оксидів реагуватиме соляна кислота:  $SiO_2$ ,  $CuO$ ,  $SO_2$ ,  $F_2O_3$ ,  $P_2O_5$ ,  $CO_2$ ,  $ZnO$ ,  $K_2O$ ? Напишіть можливі рівняння реакцій і назвіть всі речовини.
3. Чи можуть одночасно бути в розчині  $NaOH$ ;  $KOH$ ;  $NaOH$ ;  $CO_2$ ;  $Ca(OH)_2$ ;  $Ba(OH)_2$ ;  $KOH$ ;  $P_2O_5$ ;  $Ca(OH)_2$ ;  $CO_2$ ;  $KOH$ ;  $Al(OH)_3$ ? Поясніть свої висновки.
4. Які з наведених нижче гідроксидів розчиняються в лугах:  $Ca(OH)_2$ ,  $Sn(OH)_2$ ,  $Fe(OH)_3$ ,  $Fe(OH)_2$ ,  $Mg(OH)_2$ ,  $Al(OH)_3$ ,  $Zn(OH)_2$ . Напишіть рівняння можливих реакцій і назвіть продукти реакцій.
5. Які кислоти можуть утворитися при безпосередній взаємодії з водою оксидів, назвіть їх:  $P_2O_5$ ,  $CO_2$ ,  $CrO_3$ ,  $SO_2$ ?
6. Напишіть рівняння таких реакцій і назвіть продукти реакцій за міжнародною номенклатурою:
 

1) $Ag_2O + HNO_3 = \dots$ ;	8) $NaOH + CH_3COOH = \dots$ ;
2) $Cr_2O_3 + H_2SO_4 = \dots$ ;	9) $Al_2O_3 + H_2SO_4 = \dots$ ;
3) $Zn + AgNO_3 = \dots$ ;	10) $Mg(OH)_2 + P_2O_5 = \dots$ ;
4) $Ca(OH)_2 + P_2O_5 = \dots$ ;	11) $NaOH + Al_2O_3 = \dots$ ;
5) $CaO + SiO_2 = \dots$ ;	12) $Zn(OH)_2 + NaOH = \dots$ ;
6) $Pb(NO_3)_2 + ZnSO_4 = \dots$ ;	13) $CaCl_2 + Na_2CO_3 = \dots$ ;
7) $Al(SO_4)_3 + Na_3PO_4 = \dots$ ;	14) $Al(SO_4)_3 + Na_3PO_4 = \dots$ .
7. За допомогою яких реакцій можна добути  $CuCl_2$ , виходячи із  $Cu(NO_3)_2$ ? Напишіть відповідні рівняння реакцій.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ ОК8-_1_2024
	Випуск _1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 15

Лабораторна робота № 2  
(семінарське заняття)

**Будова атомів та періодичний  
закон елементів Д.І. Менделєєва**

**Питання та задачі для семінару і самоконтроля**

1. Що таке електронна хмара, орбіталь? Привести характеристику та можливі значення квантових чисел.
2. Сформулюйте правила квантування електронів: принцип Паулі, правила Хунда, І-ше та ІІ-ге правила Клечковського. Який порядок заповнення електронами рівнів та підрівнів в атомах?
3. Який підрівень заповнюється в атомах після заповнення підрівня  $5p$ ? Після заповнення підрівня  $5d$ ?
4. Що таке період? Група?, головна та побічна підгрупа? S-, p-, d-, f- елементи?
5. Представити формулою та схемою будову електронних оболонок атомів  $E_7$ ,  $E_{16}$ ,  $E_{25}$ .
6. Зовнішній електронний рівень атому елемента має будову ...  $3S^2 3p^1$ . Визначити групу, підгрупу, період, порядковий номер та назву елемента. Привести електронну формулу та графічну схему атому даного елемента в нормальному та збудженому стані.
7. Електронна будова атома елемента  $1S^2 2S^2 2p^6$ . Які із приведених частинок вона відповідає:  $Al^{3+}$ ,  $F^0$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^0$ ? Які частинки називають ізоелектронними? Привести електронні формули та графічні схеми ізоелектронних частинок.
8. Чому Оксиген та Сульфур, будучи повними електронними аналогами, знаходячись в одній і тій же групі та підгрупі періодичної системи проявляють різну валентність: у Сульфурі 2, 4, 6 у Оксигену -2. Відповідь обґрунтуйте, виходячи із будови атомів цих елементів.
9. Значення перших потенціалів іонізації елементів І групи періодичної системи елементів відповідно дорівнюють(в В):  $Li - 5,39; Cs - 3,9; Cu - 7,7; Ag - 9,2$ . Вказати: а) у елементів якої підгрупи першої групи металічні властивості більше виражені; б) чим пояснити різницю в зміні значень потенціалів іонізації в підгрупах.
10. Що спільного і яка різниця в електронній будові атомів  $S$  і  $Cr$ ? Відповідь обґрунтувати, виходячи з електронної будови атомів елементів

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ OK8-_1_2024
	Випуск_1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 16

11. Що таке енергія іонізації атому? В яких одиницях вона вимірюється? Як змінюються металічні (відновні) властивості *s*- та *p*-елементів в групах періодичної системи із збільшенням порядкового номеру? Виходячи із величини енергії іонізації, вказати який із приведених елементів: **Be, Mg, Ca, Sr, Ba** проявляють найбільш виражені металічні властивості?
12. Що таке спорідненість до електрону? В яких одиницях вона виражається? Як змінюється неметалічна активність в рядах елементів: а) **C, N, OF** ; б) **F, Cl, Br, I**. Із збільшенням порядкового номеру? Відповідь обґрунтуйте будовою атомів відповідних елементів.
13. Що таке електронегативність? Як змінюється електронегативність елементів в періодах та групах періодичної системи. Вказати як в рядах елементів: а) **B, C, N, OF**, та б) **O, S, Se, Tl** - змінюються їх неметалічні властивості (див. табл.).

Таблиця 1

Елемент	I, В	E, eВ	EH	Елемент	I, В	E, eВ	EH
<b>H</b>	13,6	0,75	2,1	<b>Mg</b>	7,64	-0,32	1,2
<b>He</b>	24,58	-0,22	-	<b>Ca</b>	6,11	-0,6	1,04
<b>Li</b>	5,39	0,59	0,98	<b>Sr</b>	5,69	0,21	0,99
<b>Be</b>	9,32	-0,19	1,5	<b>Ba</b>	5,21	-	-
<b>B</b>	8,31	0,33	2,0	<b>S</b>	10,36	2,15	2,6
<b>C</b>	11,26	1,24	2,5	<b>Sc</b>	9,75	-	2,5
<b>N</b>	14,53	-0,21	3,07	<b>Tl</b>	9,01	-	2,1
<b>O</b>	13,61	1,47	3,50	<b>Cl</b>	13,01	3,7	3,0
<b>F</b>	17,42	3,52	4,0	<b>Br</b>	11,84	3,51	2,8
<b>Ne</b>	21,56	-0,57	-	<b>I</b>	10,45	3,24	2,6
<b>Na</b>	5,14	0,34	0,93	<b>K</b>	4,34	0,52	0,91

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ OK8-_1_2024
	Випуск _1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 17

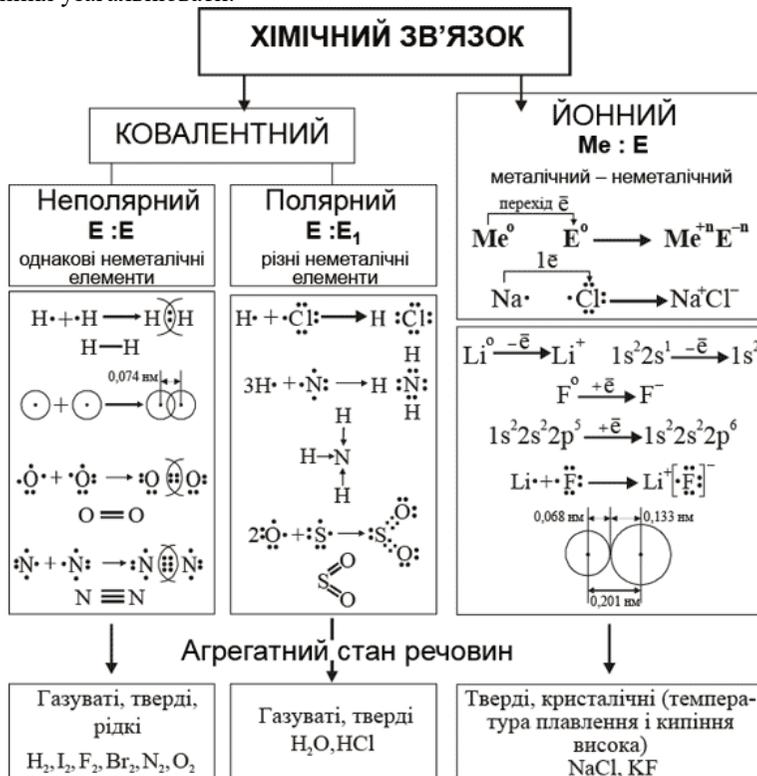
## Лабораторна робота №3

## Хімічний зв'язок і будова речовин

### Короткі теоретичні відомості

#### Завдання заняття:

- повторити основні види хімічного зв'язку, властивості і механізм їх утворення;
- розвивати в слухачів уміння і навички в складанні схем утворення різних видів хімічного зв'язку;
- виховувати організованість, самостійність, комунікативні якості, вміння узагальнювати.



#### Приклади розв'язання задач

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ OK8-_1_2024
	Випуск _1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 18

**Приклад 1.** Охарактеризувати механізм утворення іонного зв'язку.

**Рішення.** Зв'язок такого типу здійснюється внаслідок взаємного електростатичного притягання протилежно заряджених іонів. Йони можуть бути простими, тобто складатися з атому певного хімічного елемента (наприклад, катіони  $Na^+$ ,  $K^+$ , аніони  $F^-$ ,  $Cl^-$ ) чи складними, тобто складатися з атомів двох чи більше хімічних елементів (наприклад, катіон  $NH_4^+$  аніони  $OH^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ).

На відміну від ковалентного зв'язку іонному зв'язку не властива напрямленість. Це пояснюється тим, що електричне поле його має сферичну симетрію, тобто зменшується з відстанню за одним і тим же законом у будь-якому напрямку. Тому взаємодія між іонами здійснюється однаково незалежно від напрямку.

Два різноіменних іони, що притягуються один до одного, зберігають здатність електростатично взаємодіяти з іншими іонами. У цьому полягає ще одна різниця між іонним та ковалентним типами зв'язку: іонному зв'язку не властива насиченість. Відсутність у іонного зв'язку напрямленості та насиченості зумовлює схильність іонних молекул до асоціації, тобто до їх сполучення.

**Приклад 2.** Описати схему утворення зв'язку в молекулі етилену  $C_2H_4$ .

**Рішення.** В цій молекулі атом Карбону знаходиться також в збудженому стані.

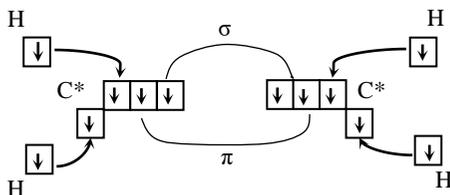
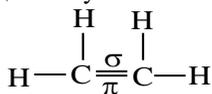


Рис. 1. Схема утворення зв'язку в молекулі етилену

В атомі Карбону гібридизують три орбіталі одна  $s$  - орбіталь і дві з трьох  $p$  - орбіталі, а одна  $p$  - орбіталь в гібридизації участі не бере, в

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ ОК8-_1_2024
	Випуск _1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 19

результаті їх перекривання утворюється  $\pi$  - зв'язок. Таким чином, утворюються три гібридні орбіталі, які розміщуються в площині під кутом  $120^\circ$  і  $\pi$  - зв'язок реалізує четверта орбіталь, яка утворює дві області перекривання над і під площиною (рис. 2).

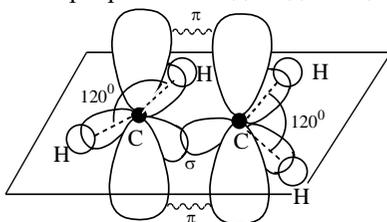


Рис. 2. Геометрична будова молекули етилену

### Питання для семінару

1. Що таке електронегативність?
2. Які типи хімічного зв'язку вам відомі? Наведіть приклади сполук, що утворені кожним типом хімічного зв'язку.
3. Які механізми утворення ковалентного неполярного, ковалентного полярного та йонного зв'язків?
4. Які типи кристалічних ґраток вам відомі? Чим вони відрізняються одна від одної? Як властивості речовини залежать від її будови?
5. Що таке ступінь окиснення? Як за хімічною формулою сполуки визначити ступені окиснення атомів елементів? Як за ступенями окиснення атомів елементів скласти хімічну формулу сполуки?
6. Електрони якого електронного рівня приймають участь в утворенні хімічного зв'язку?
7. Охарактеризувати утворення та властивості водневого зв'язку.
8. Охарактеризувати донорно-акцепторний механізм утворення ковалентного зв'язку.
9. Охарактеризувати властивості ковалентного зв'язку.
10. Дати характеристику металевому зв'язку.
11. Якими способами може утворюватись ковалентний зв'язок?

### Завдання для самоконтроля.

1. Вкажіть тип хімічного зв'язку в молекулі речовини, формула якої: А) ZnO; Б) H<sub>2</sub>S. Поясніть, чому?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ ОК8-_1_2024
	Випуск _1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 20

2. Вкажіть формулу сполуки в якій: А) Сульфур проявляє ступінь окислення -2: а) S; б) SO<sub>2</sub>; в) H<sub>2</sub>S; Б) Карбон проявляє ступінь +2: а) C; б) CO; в) CO<sub>2</sub>.

3. Яку кристалічну ґратку має: А) натрій хлорид; Б) хлор? Опишіть ці ґратки та властивості речовин.

4. Серед зазначених формул речовин знайти сполуки з йонним зв'язком: а) KBr; б) Br<sub>2</sub>; в) SO<sub>3</sub>. Пояснити, чому?

5. Серед зазначених формул речовин знайти сполуки з ковалентним полярним зв'язком: а) HCl; б) NaCl; в) Cl<sub>2</sub>. Пояснити, чому?

6. Що таке ступінь окиснення? В якій сполуці ступінь окиснення Карбону найвищий: а) CO; б) CO<sub>2</sub>; в) K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>? Привести розрахунки.

7. Правила обчислення ступеней окиснення. В якій сполуці ступінь окиснення Хлору найнижчий: а) KCl; б) KClO<sub>3</sub>; в) Cl<sub>2</sub>?

8. Значити ступінь окиснення елементів у сполуках формули яких: а) HF, Mn<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, CH<sub>4</sub>, CaH<sub>2</sub>, HClO<sub>3</sub>, CO, O<sub>2</sub>; б) Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CS<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, N<sub>2</sub>, CF<sub>4</sub>, SO<sub>3</sub>.

9. Визначити тип хімічного зв'язку у сполуках формули яких: а) NH<sub>3</sub>, KBr, Cl<sub>2</sub>. Для KBr вказати механізм утворення зв'язку.

10. Визначити тип хімічного зв'язку у сполуках формули яких: BaO, PH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>. Для PH<sub>3</sub> вказати механізм утворення зв'язку.

11. Визначити тип хімічного зв'язку у сполуках утворених у результаті: а) горіння сірки; б) взаємодії магнію з сульфатною кислотою. Показати механізм утворення зв'язку в продуктах реакції.

12. Визначити тип хімічного зв'язку у сполуках утворених у результаті: а) горіння фосфору; б) взаємодії цинку з хлоридною кислотою. Показати механізм утворення зв'язку в продуктах реакції.

13. Визначте тип хімічного зв'язку в сполуках, хімічні формули яких: K<sub>2</sub>S, N<sub>2</sub>, NaCl, SiO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>, CaO, Cl<sub>2</sub>. Поясність, чому?

14. Визначте тип хімічного зв'язку в сполуках, хімічні формули яких: H<sub>2</sub>O, SO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, KCl, SO<sub>3</sub>, MgCl<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Na<sub>2</sub>O. Поясність, чому?

15. Визначте тип хімічного зв'язку в сполуках, хімічні формули яких: Br<sub>2</sub>, I<sub>2</sub>, KBr, CO, F<sub>2</sub>, KF, NO, BaO, NO<sub>2</sub>. Поясність, чому?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ OK8-_1_2024
	Випуск_1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 21

## Лабораторна робота № 4

## Енергетика хімічних реакцій

### Короткі теоретичні відомості

Хімічні реакції, процеси розчинення, зміни агрегатного стану речовин супроводжуються виділенням чи поглинанням тепла.

Тепловий ефект розчинення кристалічної речовини у воді або в іншому розчиннику складається з ендотермічного ефекту руйнування кристалічної ґратки та екзотермічного ефекту гідратації (в загальному випадку – сольватації) іонів. Розчинення кристалогідратів також супроводжується поглинанням теплоти.

*Інтегральною теплотою розчинення* називається кількість теплоти, яка виділяється або поглинається при розчиненні одного моля речовини в такій кількості розчинника, при якій утворюється розчин певної концентрації. Інтегральна теплота розчинення залежить від концентрації одержаного розчину та температури розчинення.

Теплові ефекти визначають за допомогою калориметрів. Найпростіший калориметр – це склянка, яка повністю або частково теплоізолювана від навколишнього середовища. В склянку поміщається термометр та скляна паличка-мішалка.

Тепловий ефект процесу, який проходить в калориметрі, можна розрахувати за допомогою рівняння:

$$\Delta H = -C_k \cdot \Delta t, \quad (5.1)$$

де  $C_k$  – теплоємність калориметра;

$\Delta t$  – зміна температури, що сталася в результаті розчинення.

Теплоємність калориметра розраховується як сума теплоємностей його окремих частин, тобто склянки, мішалки, термометра та розчину.

Зміна температури в результаті процесу визначається за графіком температура – час (рис. 6), який враховує можливий теплообмін калориметра з навколишнім середовищем. При перемішуванні води в склянці роблять декілька вимірювань температури через рівні проміжки часу (0,5 чи 1 хв.) протягом 5 – 7 хвилин.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2/192.00.1/Б/ OK8-_1_2024
	Випуск_1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 22

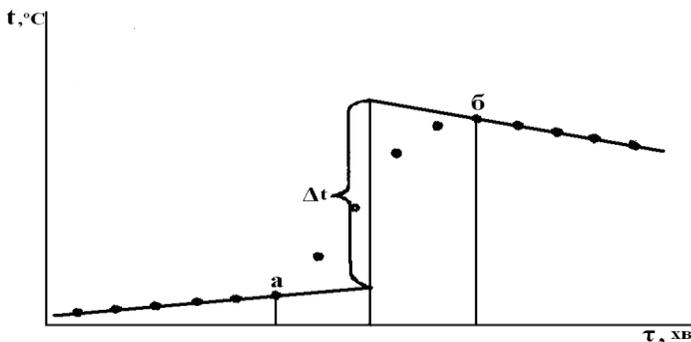


Рис. 6. Графічне визначення  $\Delta t$

Ця частина експерименту називається попереднім періодом. Після цього у воду всипають сіль і енергійно перемішують розчин до повного розчинення солі, продовжуючи виміри температури (головний період), і вимірюють температуру протягом 5 – 6 хвилин (заклучний період).

Тривалість головного періоду визначається крайніми точками  $a$  і  $b$ ; зміна температури  $\Delta t$  – екстраполяцією на вертикаль, проведену через середину головного періоду.

#### Експериментальна частина

**Дослід 1. Визначення теплового ефекту розчинення солі калій хлориду.**

На технічних терезах зважують склянку, паличку (це необхідно для розрахунків їх теплоємності) і 10 г розтертої в ступці солі калій хлориду. Наливають в склянку калориметра 100 мл води. Підвішують термометр, відмічають глибину його занурення у воду і за допомогою мензурки визначають об'єм витісненої ним води, який дорівнює об'єму зануреної частини термометра. Розраховують теплоємність калориметра, перемножуючи масу його частин в грамах і теплоємність матеріалів в Дж/(г·К) (об'єм зануреної частини термометра множать на середню об'ємну теплоємність скла та ртуті), а потім підсумовують теплоємність складових частин калориметра.

Питомі теплоємності:

- скла – 0,79 Дж/(г·К);
- поліетилену – 2,3 Дж/(г·К);
- води – 4,18 Дж/(г·К);

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ OK8-_1_2024
	Випуск_1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 23

- об'ємна теплоємність скла та ртуті (середня) – 1,9 Дж/(см<sup>3</sup>·К).  
Проводять виміри температури, як було сказано вище;  
будують графік і визначають за ним  $\Delta t$  (рис 6).  
Розраховують теплоту розчинення солі калій хлориду за  
рівнянням, Дж/моль:

$$\Delta H = - \frac{Mr}{g} C_k \Delta t, \quad (5.2)$$

де  $Mr$  – молярна маса солі, г/моль;

$g$  – маса наважки солі, г;

$C_k$  – теплоємність калориметра, Дж/К.

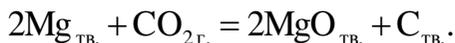
Отримане значення  $\Delta H$  солі порівнюють із табличною величиною питомої теплоти розчинення при середній температурі дослідів й знаходять по формулі відносну помилку визначення питомої теплоти розчинення  $\delta$  ( $\Delta H$ ):

$$\delta(\Delta H) = 100 \cdot \frac{|\Delta H_{\text{експ}} - \Delta H_{\text{теор}}|}{\Delta H_{\text{теор}}}, \% \quad (5.3)$$

де  $\Delta H_{\text{експ}}$  й  $\Delta H_{\text{теор}}$  – експериментально знайдена й таблична величини питомої теплоти розчинення солі відповідно.

