

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 99 / 1</i>

### **ЗАТВЕРДЖЕНО**

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

### **МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ**

**для проведення лабораторних занять  
з навчальної дисципліни**

**«Аналітична хімія та інструментальні методи аналізу»**

для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «бакалавр»

спеціальності: 103 «Науки про Землю»

освітньо-професійна програма «Управління земельними і водними  
ресурсами»

факультет гірничої справи, природокористування та будівництва  
кафедра наук про Землю

Рекомендовано на засіданні  
кафедри наук про Землю  
26 серпня 2024 р., протокол  
№ 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- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 99 / 2</i>

Методичні рекомендації для проведення лабораторних занять з дисципліни з «Аналітична хімія та інструментальні методи аналізу» для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності 103 «Науки про Землю» освітньо-професійна програма «Управління земельними і водними ресурсами». Житомир: Державний університет «Житомирська політехніка», 2024. 99 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 «Аналітична хімія та інструментальні методи аналізу» а також завдання для самостійної роботи.

Рецензенти:

к. п. н., доцент, завідувач кафедри наук про Землю Державного університету «Житомирська політехніка» ГЕРАСИМЧУК Олена;

к. п. н., доцент кафедри екології та природоохоронних технологій Державного університету «Житомирська політехніка» ДЕМЧУК Людмила

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 3

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	4
<b>Методичні вказівки до оформлення і захисту лабораторних робіт</b>	5
<b>Загальні правила безпеки, застережні заходи під час роботи в хімічній лабораторії .</b>	7
<b>ЯКІСНИЙ АНАЛІЗ</b> .....	10
Аналітична кислотно-основна класифікація катіонів.....	11
• <i>Лабораторна робота №1</i> .....	13
• <i>Лабораторна робота №2</i> .....	30
• <i>Лабораторна робота №3</i> .....	40
<b>КІЛЬКІСНИЙ АНАЛІЗ, ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ</b> .....	49
Гравіметричний аналіз.....	49
• <i>Лабораторна робота №4</i> .....	53
• <i>Лабораторна робота №5</i> .....	57
Титрометричний (об’ємний) аналіз .....	60
• <i>Лабораторна робота №6</i> .....	65
• <i>Фотоколориметрія. Лабораторна робота №7</i> .....	70
• <i>Потенціометрія. Лабораторна №8</i> .....	74
Хроматографічні методи аналізу.....	79
• <i>Лабораторна №9</i> .....	79
<b>ДОДАТКИ</b> .....	90
<b>РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА</b> .....	98

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -_1_2024
	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 99 / 4</i>

## Вступ

Програма курсу «Аналітична хімія та інструментальні методи аналізу» визначає задачі і місце дисципліни в системі природничих наук. Дисципліна «Аналітична хімія та інструментальні методи аналізу» займає проміжне місце між базовими загальноосвітніми предметами та спеціальними дисциплінами і забезпечує формування основ знань та навиків спеціалістів з екології, технології захисту навколишнього середовища, наук про Землю. Методичні рекомендації призначені для надання допомоги студентам у виконанні лабораторних робіт та у самостійній роботі при вивченні аналітичної хімії.

В рекомендаціях представлені теоретичні та методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з якісного, кількісного аналізу.

Кожній з лабораторних робіт передують теоретична частина, призначення якої – допомогти студенту систематизувати знання, одержані після вивчення певного розділу по підручнику, навчальному посібнику, конспекту лекцій.

Експериментальна частина робіт включає опис дослідів, які студент виконує в лабораторії самостійно під загальним керівництвом викладача. Необхідні для виконання лабораторних робіт довідникові дані приведені у «Додатках».

Знання отримані при вивченні курсу «Аналітична хімія та інструментальні методи аналізу» використовуються студентами при вивченні дисциплін «Геологія з основами геоморфології», «Екологічна токсикологія», «Оцінка впливу на довкілля», «Вступ до фаху» та інших, передбачених навчальним планом.

Основними труднощами при вивченні курсу є його багатоплановість та комплексність. Засвоєння матеріалу неможливе без самостійної роботи з літературою, мобілізації знань, набутих у попередніх семестрах.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 99 / 5</i>

## Методичні вказівки до оформлення і захисту лабораторних робіт

### *Вказівки для підготовки, виконання та здачі лабораторних робіт.*

1. Основною формою підготовки, виконання та здачі лабораторного практикуму студентами є самостійна робота. Приступаючи до підготовки лабораторної роботи, виконанню завдання до неї, спочатку рекомендується вивчити теоретичну частину «Методичних рекомендацій». Для поглибленого вивчення теми заняття, успішного виконання та здачі роботи необхідно також уважно вивчити відповідні розділи підручника чи навчального посібника, ознайомитись із рішенням типових задач по задачнику.

2. Кожна лабораторна робота повинна бути оформлена у вигляді звіту, який включає в себе: 1) завдання до даної роботи; 2) дослідну частину роботи. Допускається оформляти звіти в загальному зошиті в клітинку. Титульна сторінка заповнюється згідно вказівок викладача. Сторінки зошита повинні бути пронумеровані на нижньому рядку. Виривати листи із зошита забороняється. На кожній сторінці зі сторони прошивки проводять поле шириною 2,5 см, а з протилежної сторони – шириною 1 см.

3. Кожну роботу потрібно починати з нової сторінки. Вказують число, потім назву роботи, потім її номер. Після цього пишуть підзаголовок: «Завдання до лабораторної роботи», а нижче повністю записують питання завдання і після кожного питання приводять короткі, але ємні відповіді. При написанні математичних формул потрібно пояснити значення символів – літер, задачі потрібно вирішувати спочатку в загальному вигляді, використовуючи загальні символи – позначення, а лише потім – в числовому вигляді. Всі записи потрібно вести охайно, без виправлень.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 6

4. Завдання до лабораторної роботи, підготовка до неї виконується в позаурочний час, який передує лабораторній роботі. На лабораторних заняттях проводиться перевірка виконання завдань студентами, їх опитування по теоретичних питаннях роботи. До виконання лабораторної роботи студенти приступають з дозволу викладача.

5. У звіті після виконання завдання пишуть підзаголовок : «Дослідна частина». Вказують ціль роботи чи коротку характеристику принципу її виконання, приводять короткі описання і рисунки пристроїв та приладів. Потім описують хід виконання роботи, результати вимірювань чи безпосередніх спостережень. Закінчують звіт поясненням явищ, що спостерігали, складанням хімічних рівнянь реакцій, побудовою графіків, обрахуванням результатів вимірювання. І нарешті приводять короткий висновок чи кінцевий обрахований результат.

6. Для лабораторних робіт з якісного аналізу оформлення протоколу здійснюється у наступній формі:

Лабораторна робота № 1

Дата: 12.03.24

Тема: Катіони першої аналітичної групи.

Що аналізують	Яким реактивом діють або яку операцію виконують	Що спостерігається (властивість аналітичної форми продукту реакції)	Рівняння хімічної реакції	Умови, ознаки, тип реакції	Заважаючі іони
Характерні реакції $K^+$ -катіона					

Виконану лабораторну роботу студенти захищають у викладача. Для успішного захисту потрібно мати звіт і вірно скласти електронний тест з теми лабораторної роботи, який знаходиться на освітньому порталі університету. Допускається захист роботи за результатами усної співбесіди, коли потрібно відповісти на питання, пов'язані із сутністю, закономірностями явищ, які спостерігали.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 99 / 7</i>

## **Загальні правила безпеки, застережні заходи під час роботи в хімічній лабораторії**

Дотримання вимог інструкції з техніки безпеки студентів під час роботи в хімічній лабораторії обов'язкове.

Вхід стороннім особам під час проведення лабораторних занять забороняється.

Необхідно знати розташування в лабораторії протипожежних засобів, аптечки й уміти ними користуватися. У разі виникнення в лабораторії під час занять аварійних ситуацій (пожежа, поява сторонніх запахів) не допускати паніки й підпорядковуватися тільки вказівкам викладача або завідувача лабораторії.

У разі нещасного випадку негайно звертатися до викладача, завідувача лабораторії. Слід пам'ятати найтипівіші приклади небезпеки при роботі в лабораторії хімії:

- отруєння кислотами, лугами, фенолом, газами;
- опіки термічні, їдкими речовинами, розчинами кислот чи лугів, непогашеним вапном, йодом, рідким бромом; порізи, удари;
- потрапляння в очі сторонніх тіл, їдких рідин; ураження електричним струмом тощо.

Під час виконання лабораторних робіт потрібно дотримуватися таких вимог, а саме:

- 1) до початку роботи:
  - до лабораторних робіт допускають тільки студентів, які добре засвоїли правила техніки безпеки та методику проведення лабораторної роботи;
  - працювати в хімічній лабораторії обов'язково в спецодязі;
  - хімічні реактиви, призначені для дослідів, студентам видає викладач або лаборант у кількостях, передбачених методикою;
  - забороняється їсти, пити в лабораторії, захищувати проходи сумками;

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 99 / 8</i>

2) під час роботи:

– не виходити з лабораторії без дозволу викладача, не вживати їжу в лабораторії;

– перед використанням будь-яких речовин для дослідів уважно розглянути етикетку на склянці, у якій зберігаються реактиви, для запобігання помилок, що можуть призвести до нещасних випадків;

– досліди проводити з тими кількостями й концентраціями речовин у посуді за тих умов і послідовності, які зазначені методикою;

– насипати або наливати реактиви слід на столі;

– забороняється брати реактиви незахищеними руками, для цього використовувати фарфорові ложки, шпателі або совочки;

– не дозволяється просипаний або пролитий випадково реактив зсипати або зливати назад у тару до основної кількості реактивів;

– усі операції з легкозаймистими речовинами, концентрованими кислотами та лугами і роботу з металічним натрієм проводити лише у витяжній шафі;

– забороняється залишати без нагляду запалені спиртівки, а також увімкнені електронагрівальні прилади;

– під час нагрівання рідин не зазирати в посудину (навіть у пробірку) згори, бо в разі можливого викидання нагрітої речовини можуть бути нещасні випадки;

– для уникнення викиду киплячої рідини з реакційної посудини нагрівання її проводити рівномірно, часто перемішуючи, заздалегідь помістивши на дно посудини 2–3 кип'ятильних камінці (дрібні шматочки пористого неорганічного матеріалу, наприклад неглазурованої облицювальної плитки);

– нагрівання пробірок з речовинами проводити поступово і рівномірно, тримати пробірку за допомогою спеціального затискувача похило, періодично струшуючи, спрямовуючи отвір пробірки від себе та від інших людей, які працюють у лабораторії;



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 99 / 9</i>

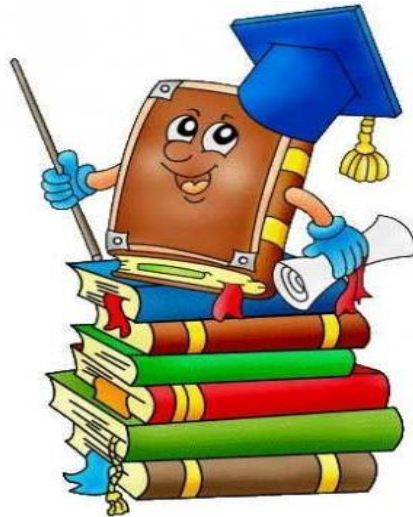
–визначати речовину за запахом наступним чином – легким рухом долоні над отвором посудини спрямувати пару або газ до носа і вдихати обережно;

3) після закінчення роботи:

– залишки кислот, лугів, сірчистих сполук, вогнебезпечних рідин зливати в призначені для цієї мети склянки (не виливати в раковини);

– вимити лабораторний посуд, розставити ємності і склянки з робочими розчинами на їх місця, витерти робочу поверхню столу, закрутити водопровідні крани, вимкнути електроприлади, витягну вентиляцію і погасити світло в лабораторії;

– ретельно вимити руки з милом.



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -_1_2024
	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 99 / 10</i>

## ЯКІСНИЙ АНАЛІЗ

Для визначення якісного хімічного складу речовини користуються як хімічними, так і фізико-хімічними методами аналізу.

Хімічні методи основані на використанні хімічних реакцій певного елемента з різними реагентами. У якісному аналізі використовуються аналітичні реакції. Аналітична реакція – це реакція, що супроводжується яким-небудь зовнішнім ефектом (утворенням або розчиненням осаду, виділенням газу, зміною кольору розчину й т.д.), який дозволяє зробити висновок про наявність відповідних іонів або молекул в аналізованій речовині. Аналітичні реакції діляться на специфічні й групові.

**Специфічна реакція** – це аналітична реакція, зовнішній ефект якої характерний тільки для даного іона або сполуки. За допомогою специфічної реакції іон може бути виявлений у присутності інших іонів. **Групові реакції** – це реакції, зовнішній ефект якої характерний для групи іонів. За допомогою групових реакцій суміші іонів розділяють на аналітичні групи. Якісний аналіз ділиться на аналіз (відкриття) катіонів і аналіз аніонів.

### Дробний і систематичний методи аналізу.

Якісний аналіз може бути виконаний дробним або систематичним методом. Дробний метод аналізу полягає в тому, що іони відкривають у будь-якій послідовності за допомогою специфічних реакцій в окремих пробах розчину в присутності інших іонів. Однак, не завжди дробний метод можна використовувати на практиці, тому що не для всіх іонів є специфічні реакції. Тому при аналізі суміші іонів в основному користуються систематичним методом аналізу.

Систематичний метод якісного аналізу полягає в тому, що суміш іонів за допомогою групових реагентів попередньо розділяють у певній послідовності на аналітичні групи. Окремі іони усередині кожної групи виявляються за допомогою їх аналітичних реакцій після поділу або в умовах, що маскують вплив інших іонів.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 99 / 11</i>

## АНАЛІТИЧНА КИСЛОТНО-ОСНОВНА КЛАСИФІКАЦІЯ КАТІОНІВ

В основі кислотно-основної класифікації катіонів, запропонованої С.Д. Бесковим і О.А. Слизковою, лежить їх різне відношення до хлоридної і сульфатної кислот, до розчинів лугів і амоніаку. Катіони діляться на шість аналітичних груп (див. табл. 1).

**Перша аналітична група** катіонів (розчинна група) включає іони  $K^+$ ,  $Na^+$  і  $NH_4^+$ . Ця група не має групового реагенту, тому що більшість сполук катіонів цієї групи добре розчинні у воді.

**Друга аналітична група** катіонів (хлоридна група) включає катіони  $Ag^+$ ,  $Hg_2^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$ . Груповим реагентом є хлоридна кислота, що осаджує ці катіони у вигляді малорозчинних хлоридів.

**Третя аналітична група** катіонів (сульфатна група) включає катіони  $Ba^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Sr^{2+}$ . Їх груповим реагентом є сульфатна кислота, що осаджує ці катіони у вигляді малорозчинних у воді сульфатів.

**Четверта аналітична група** катіонів (амфотерна група) поєднує катіони  $Al^{3+}$ ,  $Cr^{3+}$ ,  $Sn^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ . Груповим реагентом служить розчин лугу, при дії надлишку якого утворюються розчинні комплексні сполуки (гідросокомплекси).

**П'ята аналітична група** катіонів (гідроксидна група) включає іони  $Mg^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Sb^{3+}$ . Як груповий реагент використовується 25%-ний розчин амоніаку, що осаджує ці катіони у вигляді гідроксидів, нерозчинних у надлишку реагенту.

**Шоста аналітична група** катіонів (аміачна група) поєднує іони  $Cu^{2+}$ ,  $Co^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ . Груповим реагентом є 25%-ний розчин амоніаку, при надлишку якого утворюються розчинні у воді комплексні сполуки (аміакати).

Аналіз суміші катіонів I-VI аналітичних груп, заснований на кислотно-основній класифікації, починають звичайно з виявлення іона амонію дробним методом.

Систематичний аналіз починають із осадження й відділення хлоридів катіонів II аналітичної групи. Потім переводять в осад і відокремлюють сульфати катіонів III аналітичної групи. При обробці розчину, отриманого після осадження катіонів II і III аналітичних груп, надлишком розчину натрій гідроксиду в осад переводять основні по своїй природі гідроксиди катіонів V і VI груп, а в розчині залишаються

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 12

катиони IV аналітичної групи у вигляді відповідних гідроксокомплексів.