### Приклади розв'язання задач

**Приклад 1.** Обчисліть, чи може магній горіти в атмосфері вуглекислого газу:



а) при  $T = 298 \text{ K}$ ; б) при  $T = 800 \text{ K}$ . Стандартні енергії Гіббса утворення речовин,  $\Delta_f G^0_{298}$ , кДж/моль:  $CO_2 = -394,4$ ;  $MgO = -596,6$ ;  $C_{\text{тв.}} = 0$ . Зміна стандартної ентальпії реакції:  $\Delta H^0_{298} = -810,1$  кДж/моль. Зміна стандартної ентропії реакції:

$$\Delta S^0_{298} = -159,9 \text{ Дж/моль} \cdot \Delta_f S^0(298 \text{ K}) = -159,9 \text{ Дж/моль} \cdot \text{K}.$$

**Розв'язок.** Зміна енергії Гіббса  $\Delta G$  дозволяє зробити висновок про принципову можливість хімічної реакції: якщо  $\Delta G < 0$ , то реакція принципово можлива,  $\Delta G > 0$ , то реакція принципово неможлива;  $\Delta G = 0$ , то система знаходиться в стані рівноваги.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ ОК8-_1_2024
	Випуск _1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 24

Енергія Гіббса утворення складних речовин при  $P = 1$  атм. і  $T = 298$  К називається стандартною енергією Гіббса утворення, позначається  $\Delta_r G^0$  (298 К), її розмірність – [кДж/моль].

а) При  $T = 298$  К зміна стандартної енергії Гіббса реакції дорівнює сумі стандартних енергій Гіббса утворення кінцевих речовин мінус сума стандартних енергій Гіббса утворення вихідних речовин:

$$\Delta G_{298}^{\circ} = \sum \Delta_f G_{298\text{кін}}^0 - \sum \Delta_f G_{298\text{вих}}^0;$$

При  $T = 298$  К зміна стандартної енергії Гіббса реакції горіння магнію дорівнює:

$$\Delta G_{298}^{\circ} = 2\Delta_f G_{298}^0(\text{MgO}) - \sum \Delta_f G_{298}^0(\text{CO}_2) = -2 \cdot 569,6 - (-394,4) = -744,8 \text{ кДж/моль}$$

$\Delta G < 0$ , реакція принципово можлива.

б) При  $T \neq 298$  К зміну стандартної енергії Гіббса реакції можна обчислити за рівнянням Гіббса-Гельмгольца:

$$\Delta G_{\text{T}}^{\circ} = \Delta_r H_{298}^{\circ} - T \cdot \Delta_r S_{298}^{\circ};$$

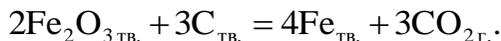
де  $\Delta_r H_{298}^0$  – зміна стандартної ентальпії реакції, а  $\Delta_r S_{298}^0$  – зміна стандартної ентропії реакції.

При  $T = 800$  К:

$$\Delta G_{\text{T}}^{\circ} = \Delta_r H_{298}^{\circ} - T \cdot \Delta_r S_{298}^{\circ} = -810,1 - 800 \cdot (-159,9/1000) = -682,2 \text{ кДж}$$

$\Delta G < 0$ , реакція принципово можлива.

**Приклад 2.** Обчисліть, при якій температурі почнеться відновлення ферум (III) оксиду коксом згідно рівняння:



Зміна стандартної ентальпії реакції:  $\Delta H_{298}^{\circ} = +463,9$  кДж/моль

Зміна стандартної ентропії реакції:  $\Delta S_{298}^{\circ} = 564,1$  Дж/моль · К

**Розв'язок.** На момент початку реакції  $\Delta G = 0$ , тоді температура початку реакції дорівнює:

$$\frac{\Delta_r H_{298}^{\circ}}{\Delta_r S_{298}^{\circ}} = \frac{463900}{564,1} = 822,4 \text{ К.}$$

### Задачі для самоконтроля

1. Обчисліть стандартну ентальпію згорання речовини А, якщо відома стандартна ентальпія утворення речовини А при температурі

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ ОК8-_1_2024
	Випуск _1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 25

298 К і стандартному тиску. Згоряння відбувається до утворення  $\text{CO}_2(\text{г})$  і  $\text{H}_2\text{O}(\text{р})$ .

Наприклад:  $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 = \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ , стандартні ентальпії утворення 1 моля  $\text{CO}_2$  - -393,51 кДж/моль, 1 моля  $\text{H}_2\text{O}(\text{г})$  - -241,81 кДж/моль

№ варіанта	Речовина А	Формула	Стан	$\Delta\text{H}_{\text{f}298}^0$ , кДж/моль
1	Оцтова кислота	$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$	р	-484,09
2	Тетрахлорметан	$\text{CCl}_4$	р	-132,84
3	Трихлорметан (хлороформ)	$\text{CHCl}_3$	г	-101,25
4	Етиленгліколь	$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$	р	-4547,90
5	Діазометан	$\text{CH}_2\text{N}_2$	г	192,46
6	Ацетон	$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$	р	-248,11
7	Пропіламін	$\text{C}_3\text{H}_5\text{N}$	р	-18,83
8	Ізопропіловий спирт	$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$	р	-318,70
9	Пропіловий спирт	$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$	р	-304,55
10	Гліцерин	$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$	р	-668,60
11	Метилгідрозін	$\text{CH}_6\text{N}_2$	р	53,14
12	Бутиловий спирт	$\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$	р	-325,56
13	Трет-Бутиловий спирт	$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$	р	-400,80
14	Диетиловий етер	$\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$	р	-279,49
15	Піридин	$\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$	р	99,96
16	Аміловий спирт	$\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}$	р	-357,94
17	Дихлорбензол	$\text{C}_6\text{H}_4\text{Cl}_2$	р	10,79
18	Нітробензол	$\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_2\text{N}$	р	15,90
19	Фенол	$\text{C}_6\text{H}_6\text{O}$	тв	-164,85
20	Гідрохінон	$\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_2$	тв	-362,96

**Завдання.** Кожний студент вибирає свій варіант задачі, згідно списку. Записує умову у короткому вигляді, повний розв'язок, з приведенням закону Гесса в загальному вигляді, і насамкінець математичне обчислення.

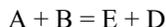
Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2/192.00.1/Б/ OK8-_1_2024
	Випуск _1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 26

## Лабораторна робота № 5. Хімічна кінетика і рівновага.

### Короткі теоретичні відомості

Хімічна кінетика – розділ хімії, що вивчає швидкість і механізм хімічних реакцій.

Швидкість хімічної реакції – зміна концентрації однієї з реагуючих речовин або одного з продуктів реакції за одиницю часу при постійному об'ємі системи.



$$v = \frac{\Delta C}{t_2 - t_1} \frac{\Delta t}{\Delta t},$$

$v$  – швидкість хімічної реакції, моль/л·с;

$C_1, C_2$  – концентрації (початкова і кінцева), моль/л;

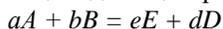
$t_1, t_2$  – час (початковий і кінцевий), сек.

Швидкість реакції: в даний момент часу (перша похідна по часу)

Фактори, що впливають на швидкість реакції:

- природа реагуючих речовин;
- концентрація;
- температура;
- каталізатор;
- тиск (для газів);
- ступінь подрібнення (для твердих речовин).

Залежність швидкості реакції від концентрації.



$$v = k \cdot C_A^a \cdot C_B^b$$

$C_A$  – концентрація компонента А;

$C_B$  – концентрація компонента В;

$a, b, e, d$  – стехіометричні коефіцієнти в рівнянні реакції;

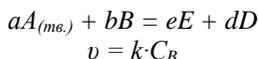
$v$  – швидкість хімічної реакції, моль/л·с;

$k$  – константа хімічної реакції.

Швидкість хімічної реакції пропорційна добутку концентрацій реагуючих речовин в степенях, що відповідають стехіометричним коефіцієнтам в рівнянні реакції – кінетичне рівняння реакції, основний закон хімічної кінетики.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2/192.00.1/Б/ ОК8-1_2024
	Випуск_1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 27

Якщо одна з реагуючих речовин в твердому стані (гетерогенна система):



Вплив температури на швидкість реакції.

Правило Вант-Гоффа: при підвищенні температури на кожні 10 градусів швидкість більшості реакцій збільшується в 2 – 4 рази.

$$v_{t_2} = v_{t_1} \cdot \gamma^{\frac{t_2 - t_1}{10}},$$

$v_{t_1}, v_{t_2}$  – швидкість реакції при температурі  $t_1, t_2$ ;

$\gamma$  – температурний коефіцієнт швидкості реакції.

Хімічна рівновага

Хімічна рівновага відноситься до оборотних процесів.

Стан реагуючих речовин, при якому швидкість прямої реакції дорівнює швидкості зворотної, називається хімічною рівновагою.

Концентрації речовин в стані рівноваги називаються рівноважними.



$$v_1 = k_1 [A]^a [B]^b;$$

$$v_2 = k_2 [E]^e [D]^d;$$

$$v_1 = v_2$$

$$k_1 [A]^a [B]^b = k_2 [E]^e [D]^d;$$

Константа рівноваги реакції – це відношення добутку молярних рівноважних концентрацій продуктів реакції до добутку молярних концентрацій вихідних речовин в степенях, які дорівнюють коефіцієнтам в рівнянні реакції, при постійній температурі.

$$\frac{k_1}{k_2} = \frac{[E]^e [D]^d}{[A]^a [B]^b} = K$$

Вплив зовнішніх факторів на стан рівноваги узагальнює принцип Ле-Шательє: якщо на систему, що перебуває в стані рівноваги, подіяти ззовні ( $C, t, p$ ), то рівновага зміщується в бік реакції, що послаблює цю дію.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ OK8-_1_2024
	Випуск _1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 28

- при збільшенні концентрації рівновага зміщується в сторону реакції, яка проходить із зменшення кількості моль газів, при зменшенні концентрації – навпаки;
- підвищення або пониження тиску для газових реакцій рівноцінно підвищенню або пониженню концентрації;
- підвищення тиску при постійній температурі зміщує рівновагу в напрямі зменшення об'єму;
- підвищення температури зміщує рівновагу в напрямі ендотермічної реакції, а пониження – в напрямі екзотермічної.

### Експериментальна частина

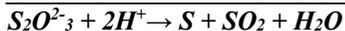
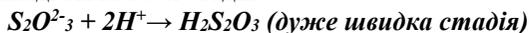
**Прилади та реактиви:** секундомір, бюретки на 25 мл, електроплитка, пробірки, термометри зі шкалою 0-50°C, стакани ємністю 0,5 л, калій хлорид кристалічний, розчини:  $Na_2S_2O_3$  0,1М,  $H_2SO_4$  1М,  $FeCl_3$  насичений,  $NH_4SCN$  насичений,  $I_2$  0,1Н, крохмаль 0,5%.

#### Дослід №1 Залежність швидкості реакції від концентрації реагуючих речовин

Натрій тіосульфат розкладається в розчині сульфатної кислоти за рівнянням:



Реакція складається з 3-х стадій:



Швидкість сумарного процесу визначається швидкістю повільної другої стадії.

#### Порядок виконання роботи.

В п'ять пробірок налейте з бюреток 0,1М розчину  $Na_2S_2O_3$  і воду в кількостях, вказаних в таблиці. В інші п'ять пробірок налейте з бюретки по 5 мл 1М  $H_2SO_4$ . Злийте попарно приготовлені розчини  $Na_2S_2O_3$  і  $H_2SO_4$  (перший розчин приливати до другого). В момент змішування розчину увімкніть секундомір і визначте час появи легкого помутніння (опалесценція) розчину. Результати дослідів занесіть в

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ ОК8-_1_2024
	Випуск_1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 29

таблицю. Концентрацію розчину  $Na_2S_2O_3$  в кожній пробірці знаходять за співвідношенням:

$$C_{Na_2S_2O_3} = \frac{0,1 \cdot a}{a + b + c}, \quad [моль / л]$$

В дослідах вимірюється не швидкість реакції, а проміжок часу  $\tau$  між її початком і видимим результатом. Проте цей проміжок зворотно пропорційний швидкості реакції  $\nu$ , тому величину  $1/\tau$  називають умовною швидкістю реакції  $\nu_{ум}$ .

Побудуйте графік залежності швидкості реакції розкладу  $Na_2S_2O_3$  від концентрації.

Таблиця 1

№ пробірки	Об'єм, мл			$C_{Na_2S_2O_3}$ , моль/л	Час появи помутніння $\tau$ , с	$\nu_{ум.} = 1/\tau$ , с <sup>-1</sup>
	$Na_2S_2O_3$ (а)	$H_2O$ (б)	$H_2SO_4$ (в)			
1	1	4	5	0,01		
2	2	3	5	0,02		
3	3	2	5	0,03		
4	4	1	5	0,04		
5	5	0	5	0,05		

### Дослід №2 Залежність швидкості реакції від температури

В три пробірки налийте по 5 мл 0,1М  $Na_2S_2O_3$ , а в три інші – по 5 мл 1М  $H_2SO_4$ . Поміщають всі пробірки в стакан з водою і через 5-7 хвилин, замірявши температуру води в стакані, зливають разом вміст однієї пари пробірок з  $Na_2S_2O_3$  і  $H_2SO_4$ . Помішують цю пробірку знову в стакан і визначають за секундоміром час до появи легкого помутніння. Наливають в стакан гарячої води так, щоб температура води підвищилась приблизно на 10°C і знову витримують розчин при цій температурі 5-7 хвилин. Зливають вміст другої пари пробірок з  $Na_2S_2O_3$  і  $H_2SO_4$  і визначають час до появи помутніння. Дослід з

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ ОК8-_1_2024
	Випуск _1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 30

третьою парою пробірок проводять при температурі приблизно на 10°C вище від попередньої. Результати досліду записують в таблицю 2.

Таблиця 2

№ п/п	t, °C	Час появи помутніння, τ, с	$v_{ум.} = 1/\tau, c^{-1}$	1/T, K <sup>-1</sup>	lg v <sub>ум</sub>
1					
2					
3					

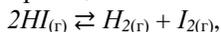
Побудуйте графік залежності логарифма швидкості реакції від зворотної величини абсолютної температури. З графіка визначте тангенс кута нахилу прямої і обчисліть енергію активації реакції:

$$E_a = 2,3 \cdot R \cdot tga$$

Користуючись правилом Вант-Гоффа, визначте температурний коефіцієнт швидкості реакції.

### Приклади розв'язання задач

**Приклад 1.** Для гомогенної реакції:



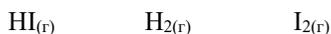
Константа рівноваги при деякій температурі дорівнює 0,25. Обчисліть рівноважні концентрації речовин, якщо початкова концентрація  $[HI] = 2$  моль/л.

**Розв'язок.** Стан реагуючих речовин, при якому швидкість прямої реакції дорівнює швидкості зворотної, називається *хімічною рівновагою*. Концентрації речовин в стані рівноваги називаються рівноважними.

Константа рівноваги реакції – це відношення добутку молярних рівноважних концентрацій продуктів реакції до добутку молярних концентрацій вихідних речовин у степенях, які дорівнюють коефіцієнтам в рівнянні реакції, при постійній температурі:

$$K = \frac{[H_2] \cdot [I_2]}{[HI]^2} = 0,25.$$

Згідно рівняння реакцій, з 2 моль HI повинна утворюватись половина кількість, по 1 моль H<sub>2</sub> і I<sub>2</sub>. Якщо на момент рівноваги прореагувало x моль HI, то утворилось x/2 моль I<sub>2</sub>, а залишилось 2 – x моль HI.



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ ОК8-_1_2024
	Випуск _1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 31

Початкові концентрації, моль/л            2                    0                    0  
Рівноважні концентрації, моль/л        2 – x                x/2                x/2

Підставляємо рівноважні концентрації у вираз константи рівноваги:

$$0,25 = \frac{0,5x \cdot 0,5x}{(2-x)^2} = \frac{0,25x^2}{(2-x)^2}$$

Добуваючи квадратний корінь з обох частин рівняння, одержимо:

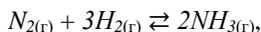
$$0,5 = \frac{0,5x}{2-x}; \quad x = 1.$$

Рівноважні концентрації:

$$[H_2]_{\text{рівн.}} = [I_2]_{\text{рівн.}} = \frac{x}{2} = \frac{1}{2} = 0,5 \text{ моль/л.}$$

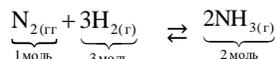
$$[HI]_{\text{рівн.}} = 2 - 1 = 1 \text{ моль/л.}$$

**Приклад 2.** В системі:



рівноважні концентрації речовин склали  $[N_2]_{\text{рівн.}} = 4$  моль/л,  $[H_2]_{\text{рівн.}} = 10$  моль/л,  $[NH_3]_{\text{рівн.}} = 4$  моль/л. Обчисліть початкові концентрації водню і азоту.

**Розв'язок.** З рівняння реакції:



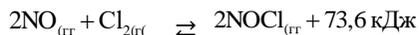
видно, що 2 моль  $NH_3$  утворюються з 1 моль  $N_2$ . Тоді 4 моль утворились з 2 моль  $N_2$ . Початкова концентрація азоту дорівнює:

$$[N_2]_{\text{поч.}} = [N_2]_{\text{рівн.}} + 2 = 4 + 2 = 6 \text{ моль/л.}$$

З рівняння реакції слідує, що 2 моль  $NH_3$  утворюються з 3 моль  $H_2$ , тоді 4 моль  $NH_3$  утворились з 6 моль  $H_2$ . Початкова концентрація водню складає:

$$[H_2]_{\text{поч.}} = [H_2]_{\text{рівн.}} + 6 = 10 + 6 = 16 \text{ моль/л.}$$

**Приклад 3.** Для реакції:



вказати, як потрібно змінити концентрації, тиск і температуру реакції, щоб змінити рівновагу вправо, в сторону збільшення виходу  $NOCl$ .

**Розв'язок.** Вплив зовнішніх факторів на стан рівноваги узагальнює принцип *Ле-Шательє*: якщо на рівноважну систему діють зовнішні

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ ОК8-1_2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 32

фактори, то рівновага зміщується в сторону реакції, яка ослаблює дію зовнішніх факторів.

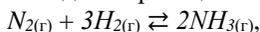
1. При збільшенні концентрацій рівновага зміщується в сторону реакції, яка проходить із зменшенням кількості моль газів, при зменшенні концентрацій – навпаки.

В реакцію вступають 3 моль газу ( $2NO + Cl_2$ ), а утворюються 2 моль газу ( $2NOCl$ ). При збільшенні концентрацій речовин рівновага зміщується в сторону прямої реакції, яка йде із збільшенням виходу  $NOCl$ .

2. Підвищення або пониження тиску для газових реакцій рівноцінно підвищенню або пониженню концентрацій.
3. При підвищенні температури рівновага зміщується в сторону ендотермічної реакції, а при пониженні – в сторону екзотермічної.

Пряма реакція – ендотермічна, тому при підвищенні температури вона відбувається з більшою швидкістю, збільшуючи вихід  $NOCl$ .

**Приклад 4.** Як зміниться швидкість реакції:



якщо концентрації всіх речовин збільшити в 2 рази? Швидкість якої реакції – прямої чи зворотної стане більшою?

**Розв'язок.** Реакція  $N_{2(r)} + 3H_{2(r)} \rightleftharpoons 2NH_{3(r)}$  є гомогенною.

Гомогенні реакції – такі, які йдуть в однорідних системах (між газами, в розчинах). Швидкість гомогенної реакції вимірюється зміною молярних концентрацій реагуючих речовин за одиницю часу:

$$v = \pm \Delta C / \Delta t.$$

**Закон діючих мас:** при постійній температурі швидкість хімічної реакції пропорційна добутку молярних концентрацій реагуючих речовин у степенях, які дорівнюють коефіцієнтам у рівнянні реакції.

Реакція одержання  $NH_3$  обернена, оскільки йде в двох протилежних напрямках. Початкова швидкість прямої реакції:

$$v_{\text{пр.}} = k_1[N_2][H_2]^3.$$

Початкова швидкість зворотної реакції:

$$v_{\text{зв.}} = k_2[NH_3]^2.$$

Після збільшення концентрації в 2 рази швидкість прямої концентрації складе:

$$v_{\text{пр.}}^1 = k_1[2N_2][2H_2]^3 = 16 k_1[N_2][H_2]^3,$$

а швидкість зворотної реакції буде дорівнювати:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ ОК8-_1_2024
	Випуск _1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 33

$$v_{\text{сб.}}^1 = k_2 [2\text{NH}_3]^2 = 4k_2 [\text{NH}_3]^2.$$

Швидкість прямої реакції зросла в:

$$\frac{v_{\text{пр.}}^1}{v_{\text{пр.}}} = \frac{16 k_1 [\text{N}_2] [\text{H}_2]^3}{k_1 [\text{N}_2] [\text{H}_2]^3} = 16 \text{ разів.}$$

Швидкість зворотної реакції зросла в:

$$\frac{v_{\text{зв.}}^1}{v_{\text{зв.}}} = \frac{4k_2 [\text{NH}_3]^2}{k_2 [\text{NH}_3]^2} = 4 \text{ рази.}$$

Швидкість прямої реакції, у порівнянні із швидкістю зворотної реакції, зростає в  $16/4 = 4$  рази.

**Приклад 5.** У скільки разів зростає швидкість реакції при збільшенні температури від 20 до 85 °С, якщо температурний коефіцієнт реакції  $\gamma = 2,5$ ?

**Розв'язок.** За правилом Вант-Гоффа, швидкість реакції при підвищенні температури на 10 °С збільшується в 2-4 рази:

$$v_{t_2} = v_{t_1} \cdot \gamma^{\frac{t_2 - t_1}{10}} = v_{t_1} \cdot \gamma^{\frac{\Delta t}{10}}.$$

$$\frac{v_{t_2}}{v_{t_1}} = \gamma^{\frac{t_2 - t_1}{10}} = 2,5^{\frac{85 - 20}{10}} = 2,5^{6,5} = 386.$$

Швидкість реакції  $v_{t_2}$  при підвищенні температури на 65 °С зростає в 386 разів.