Таблиця 1

Аналітична кислотно-основна класифікація катіонів

№ групи	Катиони	Груповий реагент	Характеристика групи	Характер одержуваних сполук
I	$K^+$ , $Na^+$ , $NH_4^+$	немає	хлориди, сульфати, гідроксиди, розчинні у воді	розчин $K^+$ , $Na^+$ , $NH_4^+$
II	$Ag^+$ , $Hg^{2+}$ , $Pb^{2+}$	2 М розчин HCl	хлориди, малорозчинні у воді й у розведених кислотах	осад $AgCl$ , $Hg_2Cl_2$ , $PbCl_2$
III	$Ba^{2+}$ , $Ca^{2+}$ , $Sr^{2+}$ ( $Pb^{2+}$ )	1 М розчин $H_2SO_4$	сульфати, малорозчинні у воді й у розведених кислотах	осад $BaSO_4$ , $CaSO_4$ , $SrSO_4$ ( $PbSO_4$ )
IV	$Al^{3+}$ , $Cr^{3+}$ , $Sn^{2+}$ , $Zn^{2+}$ ( $Sb^{3+}$ )	4 М розчин NaOH	амфотерні гідроксиди, розчинні в надлишку NaOH	розчин $[Al(OH)_4]^-$ , $[Cr(OH)_4]^-$ , $[Zn(OH)_4]^{2-}$ , $[Sn(OH)_4]^{2-}$ ( $[Sb(OH)_4]^-$ )
V	$Mg^{2+}$ , $Fe^{2+}$ , $Fe^{3+}$ , $Mn^{2+}$ , $Sb^{3+}$	25%-ний розчин амоніаку	гідроксиди, не розчинні в надлишку NaOH і амоніаку	осад $Mg(OH)_2$ , $Mn(OH)_2$ , $Fe(OH)_2$ , $Fe(OH)_3$ , $Sb(OH)_3$
VI	$Cu^{2+}$ , $Co^{2+}$ , $Ni^{2+}$	25%-ний розчин амоніаку	гідроксиди, малорозчинні в надлишку NaOH, але розчинні в надлишку амоніаку	розчин $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$ , $[Co(NH_3)_6]^{2+}$ , $[Ni(NH_3)_6]^{2+}$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 13

*Лабораторна робота № 1*

**ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ АНАЛІТИЧНОЇ ХІМІЇ.  
РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ. ОБЛАДНАННЯ І ТЕХНІКА  
ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ З АНАЛІТИЧНОЇ ХІМІЇ**

Лабораторні роботи з аналітичної хімії (якісного і кількісного аналізу) є найважливішою складовою частиною курсу. Виконання робіт в лабораторії аналітичної хімії зв'язане з деякою небезпекою, бо більшість речовин, з якими працюють студенти, більш чи менш небезпечні. Тому кожний працюючий у лабораторії аналітичної хімії незалежно від характеру експерименту повинен до початку робіт познайомитися з лабораторним обладнанням і з **основними правилами техніки безпеки** роботи в аналітичній лабораторії.

1. Забороняється працювати одному в лабораторії, оскільки в разі нещастя нікому подати допомогу потерпілому і ліквідувати наслідки нещасного випадку.

2. Кожний працюючий повинен знати, де знаходяться в лабораторії засоби протипожежного захисту (ящик з просіяним піском та совком для нього, протипожежна ковдра, заряджений вогнегасник) та аптечка, яка містить все необхідне для надання першої допомоги (розчини  $\text{KMnO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{BO}_3$ ,  $\text{NaHCO}_3$  і спиртовий розчин йоду, спирт, вата, бинти, пластир, мазь від опіків).

3. Під час роботи в лабораторії слід дотримуватися правил техніки безпеки.

4. Не можна починати роботу, поки не засвоїш всієї техніки її виконання.

5. Категорично забороняється брати речовини руками і пробувати їх на смак. Нюхати речовини можна, лише обережно направляючи на

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 99 / 14</i>

себе газу чи пару легкими рухами рук. Не можна нахилитися над посудом і вдихати на повні груди.

6. Всі досліді виконують лише в чистому посуді. Після кожного експерименту посуд зразу ж необхідно помити.

7. Під час роботи необхідно дотримуватись чистоти, охайності. Слідкувати, щоб речовини не потрапляли на руки і обличчя, тому що деякі з них (кислоти, луги та ін.) викликають. руйнування шкіри і слизових оболонок.

8. Економно витратити реактиви, дистильовану воду, електроенергію і газ. Після закінчення роботи необхідно виключити воду і електроенергію.

9. Категорично забороняється в лабораторії їсти, пити воду, курити.

### **Правила роботи з небезпечними, легкозаймистими і токсичними речовинами.**

1. Всі роботи з небезпечними і токсичними речовинами (приклад: дибром, органічні розчинники (приклад: хлороформ, ацетон, бензол, толуол), нітроген діоксид (NO<sub>2</sub>), тощо) необхідно проводити лише у витяжній шафі, причому дверці шафи повинні бути опушеними на 1/2, і в гумових рукавичках.

2. Досліді з легкозаймистими, вогнебезпечними, рідинами (приклад: ефір, ацетон, бензол чи інші органічні розчинники), пов'язані з нагріванням, необхідно проводити на попередньо нагрітій водяній бані з вимкнутим пальником. При роботі завжди треба мати поблизу листовий азбест і пісок.

3. Якщо розлили вогнебезпечну речовину, необхідно виключити всі пальники, засипати піском розливу речовину, потім обережно все зібрати і викинути у спеціально відведену тару.

4. Необхідно вміти користуватися вогнегасником, який є в лабораторії аналітичної хімії.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 99 / 15</i>

5. При загоранні одязі треба накинути на потерпілого азбестові листи, які повинні лежати постійно в лабораторії.

### **Робота з отруйними речовинами.**

1. Всі роботи з отруйними і їдкими речовинами необхідно проводити у витяжній шафі з опущеними на 1/3 дверцятами шафи.

2. Прилад у витяжній шафі не розбирають, до тих пір, поки з шафи не буде витіснений весь газ чи пара речовини.

3. Подрібнення їдких лугів, калій перманганату тощо необхідно проводити у витяжній шафі з опущеними дверцятами шафи на 2/3 і в гумових рукавичках.

4. При розчиненні концентрованої сульфатної кислоти у воді, при приготуванні хромової суміші, при змішуванні сильних кислот (приклад: нітратної і сульфатної кислот, нітратної з хлоридною слід користуватися тільки тонкостінним посудом.

5. Гарячі рідини не можна вливати у товстостінний посуд.

6. Не можна виливати у раковини залишки кислот, лугів і вогнебезпечних речовин. Ці рідини зливають у спеціальні склянки, які знаходяться у витяжній шафі.

### **Перша допомога при опіках та отруєннях.**

1. При незначних теплових опіках шкіру необхідно обробити примочками з етанолу або водним розчином  $\text{KMnO}_4$  з масовою часткою речовини 5%.

2. При "хімічних опіках" їдкими речовинами (кислотами чи лугами) необхідно промити уражене місце великою кількістю водопровідної води, а тоді водним розчином  $\text{NaHCO}_3$ , з масовою часткою речовини 3% (розведеним розчином  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ), після чого знову промити великою кількістю води. Аналогічним способом запобігають пошкодженню одягу та взуття, коли на них попадають кислота або луг. При потраплянні хімічних речовин в очі, їх необхідно

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 16

промиту великою кількістю води, потім розведеним розчином борної кислоти  $H_3BO_3$ , і негайно звернутися до лікаря.

3. При вдиханні парів диброму треба глибоко подихати над етанолом, а тоді випити молоко і вийти на свіже повітря.

4. Не можна пробувати на смак і нюхати отруйні і взагалі невідомі речовини.

5. При випадковому потраплянні реактивів всередину рекомендується випити якомога більше води. Потім необхідно: а) при отруєнні лугами випити розчин ацетатної, етанової або лимонної кислоти з масовою часткою розчиненої речовини 2%; б) при отруєнні кислотами випити стакан розчину натрій гідроген карбонату з масовою часткою розчиненої речовини 2%.

6. При будь-якому отруєнні необхідно створити більший приток свіжого повітря або винести потерпілого на свіже повітря.

### **Обладнання і техніка лабораторних робіт.**

1. Місце на лабораторному столі, за яким працює студент у лабораторії аналітичної хімії, закріплюється за ним на весь час його роботи. Це робоче місце студента, за збереження якого він відповідає.

2. На робочому місці не повинно бути сторонніх речей, які не мають відношення до виконання завдань.

3. Кожен студент повинен виконувати всі досліди тільки на своєму робочому місці.

4. **Реактиви відбирають** піпеткою і переносять, не торкаючись кінчиком піпетки до стінок пробірки чи іншого посуду, в якому проводять реакцію. Для роботи набирають у піпетку небагато розчину, оскільки невикористану частину розчину реактиву не можна зливати назад у склянку з реактивом. Склянки з реактивами повинні знаходитися на постійних місцях, виймати їх з ящика чи переносити зі столу на інший, брати будь-який посуд, прилади і т.п. з чужого робочого місця категорично забороняється.



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 17

5. Перш, ніж залишити лабораторію, кожен студент повинен прибрати своє робоче місце, закрити водопровідні крани та вимкнути електрику біля свого місця роботи.

### Приклади розв'язування задач з теоретичних основ аналітичної хімії.

**Задача 1.** Обчислити ступінь дисоціації оцтової кислоти у розчині з молярною концентрацією речовини  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,1 моль/дм<sup>3</sup>.

Дано:

$$C_{\text{м}}(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,1 \text{ моль/дм}^3$$

$$\alpha(\text{CH}_3\text{COOH}) - ?$$

Для розв'язування задачі необхідно взяти з довідника значення константи дисоціації оцтової кислоти:  $K_{\text{д}}(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1,74 \cdot 10^{-5}$ .

Розв'язування:

1) Який ступінь дисоціації ацетової кислоти у розчині?

$$\alpha(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1,33\%$$

Відповідь: 1,33%.

**Задача 2.** Обчислити йонну силу у 0,01 М розчині  $\text{KCl}$ .

Дано:

$$C_{\text{м}}(\text{KCl}) = 0,01 \text{ моль/дм}^3$$

Розв'язування:

1). Яка йонна сила у розчині калій хлориду з молярною концентрацією речовини  $\text{KCl}$  0,01 моль/дм<sup>3</sup>?

$$\mu = C(\text{KCl}), \quad \mu = 0,01 \text{ моль/дм}^3,$$

Оскільки калій хлорид бінарний сильний електроліт, який у водному розчині повністю дисоційований, то  $C(\text{KCl}) = C(\text{K}^+) = C(\text{Cl}^-)$ .

$$\text{В.: } 0,01 \text{ моль/дм}^3.$$

**Задача 3.** Обчислити активність натрій і нітрат іонів у розчині натрій нітрату з молярною концентрацією речовини 0,1 моль/дм<sup>3</sup>.

Дано:

$$C(\text{NaNO}_3) = 0,1 \text{ моль/дм}^3$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 18

$a(\text{Na}^+) - ? \quad a(\text{NO}_3^-) - ?$

Розв'язування:

1) Яка молярна концентрація речовини кожного йона у розчині?



1 моль  $\rightarrow$  1 моль    1 моль

0,1 моль  $\rightarrow$  0,1 моль    0,1 моль

(Об'єм розчину сталий. Натрій нітрат у водному розчині сильний електроліт).

Отже,  $[\text{Na}^+] = [\text{NO}_3^-] = C(\text{Na}^+) = C(\text{NO}_3^-) = C(\text{NaNO}_3) = 0,1$  моль

2) Яка йонна сила у розчині натрій нітрату?

$$\mu = 1/2[C(\text{Na}^+) \cdot z_{\text{Na}}^2 + C(\text{NO}_3^-) \cdot z_{\text{NO}}^2] = 1/2 \cdot [0,1 \cdot 1^2 + 0,1 \cdot 1^2] = 0,1.$$

3) Який коефіцієнт активності натрій і нітрат іонів за цієї йонної сили?

(Значення коефіцієнта активності беруть з довідника).

$$f(\text{Na}^+) = f(\text{NO}_3^-) = 0,81$$

(Коефіцієнти активності йонів рівні, оскільки йони мають однаковий за величиною заряд).

4) Яка активність натрій і нітрат іонів у розчині?

$$a(X) = [X] \cdot f_x,$$

де  $[X]$  – молярна концентрація йона.

$$a(\text{Na}^+) = a(\text{NO}_3^-) = 0,1 \text{ моль/дм}^3 \cdot 0,81 = 0,081 \text{ моль/дм}^3$$

Відповідь: 0,081 моль/дм<sup>3</sup>.

**Задача 4.** Обчислити рН у 0,01 М розчині нітратної кислоти.

Дано:

$$C(\text{HNO}_3) = 0,01 \text{ моль/дм}^3$$

рН – ?

Розв'язування:

1) Яка молярна концентрація  $[\text{H}^+]$  у розчині?

$$[\text{H}^+] = C(\text{HNO}_3) = 0,01 \text{ моль/дм}^3,$$

оскільки нітратна кислота у водному розчині – сильний електроліт.

2) Який рН розчину?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -_1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 19

$$pH = -\lg[H^+] = -\lg 0,01 = 2$$

Відповідь:  $pH = 2$ .

**Задача 5.** Обчислити  $pH$  у  $0,05$  М розчині калій гідроксиду (KOH).

Дано:

$$C(\text{KOH}) = 0,05 \text{ моль/дм}^3$$

$pH$  – ?

Розв'язування:

1) Яка молярна концентрація  $[\text{OH}^-]$  у розчині калій гідроксиду?

$$C(\text{OH}^-) = C(\text{KOH}) = 0,05 \text{ моль/дм}^3, \text{ оскільки калій гідроксид у}$$

водному розчині – сильний електроліт.

2) Який  $pOH$  розчину?

$$pOH = -\lg [\text{OH}^-] = -\lg 0,05 = 1,3$$

3) Який  $pH$  розчину?

$$pH = 14 - pOH = 14 - 1,3 = 12,7$$

Відповідь:  $pH = 12,7$

**Задача 6.** Чи утвориться осад, якщо до  $0,01$  М розчину плумбум динітрату –  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  додати рівний об'єм  $0,01$  М розчину калій сульфату  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ? Назвати речовину осаду.

Дано:

$$C(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = C(\text{K}_2\text{SO}_4) = 0,01 \text{ моль/дм}^3$$

Чи утвориться осад – ?

Для розв'язування задачі необхідно взяти з довідника значення добутку розчинності тієї малорозчинної сполуки, яка утворюється в хімічній реакції осадження, у даному випадку це  $\text{PbSO}_4$ :  
 $DP_{\text{PbSO}_4} = 1,6 \cdot 10^{-8}$

Розв'язування:

1) Які молярні концентрації кожної речовини в розчині після змішування розчинів?

$C(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = C(\text{K}_2\text{SO}_4) = 0,005 \text{ моль/дм}^3$  (при зливанні двох рівних об'ємів розчинів загальний об'єм розчину збільшився у 2 рази, а

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 20

молярна концентрація кожної речовини в розчині зменшилась у 2 рази).

2) Які молярні концентрації іонів  $Pb^{2+}$  і  $SO_4^{2-}$  у розчині?

$$[Pb^{2+}] = C(Pb(NO_3)_2) = 0,005 \text{ моль/дм}^3$$

$$[SO_4^{2-}] = C(K_2SO_4) = 0,005 \text{ моль/дм}^3,$$

оскільки  $(Pb(NO_3)_2)$  і  $K_2SO_4$  – сильні електроліти.

3) Який добуток молярних концентрацій  $Pb^{2+}$  і  $SO_4^{2-}$  у розчині ?

$$[Pb^{2+}][SO_4^{2-}] = 0,005 \text{ моль/дм}^3 \cdot 0,005 \text{ моль/дм}^3 = 2,5 \cdot 10^{-5}$$

4) Порівняти добуток молярних концентрацій речовин плюмбум(2+) і сульфат-іонів з ДР  $PbSO_4$ :

$$2,5 \cdot 10^{-5} > 1,6 \cdot 10^{-8}$$

Отже, при зливанні рівних об'ємів 0,01 М розчинів  $Pb(NO_3)_2$  і  $K_2SO_4$  утворюється пересичений розчин, тому випадає осад плюмбум(II) сульфату –  $PbSO_4$ .

Відповідь: так.

**Задача 7.** Чи буде хлорна вода окиснювати калій бромід ( $KBr$ )?

Розв'язування:

Для відповіді на запитання необхідно:

1) взяти з довідника значення стандартних окисно-відновних потенціалів пари  $Cl_2/2Cl^-$  і  $Br_2/2Br^-$ :

$E^\circ(Cl_2/2Cl^-) = +1,35 \text{ В}$ ,  $E^\circ(Br_2/2Br^-) = +1,06 \text{ В}$ . Отже, пара  $Cl_2/2Cl^-$  буде окисником по відношенню до пари  $Br_2/2Br^-$ .

2) знайти різницю стандартних окисно-відновних потенціалів:

$$\Delta E^\circ = E^\circ(Cl_2/2Cl^-) - E^\circ(Br_2/2Br^-) = 1,35 \text{ В} - 1,06 \text{ В} = 0,29 \text{ В}.$$

Відповідь: Різниця потенціалів позитивна, тому реакція можлива.

*Порядок виконання роботи:*

**1. Іоно-обмінні реакції.** В окремі пробірки до трьох крапель одного розчину додати три краплі іншого розчину: 1)  $NaCl$  і  $AgNO_3$ ; 2)  $Na_2CO_3$  і  $BaCl_2$ ; 3)  $Na_2SO_3$  і  $HCl$ ; 4)  $BaCl_2$  і  $H_2SO_4$ ; 5)  $FeCl_3$  і  $NaOH$ ; 6)

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 21

$Al_2(SO_4)_3$  і  $NaOH$ <sub>надлишок</sub>. Написати спостереження і рівняння реакцій в молекулярному та йонному вигляді.

**2. Вплив гідролізу солей на рН розчину.** На стрічку-папірець універсального індикаторного папірця поставити по черзі піпеткою краплю наступних розчинів: 1)  $Pb(NO_3)_2$ ; 2)  $Na_2CO_3$ ; 3)  $Cr_2(SO_4)_3$ ; 4)  $CoCl_2$ ; 5)  $NH_4Cl$ ; 6)  $NiSO_4$ ; 7)  $FeSO_4$ ; 8)  $K_2CrO_4$ . Записати рН розчину за кольором універсального індикаторного папірця та рівняння реакцій гідролізу за ступенями в молекулярному та йонному вигляді.

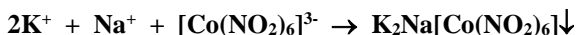
**3. Вплив кислотності середовища на перебіг окисно-відновних реакцій. Напрямок протікання окисно-відновних реакцій.** В три пробірки помістити по черзі по 3-5 крапель перманганату калію та на кінчику шпателя солі натрію сульфату. В першу пробірку додати дві краплі сульфатної кислоти, в другу – дві краплі лугу, в третю – дистильованої води. Записати спостереження, обчислити для кожної реакції електродний потенціал  $MnO_4^-$  та різницю окисно-відновних потенціалів користуючись значеннями стандартних електродних потенціалів з довідника.

## АНАЛІТИЧНІ РЕАКЦІЇ КАТІОНІВ І АНАЛІТИЧНОЇ ГРУПИ

### 1. Аналітичні реакції катіона калію, $K^+$ .

#### 1.1. Реакція з натрій гексанітрокобальтатом(III), $Na_3[Co(NO_2)_6]$ .

Натрій гексанітрокобальтат(III) з катіонами  $K^+$  при рН 4-5 утворює жовтий осад комплексної солі  $K_2Na[Co(NO_2)_6]$  – дикалій натрій гексанітрокобальтату(III):



*Виконання реакції:* помістіть в пробірку 2-3 краплі розчину солі калію й обережно додайте 1-2 краплі свіжоприготовленого розчину  $Na_3[Co(NO_2)_6]$  або кілька кристаликів сухої солі. Виконанню реакції заважають іони  $NH_4^+$ , але осад  $(NH_4)_2Na[Co(NO_2)_6]$  легко розкладається при нагріванні. Тому реакцію варто проводити при нагріванні. Інші

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 22

катиони I і II аналітичних груп проведенню цієї реакції не заважають. Якщо рН розчину > 7, то варто додати по краплях 2 М розчин CH<sub>3</sub>COOH, якщо рН розчину < 3, то варто додати по краплях 2 М розчин CH<sub>3</sub>COONa для досягнення необхідного значення рН. Середовище із рН > 7 – неприпустиме.

Запишіть спостереження й рівняння реакції в молекулярному й іонно-молекулярному вигляді.

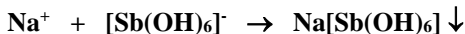
**1.2. Забарвлення полум'я.** Леткі солі калію забарвлюють полум'я газового пальника у фіолетовий колір.

*Виконання реакції:* чисту ніхромову дротинку опустіть в насичений розчин солі калію або в суху сіль калію й потім внесіть її в полум'я пальника. Забарвлення полум'я краще спостерігати через синє скло. Запишіть спостереження.

Для очищення ніхромової дротинки опустіть її в концентрований розчин HCl, потім внесіть у полум'я газового пальника. Повторіть цю операцію кілька разів. Відсутність фарбування полум'я свідчить про чистоту ніхромової дротинки.

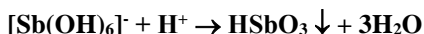
## 2. Аналітичні реакції катіона натрію, Na<sup>+</sup>.

**2.1. Реакція з калій гексагідроксостибатом(V) K[Sb(OH)<sub>6</sub>].** Калій гексагідроксостибат(V) з іонами Na<sup>+</sup> у нейтральному або слабко лужному середовищі (рН = 7-8) при охолодженні утворює білий кристалічний осад Na[Sb(OH)<sub>6</sub>] – натрій гексагідроксостибат(V):



Осад Na[Sb(OH)<sub>6</sub>] розчинний у гарячій воді й частково в лугах.

Виконанню реакції заважають кислоти, які виділяють аморфний осад, іони амонію. Солі амонію, подібно кислотам теж виділяють аморфний осад:



Крім того, виконанню реакції заважають іони Li<sup>+</sup> і Mg<sup>2+</sup>.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 23

*Виконання реакції:* візьміть у пробірку 5-6 крапель розчину будь-якої солі натрію й за допомогою універсального індикатора визначте рН середовища. Якщо середовище кисле (рН < 7), нейтралізуйте його, додаючи по краплях КОН. Якщо середовище лужне (рН > 7), додайте по краплях розчин оцтової кислоти (СН<sub>3</sub>СООН) до нейтральної реакції (рН ≈ 7). До цього розчину долийте 2-3 краплі розчину К[Sb(OH)<sub>6</sub>]. Пробірку охолодіть під струменем холодної водопровідної води. Потирання стінок пробірки скляною паличкою прискорює процес випадання білого кристалічного осаду солі Na[Sb(OH)<sub>6</sub>].

Запишіть спостереження й рівняння реакції в молекулярному й іонно-молекулярному вигляді.

**2.2. Забарвлення полум'я.** Леткі солі натрію забарвлюють полум'я газового пальника в жовтий колір.

*Виконання реакції:* чисту ніхромову дротинку опустіть в насичений розчин солі натрію або в суху сіль натрію й потім внесіть її в полум'я пальника. Запишіть спостереження.

### 3. Аналітичні реакції катіона амонію, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

**3.1. Реакція з лугами.** Луги NaOH або КОН взаємодіють із солями амонію з виділенням газоподібного амоніаку:



Амоніак, що виділяється, можна виявити за запахом або за допомогою фенолфталеїнової смужки, змоченої дистильованою водою. Утворені іони ОН<sup>-</sup> змінюють забарвлення фенолфталеїну з безбарвного на малиновий. Реакція специфічна, дозволяє виявити іон амонію в присутності всіх інших іонів.

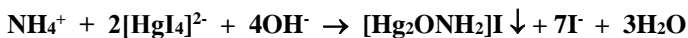
*Виконання реакції:* дослід краще проводити в “газовій камері” – фарфоровій чашці, накритій годинниковим склом. На внутрішню поверхню скла помістіть змочену дистильованою водою смужку фенолфталеїнового паперу. У фарфорову чашку візьміть 2-3 краплі розчину лугу й додайте 1-2 краплі розчину будь-якої солі амонію.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 24

Закрийте фарфорову чашку годинниковим склом (трохи підігрійте її на водяній бані).

Запишіть спостереження та рівняння реакції в молекулярному й іонно-молекулярному вигляді.

**3.2. Реакція з реактивом Несслера.** Реактив Несслера (суміш  $K_2[HgI_4]$  і  $KOH$ ) утворює із катіонами  $NH_4^+$  осад червоно-бурого кольору  $[Hg_2ONH_2]I$ :



*Виконання реакції:* на предметне скло або в пробірку помістіть 1-2 краплі розчину солі амонію й додайте до нього 2-3 краплі реактиву Несслера.

Виконанню реакції заважають катіони металів (наприклад,  $Fe^{3+}$ ,  $Cr^{3+}$  і ін.), що утворюють у лужному середовищі зафарбовані осадки відповідних гідроксидів.

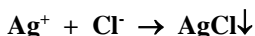
Запишіть спостереження та рівняння реакції в молекулярному й іонно-молекулярному вигляді.

## АНАЛІТИЧНІ РЕАКЦІЇ КАТІОНІВ ІІ АНАЛІТИЧНОЇ ГРУПИ

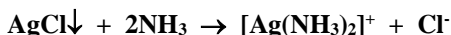
Груповим реагентом на катіони другої аналітичної групи є 2 М розчин хлоридної кислоти, що з катіонами  $Ag^+$ ,  $Hg_2^{2+}$  і  $Pb^{2+}$  утворює білі осадки  $AgCl$ ,  $Hg_2Cl_2$  і  $PbCl_2$ .

### 1. Аналітичні реакції катіона аргентуму, $Ag^+$ .

**1.1. Реакція із хлоридами.** Хлоридна кислота й розчинні у воді хлориди з катіоном аргентуму утворюють білий сирнистий осад  $AgCl$ :



Осад  $AgCl$  розчиняється в надлишку розчину амоніаку з утворенням безбарвної комплексної сполуки  $[Ag(NH_3)_2]Cl$ :





Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 25

Отримана комплексна сполука стійка тільки в присутності надлишку амоніаку й може бути зруйнована сильними кислотами ( $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) з утворенням осаду  $\text{AgCl}$ :



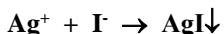
*Виконання реакції:* помістіть в центрифужну пробірку (коротка конічна пробірка) 2-3 краплі розчину солі аргентуму й додайте до нього 2-3 краплі 2 М розчину  $\text{HCl}$ .

Відокремте осад від розчину центрифугуванням.

До осадженого хлориду аргентуму по краплях додайте розчин амоніаку до повного розчинення осаду. До отриманого розчину додайте 1-2 краплі фенолфталеїну, а потім дією (по краплях) 2 М розчину  $\text{HNO}_3$  нейтралізуйте надлишок основи й зруйнують комплекс. Помутніння розчину вказує на утворення осаду  $\text{AgCl}$ .

Запишіть спостереження та рівняння реакцій у молекулярному й іонно-молекулярному вигляді.

**1.2. Реакція з калій йодидом,  $\text{KI}$ .** Калій йодид утворює із катіоном  $\text{Ag}^+$  яскраво-жовтий осад аргентум йодиду, практично нерозчинний у воді й концентрованому розчині амоніаку:

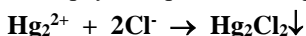


*Виконання реакції:* помістіть в пробірку 2-3 краплі розчину солі аргентуму й додайте до нього 2-3 краплі розчину калій йодиду.

Запишіть спостереження та рівняння реакції в молекулярному й іонно-молекулярному вигляді.

## 2. Аналітичні реакції катіона димеркурія(I), $\text{Hg}_2^{2+}$ .

**2.1. Реакція із хлоридами.** Хлоридна кислота й розчинні у воді хлориди з катіоном меркурію(I) утворюють білий осад димеркурій дихлориду –  $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$  (каломель), при взаємодії якого з розчином амоніаку утворюється білий осад сполуки  $[\text{HgNH}_2]\text{Cl}$  і виділяється металева ртуть чорного кольору.



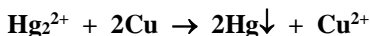
Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 26



*Виконання реакції:* помістіть в пробірку 2-3 краплі розчину солі ртуті(I) і додайте до нього 3-4 краплі 2 М розчину HCl. До осаду, що утворився, додайте 5-10 крапель концентрованого розчину амоніаку.

Запишіть спостереження й рівняння реакцій у молекулярному й іонно-молекулярному вигляді.

**2.2. Відновлення ртуті(I) металевою міддю.** Металева мідь відновлює  $\text{Hg}_2^{2+}$  до металу з утворенням амальгами:

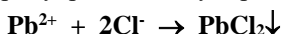


*Виконання реакції:* на мідну монету або мідну пластинку помістіть 2-3 краплі розчину солі ртуті(I). Через 2-3 хвилини змийте розчин водою й потріть поверхню шматочком фільтрувального паперу.

Запишіть спостереження й рівняння реакції в молекулярному й іонно-молекулярному вигляді.

### 3. Аналітичні реакції катіона свинцю, $\text{Pb}^{2+}$ .

**3.1. Реакція із хлоридами.** Хлоридна кислота й розчинні у воді хлориди утворюють із катіонами свинцю  $\text{Pb}^{2+}$  білий осад свинцю хлориду, розчинний у гарячій дистильованій воді:



*Виконання реакції:* помістіть в центрифужну пробірку 2-3 краплі розчину солі свинцю. Додайте до нього 2-3 краплі 2 М розчину HCl.

Осад відокремте від розчину центрифугуванням.

До отриманого осаду долийте 2-3 мл дистильованої води, суміш перемішайте скляною паличкою й нагрійте пробірку на водяній бані.

**3.2. Реакція з калій йодидом, KI.** Калій йодид утворює із іонами свинцю  $\text{Pb}^{2+}$  осад жовтого кольору, розчинний у гарячій дистильованій воді:



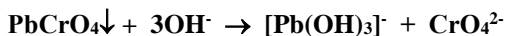
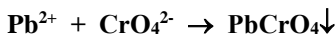
Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 27

При охолодженні розчину  $PbI_2$  знову випадає в осад у вигляді жовтих кристалів. Цю реакцію часто називають “реакцією золотого дощу”.

*Виконання реакції:* помістіть у пробірку 2-3 краплі розчину солі плюмбуму й додайте до нього 2-3 краплі розчину калій йодиду. До отриманого осаду долийте 3-5 мл дистильованої води й нагрійте пробірку на водяній бані до повного розчинення осаду. Охолодіть пробірку під струменем холодної води. При повільному охолодженні розчину утворюються великі золотаво-жовті кристали  $PbI_2$ .

Запишіть спостереження та рівняння реакції в молекулярному й іонно-молекулярному вигляді.

**3.3. Реакція із дикалій хроматом,  $K_2CrO_4$ .** Дикалій хромат з катіонами плюмбуму  $Pb^{2+}$  утворює осад плюмбум(II) хромату  $PbCrO_4$  жовтого кольору, розчинний у сильних кислотах і лугах, але нерозчинний в оцтовій кислоті:



*Виконання реакції:* у пробірку помістіть 2-3 краплі розчину солі плюмбуму, додайте до нього 2-3 краплі розчину дикалій хромату. Отриманий осад розділіть на дві частини. У першу пробірку з осадом додайте 4-5 краплі 2 М розчину NaOH або KOH. У другу пробірку з осадом додайте 4-5 краплі 2 М розчину оцтової кислоти  $CH_3COOH$ .

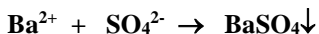
## АНАЛІТИЧНІ РЕАКЦІЇ КАТІОНІВ III АНАЛІТИЧНОЇ ГРУПИ

Груповим реагентом на катіони третьої аналітичної групи є 1 М розчин сульфатної кислоти, що з катіонами  $Ba^{2+}$  і  $Ca^{2+}$  утворює осад малорозчинних сульфатів  $BaSO_4$  і  $CaSO_4$  білого кольору.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 28

## 1. Аналітичні реакції катіона барію, Ba<sup>2+</sup>.

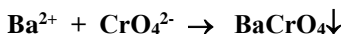
**1.1. Реакція із сульфатною кислотою.** Сульфатна кислота й розчинні сульфати з іонами барію Ba<sup>2+</sup> утворюють білий кристалічний осад, нерозчинний у мінеральних кислотах:



*Виконання реакції:* помістіть в пробірку 1-2 краплі розчину солі барію й додайте до нього 2-3 краплі 1 М розчину H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

Запишіть спостереження та рівняння реакції в молекулярному й іонно-молекулярному вигляді.