### Задачі для самоконтроля

1. Знайти константу рівноваги реакції  $\text{N}_2\text{O}_4 \rightleftharpoons 2\text{NO}_2$ , якщо початкова концентрація  $\text{N}_2\text{O}_4$  дорівнює 0,08 моль/л, а на момент настання рівноваги дисоціювало 50 %  $\text{N}_2\text{O}_4$ .
2. Вказати, якими змінами концентрацій реагуючих речовин можна змістити вправо рівновагу реакції  $\text{CO}_{2(\text{г.})} + \text{C}_{(\text{графіт})} \rightleftharpoons 2\text{CO}_{(\text{г.})}$ .
3. В якому напрямку зміститься рівновага реакції  $\text{A}_{2(\text{г.})} + \text{B}_{2(\text{г.})} \rightleftharpoons 2\text{AB}_{(\text{г.})}$ , якщо тиск збільшити в 2 рази і одночасно підвищити температуру на 10 градусів? Температурні коефіцієнти швидкості прямої і зворотної реакцій дорівнюють відповідно 2 і 3. Який знак  $\Delta H^\circ$  в цій реакції?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ OK8-_1_2024
	Випуск _1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 34

4. Чому дорівнює швидкість хімічної реакції, якщо концентрація однієї з реагуючих речовин на початку реакції дорівнювала 1,2 моль/л, а через 50 хв. стала дорівнювати 0,3 моль/л.
5. Початкова концентрація етилоцтового естеру при реакції омилення дорівнювала 0,02 моль/л. Через 25 хв. вона стала дорівнювати 0,0054 моль/л. Обчисліть швидкість реакції.
6. Температурний коефіцієнт реакції дорівнює 2. Як зміниться її швидкість:
  - а) при підвищенні температури від 60 до 100 °С;
  - б) при охолодженні суміші, яка реагує, від 50 до 30 °С;
  - в) при підвищенні температури від 80 до 140 °С.
7. Для реакції  $\text{FeO}_{(к.)} + \text{CO}_{(г.)} \rightleftharpoons \text{Fe}_{(к.)} + \text{CO}_{2(г.)}$  константа рівноваги при деякій температурі дорівнює 0,5. Початкові концентрації CO і CO<sub>2</sub> відповідно дорівнюють 0,05 і 0,01 моль/л. Знайдіть їх рівноважні концентрації.
8. Метанол одержують за реакцією  $\text{CO}_{(г.)} + 2\text{H}_{2(г.)} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OH}_{(р.)}$ ;  $\Delta H^{\circ}_{298} = -127,8$  кДж. Куди буде зміщуватись рівновага при підвищенні: а) температури, б) тиску?
9. Як вплине на вихід хлору в системі  $4\text{HCl}_{(г.)} + \text{O}_{2(г.)} \rightleftharpoons 2\text{Cl}_{2(г.)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(р.)}$ ;  $\Delta H^{\circ}_{298} = -202,4$  кДж:
  - а) підвищення температури в реакційній суміші;
  - б) зменшення загального об'єму суміші;
  - в) зменшення концентрації кисню;
  - г) збільшення об'єму реактору;
  - д) введення каталізатора?
10. Константа рівноваги системи  $\text{H}_{2(г.)} + \text{I}_{2(г.)} \rightleftharpoons 2\text{HI}_{(г.)}$  при деякій температурі дорівнює 50. Яку кількість речовини H<sub>2</sub> потрібно взяти на 1 моль I<sub>2</sub>, щоб 90 % залишку перевести в HI?
11. Знайдіть початкову швидкість реакції  $\text{H}_2\text{O}_{2(р.)} + 2\text{HI}_{(р.)} = 2\text{H}_2\text{O}_{(р.)} + \text{I}_{2(р.)}$ , якщо змішали рівні об'єми 0,02 М розчину H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> і 0,05 М розчину HI. Константа швидкості реакції 0,06 л/моль·с.
12. Обчисліть температурний коефіцієнт швидкості реакції розкладу мурашиної кислоти на CO<sub>2</sub> і H<sub>2</sub> у присутності каталізатора, якщо константа швидкості цієї реакції при 413 К становить  $5,5 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ , а при 458 К –  $9,2 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ .

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ ОК8-_1_2024
	Випуск _1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 35

13. Розклад лікарської речовини (реакція першого порядку) при 333 К пройшов за 10 год. на 5 %. Обчисліть константу швидкості реакції.
14. На скільки градусів необхідно підвищити температуру реакції, щоб її швидкість зросла у 20 разів, якщо температурний коефіцієнт швидкості реакції становить 3.
15. В системі  $\text{CO}_{(г.)} + \text{Cl}_{2(г.)} \rightleftharpoons \text{COCl}_{2(г.)}$  концентрацію CO збільшили від 0,03 до 0,12 моль/л, а концентрацію хлору – від 0,02 до 0,06 моль/л. В скільки разів зросла швидкість прямої реакції?
16. Температурний коефіцієнт швидкості певної реакції дорівнює 3. В скільки разів збільшиться швидкість цієї реакції, якщо підвищити температуру на 30 градусів?
17. Через деякий час після початку реакції
 
$$3\text{A}_{(г.)} + \text{B}_{(г.)} \rightleftharpoons 2\text{C}_{(г.)} + \text{D}_{(г.)}$$
 концентрації речовин складають:  $[\text{A}] = 0,03$  моль/л;  $[\text{B}] = 0,01$  моль/л;  $[\text{C}] = 0,008$  моль/л. Які початкові концентрації речовин А і В?
18. В рівноважній системі:  $\text{H}_{2(г.)} + \text{Br}_{2(г.)} \rightleftharpoons 2\text{HBr}_{(г.)}$ , при деякій температурі константа рівноваги  $K = 1$ , а початкові концентрації  $[\text{H}_2] = 3$  моль/л,  $[\text{Br}_2] = 1,5$  моль/л. Обчисліть відсотковий об'ємний склад рівноважної суміші.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ OK8-_1_2024
	Випуск _1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 36

## Лабораторна робота № 6. Розчини. Приготування розчинів.

### Короткі теоретичні відомості

Розчини цілком однорідні суміші з двох (або кількох) речовин, в яких молекули (або іони) одної речовини рівномірно розподілені між молекулами іншої речовини. У розчинах протікає багато природних і промислових процесів. Розчин – гомогенна, термодинамічно стійка система змінного хімічного складу, яка складається з розчиненої речовини, подрібненої до розмірів окремих молекула бо іонів та розчинника.

Розчинена речовина – це індивідуальна сполука, яка може бути виділена з розчину та існувати у вільному стані.

Розчинник – це компонент розчину, який не змінює агрегатного стану при розчиненні або концентрація якого суттєво більша концентрації інших компонентів.

Концентрація розчину кількісно характеризує його склад, вміст розчиненої речовини (в певних одиницях) в одиниці маси чи об'єму розчину. Використовують різні способи виразу концентрації розчинів як через безрозмірні величини (масова, мольна частки), так і через розмірні величини (молярна нормальна, моляльна, масова концентрації, титр).

1. Масова частка розчиненої речовини  $\omega$  – це відношення маси розчиненої речовини  $m_{p.p.}$  до маси розчину  $m_{p-ну}$ .

$$\omega = \left( \frac{m_{p.p.}}{m_{p-ну}} \right).$$

2. Мольна частка розчиненої речовини  $N_{p.p.}$  – це відношення кількості моль розчиненої речовини  $n_{p.p.}$  до суми кількостей моль розчиненої речовини і розчинника  $n_{p-ка}$

$$N_{p.p.} = \frac{n_{p.p.}}{n_{p.p.} + n_{p-ка}} = \frac{m_{p.p.} / M_{p.p.}}{m_{p.p.} / M_{p.p.} + m_{p-ка} / M_{p-ка}};$$

Де  $m_{p.p.}$  і  $m_{p-ка}$  – маси відповідно розчиненої речовини і розчинника;  $M_{p.p.}$  і  $M_{p-ка}$  – відповідно їх молярні маси.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ ОК8-_1_2024
	Випуск _1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 37

3. Молярна концентрація  $C_M$  або полярність  $M$  виражається кількістю моль розчиненої речовини в 1 л розчину; має розмірність моль/л або моль/дм<sup>3</sup>, кмоль/м<sup>3</sup>

4. Молярна концентрація еквівалента  $C_{ек}$  виражається кількістю еквівалентів розчиненої речовини в 1 л розчину; має розмірність моль/л. В хімічній практиці молярну концентрацію еквівалента називають також нормальністю та позначають літерою  $N$ .

Якщо концентрації реагуючих речовин виражені через молярні концентрації еквівалентів, то такі розчини реагують без залишку в кількостях, пропорційних їх еквівалентам. Тоді:

Кількість еквівалентів однієї речовини  $n_{ек1}$ , які знаходились в розчині з об'ємом  $V_1$  і молярною концентрацією еквівалента  $C_{ек1}$ , дорівнюватиме кількості еквівалентів другої речовини  $n_{ек2}$  в розчині об'ємом  $V_2$  і молярною концентрацією еквівалента  $C_{ек2}$ .

$$n_{ек1} = n_{ек2}; \quad V_1 \cdot C_{ек1} = V_2 \cdot C_{ек2}.$$

5. Молярна концентрація  $C_m$  або молярність  $m$  виражається кількістю моль розчиненої речовини в 1000г (1 кг) розчинника; має розмірність моль/кг.

Властивості розведених молекулярних розчинів, які не залежать від природи розчиненої речовини, а визначаються лише кількістю частинок в розчині, називаються колігативними властивостями. До колігативних властивостей належать осмотичний тиск, пониження тиску насиченої пари над розчинами, пониження температури замерзання та підвищення температури кипіння розчинів.

Осмотичний тиск розчину чисельно дорівнює тому тиску, який створювала б розчинена речовина, якби вона знаходилась при даній температурі в газоподібному стані і займала тойже об'єм, що і розчин. Осмотичний тиск обчислюється за законом Вант-Гоффа:

Осмотичний тиск розведеного молекулярного розчину  $\pi$  пропорційний його молярній концентрації  $C_M$  і температурі  $T$

$$\pi = C_M \cdot R \cdot T$$

Пониження тиску насиченої пари над розчином в залежності від концентрації виражаються 1-им законом Рауля:

відносне пониження тиску насиченої пари над розчином прямо пропорційне мольній частці розчиненої речовини  $N_{p.p.}$ :

$$\frac{p_0 - p}{p_0} = N_{p.p.} = \frac{n_{p.p.}}{n_{p.p.} + n_{p-ка}} = \frac{m_{p.p.} / M_{p.p.}}{m_{p.p.} / M_{p.p.} + m_{p-ка} / M_{p-ка}};$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ ОК8-_1_2024
	Випуск _1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 38

де  $P_0, P$  – тиск пари відповідно над чистим розчинником і розчином;

$m_{p.p.}, m_{p-ка}$  – маси відповідно розчиненої речовини і розчинника;

$M_{p.p.}, M_{p-ка}$  – молярні маси відповідно розчиненої речовини і розчинника;

$P_0 - P$  – пониження тиску пари;

$P_0 - P/P_0$  – відносне пониження тиску пари.

Температури кипіння і замерзання (кристалізації) розчинів залежить від тиску пари над розчинами та виражається 2-им законом Рауля:

Пониження температури замерзання  $\Delta T_{зам.}$  або підвищення температури кипіння розчину  $\Delta T_{кип.}$  прямо пропорційно моляльній концентрації розчиненої речовини  $C_m$

$$\Delta T_{зам.} = K_T \cdot C_m \quad \Delta T_{кип.} = E_T \cdot C_m,$$

де  $K_T$  – криоскопічна стала, вона залежить лише від природи розчинника ( $K_T(H_2O) - 1,86$ );

$E_T$  – ебуліоскопічна стала, вона також залежить лише від природи розчинника ( $E_T(H_2O) - 0,52$ ).

### Експериментальна частина

**Прилади та реактиви:** натрій хлорид, вода, набір аерометрів, терези, стакани, циліндри, скляні палички.

**Дослід №1 Приготування 100 мл розчину натрій хлориду заданої концентрації методом наважки.**

1. Отримайте завдання на приготування розчину з масовою концентрацією  $\omega_x = 5-15\%$ .
2. В табл. 1 знайдіть густину розчину заданої концентрації  $\rho_x, \text{г/см}^3$ .

Таблиця 1

Густина водних розчинів натрій хлориду,  $\text{г/см}^3$

Концентрація, мас. %	1	2	3	4	5	6	7
Густина, $\text{г/см}^3$	1,0053	1,0125	1,0196	1,0268	1,0340	1,0413	1,0486
Концентрація, мас. %	8	9	10	11	12	13	14
Густина, $\text{г/см}^3$	1,0559	1,0636	1,0707	1,0782	1,0857	1,0933	1,1009

3. Визначте масу даного розчину:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2/192.00.1/Б/ ОК8-_1_2024
	Випуск _1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 39

$$m_{p-ny} = V \times \rho_x = 100 \times \rho, [г]$$

4. Визначте масу розчиненої речовини:

$$m_{NaCl} = m_{p-ny} - \omega/100, [г]$$

5. визначте масу води для приготування заданого розчину:

$$m_a = m_{p-ny} - m_{NaCl}, [г]$$

6. Зважте на терезах розраховану масу натрій хлориду і перенесіть її в стакан. Циліндром відміряйте необхідний об'єм води (густина води приймаємо рівною  $1 \text{ г/см}^3$ ), перелийте її в стакан з сіллю і перемішуйте до повного розчинення солі.

7. Заміряйте густину приготовленого розчину  $\rho_1$  і, користуючись табл., визначте концентрацію приготовленого розчину  $\omega_1$ . Якщо вимірне значення густини  $\rho_1$  в таблиці відсутнє, то концентрацію розчину  $\omega_1$  знаходять методом інтерполяції. Інтерполяція – це знаходження проміжного значення величини за двома її найближчими більшим і меншим значеннями.

Прийемо, що залежність густини розчину від концентрації носить лінійний характер (рис.). Тоді густина розчину  $\rho_1$  знаходиться між найближчими меншим  $\rho_m$  і більшим  $\rho_b$  значеннями, а концентрація  $\omega_1$  – між відповідними значеннями  $\omega_m$  і  $\omega_b$ . Інтерполяцію можна виконати графічно, будуючи графік у відповідному масштабі, або аналітично, за формулою:

$$\omega_1 = \omega_m + (\omega_b - \omega_m) \times \left( \frac{\rho_1 - \rho_m}{\rho_b - \rho_m} \right).$$

Обчисліть відносну похибку  $\delta$  при визначенні  $\omega_1$  розрахуйте молярну концентрацію  $C_M$ , молярну концентрацію еквіваленту  $C_{ек}$  і титр  $T$  приготовленого розчину:

$$C_M = \frac{m_{NaCl} \times 1000}{M_{NaCl}}, [моль / л]; \quad C_{ек} = \frac{m_{NaCl} \times 1000}{M_{екNaCl}}, [моль - екв / л];$$

$$T = \frac{m_{NaCl}}{V_{p-ny}}, [г / мл]; \quad \delta = \left| \frac{\omega_x - \omega_t}{\omega_x} \right| \times 100, [%]$$

Де  $M_{NaCl}$  – молярна маса натрій хлориду;  $\delta$  – відносна похибка визначення  $\omega_1$ .

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ OK8-1_2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 40

## Дослід 2. Приготування 100 мл розчину натрій хлориду методом розбавлення.

Вихідний розчин – отриманий в попередньому досліді з концентрацією  $\omega_1$ .

1. Отримайте завдання на приготування розчину з концентрацією  $\omega_{x2}$ .
2. В табл. знайдіть густину заданого розчину  $\rho_{x2}$ , г/см<sup>3</sup>.
3. Визначте масу розчину, який необхідно приготувати:

$$m_{p-ny2} = V \times \rho_{x2}, [г]$$

4. Розрахуйте масу вихідного розчину  $m_{p-ny1}$  з концентрацією  $\omega_1$ , необхідну для приготування заданого розчину:

$$\frac{\omega_{x2}}{\omega_1 - \omega_{x2}} = \frac{m_{p-ny1}}{m_{p-ny2} - m_{p-ny1}}$$

5. Обчисліть масу води  $m_{в2}$ , необхідну для приготування заданого розчину:

$$m_{в2} = m_{p-ny2} - m_{p-ny1}$$

6. Обчисліть об'єми вихідного розчину з масою  $m_{p-ny1}$  і води з  $V_{в2}$ :

$$V_{p-ny1} = m_{p-ny1} / \rho_1, [см^3]$$

$$V_{в2} = m_{в2} / 1, [см^3]$$

7. Налийте в циліндр розрахований об'єм вихідного розчину, перелийте його в стакан, долийте розрахований об'єм води і старанно перемішайте.
8. Виміряйте аерометром густину одержаного розчину  $\rho_2$  і визначте концентрацію  $\omega_2$ . обчисліть масу  $NaCl$  в одержаному розчині:  
Обчисліть молярну концентрацію, молярну концентрацію еквівалента і титр одержаного розчину.

### Приклади розв'язання

**Приклад 1.** Обчисліть нормальну і молярну концентрацію 16 % розчину  $NaOH$  з густиною  $\rho = 1,18$  г/мл.

**Розв'язок.** Маса 1 л 16 % розчину  $NaOH$ :

$$m = V \cdot \rho = 1000 \cdot 1,18 = 1180 \text{ г.}$$

Маса  $NaOH$  в 1 л розчину (1180 г):

в 100 г розчину

16 г  $NaOH$ ,

в 1180 г

$m(NaOH)$ .

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2/192.00.1/Б/ ОК8-_1_2024
	Випуск_1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 41

$$m(\text{NaOH}) = \frac{1180 \cdot 16}{100} = 188,8 \text{ г.}$$

Молярна маса  $M_r(\text{NaOH}) = 40$  г/моль, еквівалентна маса дорівнює:

$$M_{r_{\text{екв.}}} = \frac{M_r}{1} = 40 \text{ г/моль.}$$

Молярна концентрація розчину:

$$C_M = \frac{m}{M_r} = \frac{188,8}{40} = 4,72 \text{ М.}$$

Нормальна концентрація розчину:

$$C_N = \frac{m}{M_{\text{екв.}}} = \frac{188,8}{40} = 4,72 \text{ н.}$$

**Приклад 2.** Обчисліть масову відсоткову концентрацію 2 Н розчину  $\text{H}_2\text{SO}_4$  густиною  $\rho = 1,07$  г/мл.

**Розв'язок.** Еквівалентна маса  $\text{H}_2\text{SO}_4$ :

$$M_{r_{\text{екв.}}}(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{M_r}{2} = \frac{98}{2} = 49 \text{ г/моль.}$$

1 л розчину містить  $2 \cdot 49 = 98$  г  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

Маса 1 л розчину:

$$m = 1000 \cdot 1,07 = 1070 \text{ г}$$

Масова відсоткова концентрація:

в 1070 г розчину – 98 г  $\text{H}_2\text{SO}_4$

в 100 г розчину –  $w(\text{H}_2\text{SO}_4)$

$$w(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{98 \cdot 100}{1070} = 9,15 \text{ \%}.$$

**Приклад 3.** Обчисліть тиск пари над розчином, який містить 60 г глюкози  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  в 450 г води. Тиск насиченої пари чистої води при 20 °С дорівнює 17,5 мм.рт.ст.

**Розв'язок.** Згідно 1-го закону Рауля, пониження тиску пари над розчином пропорційне мольній частці розчиненої речовини:

$$P_0 - P = P_0 \cdot \frac{n_1}{n_1 + n_2},$$

де  $P_0$  – тиск пари над чистим розчинником;

$P$  – тиск пари над розчином;

$n_1$  – кількість моль розчиненої речовини;

$n_2$  – кількість моль розчинника.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2/192.00.1/Б/ ОК8-_1_2024
	Випуск_1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 42

Молярна маса глюкози:  $M_r = 180$  г/моль. Кількість моль глюкози:

$$n_1 = \frac{m}{M_r} = \frac{60}{180} = 0,3 \text{ моль.}$$

Молярна маса води:  $M_r = 18$  г/моль. Кількість моль води (розчинника):

$$n_2 = \frac{m}{M_r} = \frac{450}{18} = 25 \text{ моль.}$$

Пониження тиску пари над розчином:

$$17,5 - p = 17,5 \cdot \frac{0,3}{0,3 + 25} = 0,21 \text{ мм.рт.ст.}$$

$$p = 17,5 + 0,21 = 17,29 \text{ мм.рт.ст.}$$

**Приклад 4.** Обчисліть пониження температури замерзання розчину, який містить 9 л води і 4 л етиленгліколю  $C_2H_6O_2$ . Густина етиленгліколю дорівнює 1,11 г/см<sup>3</sup>.

**Розв'язок.** Згідно 2-го закону Рауля, пониження температури замерзання розчину пропорційно молярній концентрації розчину  $C_m$ :

$$\Delta t_{\text{зам.}} = K \cdot C_m.$$

де  $K$  – криоскопічна стала розчинника; вона дорівнює пониженню температури замерзання одномолярного розчину; для води  $K = 1,86$ .

Маса 9 л води ( $\rho = 1,0$  г/мл) дорівнює 9000 г. Маса 4 л  $C_2H_6O_2$ :

$$m = V \cdot \rho = 4000 \cdot 1,11 = 4440 \text{ г.}$$

Молярна маса етиленгліколю  $M_r(C_2H_6O_2) = 62$  г/моль; кількість речовини етиленгліколю:

$$n = \frac{4440}{62} = 71,6 \text{ моль.}$$

Знаходимо кількість моль етиленгліколю в 1000 г води (молярну концентрацію розчину):

$$\text{в } 9000 \text{ г води} \quad - \quad 71,26 \text{ моль } C_2H_6O_2$$

$$\text{в } 9000 \text{ г води} \quad - \quad C_m$$

Молярна концентрація розчину:

$$C_m = \frac{1000 \cdot 76,1}{9000} = 7,96 \text{ м.}$$

Пониження температури замерзання:

$$\Delta t_{\text{зам.}} = 1,86 \cdot 7,96 = 14,8 \text{ }^\circ\text{C.}$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ OK8-_1_2024
	Випуск _1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 43

### Завдання для самоконтроля

1. В якому об'ємі 1 М розчину і в якому об'ємі 1 Н розчину міститься 114 г  $Al_2(SO_4)_3$ ?
2. Визначити масову частку  $CuSO_4$  в розчині, отриманому при розчиненні 50 г мідного купоросу  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$  в 450 г води.
3. Визначити масову частку речовини в розчині одержаному змішуванням 300 г 25 %-го і 400 г 40 %-го розчинів цієї речовини.
4. Для нейтралізації 30 мл 0,1 Н розчину лугу необхідно 12 мл розчину кислоти. Визначити нормальність кислоти.
5. З 400 г 50 %-го розчину  $H_2SO_4$  випаровуванням видалили 100 г води. Чому дорівнює масова частка  $H_2SO_4$  в розчині, що лишився?
6. Змішали два розчини, для яких  $\omega(KOH)$  дорівнює відповідно 9 % і 12 %. Маса першого розчину 120 г, другого 380 г. Визначте масову частку  $KOH$  в отриманому розчині.
7. Знайти масову частку глюкози в розчині, який містить 280 г води і 40 г глюкози.
8. Знайти масу  $NaNO_3$ , необхідну для приготування 300 мл 0,2 М розчину.
9. Знайти масу води необхідну для приготування розчину  $NaCl$ , що містить 1,5 моль  $NaCl$  на 1000 г  $H_2O$ , якщо взяли наважку 10 г  $NaCl$ .
10. Знайти молярність 36,2 %-го розчину  $HCl$ , густина якого 1,18 г/мл.
11. На нейтралізацію 40 мл розчину лугу витрачено 24 мл 0,5 Н розчину  $H_2SO_4$ . Яка нормальність розчину лугу. Який об'єм 0,5 Н розчину  $HCl$  потрібно для такої ж реакції.
12. Обчисліть масову відсоткову концентрацію 3 Н розчину  $H_2SO_4$  ( $\rho = 1,07$  г/мл).
13. Обчисліть молярність розчину  $Na_2S$ , в 900 мл якого міститься 100 г  $Na_2S$ .
14. Обчисліть нормальність розчину  $NaBr$ , в 200 мл якого міститься 20,5 г  $NaBr$ .
15. При 25 °С розчинність  $NaCl$  дорівнює 36,0 г в 100 г води. Знайти масову частку  $NaCl$  в насиченому розчині.
16. Скільки грамів  $FeCl_2$  потрібно для приготування 100 мл 2 М розчину?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ ОК8-_1_2024
	Випуск _1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 44

17. Скільки грамів  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  необхідно для приготування 5 л 8%-го розчину ( $\rho = 1,075$  г/мл)?
18. Скільки грамів  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  міститься в 500 мл 0,25Н розчину?
19. Скільки грамів  $\text{NaOH}$  необхідно для приготування 3 л 30 %-го розчину густиною 1,33 г/мл?
20. Скільки мілілітрів 0,5 М розчину  $\text{H}_2\text{SO}_4$  можна приготування із 15 мл 2,5 М розчину.
21. Скільки мілілітрів 96 %-го розчину  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ( $\rho = 1,84$  г/мл) потрібно взяти для приготування 1 л 0,25 Н розчину?
22. Чому дорівнює маса безводного ферум(II) сульфату, який міститься в розчині об'ємом 800 мл ( $\rho = 1,10$  г/мл), з масовою часткою розчиненої речовини 10 %.
23. Яка маса  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  потрібно для приготування 3 л 0,1 Н розчину?
24. Яка маса розчиненої речовини міститься в розчині масою 1,8 кг, з масовою часткою 20 %, і чому дорівнює масова частка розчиненої речовини, якщо вона масою 75 г міститься в розчині масою 250 г?
25. Обчисліть масову частку для розчину, який приготовлений з  $\text{K}_2\text{SO}_4$  масою 10 г і води об'ємом 80 мл?
26. Який об'єм 2 М розчину  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  потрібно взяти для приготування 1 л 0,25 Н розчину?
27. В якому об'ємі 0,5 М розчину  $\text{MnSO}_4$  міститься 25 г цієї солі?
28. В якому об'ємі 2 Н розчину  $\text{NaOH}$  міститься 40 г цієї речовини?
29. При 25 °С тиск пари води дорівнює 31,68 гПа. Знайдіть масу глюкози, яку потрібно розчинити у воді масою 540 г, щоб знизити тиск пари на 8 гПа?
30. Тиск пари розчину, що містить розчинену речовину кількістю 0,05 моль і воду масою 90 г, дорівнює 52,67 гПа при температурі 34 °С. Чому дорівнює тиск пари чистої води при цій же температурі?
31. При якій температурі повинні замерзати розчини, приготовані розчиненням в воді об'ємом 200 мл: 1) сахарози масою 20,52 г; 2) глюкози масою 14,4 г; 3) сечовини масою 3 г?
32. Чому дорівнює осмотичний тиск 0,5 М розчину глюкози  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  при 25 °С?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ OK8-_1_2024
	Випуск _1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 45

## Лабораторна робота № 7. Розчини електролітів.

### Короткі теоретичні відомості

Електроліти – речовини, які в розчинах чи розплавах проводять електричний струм.

Електролітична дисоціація – розпад молекул речовини в розчині чи розплаві на позитивно і негативно заряджені частки.

Теорія електролітичної дисоціації Арреніуса:

1. електроліти при розчиненні розпадаються (дисоціюють) на позитивно та негативно заряджені іони;

2. під дією електричного струму, позитивно заряджені іони (катіони) рухаються до катоду, а негативно заряджені (аніони) – до аноду;

3. дисоціація – зворотний процес.

Причина дисоціації – фізико-хімічна взаємодія розчиненої речовини і розчинника.

Ступінь дисоціації  $\alpha$  – відношення числа молекул, ( $n$ ) що розпався на іони в розчині чи розплаві, до загальної кількості молекул в розчині ( $N$ ):

Фактори, що впливають на ступінь електролітичної дисоціації:

- Природа розчинника;
- Температура;
- Концентрація розчину (обернено пропорційна  $\alpha$ );
- Присутність в розчині іонів домішок, однойменних з іонами електроліта.

Сильні і слабкі електроліти:

Сильні електроліти практично повністю дисоціюють на іони (всі розчинні солі, кислоти ( $H_2SO_4$ ,  $HNO_3$ ,  $HCl$ ,  $HBr$ ) гідроксиди лужних та лужноземельних металів)

Слабкі електроліти дисоціюють на іони лише частково (органічні кислоти, слабкі мінеральні кислоти ( $H_2CO_3$ ,  $H_2S$ ,  $HNO_2$ ,...); нерозчинні основи та  $NH_4OH$ ).

Оскільки електролітична дисоціація є процесом оборотним, то як будь-який оборотний процес характеризується константою рівноваги, яка називається константою дисоціації  $K_d$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ ОК8-_1_2024
	Випуск_1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 46

Константа дисоціації – це відношення добутку молярних концентрацій іонів в степенях, що дорівнюють стехіометричним коефіцієнтам, до початкової молярної концентрації електроліту при постійній температурі:

$$K_m A_n \leftrightarrow m K^+ + n A^-$$

$$K_o = \frac{[K^+]^m \cdot [A^-]^n}{[KA]}$$

Для сильних електролітів константи дисоціації не існує, тому що вони дисоціюють практично повністю.

Електролітична дисоціація води і іонний добуток води.

Вода є амфотерним слабким електролітом.

Константа дисоціації води має вигляд:

$$K_o = \frac{[H^+] \cdot [OH^-]}{[H_2O]}$$

$$[H^+] \cdot [OH^-] = 1 \cdot 10^{-14}$$

Одержаний вираз називається іонним добутком води:

При 22°C добуток молярних концентрацій іонів  $[H^+]$  і  $[OH^-]$  є сталою величиною, яка складає  $10^{-14}$ .

Водневий показник (pH) – десятковий логарифм молярної концентрації іонів Гідрогену у водному розчині, взятий з протилежним знаком. Виражає характер середовища розчину.

$$pH = - \lg [H^+]$$

$$pH + pOH = 14$$

pH < 7 – кисле середовище,

pH = 7 – нейтральне середовище,

pH > 7 – лужне середовище.

Індикатори – речовини, за допомогою яких якісно визначають середовище розчину, в залежності від зміни їх забарвлення.

Індикатор	Забарвлення в середовищі		
	кислому	нейтральному	лужному
Лакмус	Червоний	Синій	Синій
Метилловий оранжевий	Червоний	Оранжевий	Жовтий
Фенолфталеїн	Безбарвний	Безбарвний	Малиновий
Метилловий червоний	Червоний	Жовтий	Жовтий
Бромтимоловий голубий	Жовтий	Голубий	Голубий

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2/192.00.1/Б/ OK8-_1_2024
	Випуск _1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 47

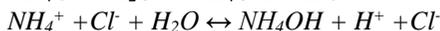
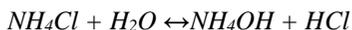
### Гідроліз солей

Гідроліз солей – реакція обмінного розкладу солей водою, в результаті чого з іонів розчиненої солі і Гідрогену чи гідроксиду води утворюють молекули слабких електролітів і змінюється водневий показник середовища розчину.

Солі утворені катіонами сильних кислот та аніонами сильних кислот не гідролізуються.

Гідролізуються солі:

- 1) Солі утворені катіонами слабких основ і катіонами слабких кислот. Гідроліз відбувається по катіону,  $pH < 7$ , середовище кисле.



- 2) Солі утворені катіонами сильних основ та аніонами слабких кислот. Гідроліз відбувається по аніону,  $pH > 7$ , середовище лужне.



- 3) Солі, утворені катіонами слабких основ та аніонами слабких кислот. Розчин такої солі практично нейтральний,  $pH \approx 7$ .



### Іонообмінні реакції

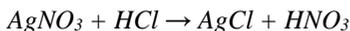
Хімічні реакції в розчинах електролітів відбуваються між іонами називаються іонообмінними. Рівняння таких реакцій записують в молекулярній, іонно-молекулярній і короткій іонно-молекулярній формах. При складанні рівнянь реакцій в іонно-молекулярній формах формули малорозчинних сполук, газів, слабких електролітів і комплексних сполук пишуть без змін.

Іонообмінні реакції являються необоротними, ідуть зліва направо, до кінця, якщо внаслідок взаємодії між іонами:

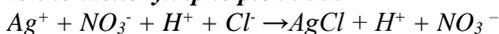
- 1) Утворюється осад малорозчинної сполуки:

**Молекулярне рівняння реакції:**

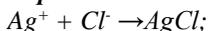
Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ ОК8-_1_2024
	Випуск_1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 48



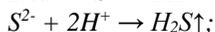
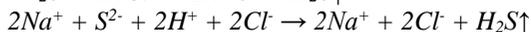
**Іонно-молекулярне рівняння:**



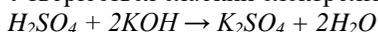
**Коротке іонно-молекулярне рівняння:**



- 2) Виділяється летка сполука:



- 3) Утворюється слабкий електроліт:



## Експериментальна частина

Дослід №1

### Визначення середовища розчинів за допомогою індикаторів

В чотири пробірки помістіть по 2-3 краплі розчину **HCl** і в кожную з них додайте 1-2 краплі індикаторів: в першу – метилоранжу, в другу – лакмусу; в третю – фенолфталеїну і в четверту – універсальний індикатор. Повторіть дослід, замінивши розчин **HCl** на розчин **KOH**. Якого забарвлення набуває кожен із індикаторів в розчинах кислоти і лугу? Окремо визначте забарвлення індикаторів в нейтральному середовищі – дистильованій воді. Результати запишіть в таблицю 1.

Таблиця 1

Індикатор	Забарвлення індикатора в середовищі		
	кислому	нейтральному	лужному
Метилоранж			
Лакмус			
Фенолфталеїн			
Універсальний індикатор			
$\approx pH$			

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2/192.00.1/Б/ OK8-_1_2024
	Випуск _1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 49

### Дослід №2

### Визначення рН розчинів потенціалометричним методом

Для точного вимірювання **pH** розчинів широко використовують потенціалометричний метод з застосуванням спеціальних приладів – рН-метрів, дія яких базується на вимірюванні потенціала індикаторного електрода, який залежить від концентрації іонів  $H^+$  в досліджуваному розчині.

Підготуйте рН-метр до роботи згідно інструкції по експлуатації. Стандартний і індикаторний електроди промийте дистильованою водою і осушіть фільтрувальним папером. В стакан налейте досліджуваний розчин **HCl** і опустіть в нього електроди. Виміряйте **pH** розчину.

Вийміть електроди з розчину, промийте їх водою і осушіть, в промитий дистильованою водою стакан налейте досліджуваний розчин **NaOH** і виміряйте **pH**. Обчисліть **pH** розчинів **HCl** і **NaOH** даної концентрації. Результати запишіть в таблицю 2

Таблиця 2

Розчин	Концентрація, моль/л	<b>pH</b>	
		виміряне	обчислене
<b>HCl</b>			
<b>NaOH</b>			

### Дослід №3

### Необоротні і оборотні іонообмінні реакції

В п'ять пробірок помістіть по 4-5 крапель розчинів:

**BaCl<sub>2</sub>** і **Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>**;

**Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>** і **H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>**;

**NaOH** і **HNO<sub>3</sub>**;

**FeCl<sub>3</sub>** і **NH<sub>4</sub>SCN**;

**NaNO<sub>3</sub>** і **K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>**.

В третю пробірку до розчину **NaOH** додайте спершу краплю фенолфталеїну і після цього – розчину **HNO<sub>3</sub>**. Що спостерігається в пробірках? Напишіть рівняння іонообмінних реакцій в молекулярній, повній і короткій іонно-молекулярних формах. За яких умов іонообмінні реакції являються необоротними, проходять до кінця?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ ОК8-1_2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 50

#### Дослід №4 Гідроліз солей

На листок білого паперу помістіть п'ять окремих смужок універсального індикаторного папірця і на кожну з них нанесіть краплю розчинів  $NaCl$ ,  $K_2SO_4$ ,  $ZnSO_4$ ,  $Na_2CO_3$ ,  $NH_4CH_3COO$ . Порівняйте забарвлення індикаторних папірців із шкалою, запишіть  $pH$  розчинів солей, охарактеризуйте природу кожної солі.

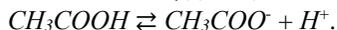
#### Приклади розв'язання

**Приклад 1.** Що таке константа дисоціації? Напишіть вираз константи дисоціації  $CH_3COOH$  і обчисліть ступінь дисоціації 0,2 М розчину  $CH_3COOH$ , якщо  $K_0 = 1,74 \cdot 10^{-5}$ .

**Розв'язок.** Оскільки електролітична дисоціація – оборотний процес, то вона підлягає закону діючих мас.

Константа дисоціації  $K_0$  – це відношення добутку молярних концентрацій іонів в степенях, що рівні коефіцієнтам у рівнянні дисоціації, до вихідної молярної концентрації електроліту.

Оцтова кислота – слабка кислота, дисоціює оборотно:



$$K_0 = \frac{[CH_3COO^-][H^+]}{[CH_3COOH]} = 1,74 \cdot 10^{-5}$$

Константа дисоціації  $K_0$ , ступінь дисоціації  $\alpha$  і молярна концентрація  $C_M$  зв'язані співвідношенням, яке називається законом розведення Оствальда:

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_0}{C_M}}$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{1,74 \cdot 10^{-5}}{0,2}} = 9,34 \cdot 10^{-3} \text{ або } 0,93 \%$$

**Приклад 2.** Обчислити ступінь дисоціації оцтової кислоти у розчині з молярною концентрацією речовини  $CH_3COOH$  0,1 моль/дм<sup>3</sup>.

**Розв'язок.** Для розв'язування задачі необхідно взяти з таблиці 13, додатку Б значення константи дисоціації оцтової кислоти:

$$K_0(CH_3COOH) = 1,74 \cdot 10^{-5}$$

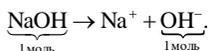
Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ OK8-1_2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 51

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_a}{C_M}}$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{1,74 \cdot 10^{-5}}{0,1}} \cong 1,33 \%$$

**Приклад 3.** Обчисліть молярну концентрацію іонів гідрогену і рН 0,01 М розчину  $NaOH$ .

**Розв'язок.** Гідроксид натрію – сильна основа, в розведеному розчині якої  $\alpha = 1$ :



При повній дисоціації з 1 моль  $NaOH$  утворюються 1 моль іонів  $OH^-$ , а з 0,01 моль  $NaOH$  – 0,01 моль  $OH^-$ .

Молярна концентрація  $[OH^-] = 10^{-2}$  моль/л, концентрація іонів гідрогену обчислюють виходячи з іонного добутку води:

$$[H^+][OH^-] = 10^{-14},$$

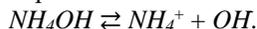
звідси:

$$[H^+] = \frac{10^{-14}}{[OH^-]} = \frac{10^{-14}}{10^{-2}} = 10^{-12} \text{ моль/л,}$$

$$pH = -\lg(10^{-12}) = 12.$$

**Приклад 4.** Обчисліть рН 0,001 М розчину  $NH_4OH$ , константа дисоціації якого  $K_a = 1,8 \cdot 10^{-5}$ .

**Розв'язок.** Розчин гідроксиду амонію – слабкий електроліт, який дисоціює в незначній мірі, оборотно:



Ступінь дисоціації слабого електроліту обчислюється згідно закону розведення Оствальда:

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_a}{C_M}} = \sqrt{\frac{1,8 \cdot 10^{-5}}{10^{-3}}} = 0,134$$

З рівняння дисоціації слідує, що з 1 моль слабого електроліту  $NH_4OH$  утворюється  $\alpha$  моль іонів  $NH_4^+$  і  $\alpha$  моль іонів  $OH^-$ ; тоді з  $C_M$  моль  $NH_4OH$  утвориться  $C_M \cdot \alpha$  іонів  $NH_4^+$  і  $C_M \cdot \alpha$  іонів  $OH^-$ .

Молярна концентрація іонів  $OH^-$  складає:

$$[OH^-] = C_M \cdot \alpha = 0,001 \cdot 0,134 = 1,34 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л.}$$

Молярна концентрація іонів  $H^+$  складає:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ ОК8-1_2024
	Випуск_1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 52

$$[\text{H}^+] = \frac{10^{-14}}{[\text{OH}^-]} = \frac{10^{-14}}{1,34 \cdot 10^{-4}} = 7,46 \cdot 10^{-11} \text{ моль/л.}$$

$$\text{pH} = -\lg (7,46 \cdot 10^{-11}) = 10,13.$$

### Завдання для самоконтроля

1. Константа дисоціації масляної кислоти  $\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}$  дорівнює  $1,5 \cdot 10^{-5}$ . Обчислити ступінь її дисоціації в 0,005 М розчині.
2. Знайти ступінь дисоціації гіпохлоритної кислоти  $\text{HClO}$  в 0,2 Н розчині.
3. Ступінь дисоціації мурашиної кислоти  $\text{HCOOH}$  в 0,2 Н розчині дорівнює 0,03. Визначити константу дисоціації кислоти.
4. Ступінь дисоціації карбонатної кислоти  $\text{H}_2\text{CO}_3$  за першим ступенем в 0,1 Н розчині дорівнює  $2,11 \cdot 10^{-3}$ . Обчислити константу дисоціації  $K_{a_1}$ .
5. При якій концентрації розчину ступінь дисоціації нітритної кислоти  $\text{HNO}_2$  буде дорівнювати 0,2?
6. В 0,1 Н розчині ступінь дисоціації оцтової кислоти дорівнює  $1,32 \cdot 10^{-2}$ . При якій концентрації нітритної кислоти  $\text{HNO}_2$  її ступінь дисоціації буде така сама?
7. Скільки води потрібно додати до 300 мл 0,2 М розчину оцтової кислоти, щоб ступінь дисоціації кислоти подвоївся?
8. Чому дорівнює концентрація іонів  $[\text{H}^+]$  у водному розчині мурашиної кислоти  $\text{HCOOH}$ , якщо  $\alpha = 0,03$ ?
9. Обчислити  $[\text{H}^+]$  в 0,02 М розчині сульфїтної кислоти. Дисоціацією кислоти за другим ступенем знехтувати.
10. Знайти молярну концентрацію іонів  $\text{H}^+$  в водних розчинах, в яких концентрація гідроксид-іонів (в моль/л) дорівнює: 1)  $10^{-4}$ ; 2)  $3,2 \cdot 10^{-6}$ ; 3)  $7,4 \cdot 10^{-11}$ .
11. Знайти молярну концентрацію іонів  $\text{OH}^-$  в водних розчинах, в яких концентрація іонів  $\text{H}^+$  (в моль/л) дорівнює: 1)  $10^{-3}$ ; 2)  $6,5 \cdot 10^{-8}$ ; 3)  $1,4 \cdot 10^{-6}$ .
12. Обчислити рН розчинів, в яких концентрація іонів  $\text{H}^+$  (в моль/л) дорівнює 1)  $2 \cdot 10^{-7}$ ; 2)  $8,1 \cdot 10^{-3}$ ; 3)  $2,7 \cdot 10^{-10}$ .