**1.2. Реакція із дикалій хроматом, K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> або дикалій дихроматом, K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>.** Дикалій хромат з іонами барію Ba<sup>2+</sup> при pH = 4-5 утворює жовтий осад барій хромату BaCrO<sub>4</sub>:



Барію хромат розчинний у сильних кислотах (крім H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), але не розчинний в оцтовій кислоті. При проведенні реакції в оцтовокислому середовищі визначенню іона барію не заважають іони Ca<sup>2+</sup>, тому що осад CaCrO<sub>4</sub> не утворюється.

*Виконання реакції:* змішайте в пробірці по 5 крапель розчинів барій хлориду й дикалій хромату. Отриманий осад розділіть на дві пробірки. У першу пробірку з осадом додайте 2-3 мл 2 М розчину HCl, а в іншу - 2-3 мл 2 М розчину CH<sub>3</sub>COOH.

Запишіть спостереження та рівняння реакції в молекулярному й іонно-молекулярному вигляді.

**1.3. Забарвлення полум'я.** Летючі солі барію забарвлюють полум'я газового пальника в жовто-зелений колір.

*Виконання реакції:* чисту ніхромову дротинку занурте в насичений розчин солі барію або в суху сіль і потім внесіть її в полум'я газового пальника. Запишіть спостереження.

## 2. Аналітичні реакції катіона кальцію, Ca<sup>2+</sup>.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 29

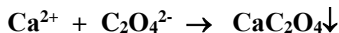
**2.1. Реакція із сульфатною кислотою.** Сульфатна кислота й розчинні сульфати в концентрованих розчинах утворюють із катіоном кальцію  $\text{Ca}^{2+}$  кристали гіпсу  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  білого кольору, що мають голчасту форму:



*Виконання реакції:* помістіть на предметне скло 1 краплю розчину солі кальцію, додайте до нього 1 краплю 1 М розчину  $\text{H}_2\text{SO}_4$  і 1 краплю  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  для зменшення розчинності. Обережно нагрійте предметне скло на водяній бані до появи білих кристалів гіпсу. Розгляньте їх під мікроскопом.

Запишіть спостереження та рівняння реакції в молекулярному й іонно-молекулярному вигляді.

**2.2. Реакція з діамоній оксалатом,  $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ .** Діамоній оксалат з іонами кальцію  $\text{Ca}^{2+}$  утворює білий кристалічний осад  $\text{CaC}_2\text{O}_4$ , нерозчинний в оцтовій кислоті, але розчинний у сильних кислотах:



*Виконання реакції:* помістіть в пробірку 1-2 краплі розчину солі кальцію, 3-4 краплі розчину  $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$  і 1-2 краплі 2 М розчину амоніаку. Отриманий осад розділіть на дві частини. У першу пробірку з осадом додайте 2-3 мл 2 М розчину  $\text{HCl}$ , а в іншу – 2-3 мл 2 М розчину  $\text{CH}_3\text{COOH}$ .

Запишіть спостереження та рівняння реакції в молекулярному й іонно-молекулярному виді.

**2.3. Забарвлення полум'я.** Летючі солі кальцію забарвлюють полум'я газового пальника в помаранчево-червоний колір.

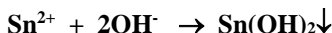
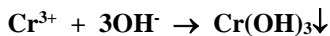
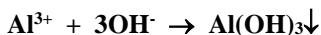
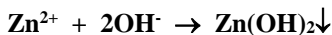
*Виконання реакції:* чисту ніхромову дротинку опустіть в насичений розчин кальцій хлориду або в суху сіль і потім внесіть її в полум'я газового пальника. Запишіть спостереження.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 30

### Лабораторна робота № 2

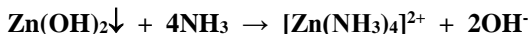
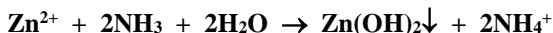
## АНАЛІТИЧНІ РЕАКЦІЇ КАТІОНІВ IV - IV АНАЛІТИЧНИХ ГРУП

Груповим реагентом на катіони IV аналітичної групи є 2 М розчин натрій гідроксиду NaOH. При дії NaOH на розчин, що містить іони IV аналітичної групи, спочатку утворюються аморфні осаді відповідних гідроксидів: сіро-зелений Cr(OH)<sub>3</sub>, білі Zn(OH)<sub>2</sub>, Al(OH)<sub>3</sub> і Sn(OH)<sub>2</sub>. Оскільки гідроксиди хрому (III), цинку, алюмінію й плюмбуму(II) проявляють амфотерні властивості, то вони розчиняються в надлишку лугу з утворенням відповідних гідроксополук:



### 1. Аналітичні реакції катіона цинку, Zn<sup>2+</sup>.

1.1. Реакція з розчином амоніаку. Іони Zn<sup>2+</sup> з розчином амоніаку утворюють білий осад цинк гідроксиду, що розчиняється в надлишку амоніаку з утворенням аміаката цинку:



Виконання реакції: помістіть в пробірку 4-5 крапель розчину солі цинку. Долейте до нього по краплях 2 М розчину амоніаку до утворення білого осаду. До отриманого осаду долейте надлишок розчину NH<sub>3</sub> до розчинення осаду.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 31

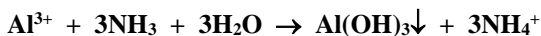
Запишіть спостереження й рівняння реакцій у молекулярному й іонно-молекулярному вигляді.

**1.2. Реакція з дитизоном.** Іони  $Zn^{2+}$  з дитизоном (дифенілтіокарбазоном,  $C_6H_5-NH-NH-CS-N=N-C_6H_5$ ,  $H_2Dz$ ) утворюють внутрішньокмплесну сіль червоного кольору, розчинну в хлороформі ( $CHCl_3$ ).

*Виконання реакції:* помістіть в пробірку 2-3 краплі розчину солі цинку, додайте 2-3 краплі ацетатного буфера й потім 2-3 краплі 10% розчину дитизону в хлороформі. Енергійно струсіть пробірку. Утворена в результаті реакції внутрішньокмплесна сіль, екстрагується в шар хлороформу, і він забарвлюється в червоний колір. Запишіть спостереження.

## 2. Аналітичні реакції катіона алюмінію, $Al^{3+}$ .

**2.1. Реакція з розчином амоніаку.** Іони  $Al^{3+}$  утворюють із розчином амоніаку білий аморфний осад алюміній гідроксиду  $Al(OH)_3$ , нерозчинний у надлишку амоніаку:



*Виконання реакції:* помістіть в пробірку 4-5 крапель розчину солі алюмінію й додайте до нього 5-6 крапель 2 М розчину  $NH_3$ . Перевірте розчинність алюміній гідроксиду в надлишку розчину амоніаку.

Запишіть спостереження та рівняння реакції в молекулярному й іонно-молекулярному виді.

**2.2. Реакція з алізарином.** Алізарин –  $C_{14}H_6O_2(OH)_2$ , утворює із  $Al(OH)_3$  внутрішньокмплесну сіль червоного кольору (алюмінієвий лак).

*Виконання реакції:* візьміть шматочок фільтрувального паперу й нанесіть на нього піпеткою 1 краплю розчину солі алюмінію. Потримаєте папір протягом 1-2 хвилини над відкритою склянкою з концентрованим (25%) розчином  $NH_3$ . На папері утвориться  $Al(OH)_3$ . У центр вологої плями нанесіть краплю алізарину й ще 1-2 хвилини

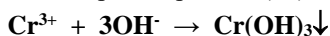
Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 32

потримаєте фільтрувальний папір над склянкою з концентрованим розчином  $\text{NH}_3$ .

Підсушіть фільтрувальний папір над полум'ям газового пальника. При цьому зникає фіолетове забарвлення алізарину, а червона пляма алюмінієвого лаку залишається. Запишіть спостереження в зошит.

### 3. Аналітичні реакції катіона хрому(III), $\text{Cr}^{3+}$ .

**3.1. Реакція з лугами.** Натрій і калій гідроксиди осаджують іони  $\text{Cr}^{3+}$  у вигляді гідроксиду  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  сіро-зеленого кольору, що розчиняється в надлишку лугу з утворенням зеленого розчину тетра- або гексагідроксохромата (III).



**3.2. Реакція з гідроген пероксидом в лужному середовищі.** Іони  $\text{Cr}^{3+}$  у надлишку лугу окиснюються гідроген пероксидом  $\text{H}_2\text{O}_2$  до хромат-іонів  $\text{CrO}_4^{2-}$  - жовтого кольору:



*Виконання реакції:* помістіть в пробірку 2-3 краплі розчину солі хрому (III) і додайте 6-7 крапель 2 М розчину  $\text{NaOH}$  до утворення зеленого розчину гідроксокомплексу хрому(III). До отриманого розчину додайте 3-4 краплі 10% розчину  $\text{H}_2\text{O}_2$  і нагрівайте суміш на водяній бані протягом 2-3 хвилин. Забарвлення розчину в жовтий колір свідчить про утворення іона  $\text{CrO}_4^{2-}$ .

Запишіть спостереження та рівняння реакцій у молекулярному й іонно-молекулярному вигляді.

### 4. Аналітичні реакції катіона стануму(II), $\text{Sn}^{2+}$ .

**4.1. Реакція із солями бісмуту(III) у лужному середовищі.** Іони  $\text{Sn}^{2+}$  у лужному середовищі окиснюються солями бісмуту(III) до  $\text{Sn}^{4+}$  з утворенням чорного осаду металевого бісмуту:





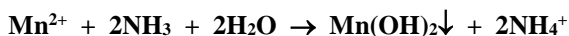
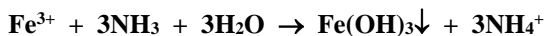
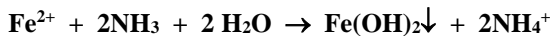
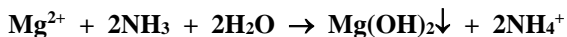
Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 33

*Виконання реакції:* до 2-3 крапель розчину солі  $\text{Sn}^{2+}$  додайте надлишок розчину  $\text{NaOH}$  (4 М) – до розчинення білого осаду, що утворився,  $\text{Sn}(\text{OH})_2$ . До отриманого розчину додайте по краплях розчин солі  $\text{Bi}^{3+}$  до появи чорного осаду.

Запишіть спостереження та рівняння реакцій у молекулярному й іонно-молекулярному виді.

## АНАЛІТИЧНІ РЕАКЦІЇ КАТІОНІВ V АНАЛІТИЧНОЇ ГРУПИ

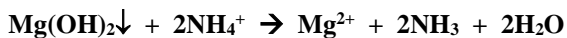
Груповим реагентом на катіони V аналітичної групи є 25% розчин  $\text{NH}_3$ . При дії розчину амоніаку на розчин, що містить катіони V аналітичної групи, утворюються аморфні осади відповідних гідроксидів: білі  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Sb}(\text{OH})_3$ , червоно-бурий  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  і жовто-рожевий  $\text{Mn}(\text{OH})_2$ , які нерозчинні в надлишку  $\text{NH}_3$ .



*Виконання реакції:* помістіть в пробірку 2-3 краплі розчину відповідної солі й 2-3 краплі 25% розчину амоніаку.

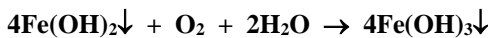
Запишіть спостереження та рівняння реакцій у молекулярному й іонно-молекулярному виді.

Гідроксиди  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  і  $\text{Mn}(\text{OH})_2$  розчиняються в насиченому розчині  $\text{NH}_4\text{Cl}$ :



Основи  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  і  $\text{Mn}(\text{OH})_2$  не розчиняються в розчинах лугів і амоніаку, але легко розчиняються в сильних кислотах. Ферум гідроксид(II) у лужному середовищі швидко окиснюється киснем повітря до ферум гідроксиду(III):

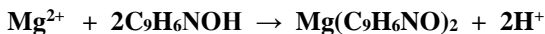
Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 34



Стибий гідроксид  $\text{Sb}(\text{OH})_3$  розчиняється в розчинах лугів і концентрованої хлоридній кислоті з утворенням відповідних комплексних іонів  $[\text{Sb}(\text{OH})_4]^-$  і  $[\text{SbCl}_4]^-$ .

### 1. Аналітичні реакції катіона магнію, $\text{Mg}^{2+}$ .

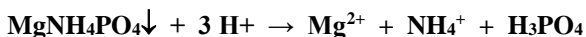
**1.1. Реакція з 8-оксихіноліном,  $(\text{C}_9\text{H}_6\text{NOH})$ .** Іони  $\text{Mg}^{2+}$  в амоніачному середовищі ( $\text{pH} = 9-10$ ) з 8-оксихіноліном утворюють зеленувато-жовтий осад магній оксихінолят  $\text{Mg}(\text{C}_9\text{H}_6\text{NO})_2$ :



*Виконання реакції:* помістіть в пробірку 2-3 краплі розчину солі магнію, 3-4 краплі амоніачного буферного розчину й 3-4 краплі розчину 8-оксихіноліну. Перемішайте суміш паличкою.

Запишіть спостереження та рівняння реакції в молекулярному й іонно-молекулярному вигляді.

**1.2. Реакція з натрій гідрогенфосфатом,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ .** Катіони магнію  $\text{Mg}^{2+}$  у присутності амоніаку й амоній хлориду утворюють білий кристалічний осад амоній магній фосфату  $\text{MgNH}_4\text{PO}_4$ , що легко розчиняється в оцтовій і сильних кислотах:

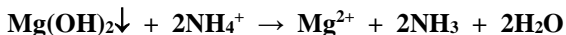


*Виконання реакції:* помістіть в пробірку 2-3 краплі розчину солі магнію, додайте 2-3 краплі розчину  $\text{HCl}$  (2 М) і 2-3 краплі розчину  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ . Потім додайте в пробірку 1 краплю розчину фенолфталеїну й по краплях розчин амоніаку (2 М), перемішуючи вміст пробірки скляною паличкою, до появи рожевого забарвлення фенолфталеїну ( $\text{pH} \approx 9$ ). У присутності іона  $\text{Mg}^{2+}$  випадає білий кристалічний осад.

Запишіть спостереження та рівняння реакцій у молекулярному й іонно-молекулярному вигляді.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 35

**1.3. Реакція з розчинами лугів.** Іони  $Mg^{2+}$  з розчином NaOH або KOH утворюють білий аморфний осад  $Mg(OH)_2$ , нерозчинний у надлишку лугу, але розчинний у концентрованому розчині  $NH_4Cl$ :

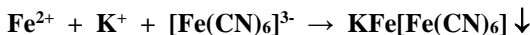


*Виконання реакції:* помістіть в пробірку 4-5 крапель розчину солі магнію й додайте до нього 4-5 крапель розчину NaOH (2 М), а потім 5-7 крапель розчину  $NH_4Cl$ .

Запишіть спостереження та рівняння реакцій у молекулярному й іонно-молекулярному вигляді.

## 2. Аналітичні реакції катіона феруму(II), $Fe^{2+}$ .

**2.1. Реакція з калій гексаціанофератом(III),  $K_3[Fe(CN)_6]$ .** Іони  $Fe^{2+}$  у кислому середовищі з калій гексаціанофератом(III) утворюють синій осад – калій ферум(II) гексаціаноферат(III) (турнбулева синь):

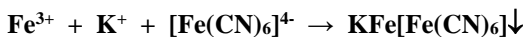


*Виконання реакції:* помістіть в пробірку 2-3 краплі розчину солі феруму(II), додайте 1-2 краплі 2 М розчину HCl і 1-2 краплі розчину  $K_3[Fe(CN)_6]$ .

Запишіть спостереження та рівняння реакції в молекулярному й іонно-молекулярному вигляді.