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ ОК8-_1_2024
	Випуск _1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 53

13. Обчислити рН розчинів, в яких концентрація іонів  $\text{OH}^-$  (в моль/л) дорівнює 1)  $4,6 \cdot 10^{-4}$ ; 2)  $5 \cdot 10^{-6}$ ; 3)  $9,3 \cdot 10^{-9}$ .
14. Обчислити рН 0,01 Н розчину оцтової кислоти, в якому ступінь дисоціації кислоти дорівнює 0,042.
15. Визначити рН розчину, в 1 л якого міститься 0,1 г NaOH. Дисоціацію луку вважати повною.
16. Визначити  $[\text{H}^+]$  і  $[\text{OH}^-]$  в розчині, рН якого дорівнює 6,2.
17. Обчислити рН наступних слабких електролітів: 1) 0,02 М  $\text{NH}_4\text{OH}$ ; 2) 0,1 М  $\text{HCN}$ ; 3) 0,05 Н  $\text{HCOOH}$ ; 4) 0,01 М  $\text{CH}_3\text{COOH}$ .
18. Чому дорівнює концентрація розчину оцтової кислоти, рН якого становить 5,2?
19. Обчислити масу осаду  $\text{AgCl}$ , який виділиться при змішуванні 100 мл  $\text{NaCl}$  концентрацією 0,5 моль/л і 50 мл  $\text{AgNO}_3$  концентрацією 0,1 моль/л.
20. Чи випаде в осад барій сульфат при додаванні розчину сульфатної кислоти об'ємом 100 мл з концентрацією 0,2 моль/л до розчину барій хлориду такого ж об'єму, з нормальною концентрацією розчину 0,02 моль/л? Додана кількість сульфатної кислоти є еквівалентною чи надлишковою?
21. Чи випаде в осад плюмбум(II) сульфат ( $\text{PbSO}_4$ ), якщо до 1 л розчину сульфатної кислоти з концентрацією 0,001 моль/л додати сполуку  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ , з концентрацією 0,0002 моль/л?
22. Чи утворюється осад, при змішуванні рівних об'ємів насиченого розчину  $\text{CaSO}_4$  з розчином  $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$  з концентрацією 0,0248 г/л?
23. Серед наведених солей вказати ті, що не гідролізують, а для тих, що гідролізують, вказати тип гідролізу:  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{Se}$ ,  $\text{BaS}$ ,  $\text{RbNO}_3$ ,  $\text{LiCl}$ ,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ,  $\text{ZnCl}_2$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_3$ ,  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{KClO}_3$ ,  $\text{HCOOK}$ ,  $\text{NH}_4\text{ClO}_4$ ,  $\text{NaClO}_4$ ,  $\text{KBrO}$ ,  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ ,  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$ ,  $\text{CaCl}(\text{ClO})$ ,  $\text{CrCl}_2\text{NO}_3$ ,  $\text{Sr}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ ,  $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Fe}(\text{CH}_3\text{COO})_3$ ,  $\text{AlSO}_4\text{NO}_3$ ? Написати рівняння гідролізу в іонно-молекулярній формі для однієї із солей.
24. Напишіть рівняння гідролізу в молекулярній та іонно-молекулярній формі по кожному степеню для солей: 1)  $\text{CuSO}_4$ , 2)  $\text{FeCl}_3$ , 3)  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ .

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ OK8-_1_2024
	Випуск _1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 54

## Лабораторна робота №8.

## Окисно-відновні реакції

### Короткі теоретичні відомості

Хімічні реакції, в ході яких змінюються ступені окиснення елементів у сполуках, називаються **окисно-відновними реакціями**.

Ступінь окиснення – умовний заряд атома елемента в сполуках, який обчислюють, допускаючи, що всі сполуки складаються з іонів.

Правила обчислення ступеня окиснення

1. Ступінь окиснення елемента в простих речовинах дорівнює нулю, наприклад,  $H_2^0$ ,  $O_2^0$ ,  $S^0$ ,  $Fe^0$ .

2. Ступінь окиснення Гідрогену в сполуках +1, а Оксигену – 2, наприклад,  $H_2^{+1}SO_4^{-2}$ .

3. Вищий ступінь окиснення елемента, як правило, дорівнює номеру групи. Елементи – метали у сполуках мають лише позитивні ступені окиснення.

4. Елементи – неметали, крім позитивних, мають і негативні ступені окиснення. Мінімальний негативний ступінь окиснення елемента-неметала дорівнює (№ групи – 8).

5. Сума ступенів окиснення всіх атомів або іонів, що входять до складу сполуки, дорівнює нулю.

Сума ступенів окиснення всіх атомів в складі іона дорівнює заряду іона.

$$K^{+1}Mn^xO_4^{-2}$$

$$+1 + x - 2 \cdot 4 = 0$$

$$x = +7$$

$$(S^xO_4^{-2})^{2-}$$

$$x - 2 \cdot 4 = -2$$

$$x = +6$$

Реакція окиснення – процес віддачі електронів з підвищенням ступеня окиснення.

Окисник – елемент, який у процесі реакції приймає електрони, при цьому ступінь окиснення зменшується.

Реакція відновлення – процес приєднання електронів із зменшенням ступеня окиснення.

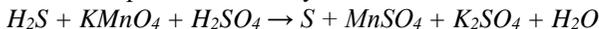
Відновник – елемент, який в процесі реакції віддає електрони, при цьому ступінь окиснення підвищується.

Рівняння окисно-відновних реакцій складають, користуючись правилом електронного балансу:

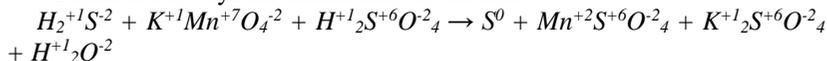
Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ ОК8-1_2024
	Випуск 1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 55

кількість електронів, які віддає атом (іон, молекула) відновника, повинна дорівнювати кількості електронів, які приєднують частинки окисника.

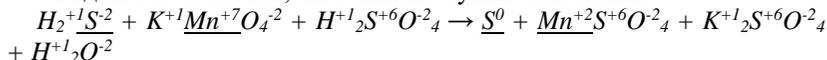
Визначення коефіцієнтів в рівняннях окисно-відновних реакцій методом електронного балансу.



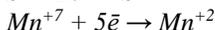
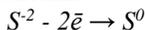
Визначаємо ступені окиснення елементів:



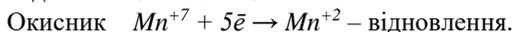
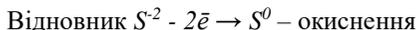
Виділяємо елементи, які змінили ступінь окиснення:



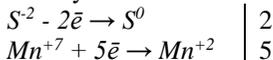
Складаємо електронні рівняння для елементів, які змінили ступінь окиснення:



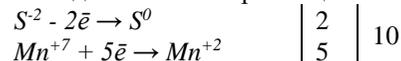
Визначаємо елементи: відновник, окисник, реакцію окиснення і відновлення:



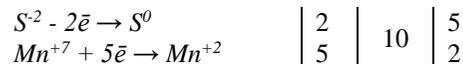
Записуємо кількість електронів в реакції окиснення і відновлення:



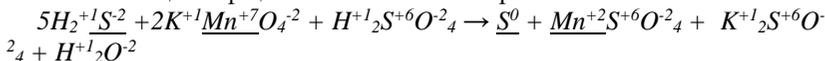
Знаходимо спільне кратне цих чисел:



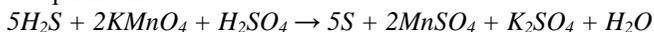
Ділимо спільне кратне на кількість електронів, при цьому одержуємо коефіцієнти при відновнику і окиснику



Стаavimo ці коефіцієнти в лівій частині рівняння:

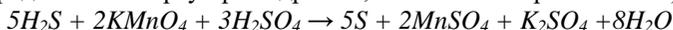


Зрівнюємо число атомів, які змінили ступені окиснення, в правій частині рівняння:



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ OK8-_1_2024
	Випуск_1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 56

Зрівнюємо число атомів, що не змінили ступені окиснення (передостанню чергу при Гідрогені, в останню – при Оксигені):



### Експериментальна частина

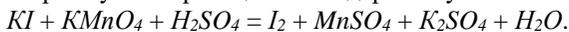
**Прилади та реактиви:** пробірки; розчини:  $KMnO_4$  0,5Н,  $H_2SO_4$  2Н,  $NaOH$  2Н,  $K_2SO_3$  кристалічний.

#### Дослід №1 Окисні властивості калій перманганату в залежності від рН середовища

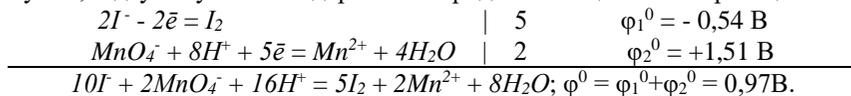
В три пробірки помістіть по 2-3 краплі розчину  $KMnO_4$  і додайте: в першу пробірку – 2 краплі розчину  $H_2SO_4$ , в другу – стільки ж розчину  $NaOH$ , в третю – дистильованої води. В кожен пробірку внесіть на кінчику шпателя по крупинці  $K_2SO_3$  і перемішайте. Як зміниться забарвлення в кожній пробірці? Майте на увазі, що сполуки Мангану з різними ступенями окиснення мають характерне забарвлення: іон  $MnO_4^-$  – фіолетовий,  $Mn^{2+}$  – практично безбарвний, іон  $MnO_4^{2-}$  – зелений, діоксид  $MnO_2$  – малорозчинна сполука бурого кольору. Складіть рівняння реакції за участю  $KMnO_4$  і  $K_2SO_3$  в кислому, лужному і нейтральному середовищах, визначте окисник і відновник. До яких ступенів окиснення відновлюється  $KMnO_4$  при  $pH < 7$ ?  $pH = 7$ ?  $pH > 7$ ?

### Приклади розв'язання

**Приклад 1.** Методом напівреакції розтавте коефіцієнти та визначте можливість перебігу такої реакції за стандартних умов:

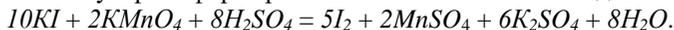


**Розв'язок.** Складаємо іонні схеми процесів окиснення та відновлення, урівнюємо реакцію. Для визначення напрямку перебігу окисно-відновної реакції у додатку Б, таблиця 16 знаходимо стандартні електродні потенціали та обчислюємо ЕРС реакції за стандартних умов, підсумовуючи стандартні електродні потенціали напівреакцій.



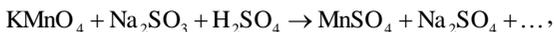
Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2/192.00.1/Б/ ОК8-_1_2024
	Випуск _1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 57

У молекулярній формі рівняння матиме такий вигляд:



Константа рівноваги цієї реакції за стандартних умов  $K = 10^{nE^{\circ}/0,059}$  буде значно більшою від одиниці. Отже, рівновага зміщена в бік утворення продуктів реакції.

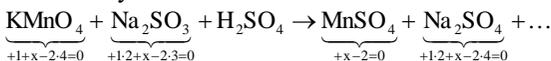
**Приклад 2.** Складіть рівняння окисно-відновної реакції:



і урівняйте методом електронного балансу.

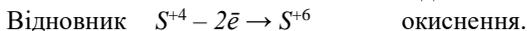
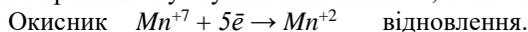
**Розв'язок.**

1. Визначаємо ступені окиснення елементів:

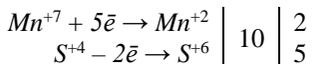


2. Визначаємо окисник, відновник, складаємо електронні рівняння процесів окиснення і відновлення.

$Mn^{+7}$  знаходиться в вищому ступені окислення +7, він – окисник;  $S^{+4}$  знаходиться в проміжному ступені окислення +4, вона – відновник.



3. За методом електронного балансу підбираємо коефіцієнти перед окисником і відновником: число електронів, прийнятих окисником, повинно дорівнювати числу електронів, відданих відновником.



4. Записуємо коефіцієнт 2 перед сполуками, що містять  $Mn^{+7}$  і  $Mn^{+2}$ , коефіцієнт 5 перед сполуками, що містять  $S^{+4}$  і  $S^{+6}$  в обох частинах рівняння:



5. Допишуємо в правій частині формули речовин, яких не вистачає. Якщо в правій частині не вистачає атомів Н або О, то пишуть формулу води. Балансуємо кількість атомів всіх елементів в обох частинах рівняння:



Ця реакція належить до міжмолекулярних окисно-відновних реакцій, тому що окисник і відновник – різні речовини.

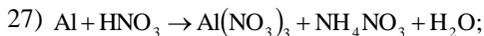
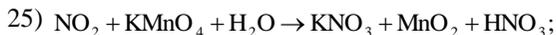
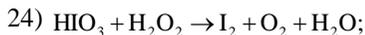
Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ OK8-_1_2024
	Випуск _1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 58

### Завдання для самоконтроля

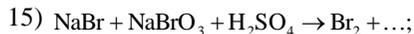
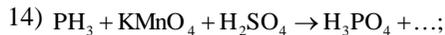
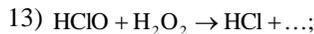
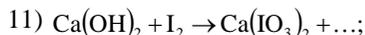
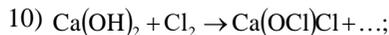
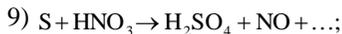
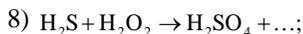
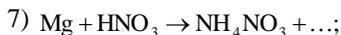
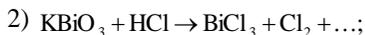
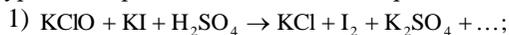
1. Користуючись правилом електронного балансу урівняти рівняння окисно-відновних реакцій, визначити окисник і відновник, вказати процеси окиснення та відновлення й тип реакції:

- 1)  $\text{HClO}_3 \rightarrow \text{ClO}_2 + \text{HClO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ;
- 2)  $\text{KClO}_3 \rightarrow \text{O}_2 + \text{KCl}$ ;
- 3)  $\text{I}_2 + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{HIO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ ;
- 4)  $\text{AgNO}_3 \rightarrow \text{Ag} + \text{NO}_2 + \text{O}_2$ ;
- 5)  $\text{HCl} + \text{MnO}_2 \rightarrow \text{MnCl}_2 + \text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ;
- 6)  $\text{H}_2\text{S} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{S} + \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ;
- 7)  $\text{As}_2\text{S}_3 + \text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{AsO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{NO}$ ;
- 8)  $\text{Zn} + \text{KOH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{K}_2[\text{Zn}(\text{OH})_4] + \text{H}_2$ ;
- 9)  $\text{H}_2\text{S} + \text{KMnO}_4 + \text{HCl} \rightarrow \text{S} + \text{MnCl}_2 + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$ ;
- 10)  $\text{NH}_4\text{NO}_3 \rightarrow \text{N}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$ ;
- 11)  $\text{H}_2\text{MnO}_4 \rightarrow \text{HMnO}_4 + \text{MnO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ;
- 12)  $\text{Cl}_2 + \text{KOH} \rightarrow \text{KClO}_3 + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$ ;
- 13)  $\text{FeS}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{SO}_2$ ;
- 14)  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + \text{KMnO}_4 \rightarrow \text{CH}_3\text{COOK} + \text{MnO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{KOH}$ ;
- 15)  $\text{Zn} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{N}_2 + \text{Zn}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{O}$ ;
- 16)  $\text{MgI}_2 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{I}_2 + \text{MgSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ;
- 17)  $\text{NH}_4\text{NO}_2 \rightarrow \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ;
- 18)  $\text{SO}_2 + \text{HClO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HCl} + \text{H}_2\text{SO}_4$ ;
- 19)  $\text{NaNO}_2 + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{NaNO}_3 + \text{MnSO}_4 +$   
 $+ \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ .
- 20)  $\text{NaBr} + \text{MnO}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{MnSO}_4 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{Br}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ;
- 21)  $\text{H}_2\text{SO}_3 + \text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{HCl}$ ;
- 22)  $\text{KNO}_2 + \text{KI} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{NO} + \text{I}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ;
- 23)  $\text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{Na}_2\text{SO}_4 +$   
 $+ \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ;

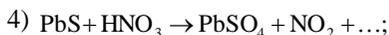
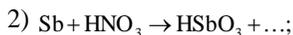
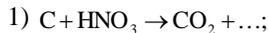
Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ ОК8-_1_2024
	Випуск _1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 59



2. Допишіть рівняння окисно-відновних реакцій, визначте окисник і відновник, вкажіть процеси окиснення та відновлення й тип реакції; урівняйте рівняння методом електронного балансу:



3. Допишіть та урівняйте ті рівняння, в яких окисником є концентрована нітратна кислота:



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ OK8-_1_2024
	Випуск _1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 60

## Лабораторна робота № 9. Електрохімічні процеси

### Короткі теоретичні відомості

Електрохімічними процесами називають окисно-відновні реакції, які відбуваються в розчинах або розплавах електролітів на поверхні електродів і супроводжуються або появою в системі електричного струму, або відбуваються при підведенні струму від зовнішнього джерела.

Електрод – це пластинка з металу, графіту або іншого матеріалу, який має електричну провідність і опущена в розчин або розплав електроліта.

Різниця потенціалів на межі розділу метал-розчин електроліту називаються електродним потенціалом ( $\varphi$ ). Електродному потенціалу прийнято приписувати той знак, який виникає на поверхні металу в подвійному електричному шарі.

Електродний потенціал металу залежить від наступних факторів:

- 1) природи металу, яка визначається величиною його стандартного електродного матеріалу  $\varphi_{Me/Me^{n+}}^0$ ;
- 2) температури  $T$ ;
- 3) заряду іона металу  $n$ ;
- 4) від активності (молярної концентрації) іонів електроліта в розчині. Ця залежність виражається рівнянням Нернста:

$$\varphi_{Me/Me^{n+}} = \varphi_{Me/Me^{n+}}^0 + \frac{RT}{nF} \ln a_{Me^{n+}}$$

### Експериментальна частина

**Прилади та реактиви:** вольтметр; гальванометр; випрямляч; стакани на 100 мл; пластини з міді, цинку, заліза; мідна дротина; електролітичний ключ; гранули цинку; смужки оцинкованого і лудженого заліза 1×10 см; графітові електроди; розчини:  $CuSO_4$ , 1М;  $FeSO_4$ , 1М;  $ZnSO_4$ , 1М;  $K_3[Fe(CN)_6]$ , 0,5Н;  $KI$ , 0,5Н;  $Na_2SO_4$ , 0,5Н; крохмаль, 0,5%; фенолфталеїн; універсальний індикаторний папір.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ OK8-_1_2024
	Випуск_1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 61

### Дослід №1

### Гальванічні елементи Даніеля-Якобі

В стакан з 1М розчину  $ZnSO_4$  опустіть зачищену наждачним папером і промиту дистильованою водою цинкову пластинку; в другий стакан з 1М розчином  $FeSO_4$  опустіть аналогічно підготовлену залізну пластинку. З'єднайте стакани електрохімічним ключем, а електроди – провідниками з вольтметром. Спостерігайте відхилення стрілки приладу. Замініть цинковий електрод приготвленим мідним електродом. В яку сторону відхилилась стрілка вольтметра? Замініть послідовність з'єднання електродів з вольтметром.

Напишіть схеми цинк-залізного і залізо-мідного гальванічних елементів, вкажіть анод, катод. В якому напрямку переміщуються електрони в зовнішньому ланцюгу цих елементів? Напишіть рівняння реакції на електродах елементів, сумарні рівняння реакції. В знайдіть табличні значення стандартних електродних потенціалів металів і обчисліть стандартну напругу цих гальванічних елементів.

### Дослід №2

### Гальванічний елемент Вольта (контактна електрохімічна корозія металів)

В пробірку наберіть 1 мл розчину  $H_2SO_4$ , розведіть 1-1,5 мл води і помістіть гранулу цинку. Спостерігайте повільне виділення водню на поверхні металу (корозія цинку). Опустіть в розчин кислоти зачищену мідну дротину. Чи витісняє мідь водень з розчину  $H_2SO_4$ ? Доторкніться дрогоїною до гранули цинку. Що відбувається?

Складіть схему корозійного мікрогальванічного елемента, напишіть рівняння реакцій на електродах. Чому при контакті цинку і міді в розчині кислоти водень виділяється на поверхні міді, а швидкість корозії цинку зростає?

### Дослід №2

### Корозія оцинкованого і лудженого заліза

В дві пробірки по 0,5 мл розчину  $H_2SO_4$ , додайте 5 мл води і 2-3 краплі розчину  $K_3[Fe(CN)_6]$ , який є чутливим реактивом на іони  $Fe^{2+}$  і  $Zn^{2+}$ . В першу пробірку помістіть смужку оцинкованого заліза, а в другу – лудженого. Спостерігайте появу жовтого забарвлення в першій

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ OK8-_1_2024
	Випуск_1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 62

пробіріці внаслідок утворення комплексу  $Zn_3[Fe(CN)_6]_2$  і синього в другій – за рахунок комплексу  $Fe [Fe(CN)_6]_2$ .

Напишіть схеми мікрокорозійного цинк-залізного і залізо-олов'яного гальванічного елементів в розчині  $H_2SO_4$  і рівняння реакції при порушенні покриттів. Зробіть висновок про захисну здатність цинкового і луженого покриттів на залізі.

Дослід №3

### Електроліз водного розчину KI з інертними електродами

В U-подібну трубку налейте на  $\frac{3}{4}$  її висоти розчину **KI** і помістіть в обидва коліна графітові електроди, вставлені в гумові пробки. З'єднайте провідниками електрод-катод з клемою (-) випрямляча, а анод – з клемою (+). В прикатодний розчин додайте 5-6 крапель фенолфталеїну, а в прианодний – стільки ж розчину крохмалю. Включіть випрямляч, подаючи на електроди різницю потенціалів  $\sim 2V$ . Спостерігайте виділення бульбашок газу (якого?) на поверхні катода і зміну забарвлення розчинів біля електродів (чому?).

Напишіть рівняння реакцій на електродах, складіть сумарне рівняння електролізу.