## 3. Аналітичні реакції катіона заліза(III), $Fe^{3+}$

**3.1. Реакція з калій гексаціанофератом(II),  $K_4[Fe(CN)_6]$ .** Іони  $Fe^{3+}$  у кислому середовищі з калій гексаціанофератом(II) утворюють темно-синій осад калій ферум(III) гексаціаноферат(II) (берлінська лазур):

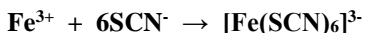


*Виконання реакції:* помістіть в пробірку 2-3 краплі розчину солі феруму(III), додайте 1-2 краплі 2 М розчину HCl і 1-2 краплі розчину  $K_4[Fe(CN)_6]$ .

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -_1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 36

Запишіть спостереження й рівняння реакції в молекулярному й іонно-молекулярному вигляді.

**3.2. Реакція з амоній роданідом, NH<sub>4</sub>SCN, або калій роданідом, KSCN.** Іони Fe<sup>3+</sup> у кислому середовищі (рН = 2) з амоній роданідом або калій роданідом утворюють комплексну сполуку, що забарвлює розчин у криваво-червоний колір:



*Виконання реакції:* помістіть в пробірку 2-3 краплі солі феруму(III). Універсальним індикатором перевірте рН. При необхідності додайте 1-2 краплі 2 М розчину НСІ. Додайте 2-3 краплі насиченого розчину роданиду амонію (або калію) або суху сіль. Зверніть увагу на забарвлення розчину.

Запишіть спостереження та рівняння реакції в молекулярному й іонно-молекулярному вигляді.

#### 4. Аналітичні реакції катіона мангану(II), Mn<sup>2+</sup>.

**4.1. Реакція з бісмутатом натрію, NaBiO<sub>3</sub>.** Іони Mn<sup>2+</sup> в нітратнокислому середовищі окиснюються бісмутатом натрію до іонів MnO<sub>4</sub><sup>-</sup>, що забарвлює розчин у малиновий колір:



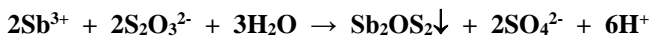
*Виконання реакції:* внесіть у пробірку на кінчику шпателя трошки порошку бісмутата натрію. Додайте 2 мл 2 М розчину нітратної кислоти й 1-2 краплі розчину солі мангану(II). Малиновий колір розчину вказує на утворення іона MnO<sub>4</sub><sup>-</sup>.

Запишіть спостереження та рівняння реакції в молекулярному й іонно-молекулярному вигляді.

#### 5. Аналітичні реакції катіона стибію(III), Sb<sup>3+</sup>.

**5.1. Реакція з тіосульфатом натрію, Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.** Катіони Sb<sup>3+</sup> при нагріванні з тіосульфатом натрію утворюють осад червоного кольору (сульфооксид стибію(III), Sb<sub>2</sub>OS<sub>2</sub>):

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 37



*Виконання реакції:* помістіть в пробірку 2-3 краплі розчину хлориду стибію(III), додайте декілька крапель сульфатної кислоти (1 М), киньте кристалик  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  і нагрійте на водяній бані. Утвориться червоний осад  $\text{Sb}_2\text{OS}_2$ .

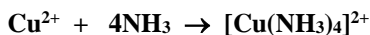
Запишіть спостереження та рівняння реакції в молекулярному й іонно-молекулярному вигляді.

## АНАЛІТИЧНІ РЕАКЦІЇ КАТІОНІВ VI АНАЛІТИЧНОЇ ГРУПИ

Груповим реагентом на катіони VI аналітичної групи є 25% розчин  $\text{NH}_3$ . При дії надлишку розчину амоніаку на розчин, що містить катіони VI аналітичної групи, утворюються забарвлені розчини комплексних сполук – аміакатів.

### 1. Аналітична реакція катіона купрум(II), $\text{Cu}^{2+}$ .

**1.1. Реакція з розчином амоніаку.** Катіони  $\text{Cu}^{2+}$  з надлишком концентрованого розчину амоніаку утворюють комплексну сполуку - аміакат купрум(II), яскраво-синього кольору:



*Виконання реакції:* помістіть в пробірку 2-3 краплі розчину солі купрум(II) і додайте до нього 4-6 крапель 25% розчину амоніаку. Зверніть увагу на колір розчину.

Запишіть спостереження та рівняння реакції в молекулярному й іонно-молекулярному виді.

### 2. Аналітичні реакції катіона кобальту(II), $\text{Co}^{2+}$ .

**2.1. Реакція з розчином амоніаку.** Катіони  $\text{Co}^{2+}$  з надлишком концентрованого розчину амоніаку утворюють комплексну сполуку – аміакат кобальту(II),  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ , яскраво-коричневого кольору:



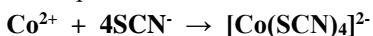
Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 38



*Виконання реакції:* помістіть в пробірку 2-3 краплі кобальт хлориду(II) і додайте 1-2 краплі 25% розчину амоніаку. Спостерігайте випадання синього осаду основної солі кобальту(II) – CoOHCl. Розчиніть осад у надлишку 25% розчину амоніаку.

Запишіть спостереження та рівняння реакцій у молекулярному й іонно-молекулярному вигляді.

**2.2. Реакція з амоній роданідом, NH<sub>4</sub>SCN (або калій роданідом, KSCN).** Катіон Co<sup>2+</sup> у нейтральному або слабокислому середовищі з роданід-іонами утворює комплексний іон [Co(SCN)<sub>4</sub>]<sup>2-</sup>, забарвлений у синій колір:



Виконанню реакції заважають іони Fe<sup>3+</sup>, що утворюють із роданід-іоном комплексну сполуку криваво-червоного кольору. Тому при визначенні іонів Co<sup>2+</sup> реакцією з роданід-іоном у присутності Fe<sup>3+</sup> у реакційну суміш додають суху сіль натрій флуориду (або амоній флуориду) для зв'язування іонів Fe<sup>3+</sup> у міцний безбарвний комплекс [FeF<sub>6</sub>]<sup>3-</sup>.

*Виконання реакції:* помістіть в пробірку 2-3 краплі розчину солі кобальту(II), 5-6 крапель насиченого розчину амоній роданіду (або калій роданіду) і 5-6 крапель суміші ізоамілового спирту з ефіром. Струсніть пробірку. Утворена комплексна сполука екстрагується у верхній органічний шар і забарвить його в синій колір.

Запишіть спостереження та рівняння реакції в молекулярному й іонно-молекулярному вигляді.

### 3. Аналітичні реакції катіона ніколу(II), Ni<sup>2+</sup>.

**3.1. Реакція з розчином амоніаку.** Катіони Ni<sup>2+</sup> з розчином амоніаку спочатку утворюють ясно-зелений осад основної солі ніколу (II), що потім розчиняється в надлишку концентрованого розчину

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 39

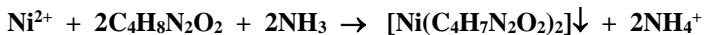
амоніаку з утворенням синього розчину аміакату ніколу(II)  $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ :



*Виконання реакції:* помістіть в пробірку 2-3 краплі розчину нікол(II) хлориду або іншої солі ніколу(II) і додайте по краплях 25% розчин амоніаку до утворення ясно-зеленого осаду основної солі ніколу(II), а потім надлишок 25% розчину амоніаку до розчинення осаду. Зверніть увагу на колір розчину, що утворився.

Запишіть спостереження та рівняння реакцій у молекулярному й іонно-молекулярному вигляді.

**3.2. Реакція з диметилглюксимом (реактивом Чугаєва),  $\text{C}_4\text{H}_8\text{N}_2\text{O}_2$ .** Катіони  $\text{Ni}^{2+}$  в амоніачному середовищі (pH = 9) утворюють із диметилглюксимом малорозчинну внутрішньокмплексну сіль яскраво-рожевого кольору:



*Виконання реакції:* помістіть в пробірку 2-3 краплі розчину солі ніколу(II), додайте до нього 5-6 крапель 25% розчину амоніаку й 2-3 краплі реактиву Чугаєва. Струсніть пробірку й спостерігайте утворення яскраво-червоного осаду.

Запишіть спостереження та рівняння реакції в молекулярному й іонно-молекулярному вигляді.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 40

### Лабораторна робота №3

## АНАЛІТИЧНІ РЕАКЦІЇ АНІОНІВ

Загальноприйнятої класифікації аніонів не існує. Найчастіше використовується класифікація аніонів по розчинності солей барію й аргентуму.

**Перша аналітична група аніонів** поєднує іони  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SiO}_3^{2-}$ , які утворюють малорозчинні солі барію. Груповим реагентом є розчин барій хлориду  $\text{BaCl}_2$ .

**Друга аналітична група аніонів** включає іони  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{I}^-$ ,  $\text{S}^{2-}$ , які утворюють малорозчинні солі аргентуму. Груповим реагентом є розчин аргентум нітрату  $\text{AgNO}_3$ .

**Третя аналітична група аніонів** поєднує іони  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{CH}_3\text{COO}^-$ ,  $\text{MoO}_4^{2-}$ ,  $\text{WO}_4^{2-}$ ,  $\text{VO}_3^-$  більшість солей яких добре розчинні у воді. Групового реагенту немає.

Аналіз аніонів має свої особливості. Аніони звичайно відкривають дробним методом в окремих порціях досліджуваного розчину. При виконанні характерних реакцій на аніони варто звернути особливу увагу на властивості й розчинність одержуваних осадів солей барію й аргентуму (тому що зовнішній вигляд осадів багатьох аніонів практично однаковий).

## АНАЛІТИЧНІ РЕАКЦІЇ АНІОНІВ І АНАЛІТИЧНОЇ ГРУПИ ( $\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{CO}_3^{2-}$ , $\text{PO}_4^{3-}$ , $\text{SiO}_3^{2-}$ )

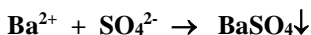
Груповим реагентом на аніони I групи є розчин барій хлориду  $\text{BaCl}_2$ . У результаті утворюються солі, малорозчинні у воді, але легко розчинні в мінеральних кислотах (за винятком  $\text{BaSO}_4$  і  $\text{BaSiO}_3$ ). Солі аргентуму аніонів I групи розчиняються в розведеній нітратній кислоті,  $\text{HNO}_3$ .

### 1. Аналітична реакція сульфату-іона, $\text{SO}_4^{2-}$ .



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 41

**1.1. Реакція з барій хлоридом.** Аніон  $\text{SO}_4^{2-}$  з катіоном  $\text{Ba}^{2+}$  утворює білий кристалічний осад барій сульфату ( $\text{BaSO}_4$ ), нерозчинний у мінеральних кислотах:

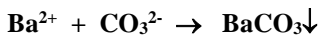


*Виконання реакції:* помістіть в пробірку 4-5 крапель розчину будь-якого сульфату ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$  або  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ) і додайте до нього 2-3 краплі розчину барій хлориду ( $\text{BaCl}_2$ ). Отриманий осад розділіть у дві пробірки. У першу пробірку додайте 4-5 крапель розчину  $\text{CH}_3\text{COOH}$  (2 М), а в іншу – 4-5 крапель  $\text{HCl}$  (2М).

Запишіть спостереження та рівняння реакції в молекулярному й іонно-молекулярному вигляді.

## 2. Аналітичні реакції карбонат-іона, $\text{CO}_3^{2-}$ .

**2.1. Реакція із барій хлоридом.** Карбонат-іон  $\text{CO}_3^{2-}$  з катіоном  $\text{Ba}^{2+}$  утворює осад барій карбонату ( $\text{BaCO}_3$ ) білого кольору. Як всі карбонати,  $\text{BaCO}_3$  легко розчиняється в хлоридній, нітратній і оцтовій кислотах з виділенням оксиду карбону (IV),  $\text{CO}_2$ :

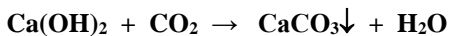
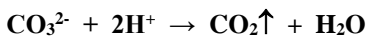


*Виконання реакції:* помістіть в пробірку 4-5 крапель розчину будь-якого карбонату ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$  або  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ ) і додайте до нього 3-4 краплі розчину барій хлориду  $\text{BaCl}_2$ . Розділіть осад у дві пробірки. У першу пробірку додайте 1-2 мл  $\text{CH}_3\text{COOH}$  (2 М), а в іншу – 1-2 мл  $\text{HCl}$  (2 М).

Запишіть спостереження та рівняння реакцій у молекулярному й іонно-молекулярному вигляді.

**2.2. Реакція з мінеральними кислотами.**  $\text{HCl}$ ,  $\text{HNO}_3$  і  $\text{H}_2\text{SO}_4$  виділяють із карбонатів вільну карбонатну кислоту ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), що розпадається на  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$ . Утворений  $\text{CO}_2$  можна виявити за допомогою реакції із  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (вапняна вода), при цьому випадає білий осад  $\text{CaCO}_3$ :

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 42

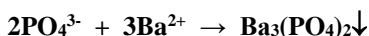
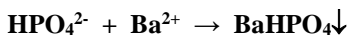


*Виконання реакції.* Реакцію краще проводити в посудині Ландольта. В одне з колін посудини помістіть 5-6 крапель насиченого розчину  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . В інше коліно – 4-5 крапель розчину будь-якого карбонату й додайте туди ж 5-6 крапель  $\text{HCl}$  (2 М). Закрийте посудину пробкою й спостерігайте утворення осаду в коліні з розчином кальцій гідроксиду.

Запишіть спостереження й рівняння реакцій у молекулярному й іонно-молекулярному вигляді.

### 3. Аналітичні реакції фосфат-іона, $\text{PO}_4^{3-}$ .

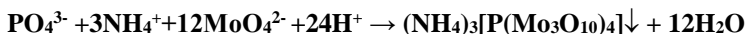
**3.1. Реакція із барій хлоридом.** Барій хлорид утворює із розчинними солями фосфатної кислоти білі осади барій гідро фосфату,  $\text{BaHPO}_4$  (рН = 7-9) або барій фосфату  $\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2$ , (рН > 9), які розчиняються в мінеральних кислотах:



*Виконання реакції:* помістіть в пробірку 3-4 краплі розчину натрій гідрофосфату ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ) і додайте 2-3 краплі розчину барій хлориду ( $\text{BaCl}_2$ ). Перевірте розчинність отриманого осаду в мінеральних кислотах (крім  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), наприклад, в  $\text{HCl}$  і в  $\text{CH}_3\text{COOH}$ .

Запишіть спостереження та рівняння реакцій у молекулярному й іонно-молекулярному вигляді.

**3.2. Реакція з молібденовою рідиною, розчин амоній молібдата  $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$  в нітратній кислоті.** Амоній молібдат в нітратній кислоті й амоній нітраті ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) при нагріванні утворює із фосфат-іоном ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) жовтий кристалічний осад амоній фосфоромолібдата,  $(\text{NH}_4)_3[\text{P}(\text{Mo}_3\text{O}_{10})_4]$ :



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 43

*Виконання реакції:* помістіть в пробірку 5-6 крапель розчину амоній молібдату й нагрійте його на водяній бані. Додайте до теплого розчину 2-3 краплі розчину  $\text{HNO}_3$  (2 М) і кілька кристалів  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  (для зменшення розчинності осаду). До отриманої суміші додайте 2-3 краплі розчину  $\text{H}_3\text{PO}_4$  або будь-якої його солі.

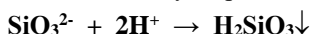
Так як осад розчиняється в надлишку  $\text{H}_3\text{PO}_4$  або  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ , то варто брати надлишок молібденової рідини. При малій концентрації фосфат-іонів осад може не утворитися, але розчин при цьому зафарбується в жовтий колір.

Запишіть спостереження та рівняння реакції в молекулярному й іонно-молекулярному виді.

Якщо в розчині присутні відновлювачі ( $\text{S}^{2-}$ ,  $\text{Sn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  і ін.), які відновлюють іон  $\text{MoO}_4^{2-}$  до молібденової сині (суміш сполук молібдену різних ступенів окислювання), то розчин забарвлюється в синій колір. Для видалення відновлювачів попередньо необхідно прокип'ятити 2-3 краплі досліджуваного розчину з 1-2 краплями концентрованої нітратної кислоти, а потім провести реакцію відкриття фосфат-іона.

#### 4. Аналітичні реакції силікат-іона, $\text{SiO}_3^{2-}$ .

**4.1. Реакція з розведеними кислотами.** Іони  $\text{SiO}_3^{2-}$  з розведеними розчинами кислот утворюють силікатну кислоту у вигляді гелю:

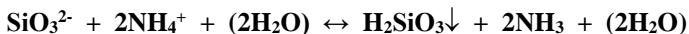


*Виконання реакції:* помістіть в пробірку 5-6 крапель розчину натрій силікату ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) і додайте 3-4 краплі розчину  $\text{HCl}$  (2 М). Спостерігайте утворення силікатної кислоти у вигляді гелю.

Запишіть спостереження та рівняння реакції в молекулярному й іонно-молекулярному вигляді.

**4.2. Реакція із солями амоніаку.** Солі амоніаку ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ , або  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , або  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) при дії на аніон  $\text{SiO}_3^{2-}$  виділяють із розчинів силікатів, внаслідок зсуву реакції гідролізу, силікатну кислоту ( $\text{H}_2\text{SiO}_3$ ) у вигляді гелю:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 44



*Виконання реакції:* помістіть в пробірку 5-6 крапель розчину натрій силікату  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  і додайте 5-6 крапель розчину амоній хлориду ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ). Суміш нагрійте на водяній бані. Спостерігайте утворення студенистого осаду силікатної кислоти.

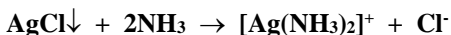
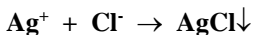
Запишіть спостереження та рівняння реакції в молекулярному й іонно-молекулярному вигляді.

## АНАЛІТИЧНІ РЕАКЦІЇ АНІОНІВ ІІ АНАЛІТИЧНОЇ ГРУПИ

Груповим реагентом на аніони ІІ групи є розчин аргентум нітрату ( $\text{AgNO}_3$ ). У результаті утворюються солі, нерозчинні у воді й розведеній нітратній кислоті. Солі барію з аніонами ІІ групи розчинні у воді.

### 1. Аналітичні реакції хлорид-іона, $\text{Cl}^-$ .

**1.1. Реакція з аргентум нітратом,  $\text{AgNO}_3$ .** Іон аргентуму  $\text{Ag}^+$  утворює із хлорид-іоном  $\text{Cl}^-$  білий аморфний осад аргентум хлориду ( $\text{AgCl}$ ), нерозчинний у воді й кислотах. Осад аргентум хлориду ( $\text{AgCl}$ ) легко розчиняється в розчині амоніаку з утворенням комплексної сполуки  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}$ . При дії нітратної кислоти комплексний іон  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$  руйнується й знову випадає осад аргентум хлориду ( $\text{AgCl}$ ):



*Виконання реакції:* помістіть в пробірку 4-5 крапель розчину будь-якого хлориду ( $\text{NaCl}$ , або  $\text{KCl}$ , або  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) і додайте 2-3 краплі розчину аргентум нітрату ( $\text{AgNO}_3$ ). До осаду, що утворився, аргентум хлориду ( $\text{AgCl}$ ), додайте по краплях розчин амоніаку  $\text{NH}_3$  (25%) до повного розчинення осаду. До отриманого безбарвного розчину комплексної

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 45

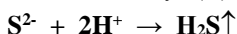
сполуки додайте по краплях нітратну кислоту до появи білого осаду ( $\text{pH} < 7$ ).

Запишіть спостереження та рівняння реакцій у молекулярному й іонно-молекулярному вигляді.

## 2. Аналітичні реакції сульфід-іона, $\text{S}^{2-}$ .

### 2.1. Реакція з розчинами розведених кислот ( $\text{HCl}$ або $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).

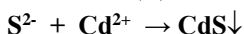
Розведені розчини хлоридної й сульфатної кислот розкладають сульфідні з виділенням сірководню ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Сірководень може бути виявлений за запахом або за почорнінням фільтрувального паперу, змоченого плюмбум(II) ацетатом,  $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ :



*Виконання реакції:* помістіть в пробірку 2-3 краплі розчину солі ( $\text{Na}_2\text{S}$ ,  $\text{K}_2\text{S}$ , або  $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ ) і додайте 3-4 краплі розчину сульфатної (1 М) або хлоридної (2 М) кислот. Утворений  $\text{H}_2\text{S}$  визначте за запахом, або піднісши до краю пробірки фільтрувальний папір, змочений ацетатом свинцю (на папері з'явиться чорна пляма плюмбум сульфід).

Запишіть спостереження та рівняння реакцій у молекулярному й іонно-молекулярному вигляді.

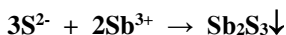
**2.2. Реакція із солями кадмію(II).** Сульфід-іон ( $\text{S}^{2-}$ ) утворює із солями кадмію(II) жовтий осад кадмій(II) сульфід:



*Виконання реакції:* помістіть в пробірку 2-3 краплі розчину натрій сульфіді й додайте 2-3 краплі розчину солі кадмію(II)  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ . Спостерігайте утворення жовтого осаду.

Запишіть спостереження та рівняння реакції в молекулярному й іонно-молекулярному виді.

**2.3. Реакція із солями стибію(III).** Сульфід-іон  $\text{S}^{2-}$  утворює із солями стибію(III) осад стибію(III) сульфіді ( $\text{Sb}_2\text{S}_3$ ) жовтогарячого кольору:



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 46

*Виконання реакції:* помістіть в пробірку 2-3 краплі розчину натрій сульфіді й додайте 2-3 краплі розчину стибій(III) хлориду (SbCl<sub>3</sub>). Спостерігайте утворення жовтогарячого осаду.

Запишіть спостереження та рівняння реакції в молекулярному й іонно-молекулярному вигляді.

## АНАЛІТИЧНІ РЕАКЦІЇ АНІОНІВ ІІІ АНАЛІТИЧНОЇ ГРУПИ

### 1. Аналітична реакція нітрат-іона, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

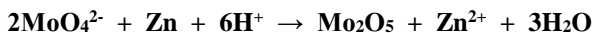
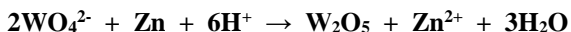
**1.1. Реакція з дифеніламіном, (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>)<sub>2</sub>NH.** (Розчин дифеніламіну приготовлений у концентрованій H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (будьте обережні!) Дифеніламін у присутності концентрованої сульфатної кислоти окиснюється нітрат іоном (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) до сполуки, що має темно-синє забарвлення.

*Виконання реакції:* внесіть у суху пробірку (по стінці пробірки!) 1-2 краплі розчину будь-якого нітрату (NaNO<sub>3</sub>, або KNO<sub>3</sub>, або ін.) і додайте 1-2 краплі розчину дифеніламіну (по стінці пробірки!). На стінці пробірки (у місці зіткнення розчинів) спостерігайте темно-синє забарвлення.

Запишіть спостереження.

### 2. Аналітичні реакції аніонів MoO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, WO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, VO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

**2.1. Відновлення цинком у концентрованій HCl.** Аніони MoO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, WO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, VO<sub>3</sub><sup>-</sup> відновлюються цинком у концентрованій хлоридній кислоті до Mo<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – зелений, W<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – синій і VOCl<sub>2</sub> – фіолетовий:



*Виконання реакції:* помістіть в 3 пробірки по 3-4 краплі досліджуваних розчинів (звичайно використовується (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>, NH<sub>4</sub>VO<sub>3</sub>), додайте 3-4 краплі концентрованої хлоридної

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 47

кислоти й одну гранулу цинку. Зафарбування розчину в синій, зелений або фіолетовий колір вказує на присутність цих аніонів.

Запишіть спостереження та рівняння реакцій у молекулярному й іонно-молекулярному вигляді.

## 2.2. Реакції на аніон $\text{MoO}_4^{2-}$ у присутності $\text{WO}_4^{2-}$ .

Дія концентрованої  $\text{HCl}$ , розчину  $\text{NH}_4\text{SCN}$  і розчину  $\text{SnCl}_2$ . При виявленні  $\text{MoO}_4^{2-}$  у присутності  $\text{WO}_4^{2-}$  останній випадає в осад у вигляді  $\text{H}_2\text{WO}_4$  під дією концентрованої  $\text{HCl}$ . Молібденова кислота ( $\text{H}_2\text{MoO}_4$ ) залишається в розчині, тому що розчинна в надлишку  $\text{HCl}$ :



Потім молібденову кислоту відновлюють  $\text{SnCl}_2$  у кислому середовищі, а п'ятивалентний молібден у вигляді іона  $[\text{MoO}]^{3+}$  зв'язують  $\text{NH}_4\text{SCN}$  у комплексну сполуку червоного кольору:



Після цього відновлюють вольфрамову кислоту  $\text{SnCl}_2$  в концентрованій  $\text{HCl}$  до оксиду  $\text{W}_2\text{O}_5$  синього кольору:



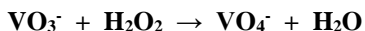
*Виконання реакції:* на фільтрувальний папір нанесіть 2 краплі концентрованої  $\text{HCl}$ , 1 краплю розчину  $\text{NH}_4\text{SCN}$  і 1 краплю досліджуваного розчину ( $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$  і  $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ ), а потім – 1 краплю розчину  $\text{SnCl}_2$ . Пляма стане червоного кольору за рахунок утворення комплексного іона  $[\text{MoO}(\text{SCN})_5]^{2-}$ . Щоб відкрити іон  $\text{WO}_4^{2-}$ , у центр плями, де є осад  $\text{H}_2\text{WO}_4$ , додайте по 1 краплі  $\text{SnCl}_2$  і концентрованої  $\text{HCl}$ . У присутності іона  $\text{WO}_4^{2-}$  центр плями синіє за рахунок утворення  $\text{W}_2\text{O}_5$ , а краї залишаються червоними.

Запишіть спостереження та рівняння реакцій у молекулярному й іонно-молекулярному вигляді.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -_1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 48

### 2.3. Реакції на аніон $\text{VO}_3^-$ .

**2.3.1. Реакція з пероксидом водню.** Пероксид водню окиснює іон  $\text{VO}_3^-$  до надванадієвої кислоти. Колір розчину міняється від жовтогарячого до червоно-коричневого залежно від рН розчину:



*Виконання реакції:* помістіть в пробірку 3-5 крапель розчину сульфатної кислоти (1 М) і 1 краплю розчину  $\text{H}_2\text{O}_2$ , а через 2 хвилини – 5 крапель ефіру й 3 краплі досліджуваного розчину ( $\text{NH}_4\text{VO}_3$ ). Добре перемішайте. У присутності іона  $\text{VO}_3^-$  органічна фаза зафарбується в жовтогарячий колір.

Запишіть спостереження та рівняння реакції в молекулярному й іонно-молекулярному виді.

**2.3.2. Реакція з лігніном.** Лігнін, що міститься в газетному папері, відновлює іон  $\text{VO}_3^-$  до нижчих ступенів окиснення, які забарвлюють газетний папір у чорно-зелений колір.

*Виконання реакції:* краплю аналізованого розчину ( $\text{NH}_4\text{VO}_3$ ) нанесіть на газетний папір, додайте 1 краплю концентрованої  $\text{H}_3\text{PO}_4$  і спостерігайте появу плями чорно-зеленого кольору.

Запишіть спостереження.

### 2.4. Реакції на аніон $\text{CH}_3\text{COO}^-$ .

**Дія сульфатної кислоти,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .** Сульфатна кислота витісняє з розчинів ацетатів вільну оцтову кислоту, яку можна виявити за запахом.

*Виконання реакції:* помістіть в пробірку 5 крапель розчину ацетату натрію й додайте 2 краплі концентрованої  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Виявіть оцтову кислоту по запаху. Запишіть спостереження.



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 99 / 49</i>

## КІЛЬКІСНИЙ АНАЛІЗ

Кількісний аналіз вивчає методи визначення кількості складових частин (елементів, іонів, молекул, радикалів, функціональних груп і т.д.) в аналізованому зразку (речовині, складному матеріалі, мінералі, гірській породі).

Методи кількісного аналізу діляться на хімічні, фізико-хімічні й фізичні. Віднесення методу до тої або іншої групи залежить від того, якою мірою кількісне визначення засноване на використанні хімічних реакцій, фізико-хімічних або фізичних процесів.

Відповідно трьом агрегатним станам матерії - твердому, рідкому й газоподібному - кількісні виміри проводять шляхом визначення маси (зважування) і шляхом визначення об'ємів рідких і газоподібних речовин.

До хімічних методів відносяться гравіметричний (ваговий), титриметричний (об'ємний) і газовий аналіз.

Фізичні й фізико-хімічні методи включають оптичні, електрохімічні, мас-спектральний, хроматографічний, радіометричний ін.

## ГРАВІМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ

Кількісний аналіз – це сукупність хімічних і фізичних методів визначення кількості елементів, іонів чи хімічних сполук у досліджуваному зразку. Методи хімічного аналізу поділяють на хімічні, фізичні та фізико-хімічні.

До хімічних належать гравіметричний і титриметричний методи, що ґрунтуються на хімічних реакціях.

Фізичні методи досліджень ґрунтуються на вивченні фізичних властивостей речовин. До них належать – спектральний, люмінесцентний, рентгеноструктурний та інші методи.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 50

Фізико-хімічні методи аналізу передбачають використання хімічних реакцій, перебіг яких супроводжується зміною фізичних властивостей аналізованої системи. Це електрохімічні, оптичні та хроматографічні методи.

Суть гравіметричного аналізу. Гравіметричним аналізом називають метод кількісного аналізу, що ґрунтується на точному визначенні маси речовини або її складових частин, виділених у вигляді сполуки певного складу. Гравіметричні методи поділяють на три групи: 1) методи відгонки; 2) методи осадження; 3) методи виділення.

Методами відгонки визначають тільки леткі сполуки або такі, що перетворюються на леткі в процесі аналізу. Так, можна визначити вміст кристалізаційної води в солях, висушуючи наважку солі за певної температури ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ).

Найчастіше застосовують методи осадження. Вони ґрунтуються на переведенні визначуваної речовини у важкорозчинну сполуку, яку виділяють, зважують і за масою обчислюють вміст компонента (елемента, речовини). Схема методу осадження така: певну наважку досліджуваної речовини розчиняють, діють осаджувачем для отримання важкорозчинної сполуки (осаджуваної форми), осад виділяють фільтруванням, очищують промиванням і висушують або прожарюють для отримання хімічно стійкої сполуки сталого складу, так званої гравіметричної форми.

*Осаджувана форма повинна відповідати таким вимогам:*

1. Осад має бути практично нерозчинним, тобто мати мале значення добутку розчинності (не вище  $10^{-8}$ ).

2. Бажано, щоб в результаті осаджування утворювались грубозернисті кристали, оскільки лише такий осад не забиває пори фільтра, слабо адсорбує з розчину сторонні речовини і легко відмивається від різних забруднень. Дрібнозернисті осадки можуть проходити скрізь пори фільтра, що в гравіметричному аналізі недопустимо. Аморфні осадки, особливо драглисті ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ), схильні

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 99 / 51</i>

до вбирання з розчину сторонніх речовин, їх важко відмити від домішок. Крім того аморфні осад повільно фільтруються.

3. Легко і повністю перетворюються на гравіметричну форму.

Сполуку, за масою якої оцінюють кількість визначуваного компонента, називають гравіметричною формою.

*Гравіметрична форма повинна відповідати таким вимогам:*

1. Склад осаду після висушування чи прожарювання повинен відповідати певній хімічній формулі.

2. Бути хімічно стійкою, не бути гігроскопічною, не поглинати вуглекислий газ, не окиснюватись і не відновлюватись під час прожарювання.

3. Відносна молекулярна маса гравіметричної форми повинна бути якомога більшою, щоб похибка визначення якнайменше впливала на результат. Наприклад, при визначенні катіонів  $Fe^{3+}$ ,  $Al^{3+}$  осаджуваною формою відповідно будуть  $Fe(OH)_3$ ,  $Al(OH)_3$ , отримані в результаті дії гідроксиду амонію на досліджуваний розчин. Під час прожарювання ці гідроксиди втрачають воду і перетворюються на відповідні оксиди  $Fe_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ , які й зважують.

В окремих випадках осаджуваною і гравіметричною формою буває одна й та сама сполука. Наприклад, іони Барію осаджують з розчину сульфатною кислотою у формі  $BaSO_4$  і зважують у такій самій формі, оскільки барій сульфат в результаті прожарювання не змінює свого хімічного складу.