### Приклади розв'язання

**Приклад 1.** За даними стандартних електродних потенціалів купруму і цинку розрахуйте ЕРС елемента, складеного з напівелементів:



**Розв'язок:** Розрахуємо ЕРС за рівнянням:

$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 \text{ або } \Delta\varphi = \varphi_{\kappa} - \varphi_{a},$$

$$\varphi_i = \varphi_i^0 + \frac{RT}{nF} \lg \left( \frac{a_{Ox}}{a_{Red}} \right),$$

$$\frac{2,3 RT}{F} = \frac{2,3 \cdot 8,314 \cdot 298}{96487} = 0,059 \text{ В.}$$

Значення стандартних електродних потенціалів знаходимо в довіднику :  $\varphi_{Cu/Cu^{2+}}^0 = +0,337 \text{ В; } \varphi_{Zn/Zn^{2+}}^0 = -0,763 \text{ В}$ . Так як мідний півелемент більш електропозитивний в елементі катод, то:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ ОК8-_1_2024
	Випуск _1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 63

$$\Delta\varphi = \varphi_{\text{Cu}^0/\text{Cu}^{2+}}^0 - \varphi_{\text{Zn}^0/\text{Zn}^{2+}}^0 + \frac{0,059}{2} \lg \frac{C_{\text{Cu}^{2+}}}{C_{\text{Zn}^{2+}}};$$

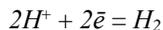
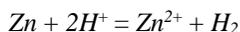
$$\Delta\varphi = 0,337 - 0,763 + \frac{0,059}{2} \lg \frac{0,3}{0,02}; \varphi = 1,135 \text{ В.}$$

**Приклад 2.** Для реакції  $\text{Zn} + 2\text{HCl}_{(\text{р-н})} = \text{H}_2 + \text{ZnCl}_{2(\text{р-н})}$  встановіть направлення реакції в стандартних умовах за даними про стандартні електродні потенціали і дайте схему відповідного електрохімічного елемента.

**Розв'язок:** Записуємо рівняння однієї з можливих електродних реакцій:



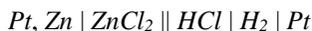
і віднімаємо його від загального рівняння, записаного в іонній формі:



Стандартні електродні потенціали електродних реакцій (1) і (2) знаходимо в довіднику  $\varphi_1 = 0$ ;  $\varphi_2 = -0,763 \text{ В}$ . Так як  $\varphi_1^0 > \varphi_2^0$  то від рівняння реакції (1) віднімаємо рівняння реакції (2) і отримуємо:



Записуємо схему елемента відповідно до значень електродних потенціалів:



**Приклад 3.** Обчисліть товщину хромового покриття на сталі, якщо після хромування маса сталевної пластинки площею  $100 \text{ см}^2$  зросла на  $3,5 \text{ г}$ . Густина хрому  $\rho = 7,19 \text{ г/см}^3$ .

**Розв'язок.** Маса покриття  $m$  зв'язана з площею  $S$ , товщиною і густиною хрому співвідношенням:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2/192.00.1/Б/ ОК8-_1_2024
	Випуск_1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 64

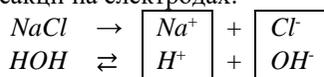
$$m = S \cdot h \cdot \rho,$$

Звідки товщина покриття дорівнює:

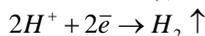
$$h = \frac{m}{S \cdot \rho} = \frac{3,5}{100 \cdot 7,19} = 0,0049 \text{ м}.$$

**Приклад 4.** Скільки часу потрібно, щоб повністю виділити електролізом хлор, який міститься в 1 л 1 М розчину NaCl, при силі струму 10 А?

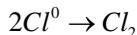
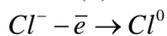
**Розв'язок.** Рівняння реакції на електродах:



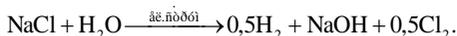
катод (-)



(+) анод



Сумарне рівняння електролізу:



В одному літрі одномолярного розчину NaCl міститься 1 моль солі масою  $M_r(NaCl) = 58,4$  г.

Еквівалентна маса хлору  $M_{\text{екв.}}(Cl) = 35,5$  г/моль.

1 моль NaCl містить 1 моль  $Cl^-$ .

Згідно II-го закону Фарадея, для виділення еквівалента хлору потрібно  $Q = 96500$  Кл електрики.

Кількість електрики:

$$Q = I \cdot \tau,$$

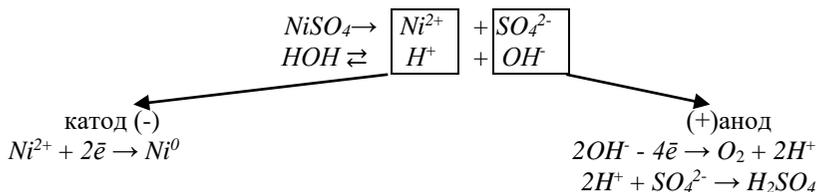
звідки час, необхідний для виділення хлору, дорівнює:

$$\tau = \frac{Q}{I} = \frac{96500}{10} = 9650 \text{ с}.$$

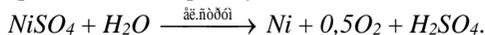
**Приклад 5.** Обчисліть масу речовин, які виділяються на електродах при електролізі водного розчину  $NiSO_4$  силою струму 10 А протягом 2,5 год. і при виході по струму 98%.

**Розв'язок.** Рівняння реакцій на електродах:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ ОК8-1_2024
	Випуск_1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 65



Сумарне рівняння електролізу:



Згідно 1-го закону Фарадея, маса речовини  $m$ , яка виділяється на електроді, пропорційна кількості електрики:

$$m = K \cdot Q = K \cdot I \cdot \tau = \frac{M_{\text{екв.}} \cdot I \cdot \tau}{F};$$

де  $I$  – сила струму, А;

$\tau$  – час, сек;

$M_{\text{екв.}}$  – молярна еквівалентна маса речовини, яка виділяється на електроді;

$F$  – число Фарадея,  $F = 96500$  Кл;

$K$  – електрохімічний еквівалент:

$$K = \frac{M_{\text{екв.}}}{F}, \text{ [г/Кл]}$$

Молярна маса еквівалентна Нікелю:

$$M(\text{Ni}) = \frac{M(\text{Ni})}{2} = \frac{58,7}{2} = 29,35 \text{ г/моль.}$$

Молярна маса еквівалента Оксигену:

$$M_{\text{екв.}}(\text{O}_2) = 8 \text{ г/моль.}$$

Маси речовин, які можна теоретично одержати на електродах:

$$m(\text{Ni}) = \frac{M_{\text{екв.}} \cdot I \cdot \tau}{F} = \frac{29,35 \cdot 10 \cdot 2,5 \cdot 3600}{96500} = 27,4 \text{ г,}$$

### Завдання для самоконтроля

1. Напишіть рівняння реакцій, які протікають в наступних елементах:
  - 1)  $Zn | ZnSO_4 || CuSO_4 | Cu$ ;
  - 2)  $Cu | CuCl_2 || AlCl_3 | Al$ ;
  - 3)  $Pt | Cd | CdSO_4 || Hg_2SO_4 | Hg | Pt$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ ОК8-_1_2024
	Випуск _1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 66

- 4)  $\text{Pt} | \text{H}_2 | \text{H}_2\text{SO}_4 || \text{Hg}_2\text{SO}_4 | \text{Hg}_2\text{SO}_{4(\text{т})} | \text{Hg} | \text{Pt}$ ;  
 5)  $\text{Cu}, \text{Cu}(\text{OH})_{2(\text{т})} | \text{H}_2\text{O} | \text{Na}(\text{OH})_{(\text{р-н})} | \text{H}_2 | \text{Pt}$ .
2. Як повинні бути складені елементи та напівелементи, щоб в них протікали реакції:
- $\text{Cd} + \text{CuSO}_4 = \text{CdSO}_4 + \text{Cu}$ ;
  - $2\text{Ag}^+ + \text{H}_2 = 2\text{Ag} + 2\text{H}^+$ ;
  - $\text{Ag}^+ + \text{I}^- = \text{AgI}_{(\text{т})}$ ;
  - $\text{Ag}_{(\text{т})} + \text{I}_{(\text{т})} = \text{AgI}_{(\text{р-н})}$ ;
  - $\text{H}_2 + \text{Cl}_2 = 2\text{HCl}$ ;
  - $\text{Zn} + 2\text{Fe}^{3+} = \text{Zn}^{2+} + \text{Fe}^{2+}$ ;
  - $\text{H}^+ + \text{OH}^- = \text{H}_2\text{O}$ ;
  - $\text{Li} + \frac{1}{2}\text{F}_2 = \text{Li}^+ + \text{F}^-$ ;
  - $\text{H}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2 = \text{H}_2\text{O}$
3. Розрахуйте ЕРС елемента:
- $$\text{Zn} | \text{Zn}^{2+} || \text{Cd}^{2+} | \text{Cd}$$
- $$C_M = 5 \cdot 10^{-4} \text{ M} \quad C_M = 0,2 \text{ M}$$
4. Напишіть рівняння реакції для елемента:
- $$\text{Pb} | \text{Pb}(\text{NO}_3)_2 || \text{AgNO}_3 | \text{Ag}$$
- $$C_M = 1 \text{ M} \quad C_M = 1 \text{ M}$$
- Обчисліть ЕРС.
5. Зобразіть схематично гальванічний елемент, запишіть напівреакції анодного та катодного процесів, обчисліть його ЕРС, якщо він складений:
- з мідного та цинкового електродів, занурених в 1 М розчини їх сульфатів;
  - зі срібного та залізного (III) електродів, занурених в 1 М розчини їх нітратів;
  - з кадмієвого та мідного електродів, занурених в 1 М розчини їх хлоридів;
6. При електролізі розчину  $\text{CuCl}_2$  на аноді виділилось 560 мл газу. Знайти масу міді, що виділилась на катоді.
7. Обчислити масу срібла, що виділилось на катоді при пропусканні струму силою 6 А через розчин аргентум нітрату за 30 хв.
8. Скільки часу потрібно для повного розкладу 2 молей води силою струму 2 А?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ ОК8-_1_2024
	Випуск _1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 67

9. Як електролітично отримати літій гідроксид (LiOH) із соли літію? Яка кількість струму необхідна для отримання 1 т LiOH? Складіть схеми електродних процесів.
10. Знайти об'єм кисню (н.у.), який виділиться при пропусканні струму силою 6 А протягом 30 хв. через водний розчин KOH.
11. Знайти об'єм водню (н.у.), який виділиться при пропусканні струму силою в 3 А протягом 1 год. через водний розчин H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.
12. Яка кількість струму необхідна для виділення із розчину:
  - 1) 2 г водню;
  - 2) 2 г кисню?
13. При електролізі водного розчину Cr<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> струмом силою в 2 А маса катоду збільшилась на 8 г. Скільки часу проводився електроліз?
14. При електролізі водного розчину SnCl<sub>2</sub> на аноді виділилось 4,48 л хлору (н.у.). Знайти масу виділеного на катоді олова.
15. За 10 хв. із розчину платинової соли струм силою 5 А виділив 1,517 г Pt. Визначити молярну масу еквівалента платини.
16. Чому дорівнює молярна маса еквівалента кадмію, якщо для виділення 1 г кадмію з розчину його соли протібно пропустити через розчин 1717 Кл електрики?
17. При проходженні через розчин соли трехвалентного металу струму силою 1,5 А протягом 30 хв. на катоді виділилось 1,071 г металу. Обчислити атомну масу металу.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ OK8-_1_2024
	Випуск _1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 68

## Лабораторна робота 10

## Будова і властивості комплексних сполук

### Короткі теоретичні відомості

Теорію будови комплексних сполук називають координаційною теорією Вернера. В основу координаційної теорії покладені такі положення:

1. *Комплексоутворювач* (найчастіше йон металу) координує більшу кількість іонів протилежного знака або нейтральних молекул, ніж це дозволяє його "звичайна" валентність (ступінь окиснення). Найбільшу схильність до утворення комплексів виявляють катіони d-металів, наприклад  $Ti^{4+}$ ,  $Cr^{3+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Co^{3+}$ ,  $Cu^{2+}$  та ін. Але комплексоутворювачами можуть бути й атоми металів (наприклад, Fe, Co, Ni), а також деякі неметали з високими ступенями окиснення (Si, B, P та ін.).

2. Приєднані до комплексоутворювача частки (молекули, аніони) називаються *лігандами*. Ліганд може утворювати з комплексоутворювачем один або кілька хімічних зв'язків. Число хімічних зв'язків, що утворює ліганд з комплексоутворювачем, називається його дентатністю. Так, монодентатними є такі ліганди:  $F^-$ ,  $Cl^-$ ,  $H_2O$ ,  $OH^-$ ,  $NH_3$ ,  $CN^-$ . Полідентатними найчастіше є органічні молекули або йони, що містять кілька функціональних груп:  $NH_2 - CH_2 - CH_2 - NH_2$ ,  $(-OOC - COO^-)_2$  – (бідентатні ліганди).

3. Загальне число атомів усіх лігандів або груп атомів, що утворюють зв'язки з комплексоутворювачем, називають *координаційним числом* комплексоутворювача. Найчастіше зустрічаються комплекси з координаційним числом 4 і 6.

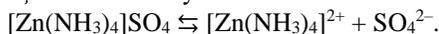
4. Комплексоутворювачі і ліганди сукупно складають *внутрішню координаційну сферу* комплексу, яку, як правило, записують у квадратних дужках, її заряд дорівнює сумі зарядів комплексоутворювача і лігандів. У зовнішній сфері містяться йони, заряд яких дорівнює (але протилежний за знаком) заряду внутрішньої сфери. За зарядом внутрішньої сфери комплексні сполуки поділяють на нейтральні, катіонні, аніонні.

5. У *назвах* комплексів зазначають число лігандів грецькими числівниками (ді-, три-, тетра-, пента-, гекса-), потім назви лігандів. В

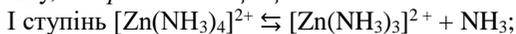
Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2/192.00.1/Б/ OK8-_1_2024
	Випуск _1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 69

назвах лігандів переважно застосовують суфікс «о» ( $\text{Cl}^-$  – хлоро,  $\text{CN}^-$  – ціано,  $\text{NO}_2^-$  – нітро,  $\text{NH}_3$  – амін, але  $\text{H}_2\text{O}$  – аква). Якщо у внутрішній сфері є кілька різних лігандів, спочатку вказують аніони, потім нейтральні молекули. Далі подають назву комплексоутворювача для катіонних комплексів або корінь латинської назви комплексоутворювача з суфіксом «ат» для аніонних комплексів, у дужках – ступінь окиснення комплексоутворювача латинськими цифрами. Крім того, називають йони зовнішньої сфери. Наприклад:  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  – калій гексаціаноферат (III) (аніонна),  $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$  – дихлородіаміноплатина(II) (нейтральна);  $[\text{Be}(\text{H}_2\text{O})_4]\text{SO}_4$  – тетраакваберилій(II) сульфат (катіонна).

Різний характер хімічного зв'язку між внутрішньою і зовнішньою сферами, з одного боку, і між комплексоутворювачем і лігандами, з другого, проявляється у процесах дисоціації комплексних сполук у розчинах. Спочатку відбувається повний розпад на йони внутрішньої і зовнішньої сфер. Цей процес називають *первинною дисоціацією* комплексу:

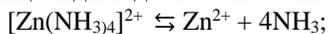


Далі оборотно і ступінчасто йде розпад внутрішньої сфери комплексу, *вторинна дисоціація*:



$$K_{H1} = \frac{[\text{Zn}(\text{NH}_3)_3]^{2+} \cdot [\text{NH}_3]}{[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}}$$

Кожній стадії дисоціації відповідає ступінчаста константа дисоціації ( $K_{H1} > K_{H2} > K_{H3}$  і т. д.). Найкраще дисоціація внутрішньої сфери відбувається за I ступенем. Сумарному процесу вторинної дисоціації відповідає загальна константа дисоціації:



$$K_H = \frac{[\text{Zn}^{2+}] \cdot [\text{NH}_3]^4}{[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}}$$

Чим нестійкіший комплексний іон у розчині, тим інтенсивніше проходить процес вторинної дисоціації і тим більші значення мають константи дисоціації. Тому їх ще називають константами нестійкості. *Константи нестійкості* або обернені їм значення, які називають константами утворення (стійкості), як такі, що характеризують стійкість комплексних йонів у розчинах, наведені у відповідних довідкових таблицях.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ OK8-_1_2024
	Випуск _1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 70

### Експериментальна частина.

**Обладнання та реактиви.** Пробірки, фарфорові чашки, газові пальники, пробіркотримачі, фільтрувальний папір, паперові індикатори, пінцети, мідь, цинк, кадмій, залізо, розчини натрій та амоній гідроксидів; розбавлені та концентровані розчини хлоридної, сульфатної, нітратної, сульфідної, ацетатної кислоти; розчини купрум сульфату, натрій карбонату, калій карбонату, калій перманганату, цинк сульфату, калій ціаніду, амоній тіоціанату, кадмій сульфату, кадмій хлориду, ферум(II) сульфату, амоній сульфідну, ферум(III) сульфату, ферум (III) хлориду і калій дихромату; кобальт оксалат (кристалічний), етанол.

#### Дослід 1. Комплексні сполуки Цинку.

**Порядок виконання роботи.** До розчину цинк сульфату чи іншої розчинної солі Цинку краплями долийте розчину аміаку до утворення осаду (який склад осаду?), а потім надлишок до розчинення його.

**Запис даних дослід.** Записати спостереження і рівняння реакції. Назвіть утворену комплексну сполуку та на які йони вона дисоціює?

#### Дослід 2. Комплексні сполуки Кадмію.

**Порядок виконання роботи.** До розчину солі Кадмію в одну пробірку додайте спочатку краплями, а далі надлишок розчину аміаку до розчинення осаду. У другу пробірку до розчину солі Кадмію додайте спочатку краплями, а далі надлишок калій ціаніду (до розчинення осаду).

**Запис даних дослід.** Напишіть рівняння реакцій. На які йони дисоціює утворена сполука? Назвіть сполуки.

#### Дослід 3. Добування жовтої кров'яної солі.

**Порядок виконання роботи.** До розчину ферум(II) сульфату (або ферум(II) хлориду) долийте краплями розчину калій ціаніду до утворення осаду, а далі надлишок калій ціаніду до розчинення осаду.

**Запис даних дослід.** Напишіть рівняння реакцій. Доведіть експериментально відповідними реактивами (якими?), що у розчині

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ OK8-_1_2024
	Випуск _1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 71

немає вільних йонів Феруму, а що це є комплексна сполука, в аніон якої входить Ферум. Опишіть.

#### *Дослід 4. Добування червоної кров'яної солі.*

**Порядок виконання роботи.** До розчину солі Феруму (III) краплями додайте розчину калій ціаніду, поки не утвориться осад (чого?). До утворення осаду доливайте ще надлишок калій ціаніду, поки не розчиниться осад.

**Запис даних дослід.** Напишіть рівняння реакцій. На які йони дисоціює

#### *Дослід 5. Утворення турбулевої блакиті.*

**Порядок виконання роботи.** До добутого розчину червоної кров'яної солі додайте розчину солі Феруму (II). Що утворюється?

**Запис даних дослід.** Напишіть рівняння реакції.

#### *Дослід 6. Одержання комплексних сполук Кобальту.*

**А. Порядок виконання роботи.** До розчину солі Кобальту (II) спочатку краплями долейте розчину аміаку до утворення осаду, а потім надлишок до зникнення осаду.

**Запис даних дослід.** Написати рівняння реакцій. Дати відповіді на питання. Яка речовина випала в осад? Яка комплексна сполука утворилась, коли додано надлишок аміаку? На які йони вона дисоціює?

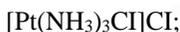
**Б. Порядок виконання роботи.** 2. У пробірку до розчину солі Кобальту(II) долейте концентрованого розчину амоній тіоціанату. До добутого синього розчину долейте води. Поясніть зміну кольору розчину.

**Запис даних дослід.** Напишіть рівняння реакцій. Чим зумовлюється синій колір розчину? Яка формула комплексної сполуки?

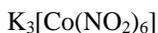
#### **Приклади розв'язання задач**

**Приклад 1.** Назвати комплексну сполуку за формулою:

а)



б)

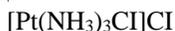


Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ ОК8- 1_2024
	Випуск _1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 72

**Розв'язок.** Комплексні сполуки називають, починаючи з катіона. Назву комплексного йона складають так: в алфавітному порядку перелічують ліганди, вказуючи перед назвою ліганду його кількість за допомогою грецьких числівників ( ди, три, тетра, пента, гекса і т.д.). Останнім називають комплексоутворювач та його ступінь окиснення (римськими цифрами після назви комплексоутворювача).

У назвах катіонних і нейтральних комплексних йонів не передбачено спеціальних закінчень, а назви аніонних комплексів мають суфікс *-ат*, що додається до кореня назви центрального атома. В цілому для складання назви комплексної сполуки необхідно визначити за формулою зовнішню сферу та її заряд, заряд комплексного йона, заряди лігандів і ступінь окиснення комплексоутворювача.

а) В комплексній сполуці



зовнішня сфера представлена хлорид-аніоном  $\text{Cl}^-$ , комплексний йон – катіоном



в якому комплексоутворювачем є  $\text{Pt}^{+2}$ , а лігандами – молекули  $\text{NH}_3$  та йон  $\text{Cl}^-$ . Називаємо сполуку відповідно до вимог номенклатури: триамінхлороплатина (II) хлорид.

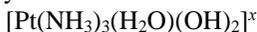
б) У комплексній сполуці  $\text{K}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$  роль зовнішньої сфери відіграють три катіони  $\text{K}^+$ , комплексного йона – аніон



в якому комплексоутворювачем є  $\text{Co}^{3+}$ , а лігандами – шість аніонів  $\text{NO}_2^-$ . З урахуванням правил номенклатури називаємо сполуку: калій гексанітритокобальтат (III).