Перевагою гравіметричного способу аналізу є висока точність результатів, а одним з головних недоліків – велика затрата часу на його виконання.

**Позначення та розрахункові формули.** У гравіметричному аналізі використовують такі позначення:

$m(x)$  – маса визначуваного компонента (елемента, речовини), г;

$m_{\text{грав}}$  – маса гравіметричної форми, г;

$q$  – маса наважки зразка, г;

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 52

$\omega(x)$  – масова частка компонента в зразку;

$F(x)$  – фактор перерахунку маси осаду на масу компонента.

Ці величини обчислюють за такими формулами:

$$m(x) = m_{\text{грав.}} \cdot F(x) \quad (1);$$

$$\omega(x) = \frac{m(x)}{q} \quad (2);$$

$$\omega(x) = \frac{m_{\text{грав}} F(x)}{q} \quad (3);$$

$$F(x) = \frac{M(x)}{M_{\text{грав}}} \quad (4).$$

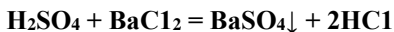
Для обчислення фактора перерахунку молярні маси слід брати з такими стехіометричними коефіцієнтами, щоб вони були еквівалентними, тобто щоб у них містилась однакова кількість атомів відповідного елемента. Наприклад:  $F(\text{Fe}) = 2M(\text{Fe})/M(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ ;

$$F(\text{Ag}) = M(\text{Ag})/M(\text{AgCl}); F(\text{Mg}) = 2M(\text{Mg})/M(\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7).$$

Звичайно величина  $F$  залишається сталою лише за умови, якщо не змінюється ні гравіметрична форма, ні визначувана речовина.

Розглянемо приклад гравіметричного визначення методом осадження.

**Визначення вмісту Барію у кристалічному барій хлориді ( $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ).** Осадження барію проводять з розбавленого нагрітого й підкисленого розчину, додаваючи розчин сульфатної кислоти:



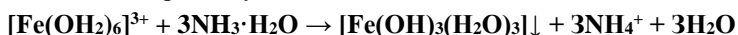
Важливою умовою агрегації кристалів (укрупнення) та їх чистоти є повільне додавання осаджувача. Осадження виконують за наявності хлоридної кислоти з метою запобігання забрудненню осаду. Укрупненню кристалів сприяє також нагрівання. Осадження слід закінчувати на холоді, так як розчинність барій сульфату при нагріванні дещо підвищується. Як правило, для аналізу беруть 1 М розчин сульфатної кислоти.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 53

Лабораторна робота №4

## ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ ФЕРУМУ В СОЛІ МОРА ГРАВІМЕТРИЧНИМ МЕТОДОМ ОСАДЖЕННЯ

1. **Вибір осаджувача.** Осаджувачем ферум(3+)-іонів беруть розчин амоній гідроксиду:



$$f_{\text{екв.}}(\text{Fe}^{3+}) = 1/3,$$

$$M(1/3 (\text{NH}_4)_2 \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O}), \text{ г/моль.}$$

Ферум(III) гідроксид не розчиняється в амоній гідроксиді. Осад легко фільтрується і відмивається від адсорбованих домішок.

### 2. Розрахунок теоретичної наважки $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$

Наважку амоній ферум(III) сульфату на 24 молекули води розраховують, виходячи з загальних правил осадження аморфних осадів. Зокрема, беруть наважку речовини, яка становить кількість речовини еквівалента

$$n(1/3 (\text{NH}_4)_2 \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O}) = 0,005 \text{ моль.}$$

З метою економії реактивів у навчальному практикумі можна брати 0.001 – 0,002 моль еквівалента речовини  $(\text{NH}_4)_2 \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ , тобто

$$n(1/3 (\text{NH}_4)_2 \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O}) = 0,001 - 0,002 \text{ моль.}$$

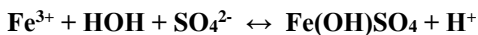
Тоді

$$m((\text{NH}_4)_2 \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O}) = M(1/3 (\text{NH}_4)_2 \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O}) \cdot n(1/3 (\text{NH}_4)_2 \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O}).$$

3. **Взяття наважки  $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ .** Розраховану наважку зважують на технічних і уточняють на аналітичних вагах.

4. **Розчинення наважки  $(\text{NH}_4)_2 \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ .** Наважку кількісно переносять у хімічний стакан місткістю 100 см<sup>3</sup>, розчиняють у 15 см<sup>3</sup> дистильованої води, до якої добавлено 0,5 см<sup>3</sup> 2 М розчину нітратної кислоти. Присутність кислоти виключає можливість реакції гідролізу солі феруму(III) з утворенням основної (гідроксо) солі:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 54



При цьому одержують прозорий розчин.

5. **Підготовка осаджувача.** Осаджувач – амоній гідроксид. Для осадження ферум(3+)-іонів з розчину амоній ферум(III) сульфату на 24 молекули води використовують надлишок концентрованого розчину амоній гідроксиду. Надлишок амоніаку викликає більшу адсорбцію амоній-катионів і понижує адсорбцію та співосадження інших катионів, оскільки за високої концентрації амоній-катионів відбувається заміщення амоній-катионом інших катионів у осаді.

6. **Підготовка розчину  $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$  до осадження.** Розчин  $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$  нагрівають до 70-80 °С. Нагрівання необхідне для того, щоб не утворився колоїдний розчин ферум(III) гідроксиду і для посилення коагуляції у присутності електроліту – коагулятора. Роль коагулятора виконує сіль амонію, яка утворюється в результаті нейтралізації нітратної кислоти амоній гідроксидом.

7. **Одержання форми осадження – ферум(III) гідроксиду.** До гарячого розчину  $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$  додають краплями концентрований розчин амоній гідроксиду в надлишку. Перед встановленням надлишку амоній гідроксиду за запахом, змивають внутрішні стінки стакану і паличку гарячою дистильованою водою, оскільки на них може залишитись амоніак навіть тоді, коли в розчині не буде надлишку гідроксид-іонів. Якщо встановлено, що в розчині є надлишок осаджувача, то у стакан з осадом доливають близько 50 см<sup>3</sup> гарячої дистильованої води і добре перемішують.

8. **Відокремлення осаду.** Через 2-3 хв відстоювання, коли осад збереться на дні стакану, фільтрують прозору рідину над ним крізь беззольний фільтр (червона смужка). Осад ферум(III) гідроксиду промивають методом декантації, для чого до нього додають 5-8 см<sup>3</sup> гарячого розчину амоній нітрату з масовою часткою речовини 1%.

Промивання осаду проводять 4-5 разів. Потім осад переносять на фільтр, приливши до нього 8-10 см<sup>3</sup> гарячого розчину амоній нітрату,

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 55

перемішавши його і зливаючи одержану каламуть по паличці на фільтр. Частинки речовини ферум(III) гідроксиду, які щільно пристали до стінок стакану, знімають шматочком фільтрувального паперу (беззолного фільтра) за допомогою скляної палички з гумовим наконечником.

Осад на фільтрі промивають цим же розчином амоній нітрату до тих пір, поки крапля фільтрату з доданою краплею розчину барій-катиона не утворює осад, що підтверджує повноту промивання осаду.

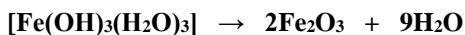
### 9. Одержання гравіметричної форми Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

а) Висушування осаду. Лійку з промитим осадом на фільтрі закривають фільтрувальним папером з невеликими отворами і висушують у сушильній шафі (близько 30 хв).

б) Озоління фільтра. Злегка вологий фільтр з осадом переносять у фарфоровий тигель, прожарений до сталої маси, і озоліють на газовому пальнику (уникаючи загорання фільтра!).

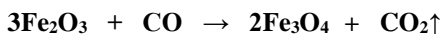
в) Прожарювання осаду. Елементний склад форми осадження (ферум(III) гідроксиду) відрізняється від гравіметричної форми (ферум(III) оксиду), ось чому для одержування гравіметричної форми потрібна висока температура. Тому осад ферум(III) гідроксиду прожарюють 30-40 хв у муфельній печі за температури 1000-1100°C. Муфель періодично відкривають, щоб забезпечити доступ повітря для повного згорання фільтра. Тигель охолоджують у ексикаторі і зважують; знову прожарюють 20-25 хв і зважують повторно після охолодження. Прожарювання і зважування повторюють до одержування сталої маси тигля з осадом.

При прожарюванні ферум(III) гідроксид перетворюється в безводну гравіметричну форму ферум(III) оксиду:



Побічні процеси при прожарюванні:

а) окисно-відновні процеси:

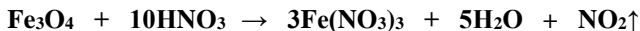


Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -_1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 56

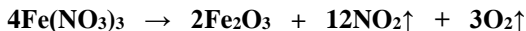
б) термічна дисоціація оксиду за температури понад 1200°C, яка веде до часткового відновлення ферум(III) оксиду:



Для усунення побічних процесів вчиняють так: після першого зважування холодний осад ферум(III) оксиду змочують 2-3 краплями концентрованого розчину моногідроген триоксонітрату  $\text{HNO}_3$  – концентрованого розчину нітратної(V) кислоти. При цьому ферум(II) окиснюється до феруму(III):



Потім тигель з осадом дуже обережно нагрівають, доторкаючись до дна тигля кінцем полум'я пальника, поки нітрат-іон повністю звітриться і з ферум(III) нітратом повністю відбудеться внутрішньо молекулярне окиснення-відновлення:



Після повного видалення нітроген оксидів, нагрівання підсилюють і прожарюють тигель протягом 15-20 хв. Після таких операцій маса тигля з осадом повинна залишитися сталою.

#### 10. Розрахунок масової частки, %, Феруму в $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ :

а) Перерахунок гравіметричної форми на Ферум:

$$m(\text{Fe}) = m(\text{Fe}_2\text{O}_3) \times F(2M(\text{Fe})/M(\text{Fe}_2\text{O}_3))$$

де  $2M(\text{Fe})/M(\text{Fe}_2\text{O}_3)$  – аналітичний фактор або фактор перерахунку, який у цьому випадку дорівнює 0,6994

$(F(2M(\text{Fe})/M(\text{Fe}_2\text{O}_3))) = 55,85 \text{ г/моль} \cdot 2 \text{ моль}/159,70 \text{ г/моль} \cdot 1 \text{ моль} = 0,6994$ . Отже,  $m(\text{Fe}) = m(\text{Fe}_2\text{O}_3) \times 0,6994$  (г)

б) Визначення масової частки, %, Феруму в  $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ :

$$w(\%) (\text{Fe}) = [m(\text{Fe}) / m((\text{NH}_4)_2\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O})] \cdot 100\% = [m(\text{Fe}_2\text{O}_3) \cdot 2M(\text{Fe}) / m((\text{NH}_4)_2\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{Fe}_2\text{O}_3)] \cdot 100\%$$

Для одержання впевненості в достатній точності виконання визначення Феруму його потрібно виконувати не менше двох разів.



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 57

*Лабораторна робота № 5*

## ВИЗНАЧЕННЯ КРИСТАЛІЗАЦІЙНОЇ ВОДИ В КРИСТАЛОГІДРАТІ ХЛОРИДУ БАРІЮ ( $\text{BaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ )

Залежно від термодинамічних умов одна і та ж сіль може кристалізуватися з різним числом молекул води. Так, наприклад, тетраборат натрію при температурі нижче  $60^\circ\text{C}$  утворить кристали сполуки  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ , а вище  $60^\circ\text{C}$  –  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

При нагріванні кристалогідратів виділяється кристалізаційна вода. При цьому температура висушування для різних кристалогідратів може бути різною й залежить від міцності зв'язку, координації й положення молекул води в кристалічній решітці. Так, наприклад, при визначенні кристалізаційної води в кристалогідраті шавелевої кислоти  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  температура її висушування підтримується в межах  $110 - 112^\circ\text{C}$ , у кристалогідратах  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  і  $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  –  $120-125^\circ\text{C}$ , а в мідному купоросі  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  –  $140-150^\circ\text{C}$  тощо.

Вміст кристалізаційної води повинен відповідати приписуваній йому хімічній формулі. Тому для визначення варто брати перекристалізовану хімічно чисту сіль.

*Порядок виконання:*

**1. Взяття наважки.** Бюкс, у якому буде відбуватися зважування, необхідно ретельно вимити, висушити в сушильній шафі й поставити в ексікатор на 20 хв у ваговій кімнаті. При висушуванні й охолодженні бюкс повинен бути відкритий, а при зважуванні закритий кришкою. Після цього зважте бюкс із кришкою на аналітичних вагах. Візьміть на технічних вагах грубу наважку хлориду барію  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  близько 1,5 г і помістіть її в бюкс, закрийте його кришкою й зважте на аналітичних вагах.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 58

**2. Висушування.** Перевернувши кришку бюкса на ребро, поставте його на полицю сушильної шафи. Під бюкс підкладіть листок паперу. Закрийте дверцята шафи й тримайте в ньому бюкс біля двох годин при температурі 120-125°C. Після закінчення цього часу тигельними щипцями перемістіть бюкс разом із кришкою в ексікатор і поставте його у ваговій кімнаті. Через 20 хв закрийте бюкс кришкою й зважте на аналітичних вагах. Далі знову поставте бюкс із сіллу в сушильну шафу й протримайте його там біля години, знову охолодіть в ексікаторі й зважте. Якщо друге зважування дало той же результат, що й перше, або відрізняється від нього не більше ніж на 0,0001 г, то кристалізаційна вода вилучена практично повністю. Якщо друге зважування відрізняється від першого більш ніж на 0,0001 г, то висушування необхідно продовжувати до одержання постійної маси. Цифрові дані всіх повторних зважувань необхідно записувати в лабораторний журнал.

**3. Обчислення вмісту кристалізаційної води (у відсотках).**  
Припустимо, що отримано наступні цифрові дані:

маса бюкса з речовиною - 13,9602 г  
маса бюкса           »       - 12,4234 г  
наважка                - 1,5368 г

Маса бюкса з речовиною після висушування: 1. 13,7352 г;       2. 13,7341 г; 3. 13,7340 г. Кількість кристалізаційної води в наважці:

13,9602 г - 13,7340 г = 0,2262 г  
в 1,5368 г  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  міститься 0,2262 г  $\text{H}_2\text{O}$   
в 100 г  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$    »           X г  $\text{H}_2\text{O}$

$$x = \frac{0,2262 \cdot 100}{1,5368} = 14,72(\text{г}), \text{ або } 14,72\%$$

**4. Перевірка точності проведеного аналізу.** Знайдену величину кристалізаційної води порівняйте з теоретично обчисленим значенням вмісту її в кристалогідраті  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Виходячи з формули, складемо наступну пропорцію:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 99 / 59</i>

в 244,3 г  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  міститься 36,03 г  $\text{H}_2\text{O}$

в 100 г  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  » X г  $\text{H}_2\text{O}$

$$x = \frac{36,03 \cdot 100}{244,3} = 14,75(\text{г}), \text{ або } 14,75\%$$

Абсолютна похибка аналізу складе:

$$14,72 - 14,75 = -0,03(\%)$$

Відносна помилка буде дорівнювати:

$$\frac{(-0,03) \cdot 100}{14,75} \approx -0,20(\%)$$

Різниця в 0,03 може бути викликана неминучими помилками зважування. Правильно проведений аналіз вважається тоді, коли ця різниця не перевищує  $\pm 0,05\%$ .

Аналогічним методом проводять визначення вологості різного роду речовин з тією лише різницею, що висушування проводиться не при  $125^\circ\text{C}$ , а при  $105-110^\circ\text{C}$ . Вода, адсорбована речовинами, називається гігроскопічною. На відміну від кристалізаційної води вміст гігроскопічної води непостійний. Він залежить від температури й вологості повітря. Зважують попередньо висушений бюкс. Потім беруть наважку близько 2-5 г добре подрібненої речовини й висушують до постійної маси. Зменшення маси вказує на кількість гігроскопічної води. Результати виражають у відсотках до наважки речовини.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 99 / 60</i>

## ТИТРИМЕТРИЧНИЙ (ОБ'ЄМНИЙ) АНАЛІЗ

**Титриметричним аналізом** називають метод кількісного хімічного аналізу, що оснований на точному вимірі об'єму реактиву відомої концентрації, необхідного для реакції з даною кількістю досліджуваної речовини.