**Приклад 2.** Складіть формулу сполуки за назвою: триамінаквадигідроксоплатина (IV) хлорид.

**Розв'язок.** Як випливає з назви сполуки, комплексоутворювачем в ній є йон  $\text{Pt}^{+4}$ , а лігандами – дві гідроксильні групи  $\text{OH}^-$  (на що вказує частина слова «гідроксо», перед якою є множувальний префікс «ди»), одна нейтральна молекула  $\text{H}_2\text{O}$  (аква) і три молекули амоніаку  $\text{NH}_3$  (триамін). З урахуванням всіх перелічених частинок одержуємо формулу комплексного йона



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ ОК8-_1_2024
	Випуск _1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 73

а його заряд визначаємо як алгебраїчну суму зарядів всіх складових:

$$1 \cdot (+4) + 3 \cdot 0 + 1 \cdot 0 + 2 \cdot (-1) = +2 \quad ([Pt(NH_3)_3(H_2O)(OH)_2]^{2+}).$$

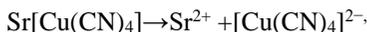
Координаційне число комплексоутворювача дорівнює загальній кількості всіх лігандів ( $3+1+2=6$ ). Зовнішня сфера комплексної сполуки – протийон – повинна мати такий же за величиною, але протилежний за знаком заряд ( $-2$ ), що забезпечується двома йонами  $Cl^-$ . Остаточна формула триамінаквадигідроксоплатини (IV) хлориду має вигляд:



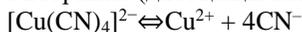
**Приклад 3.** Скласти координаційну формулу комплексної сполуки, що містить частинки  $Cu^{2+}$ ,  $CN^-$ ,  $Sr^{2+}$ , написати рівняння первинної та вторинної дисоціації, а також вираз константи нестійкості.

**Розв'язок.** Спочатку необхідно визначити центральний атом, або комплексоутворювач. Це може бути  $Cu^{2+}$  чи  $Sr^{2+}$ . Однак зважаючи на те, що найчастіше у ролі комплексоутворювача виступають йони d-елементів, вважаємо, що центральним атомом буде йон  $Cu^{2+}$ . Координаційне число, як правило, вдвічі більше за ступінь його окиснення, тому для  $Cu^{2+}$  воно дорівнюватиме 4. Лігандами можуть бути електронейтральні молекули, що містять атоми з неподіленими електронними парами, або негативно заряджені йони, до яких належать частинки  $CN^-$ . Таким чином, одержуємо формулу  $Sr[Cu(CN)_4]$  – стронцій тетраціанокупрат (II).

Первинна, або електролітична дисоціація відбувається згідно з рівнянням:



а вторинна (дисоціація комплексного йона) –



Вторинна дисоціація проходить дуже незначною мірою, тому підлягає закону діючих мас і характеризується константою рівноваги, яку у випадку комплексного йона називають константою нестійкості (додаток 10):

$$K_{\text{нест}} = \frac{[Cu^{2+}] \cdot [CN^-]^4}{[[Cu(CN)_4]^{2-}}} = 5 \cdot 10^{-28}.$$

**Завдання для самоконтроля.**

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ ОК8-_1_2024
	Випуск _1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 74

1. Хто створив координаційну теорію?
2. Що називають комплексоутворювачем? Які елементи можуть бути комплексоутворювачами?
3. Що таке ліганди? Назвіть найбільш поширені ліганди.
4. Номенклатура комплексних сполук, привести приклади.
5. Дисоціація комплексних сполук.
6. Що називають константою нестійкості комплексу, що вона характеризує?
7. Визначити ступінь окиснення та координаційне число комплексоутворювача в наступних комплексних сполуках та назвати їх: а)  $K[AuBr_4]$ ; е)  $K[PtNH_3Cl_5]$ ; б)  $K_2[Cd(CN)_4]$ ; ж)  $H[Co(H_2O)_2(CN)_4]$ ; в)  $Ca[ZrF_6]$ ; з)  $[Pt(NH_3)_5Cl]Cl_3$ ; г)  $Na_3[Ag(S_2O_3)_2]$ ; і)  $Na_2[FeNO(CN)_5]$ ; д)  $[Pt(NH_3)_2Cl_2]$ ; к)  $K[Cr(SO_4)_2]$ .
8. Написати координаційні формули наступних комплексних сполук, назвати їх. Обґрунтувати вибір комплексоутворювача. а)  $3NaF \cdot AlF_3$ ; е)  $3NaCl \cdot IrCl_3$ ; б)  $SiF_4 \cdot BaF_2$ ; ж)  $3KCN \cdot Fe(CN)_3$ ; в)  $2Ca(CN)_2 \cdot Fe(CN)_2$ ; з)  $Cd(OH)_2 \cdot 4NH_3$ ; г)  $CoCl_3 \cdot 4NH_3 \cdot H_2O$ ; і)  $KCl \cdot PtCl_4 \cdot NH_3$ ; д)  $2KNO_3 \cdot HNO_3 \cdot Au(NO_3)_3$ ; к)  $KCN \cdot Co(CN)_3 \cdot 2H_2O$ .
9. Написати координаційні формули наступних комплексних сполук і назвати їх: а)  $PtCl_4 \cdot 6NH_3$ ; г)  $PtCl_4 \cdot 4NH_3$ ; б)  $PtCl_4 \cdot 5NH_3$ ; д)  $PtCl_4 \cdot 3NH_3$ ; в)  $PtCl_4 \cdot NH_3$ .
10. Написати координаційні формули наступних комплексних сполук Кобальту(III) (координаційне число Кобальту дорівнює шести), рівняння електролітичної дисоціації цих сполук та їх назви: а)  $Co(NO_2)_3 \cdot 6NH_3$ ; в)  $Co(NO_2)_3 \cdot 3NH_3$ ; б)  $Co(NO_2)_3 \cdot KNO_2 \cdot 2NH_3$ ; г)  $Co(NO_2)_3 \cdot 3KNO_2$ .
11. Написати рівняння дисоціації у розчині комплексних іонів наступних сполук та вирази констант нестійкості комплексних іонів: а)  $K_3[Fe(CN)_6]$ ; г)  $Ba[BF_5]$ ; б)  $[Co(H_2O)_2(NH_3)_4]Cl_3$ ; д)  $Na_2[MoF_6]$ ; в)  $[Co(H_2O)_2(NH_3)_4Cl]Cl_2$ ; е)  $K_2[Zr(OH)_6]$ .
12. Відомо, що з розчину комплексної солі  $CoCl_3 \cdot 6NH_3$  аргентум нітрат осаджує увесь хлор, а з розчину  $CoCl_3 \cdot NH_3$  тільки 2/3 хлору. Написати координаційні формули цих солей та рівняння їх дисоціації.
13. Який ступінь окиснення має комплексоутворювач у сполуці  $[Pt(NH_3)_5Br](NO_3)_3$ ?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2//192.00.1/Б/ ОК8-_1_2024
	Випуск _1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 75

14. Яке координаційне число має комплексоутворювач у сполуці  $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_4\text{Cl}_2]\text{Cl}$ ?

15. В якій сполуці заряд іона-комплексоутворювача найменший?

а)  $\text{K}[\text{Cr}(\text{SO}_4)_2]$ ; г)  $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}_4$ ; б)  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ; д)  $\text{H}[\text{AuCl}_4]$ . в)  $\text{K}[\text{VF}_6]$ ;

16. Написати молекулярні та іонні рівняння реакцій обміну між наступними сполуками:

а)  $\text{CdSO}_4 \cdot 4\text{NH}_3 + \text{BaCl}_2 = \dots$

б)  $\text{PtCl}_4 \cdot 2\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{AgNO}_3 = \dots$

в)  $\text{Fe}(\text{CN})_2 \cdot 4\text{KCN} + \text{FeCl}_3 = \dots$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2/192.00.1/Б/ OK8-_1_2024
	Випуск _1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 76

## ДОДАТКИ

Таблиця 1

### Фізико – хімічні сталі

Назва	Значення		
Гравітаційна стала,	G	= 6,6720 · 10 <sup>-11</sup>	Н · м/кг <sup>2</sup>
Швидкість поширення електромагнітних хвиль в вакуумі,	c	= 2,99792458 · 10 <sup>8</sup>	м/с
Магнітна проникливість вакууму,	μ <sub>0</sub>	= 1,256637061 · 10 <sup>-6</sup>	Гн/м
Електрична проникливість вакууму,	ε <sub>0</sub>	= 8,85418782 · 10 <sup>-12</sup>	Ф/м
Стала Планка,	h	= 6,626176 · 10 <sup>-34</sup>	Дж/Гц
Атомна одиниця маси,	a.o.m.	= 1,6605655 · 10 <sup>-27</sup>	кг
Маса електрона,	m <sub>e</sub>	= 9,109584 · 10 <sup>-31</sup>	кг
Маса протону,	m <sub>p</sub>	= 1,6726485 · 10 <sup>-27</sup>	кг
Маса нейтрона,	m <sub>n</sub>	= 1,6749543 · 10 <sup>-27</sup>	кг
Елементарний електричний заряд,	e	= 1,6021892 · 10 <sup>19</sup>	Кл
Класичний радіус електрона,	r <sub>e</sub>	= 2,817938 · 10 <sup>-15</sup>	м
Стала Авогадро,	N <sub>A</sub>	= 6,022045 · 10 <sup>23</sup>	моль <sup>-1</sup>
Стала Фарадея,	F	= 9,648456 · 10 <sup>4</sup>	Кл/моль
Стала Лошмідта,	N <sub>L</sub>	= 2,686754 · 10 <sup>25</sup>	м <sup>-3</sup>
Універсальна газова стала,	R	= 8,31441	Дж/(К·моль)
Нормальні умови: – тиск, – температура,	p T	= 1,01325 · 10 <sup>5</sup> = 273,15	Па °К
Молярний об'єм газу,	V <sub>M</sub>	= 2,241383 · 10 <sup>-2</sup>	м <sup>3</sup> /моль
Стала Больцмана,	k	= 1,380662 · 10 <sup>-23</sup>	Дж/К
Магнітний момент електрона	μ <sub>e</sub>	= 9,284832 · 10 <sup>-24</sup>	А · м <sup>2</sup>

Таблиця 2

### Приставки для утворення кратних і ділених одиниць

Приставка	Множник	Приставка	Множник
Тера, Т	10 <sup>12</sup>	Деци, д	10 <sup>-1</sup>
Гіга, Г	10 <sup>9</sup>	Санті, с	10 <sup>-2</sup>
Мега, М	10 <sup>6</sup>	Мілі, м	10 <sup>-3</sup>
Кіло, к	10 <sup>3</sup>	Мікро, мк	10 <sup>-6</sup>
Гекто, г	10 <sup>2</sup>	Нано, н	10 <sup>-9</sup>
Дека, да	10 <sup>1</sup>	Піко, п	10 <sup>-12</sup>

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2/192.00.1/Б/ОК8- _1_2024
	Випуск _1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 77

Таблиця 3

Фізико–хімічні величини і одиниці Міжнародної системи (СІ)

Величина	Одиниці СІ
Внутрішня енергія, $U$	джоуль, Дж
Час, $t$	секунда, с
Тиск, $p$	паскаль, Па
Дипольний момент, $\mu$	кулон-метр, Кл· м
Довжина, $l$	метр, м
Кількість речовини, $\nu$	моль, моль
Кількість тепла, $Q$	джоуль, Дж
Кількість електрики, $g$	кулон, Кл
Маса, $m$	кілограм, кг
Молярна маса, $M$	кілограм на моль, кг/моль
Молярний об'єм, $V_M$	куб.метр на моль, м <sup>3</sup> /моль
Молярна концентрація, $C_m$	моль на кілограм, моль/кг
Молярна концентрація, $C_M$	моль на куб. метр, моль/м <sup>3</sup>
Потужність, $P$	ват, Вт
Об'єм, $V$	кубічний метр, м <sup>3</sup>
Густина, $\rho$	кілограм на куб. метр, кг/м <sup>3</sup>
Площа, $S$	квадратний метр, м <sup>2</sup>
Поверхневий натяг, $\sigma$	джоуль на квадр. Метр, Дж/м <sup>2</sup>
Робота, $W$	джоуль, Дж
Різниця потенціалів, $\Delta U$	вольт, В
Сила, $F$	ньютон, Н
Сила струму, $I$	ампер, А
Швидкість реакції, $\nu$	моль в секунду, моль/с
Температура термодинамічна, $T$	кельвін, К
Температура Цельсія, $^{\circ}C$	градус Цельсія, $^{\circ}C$
Теплоємність, $C$	джоуль на кельвін, Дж/К
Енергія, $E$	джоуль, Дж
Енергія Гіббса, $\Delta G$	джоуль на моль, Дж/моль
Ентальпія, $\Delta H$	джоуль на моль, Дж/моль
Ентропія, $S$	джоуль на кельвін-моль, Дж/(К· моль)

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015			Ф-23.10- 05.02/2/192.00.1/Б/ОК8- _1_2024
	Випуск _1	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 88/ 78

Таблиця 4

## Відносні атомні маси хімічних елементів

Елемент	$A_r$	Елемент	$A_r$	Елемент	$A_r$
89*Ac	227,0278	87*Fr	223,0197	8O	15.9994±3
47Ag	107,8682±3	31Ga	69,723±4	76Os	190,2±1
13Al	26,98154±1	64Gd	157,25±3	15P	30,97376±1
95*Am	243,0614	32Ge	72,59±3	91*Pa	231,0359
18Ar	39,948±1	1H	1,00794±7	82Pb	207,2±1
33AS	74,9216±1	2He	4,002602±2	46Pd	106,42±1
85*At	209,9871	72Hf	178,49±3	61*Pm	144,9128
79AU	196,9665±1	80Hg	200,59±3	84*Po	208,9824
5B	10,811±5	67Ho	164,9304±1	59Pr	140,9077±1
56Ba	137,33±1	53I	126,9045±1	78Pt	195,08±3
4Be	9,01218±1	49In	114,82±1	94*Pu	244,0642
83Bi	208,9804±1	77Ir	192,22±3	88*Ra	226,0254
97*Bk	247,0703	19K	39,0983±1	37Rb	85,4678±3
35Br	79,904±1	36Kr	83,80±1	75Re	186,207±1
6C	12,011±1	104*Ku	[261]	45Rh	102,9055±1
20Ca	40,078±4	57 La	138,9055±3	86*Rn	222,0176
48Cd	112,41±1	3Li	6,941±2	44Ru	101,07±2
58Ce	140,12±1	103*(Lr)	260,1054	16S	32,066±6
98*Cf	251,0796	71Lu	174,967±1	51Sb	121,75±3
17Cl	35,453±1	101*Md	258,0986	21Sc	44,95591±1
96*Cm	247,0703	12Mg	24,305±1	34Se	78.96±3
27Co	58,9332±1	25Mn	54,9380±1	14Si	28,0855±3
24Cr	51,9961±6	42Mo	95,94±1	62Sm	150,36±3
55Cs	132,9054±1	7N	14,0067±1	50Sn	118,710±7
29Cu	63,546±3	11Na	22,98977±1	38Sr	87,62±1
66Dy	162,50±3	41Nb	92,9064±1	73Ta	180,9479±1
68Er	167,26±3	60Nd	144,24±3	65Tb	158,9254±1
99*Es	252,0828	10Ne	20,179±1	43*Tc	97,9072
63Eu	151,96±1	28Ni	58,69±1	52Te	127,60±3
9F	18,998403±1	102*(No)	259,1009	90Th	232,0381
26Fe	55,847±3	93*Np	237,0482	22Ti	47,88±3
100*Fm	257,0951	105*Ns	[262]	81Tl	204,383±1
69Tm	168,9342±1	54Xe	131,29±3	40Zr	91,224±2
92U	238,0289	39Y	88,9059±1	*106	[263]
23V	50,9415±1	70Yb	173,04±3	*107	[262]
74W	183,85±3	30Zn	65,39±2		

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф 23.07 05.01/152.00.1/Б/ОК8 2021
	Екземпляр № 1	Арк 88 / 79

**Таблиця 5**  
**Стандартна ентальпія утворення  $\Delta H^\circ(298)$ , ентропія  $S^\circ(298)$  і**  
**енергія Гіббса утворення  $\Delta G^\circ(298)$  деяких речовин**

Речовина	$\Delta H^\circ_{298}$ , кДж/моль	$S^\circ_{298}$ , Дж/моль·К	$\Delta G^\circ_{298}$ , кДж/моль
1	2	3	4
Прості речовини			
Ag <sub>(т)</sub>	0	42,55	0
Al <sub>(т)</sub>	0	28,33	0
Fe <sub>(т)</sub>	0	27,15	0
H <sub>2(г)</sub>	0	130,52	0
Hg <sub>(р)</sub>	0	75,90	0
Mg <sub>(т)</sub>	0	32,68	0
N <sub>2(г)</sub>	0	191,50	0
O <sub>2(г)</sub>	0	205,04	0
S <sub>(т ромб.)</sub>	0	32,9	0
Хімічні сполуки			
Ag <sub>2</sub> O <sub>(т)</sub>	-31,1	121,0	-11,3
AgNO <sub>3(т)</sub>	-124,5	140,9	-33,6
Al <sub>2</sub> O <sub>3(т)</sub>	-1676	49,9	-1582
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3(т)</sub>	-3442	239,2	-3101
B <sub>2</sub> H <sub>6(г)</sub>	38,5	232,0	+89,6
BaCO <sub>3(т)</sub>	-1202	112,1	-1164,8
BaO <sub>(т)</sub>	-553,54	70,29	-525,84
Ba(OH) <sub>2(р)</sub>	-943,49	100,83	-855,42
CO <sub>(г)</sub>	-110,53	197,55	-137,15
CO <sub>2(г)</sub>	-393,51	213,66	-394,37
CaO <sub>(т)</sub>	-635,09	38,07	-603,46
CaCO <sub>3(т)</sub>	-1206,83	91,71	-1128,35
Ca(OH) <sub>2(т)</sub>	-985,12	83,39	-897,52
CS <sub>2</sub>	+88,7	151,0	+64,4
CH <sub>4(г)</sub>	-74,9	186,2	-50,8
C <sub>2</sub> H <sub>2(г)</sub>	+226,75	200,82	+209,20
C <sub>2</sub> H <sub>4(г)</sub>	52,3	219,4	68,1
CrCl <sub>3(т)</sub>	-556,47	123,01	-486,37
FeO <sub>(т)</sub>	-264,8	60,75	-244,3
Fe <sub>2</sub> O <sub>3(т)</sub>	-822,16	87,45	-740,34
Fe <sub>3</sub> O <sub>4(т)</sub>	-1117,1	146,2	-1014,2
Fe(OH) <sub>2(т)</sub>	-561,7	88,0	-479,7
Fe(OH) <sub>3(т)</sub>	-826,6	105,0	-699,6

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф 23.07 05.01/152.00.1/Б/ОК8 2021
	Екземпляр № 1	Арк 88 / 80

Продовження таблиці 5

1	2	3	4
HCl <sub>(т)</sub>	-92,31	186,79	-95,30
H <sub>2</sub> O <sub>(т)</sub>	-291,85	(39,33)	-
H <sub>2</sub> O <sub>(р)</sub>	-285,83	69,95	-237,23
H <sub>2</sub> O <sub>(т)</sub>	-241,81	188,72	-228,61
H <sub>2</sub> O <sub>2(р)</sub>	-187,8	109,5	-120,4
HCN <sub>(т)</sub>	135,0	113,1	125,5
H <sub>2</sub> SO <sub>4(р)</sub>	-813,99	156,9	-690,14
HNO <sub>3(р)</sub>	-173,00	156,16	-79,90
HgCl <sub>2(т)</sub>	-229,00	242,3	-197,4
HgO <sub>(т)</sub>	-90,9	70,29	-58,6
HgS <sub>(т)</sub>	-59,0	82,4	-51,4
KCl <sub>(т)</sub>	-436,68	82,55	-408,93
K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7(т)</sub>	-2067,27	291,21	-1887,85
KMnO <sub>4(т)</sub>	-828,89	+171,54	-729,14
KNO <sub>3(т)</sub>	-493,2	132,93	-393,1
K <sub>2</sub> SO <sub>4(т)</sub>	-1433,69	175,56	-1316,04
MnO <sub>2(т)</sub>	-521,49	53,14	-466,68
MgC <sub>(т)</sub>	-601,49	27,07	-569,27
MgSO <sub>4(т)</sub>	-3089,50	348,1	-2635,1
NH <sub>3(т)</sub>	-46,2	192,5	-16,1
NH <sub>4</sub> Cl <sub>(т)</sub>	-314,2	94,5	-203,2
N <sub>2</sub> H <sub>4(т)</sub>	-50,50	12,1	149,2
NaBr <sub>(т)</sub>	-151,86	62,1	-
NO <sub>(т)</sub>	91,26	210,64	87,58
NO <sub>2(т)</sub>	33	240,2	51,5
NaOH <sub>(р)</sub>	-426,35	64,43	-380,29
Na <sub>2</sub> SO <sub>3(т)</sub>	-1089,43	146,02	-1001,21
Na <sub>2</sub> SO <sub>4(т)</sub>	-4324,75	591,87	-3644,09
Pb <sub>3</sub> O <sub>4(т)</sub>	-723,41	211,29	-606,17
PbCl <sub>2(т)</sub>	-359,82	135,98	-314,56
PbO <sub>2(т)</sub>	-276,56	71,92	-217,55
Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2(т)</sub>	-451,7	217,9	-256,9
SO <sub>2(т)</sub>	-296,90	249,1	-300,21
SO <sub>3(р)</sub>	-439,0	122	-368,4
TiO <sub>2(т)</sub>	-938,6	49,92	883,3
ZnO <sub>(т)</sub>	-350,6	43,64	-320,7
Zn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2·6H<sub>2</sub>O(т)</sub>	-2306,8	426,3	-1174,9
Zn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2(т)</sub>	-483,7	-	-

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф 23.07 05.01/152.00.1/Б/ОК8 2021
	Екземпляр № 1	Арк 88 / 81

**Таблиця 6**

**Константи дисоціації деяких слабких електролітів**

Електроліт	Рівняння дисоціації	K
Нітритна кислота	$\text{HNO}_2 \Leftrightarrow \text{H}^+ + \text{NO}_2^-$	$4,0 \cdot 10^{-4}$
Амонія гідроксиду	$\text{NH}_4\text{OH} \Leftrightarrow \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$	$1,79 \cdot 10^{-5}$
Боратна кислота (I ступінь)	$\text{H}_3\text{BO}_3 \Leftrightarrow \text{H}^+ + \text{H}_2\text{BO}_3^-$	$6,0 \cdot 10^{-10}$
Вода	$\text{H}_2\text{O} \Leftrightarrow \text{H}^+ + \text{OH}^-$	$1,8 \cdot 10^{-16}$
Силікатна кислота	$\text{H}_2\text{SiO}_3 \Leftrightarrow \text{H}^+ + \text{SiO}_3^-$ $\text{HSiO}_3^- \Leftrightarrow \text{H}^+ + \text{SiO}_3^{2-}$	$3,2 \cdot 10^{-10}$ $1,6 \cdot 10^{-12}$
Форміатна кислота	$\text{HCOOH} \Leftrightarrow \text{H}^+ + \text{HCOO}^-$	$1,8 \cdot 10^{-4}$
Сульфітна кислота	$\text{H}_2\text{SO}_3 \Leftrightarrow \text{H}^+ + \text{HSO}_3^-$ $\text{HSO}_3^- \Leftrightarrow \text{H}^+ + \text{SO}_3^{2-}$	$1,3 \cdot 10^{-2}$ $6 \cdot 10^{-8}$
Сульфідна кислота	$\text{H}_2\text{S} \Leftrightarrow \text{H}^+ + \text{HS}^-$ $\text{HS}^- \Leftrightarrow \text{H}^+ + \text{S}^{2-}$	$8,9 \cdot 10^{-8}$ $1,3 \cdot 10^{-13}$
Карбонатна кислота	$\text{H}_2\text{CO}_3 \Leftrightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$ $\text{HCO}_3^- \Leftrightarrow \text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-}$	$4,31 \cdot 10^{-7}$
Фторидна кислота	$\text{HF} \Leftrightarrow \text{H}^+ + \text{F}^-$	$7,4 \cdot 10^{-4}$
Ацетатна кислота	$\text{CH}_3\text{COOH} \Leftrightarrow \text{H}^+ + \text{CH}_3\text{COO}^-$	$1,86 \cdot 10^{-5}$
Фосфатна кислота	$\text{H}_3\text{PO}_4 \Leftrightarrow \text{H}^+ + \text{H}_2\text{PO}_4^-$ $\text{H}_2\text{PO}_4^- \Leftrightarrow \text{H}^+ + \text{HPO}_4^{2-}$ $\text{HPO}_4^{2-} \Leftrightarrow \text{H}^+ + \text{PO}_4^{3-}$	$7,5 \cdot 10^{-3}$ $6,2 \cdot 10^{-8}$ $2,2 \cdot 10^{-13}$
Ціанідна кислота	$\text{HCN} \Leftrightarrow \text{H}^+ + \text{CN}^-$	$7,2 \cdot 10^{-10}$
Оксалатна кислота	$\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \Leftrightarrow \text{H}^+ + \text{HC}_2\text{O}_4^-$ $\text{HC}_2\text{O}_4^- \Leftrightarrow \text{H}^+ + \text{C}_2\text{O}_4^{2-}$	$5,9 \cdot 10^{-2}$ $6,4 \cdot 10^{-5}$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф 23.07 05.01/152.00.1/Б/ОК8 2021
	Екземпляр № 1	Арк 88 / 82

**Таблиця 7**  
**Добуток розчинності малорозчинних речовин у воді**

Формула	$t, ^\circ\text{C}$	ДР	Формула	$t, ^\circ\text{C}$	ДР
Гідроксиди			Хромати		
$\text{Al}(\text{OH})_3$	25	$1,9 \cdot 10^{-33}$	$\text{Ag}_2\text{CrO}_4$	25	$9,0 \cdot 10^{-12}$
$\text{Cr}(\text{OH})_3$	17	$5,4 \cdot 10^{-31}$	$\text{BaCrO}_4$	25	$2,4 \cdot 10^{-10}$
$\text{Fe}(\text{OH})_3$	18	$3,8 \cdot 10^{-33}$	$\text{CaCrO}_4$	18	$2,3 \cdot 10^{-2}$
$\text{Fe}(\text{OH})_3$	18	$4,8 \cdot 10^{-16}$	$\text{PbCrO}_4$	25	$1,8 \cdot 10^{-11}$
$\text{Mg}(\text{OH})_3$	25	$5,0 \cdot 10^{-12}$	$\text{SrCrO}_4$	25	$3,5 \cdot 10^{-5}$
$\text{Mn}(\text{OH})_2$	18	$4,0 \cdot 10^{-14}$	Сульфати		
$\text{Zn}(\text{OH})_2$	20	$1,0 \cdot 10^{-17}$	$\text{Ag}_2\text{SO}_4$	25	$7,7 \cdot 10^{-5}$
Галогеніди			<b><math>\text{BaSO}_4</math></b>	<b>25</b>	<b><math>1,1 \cdot 10^{-10}</math></b>
$\text{AgCl}$	25	$1,6 \cdot 10^{-10}$	<b><math>\text{CaSO}_4</math></b>	25	$6,3 \cdot 10^{-5}$
$\text{AgBr}$	25	$7,7 \cdot 10^{-13}$	$\text{PbSO}_4$	25	$2,2 \cdot 10^{-3}$
$\text{AgI}$	25	$1,5 \cdot 10^{-16}$	$\text{SrSO}_4$	25	$2,8 \cdot 10^{-2}$
$\text{PbCl}_2$	25	$2,4 \cdot 10^{-4}$	Карбонати		
$\text{PbI}_2$	25	$8,7 \cdot 10^{-9}$	<b><math>\text{Ag}_2\text{CO}_3</math></b>	25	$6,2 \cdot 10^{-12}$
Сульфіди			$\text{BaCO}_3$	25	$8,1 \cdot 10^{-9}$
$\text{Ag}_2\text{S}$	25	$1,6 \cdot 10^{-49}$	$\text{CaCO}_3$	25	$4,8 \cdot 10^{-9}$
$\text{As}_2\text{S}_3$	18	$4,0 \cdot 10^{-29}$	$\text{MgCO}_3$	25	$1,0 \cdot 10^{-5}$
$\text{CdS}$	18	$3,6 \cdot 10^{-29}$	$\text{SrCO}_3$	25	$1,6 \cdot 10^{-9}$
$\text{CuS}$	25	$8,5 \cdot 10^{-45}$	Фосфати		
$\text{FeS}$	25	$3,7 \cdot 10^{-39}$	$\text{Ag}_3\text{PO}_4$	20	$1,8 \cdot 10^{-18}$
$\text{HgS}$	18	$4,0 \cdot 10^{-53}$	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_3$	25	$3,5 \cdot 10^{-33}$
$\text{MnS}$	18	$1,4 \cdot 10^{-15}$	$\text{CaHPO}_4$	25	$\sim 5 \cdot 10^{-6}$
$\text{PbS}$	18	$1,1 \cdot 10^{-29}$	$\text{MgNH}_4\text{PO}_4$	25	$2,5 \cdot 10^{-13}$
$\text{ZnS}$	25	$1,2 \cdot 10^{-23}$			

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф 23.07 05.01/152.00.1/Б/ОК8 2021
	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 88 / 83</i>

**Таблиця 8**  
**Стандартні електродні потенціали металів**

Електрод	Електродна реакція	$E^0$ , В
Li <sup>+</sup> /Li	Li <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> ⇌ Li	-3,045
K <sup>+</sup> /K	K <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> ⇌ K	-2,925
Rb <sup>+</sup> /Rb	Rb <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> ⇌ Rb	-2,925
Cs <sup>+</sup> /Cs	Cs <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> ⇌ Cs	-2,923
Ca <sup>2+</sup> /Ca	Ca <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> ⇌ Ca	-2,866
Na <sup>+</sup> /Na	Na <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> ⇌ Na	-2,714
Mg <sup>2+</sup> /Mg	Mg <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> ⇌ Mg	-2,363
Al <sup>3+</sup> /Al	Al <sup>3+</sup> + 3e <sup>-</sup> ⇌ Al	-1,662
Mn <sup>2+</sup> /Mn	Mn <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> ⇌ Mn	-1,179
Zn <sup>2+</sup> /Zn	Zn <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> ⇌ Zn	-0,763
Cr <sup>3+</sup> /Cr	Cr <sup>3+</sup> + 3e <sup>-</sup> ⇌ Cr	-0,744
Fe <sup>2+</sup> /Fe	Fe <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> ⇌ Fe	-0,440
Cd <sup>2+</sup> /Cd	Cd <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> ⇌ Cd	-0,403
Co <sup>2+</sup> /Co	Co <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> ⇌ Co	-0,277
Ni <sup>2+</sup> /Ni	Ni <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> ⇌ Ni	-0,250
Sn <sup>2+</sup> /Sn	Sn <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> ⇌ Sn	-0,136
Pb <sup>2+</sup> /Pb	Pb <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> ⇌ Pb	-0,126
H <sup>+</sup> /1/2H <sub>2</sub>	H <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> ⇌ 1/2H <sub>2</sub>	±0,000
Cu <sup>2+</sup> /Cu	Cu <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> ⇌ Cu	+0,337
Hg <sub>2</sub> <sup>2+</sup> /2Hg	Hg <sub>2</sub> <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> ⇌ 2Hg	+0,788
Ag <sup>+</sup> /Ag	Ag <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> ⇌ Ag	+0,799
Au <sup>3+</sup> /Au	Au <sup>3+</sup> + 3e <sup>-</sup> ⇌ Au	+1,498

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф 23.07 05.01/152.00.1/Б/ОК8 2021
	Екземпляр № 1	Арк 88 / 84

Таблиця 9

## Стандартні електродні потенціали окисно-відновних систем (25 °С)

Окислена форма	Відновлена форма	Електродна реакція	$E^{\circ}$ , В
$2\text{H}^+$	$\text{H}_2$	$2\text{H}^+ + 2e^- \rightleftharpoons \text{H}_2$	0,00
S	$\text{S}^{2-}$	$\text{S} + 2e^- \rightleftharpoons \text{S}^{2-}$	-0,51
$\text{PbSO}_4$	$\text{Pb} + \text{SO}_4^{2-}$	$\text{PbSO}_4 + 2e^- \rightleftharpoons \text{Pb} + \text{SO}_4^{2-}$	-0,356
$\text{Sn}^{4+}$	$\text{Sn}^{2+}$	$\text{Sn}^{4+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Sn}^{2+}$	+0,15
$\text{Cu}^{2+}$	$\text{Cu}^+$	$\text{Cu}^{2+} + e^- \rightleftharpoons \text{Cu}^+$	+0,153
$\text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}^+$	$\text{SO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$	$\text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}^+ + 2e^- \rightleftharpoons \text{SO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$	+0,22
$[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$	$[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$	$[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-} + e^- \rightleftharpoons [\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$	+0,36
$\frac{1}{2}\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$	$2\text{OH}^-$	$\frac{1}{2}\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightleftharpoons 2\text{OH}^-$	+0,401
$\frac{1}{2}\text{I}_2$	$\text{I}^-$	$\frac{1}{2}\text{I}_2 + e^- \rightleftharpoons \text{I}^-$	+0,536
$\text{MnO}_4^-$	$\text{MnO}_4^{2-}$	$\text{MnO}_4^- + e^- \rightleftharpoons \text{MnO}_4^{2-}$	+0,564
$\text{MnO}_4^- + 2\text{H}_2\text{O}$	$\text{MnO}_2(\text{т}) + 4\text{OH}^-$	$\text{MnO}_4^- + 2\text{H}_2\text{O} + 3e^- \rightleftharpoons \text{MnO}_2(\text{т}) + 4\text{OH}^-$	+0,57
$\text{Fe}^{3+}$	$\text{Fe}^{2+}$	$\text{Fe}^{3+} + e^- \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+}$	+0,771
$2\text{Hg}^{2+}$	$\text{Hg}_2^{2+}$	$2\text{Hg}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Hg}_2^{2+}$	+0,910
$\text{NO}_3^- + 3\text{H}^+$	$\text{HNO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	$\text{NO}_3^- + 3\text{H}^+ + 2e^- \rightleftharpoons \text{HNO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	+0,94
$\text{NO}_3^- + 4\text{H}^+$	$\text{NO} + 2\text{H}_2\text{O}$	$\text{NO}_3^- + 4\text{H}^+ + 3e^- \rightleftharpoons \text{NO} + 2\text{H}_2\text{O}$	+0,96
$\text{HNO}_2 + \text{H}^+$	$\text{NO} + \text{H}_2\text{O}$	$\text{HNO}_2 + \text{H}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$	+1,00
$\frac{1}{2}\text{Br}_2(\text{ж})$	$\text{Br}^-$	$\frac{1}{2}\text{Br}_2 + e^- \rightleftharpoons \text{Br}^-$	+1,065
$\text{IO}_3^- + 6\text{H}^+$	$\frac{1}{2}\text{I}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$	$\text{IO}_3^- + 6\text{H}^+ + 5e^- \rightleftharpoons \frac{1}{2}\text{I}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$	+1,195
$\text{O}_2 + 4\text{H}^+$	$2\text{H}_2\text{O}$	$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4e^- \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}$	+1,229
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+$	$2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ + 6e^- \rightleftharpoons 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$	+1,36
$\frac{1}{2}\text{Cl}_2$	$\text{Cl}^-$	$\frac{1}{2}\text{Cl}_2 + e^- \rightleftharpoons \text{Cl}^-$	+1,36
$\text{ClO}_3^- + 6\text{H}^+$	$\text{Cl}^- + 3\text{H}_2\text{O}$	$\text{ClO}_3^- + 6\text{H}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{Cl}^- + 3\text{H}_2\text{O}$	+1,44
$\text{PbO}_2 + 4\text{H}^+$	$\text{Pb}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	$\text{PbO}_2 + 4\text{H}^+ + 2e^- \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	+1,455
$\text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+$	$\text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$	$\text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+ + 5e^- \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$	+1,51
$\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+$	$2\text{H}_2\text{O}$	$\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2e^- \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}$	+1,77
$\text{Co}^{3+}$	$\text{Co}^{2+}$	$\text{Co}^{3+} + e^- \rightleftharpoons \text{Co}^{2+}$	+1,82
$\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$	$2\text{SO}_4^{2-}$	$\text{S}_2\text{O}_8^{2-} + 2e^- \rightleftharpoons 2\text{SO}_4^{2-}$	+2,01
$\frac{1}{2}\text{F}_2$	$\text{F}^-$	$\frac{1}{2}\text{F}_2 + e^- \rightleftharpoons \text{F}^-$	+2,87

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф 23.07 05.01/152.00.1/Б/ОК8 2021
	Екземпляр № 1	Арк 88 / 85

**Таблиця 10**  
**Стійкість деяких комплексних іонів у водних розчинах при 25 °С**

Комплексо- утворювач	Рівняння дисоціації комплексних іонів	$K_{\text{H}}$	$K_{\text{CT}}$
Ag <sup>+</sup>	$[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+ \rightleftharpoons \text{Ag}^+ + 2\text{NH}_3$	$6,8 \cdot 10^{-8}$	$1,5 \cdot 10^7$
	$[\text{Ag}(\text{CN})_2]^- \rightleftharpoons \text{Ag}^+ + 2\text{CN}^-$	$1,0 \cdot 10^{-21}$	$1,0 \cdot 10^{21}$
Al <sup>3+</sup>	$[\text{AlF}_6]^{3-} \rightleftharpoons \text{Al}^{3+} + 6\text{F}^-$	$2,0 \cdot 10^{-28}$	$5,0 \cdot 10^{27}$
Co <sup>3+</sup>	$[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+} \rightleftharpoons \text{Co}^{3+} + 6\text{NH}_3$	$8,0 \cdot 10^{-36}$	$1,3 \cdot 10^{35}$
Cu <sup>2+</sup>	$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+} \rightleftharpoons \text{Cu}^{2+} + 4\text{NH}_3$	$4,6 \cdot 10^{-14}$	$2,1 \cdot 10^{13}$
	$[\text{CuCl}_4]^{2-} \rightleftharpoons \text{Cu}^{2+} + 4\text{Cl}^-$	$2 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^3$
Fe <sup>2+</sup>	$[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-} \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+} + 6\text{CN}^-$	$1,0 \cdot 10^{-37}$	$1,0 \cdot 10^{37}$
Fe <sup>3+</sup>	$[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-} \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+} + 6\text{CN}^-$	$1,0 \cdot 10^{-44}$	$1,0 \cdot 10^{44}$
Pt <sup>2+</sup>	$[\text{PtCl}_4]^{2-} \rightleftharpoons \text{Pt}^{2+} + 4\text{Cl}^-$	$1,0 \cdot 10^{-16}$	$1,0 \cdot 10^{16}$
Zn <sup>2+</sup>	$[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+} \rightleftharpoons \text{Zn}^{2+} + 4\text{NH}_3$	$4,0 \cdot 10^{-10}$	$2,5 \cdot 10^9$
	$[\text{Zn}(\text{CN})_4]^{2-} \rightleftharpoons \text{Zn}^{2+} + 4\text{CN}^-$	$6,3 \cdot 10^{-18}$	$1,6 \cdot 10^{17}$
N <sup>3-</sup>	$[\text{NH}_4]^+ \rightleftharpoons \text{NH}_3 + \text{H}^+$	$6,0 \cdot 10^{-10}$	$1,5 \cdot 10^9$

**Таблиця 11**  
**Молярна маса та густина деяких поверхнево-активних речовин**

ПАР	М	$10^{-13}$ , кг/м <sup>3</sup>
Пропіловий спирт	60,09	0,804
Ізоаміловий спирт	60,09	0,789
Бутиловий спирт	74,04	0,804
Ізобутиловий спирт	74,04	0,800
Аліловий спирт	88,10	0,815
Ізоаміловий спирт	88,10	0,810
Етиленгліколь	62,00	1,113
Оцтова кислота	60,03	1,049
Пропіонова кислота	74,05	0,992
Масляна кислота	88,06	0,964
Валеріанова кислота	102,08	0,932
Ізовалеріанова кислота	102,08	0,931
Капронова кислота	116,10	0,929
Молочна кислота	90,05	1,240

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф 23.07 05.01/152.00.1/Б/ОК8 2021
	Екземпляр № 1	Арк 88 / 86

# РОЗЧИННІСТЬ КИСЛОТ, ОСНОВ І СОЛЕЙ У ВОДІ

Аніони	Катіони																		
	H <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Ba <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Cr <sup>3+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Fe <sup>3+</sup>	Ni <sup>2+</sup>	Mn <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	Ag <sup>+</sup>	Hg <sup>2+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Sn <sup>2+</sup>
OH <sup>-</sup>		Р	Р	Р	Р	М	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	-	-	Н	Н	Н
Cl <sup>-</sup>	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Н	Р	Р	М	Р
Br <sup>-</sup>	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Н	М	Р	М	Р
I <sup>-</sup>	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	-	Р	Р	Р	Н	Н	-	Н	М
S <sup>2-</sup>	Р	Р	Р	Р	Р	М	Н	-	Н	-	-	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н
SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Р	Р	Р	Р	Н	Н	Н	-	Н	-	-	Н	Н	Н	Н	-	-	Н	Н
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Р	Р	Р	Р	Н	М	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	М	Р	Р	Н	Р
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Р	Р	Р	Р	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	-	Н	Н	Н
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Р	Р	Р	Р	Н	Н	Н	-	Н	-	-	-	Н	Н	Н	-	Н	Н	-
SiO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Н	Р	Р	-	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	-	Н	Н	-	-	Н	Н	-
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р
CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup>	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	-	Р	Р	-	Р	Р	Р	М	Р	Р	Р	Р

Примітка: Р – розчиняється; М – мало розчиняється; Н – практично не розчиняється; риска – сполука розкладається водою або не існує.

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ Д.И.МЕНДЕЛЕЕВА

Периоды	Г Р У П П Ы Э Л Е М Е Н Т О В															
Ряды	VIII															
1	0															
2	0															
3	0															
4	0															
5	0															
6	0															
7	0															
8	0															
9	0															
10	0															
ВЫШЕ ОКСИДЫ	RO <sub>4</sub>															
ЛЕТУЧЕ ВОДОРОДНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ	HR															



Д.И. Менделеев  
1834–1907

СИМВОЛ  
ЭЛЕМЕНТА

порядковый  
номер

губердий  
85,468

НАЗВАНИЕ  
ЭЛЕМЕНТА

ОТНОСИТЕЛЬНАЯ  
АТОМНАЯ МАССА

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ  
ЭЛЕКТРОНОВ  
ПО СЛОЯМ

s-элементы  
p-элементы  
d-элементы  
f-элементы

57	La	58	Ce	59	Pr	60	Nd	61	Pm	62	Sm	63	Eu	64	Gd	65	Tb	66	Dy	67	Ho	68	Er	69	Tm	70	Yb	71	Lu
89	Ac	90	Th	91	Pa	92	U	93	Np	94	Pu	95	Am	96	Cm	97	Bk	98	Cf	99	Es	100	Fm	101	Md	102	No	103	Lr
ЛАНТАНОИДЫ																													
138,905	140,908	140,908	140,908	140,908	140,908	140,908	140,908	140,908	140,908	140,908	140,908	140,908	140,908	140,908	140,908	140,908	140,908	140,908	140,908	140,908	140,908	140,908	140,908	140,908	140,908	140,908	140,908	140,908	

poiskN1.RU

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф 23.07 05.01/152.00.1/Б/ОК8 2021
	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 88 / 88</i>

Навчальне видання

## Методичні рекомендації

для написання та оформлення лабораторних робіт і самостійної роботи з дисципліни з «Хімія» для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія».

Відповідальний за випуск Г.В. Скиба

Редактор Л.А. Васільєва  
Комп'ютерне верстання Ю.Н. Мандро

електронне видання

Ум. друк. арк

Державний університет «Житомирська політехніка»  
10005, м. Житомир, вул. Чуднівська, 103