Метод полягає в тому, що до розчину досліджуваної речовини А поступово додають розчин реактиву В відомої концентрації. Додавання реактиву В триває до того моменту, поки його кількість не стане еквівалентною кількості реагуючої з ним досліджуваної речовини А.

Кількісні визначення за допомогою цього методу виконуються дуже швидко. Момент закінчення реакції, коли реагуючі речовини повністю прореагують між собою, називається **точкою еквівалентності**. У цей момент кількість прореагованих речовин еквівалентна.

**Титрування** – це процес поступового приливання одного розчину до іншого для визначення концентрації одного із цих розчинів.

**Титрант (титрований або робочий розчин)** – це розчин з точно відомою концентрацією.

Концентрацію робочих розчинів визначають за **стандартною речовиною**, яка повинна відповідати наступним вимогам: бути стійкою при зберіганні, як у твердому стані, так і в розчині, строго відповідати певній формулі, добре очищатися.

### Обчислення в титриметричному аналізі.

Для вираження концентрації розчинів у цьому методі аналізу звичайно використовують **молярну концентрацію еквівалента**.

**Молярна концентрація еквівалента (нормальність)** – це кількість речовини еквівалента, що міститься в 1 літрі розчину.

Молярна концентрація еквівалента позначається  $C_e$  (допускається  $N$ ), і розраховується за формулою:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 61

$$C_e = n_e / V,$$

де  $n_e$  – кількість речовини еквівалента, моль;

$V$  – об'єм розчину, л.

Одиниця вимірювання концентрації – моль/л. Кількість речовини еквівалента ( $n_e$ ) тієї або іншої речовини в заданому об'ємі дорівнює:

$$n_e = m / M_e = C_e \cdot V,$$

де  $m$  – маса речовини, г;

$M_e$  – молярна маса еквівалента, г/моль,

$V$  – об'єм розчину, л.

Таким чином, при титруванні в точці еквівалентності кількість речовини еквівалента титрованого розчину дорівнює кількості речовини еквівалента речовини, що визначається – **закон еквівалентів:**

$$n_e(A) = n_e(B),$$

або

$$C_e(A) \cdot V(A) = C_e(B) \cdot V(B).$$

Звідси

$$C_e(A) = \frac{C_e(B) \cdot V(B)}{V(A)}$$

Крім молярної концентрації еквівалента концентрацію виражають **титром (Т)**. **Титр** – це кількість грамів розчиненої речовини, що міститься в 1 мл розчину.

Титр і молярна концентрація еквівалента розчину зв'язані формулою:

$$T = \frac{C_e \cdot M_e}{1000} = \frac{m}{V}, (г/мл)$$

**Титр по речовині, що визначається** – це кількість грамів речовини, що визначається, яка реагує з 1 мл титранта.

$$T(HCl/NaOH) = \frac{C_e(HCl) \cdot M_e(NaOH)}{1000}, (г/мл)$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 99 / 62</i>

### Прийоми титрування.

**Пряме титрування** – це найпростіший прийом титрування, який полягає в тому, що до певного об'єму розчину речовини, який визначається (А) по краплях доливають титрант (робочий розчин) речовини (В). Знаючи концентрацію й об'єм робочого розчину (В), витраченого на реакцію з речовиною, що визначається (А), можна легко обчислити концентрацію останнього:

$$C_c(A) = \frac{C_c(B) \cdot V(B)}{V(A)}$$

Якщо основна реакція йде повільно, або немає підходящого індикатора для фіксування точки еквівалентності, особливо при роботі з нестійкими речовинами, то застосовують **зворотне** або **замісне титрування**.

**Зворотне титрування** – це процес титрування, при якому до певного об'єму розчину речовини, що визначається (А) доливають точно відомий об'єм титранта (В<sub>1</sub>), взятого в надлишку. Надлишок, що не ввійшов у реакцію речовини (В<sub>1</sub>), відтитрують розчином іншого титранта (В<sub>2</sub>) з відомою концентрацією. Розрахунки роблять за формулами:

$$n_c(A) = n_c(B_1) - n_c(B_2);$$

$$C_c(A) = \frac{C_c(B_1) \cdot V(B_1) - C_c(B_2) \cdot V(B_2)}{V(A)}$$

**Титрування замісника.** Суть цього методу полягає в тому, що до речовини, що визначається (А) додають допоміжну речовину (Р), що реагує з нею з виділенням еквівалентної кількості нової речовини (А<sub>1</sub>), яку відтитрують відповідним титрантом (В). Інакше кажучи, замість безпосереднього титрування речовини, що визначається (А) титрують його замісник (А<sub>1</sub>). Так як кількості А і А<sub>1</sub> еквівалентні, то кількість

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 63

речовини еквівалента досліджуваної речовини  $n_e(A)$  дорівнює кількості речовини еквівалента титранта  $n_e(B)$ :

$$n_e(A) = n_e(A_1) = n_e(B) ;$$

$$C_e(A) = \frac{C_e(B) \cdot V(B)}{V(A)}$$

### **Класифікація методів титриметричного аналізу.**

Залежно від типу хімічної реакції, що становить основу методу, у даному посібнику розглядаються тільки три методи титриметричного кількісного аналізу:

1. *Метод кислотно-основного титрування (нейтралізації)*, в основі якого лежить реакція взаємодії іонів  $H^+$  з іонами  $OH^-$ .
2. *Метод окиснювання-відновлення (редоксиметрія)*. Метод заснований на застосуванні реакцій окиснювання-відновлення.
3. *Метод комплексоутворення (комплексометрія)* заоснований на застосуванні реакцій утворення комплексних сполук.

### **Посуд для титриметричного аналізу.**

Для точного виміру об'єму розчинів у титриметричному аналізі застосовують вимірювальний (мірний) посуд: мірні колби, бюретки, піпетки. Для титрування використовують конічні колби на 250 мл.

**Мірні колби** – це плоскодонні ємкості (посудини) з вузьким горлом. На горлі колби є кільцева мітка, до якої необхідно налити розчин, щоб його об'єм дорівнював позначеному на колбі. Найчастіше використовують мірні колби на 1000, 500, 250, 200 і 100 мл.

Мірні колби призначені для приготування розчинів точної концентрації, для розведення розчинів до точно заданого об'єму. Мірну колбу заповнюють розчином таким чином, щоб нижній край меніска безбарвної рідини (або верхній край меніска забарвленої рідини), мітка й око що спостерігає, перебували на одній лінії.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 99 / 64</i>

**Піпетки.** Для відмірювання невеликих об'ємів розчинів застосовують піпетки, які являють собою вузькі скляні трубки, відтягнуті з одного кінця й розширені посередині. Для точного виміру об'єму рідини, що відбирається, застосовують піпетки, що мають тільки одну мітку. При заповненні піпетки, нижній кінець її опускають у розчин, а через верхній кінець засмоктують рідину за допомогою гумової груші (або поршнем) і доводять рівень рідини до мітки.

**Бюретки** служать для точного виміру об'єму розчину, витраченого на титрування. Бюретки – скляні градуйовані трубки з відтягнутим кінцем, що мають кран або затиск. Часто застосовують бюретки об'ємом 25 або 50 мл. Їх поділки відповідають цілим і десятим часткам міліметра.

Правила роботи з бюретками. Чисту бюретку, промиту водопровідною, а потім дистильованою водою, затискають у штативі в строго вертикальному положенні. Перед початком роботи бюретку промивають тим розчином, яким її заповнюють.

У момент відліку показань бюретки око експериментатора повинно перебувати на рівні меніска. Відлік проводять по нижньому (для безбарвних розчинів) або по верхньому (для зафарбованих розчинів) краю меніска.

Виливати рідину з бюретки (титрувати) потрібно повільно, даючи можливість всій рідині стекти зі стінок бюретки. Наприкінці титрування розчин додають по краплях. Титрування потрібно проводити кілька разів до одержання результатів, які відрізняються не більше ніж на 0,1 мл.



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 65

### Лабораторна робота № 6

## МЕТОД НЕЙТРАЛІЗАЦІЇ

В основі методу лежить реакція взаємодії іонів гідрогену або іонів гідроксонія з гідроксид-іонами, що призводить до утворення слабо дисоційованих молекул води:



Цим методом можна визначати концентрацію й кількість кислот, основ, солей, водні розчини яких піддаються гідролізу, а також суміші цих речовин.

Основними титрантами (робочими розчинами) методу нейтралізації є розчини сильних кислот (HCl або H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) і сильних основ (NaOH або KOH). В якості робочих розчинів (або первинних стандартів) для встановлення титру (стандартизації) кислот використовують натрій тетраборат (Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>·10H<sub>2</sub>O) або натрій карбонат (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), для стандартизації лугів використовують щавелеву кислоту (H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O) або бурштинову кислоту (H<sub>2</sub>C<sub>4</sub>H<sub>4</sub>O<sub>4</sub>).

Для визначення точки еквівалентності в методі нейтралізації застосовують **кислотно-основні індикатори** (див. табл. 2). Це складні органічні кислоти або основи, які змінюють своє забарвлення залежно від рН розчину. Інтервал рН, у якому індикатор змінює колір, називається **інтервалом переходу забарвлення індикатора**. Значення рН, при якому закінчують титрування з даним індикатором, називається **показником титрування індикатора (рТ)**. Величина рТ перебуває усередині інтервалу переходу забарвлення індикатора.

При підборі індикатора користуються наступним правилом: **рН у точці еквівалентності повинен збігатися із рТ індикатора або перебувати усередині інтервалу переходу забарвлення індикатора**.

Точка еквівалентності не завжди збігається із рТ індикатора, що призводить до помилки титрування, яка називається **індикаторною помилкою**.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 66

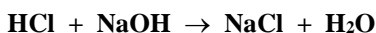
Таблиця 2

### Характеристики деяких індикаторів

Індикатор	Інтервал переходу рН	Колір індикатора залежно від величини рН розчину		
Лакмус	5-8	червоний рН < 5	фіолетовий рТ = рН = 7	синій рН > 8
Фенолфталеїн	8,2-10	безбарвний рН < 8,2	рожевий рТ = рН = 9	малиновий рН > 10
Метилоранж	3,1-4,4	червоний рН < 3,1	оранжевий рТ = рН = 4	жовтий рН > 4,4

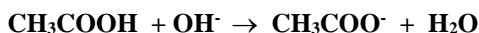
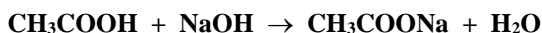
Розглянемо наступні випадки титрування.

#### 1. Титрування сильної кислоти сильною основою:

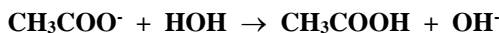


У точці еквівалентності утвориться сіль сильної кислоти й сильної основи, що не піддається гідролізу. Реакція середовища буде нейтральною (рН = 7). У цьому випадку індикатором може служити лакмус.

#### 2. Титрування слабкої кислоти сильною основою:

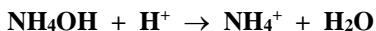
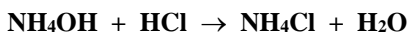


Утворена сіль слабкої кислоти й сильної основи в розчині піддається гідролізу:



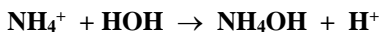
Точка еквівалентності в цьому випадку буде перебувати в лужному середовищі, тому варто застосовувати індикатор, що міняє забарвлення при рН > 7, наприклад, фенолфталеїн.

#### 3. Титрування слабкої основи сильною кислотою:



Утворена сіль у розчині піддається гідролізу:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 67



Точка еквівалентності буде перебувати в кислому середовищі, тому можна застосовувати метилоранж.

### ЗРАЗОК оформлення лабораторної роботи в титриметричному аналізі

Лабораторна робота № ...

Дата

**“Назва лабораторної роботи”**

Первинний стандарт –  $C_e(\text{NaOH}) = \dots\dots\dots$  моль/л

Речовина, що визначається –  $C_e(\text{HCl}) = ?$ ,  $T(\text{HCl}) = ?$

Індикатор – метилоранж

Умови титрування – (рН середовища, нагрівання й т.д.)

Рівняння реакції (у молекулярній та іонно-молекулярній формах):

Результати експерименту заносяться в таблицю:

№ досліду	V(HCl), мл	V(NaOH), мл
1.		10,00
2.		10,00
3.		10,00

$$V_{\text{ср}}(\text{HCl}) =$$

Обчислення:

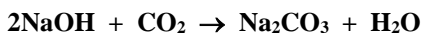
$$C_e(\text{HCl}) = \frac{C_e(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH})}{V(\text{HCl})} \text{ (моль/л)}$$

$$T(\text{HCl}) = \frac{C_e(\text{HCl}) \cdot M_e(\text{HCl})}{1000} \text{ (г/мл)}$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 68

## ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ ЛУГУ Й СОДИ В РОЗЧИНІ ПРИ СПІЛЬНІЙ ЇХ ПРИСУТНОСТІ

Як відомо, луги поглинають із повітря  $\text{CO}_2$ , перетворюючись у відповідні карбонати:



Тому розчин лугу завжди містить домішки карбонатів. У деяких випадках необхідно знати вміст лугу й карбонату в розчині. У даній лабораторній роботі, як приклад, розглянемо визначення вмісту  $\text{NaOH}$  і  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  при спільній їх присутності.

Взаємодія суміші  $\text{NaOH}$  і  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  із сильною кислотою можна розглядати як три процеси:



Визначення лугу й соди при їх спільній присутності проводять із двома індикаторами: фенолфталеїном і метилоранжем. При титруванні з фенолфталеїном ( $V_1$ ) пройдуть процеси I і II, точка еквівалентності буде перебувати в лужному середовищі (через процес гідролізу бікарбонату), тобто з фенолфталеїном відтитровується весь луг і половина соди. Точка еквівалентності процесу III буде перебувати в кислому середовищі, тому він може бути проведений при титруванні з метилоранжем. Ці визначення роблять послідовно, не доповнюючи бюретку кислотою. Точка еквівалентності по метилоранжу показує кінець титрування всієї суміші ( $V_2$ ).

Кількість кислоти, що вступила в реакцію з іоном  $\text{HCO}_3^-$  дорівнює ( $V_2 - V_1$ ), відповідно:

$$V(\text{HCl}/\text{CO}_3^{2-}) = 2(V_2 - V_1)$$

Кількість кислоти, еквівалентна лугу, дорівнює:

$$V(\text{HCl}/\text{NaOH}) = V_2 - 2(V_2 - V_1)$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 69

*Порядок виконання роботи:*

- Отримайте контрольну суміш NaOH і Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> у мірній колбі на 100 мл і додайте дистильованої води до мітки. Перемішайте розчин.
- Ополосніть і заповніть бюретку приготовленою Вами хлоридною кислотою (не забудьте заповнити кінець бюретки).
- Ополосніть піпетку контрольним розчином і відміряйте точний об'єм досліджуваного розчину. Перенесіть розчин у колбу для титрування. Додайте 20-30 мл дистильованої води й 5-6 крапель фенолфталеїну.
- Відтитруйте суміш хлоридною кислотою до зникнення рожевого кольору фенолфталеїну. Запишіть об'єм кислоти (V<sub>1</sub>).
- У колбу для титрування додайте 2-3 краплі метилоранжу. Розчин забарвиться в жовтий колір. Продовжуйте титрування (кислоту в бюретку не доливати) до жовтогарячого забарвлення розчину. Запишіть об'єми кислоти (V<sub>2</sub>).
- Титрування повторіть кілька разів до отримання збіжних результатів.
- Обчисліть молярну концентрацію еквівалентів, титр і масу для соди й лугу окремо за наведеними вище формулами.
- Розрахуйте відносну помилку визначення по кожній речовині.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 70

### Лабораторна робота № 7

## ФОТОКОЛОРИМЕТРІЯ

Фотоколориметрія – це оптичний метод аналізу, що розглядає взаємодію речовини з електромагнітним випромінюванням у видимій області: довжина хвилі ( $\lambda$ ) 380-750 нм; частота ( $\nu$ )  $2,5 \cdot 10^4$  -  $1,5 \cdot 10^4$  см<sup>-1</sup>; енергія випромінювання (E) 1-10 еВ. У результаті поглинання речовиною певної кількості енергії в молекулах цієї речовини мають місце електронні переходи.

Метою фотоколориметричного аналізу є визначення концентрації речовини в розчинах забарвлених сполук. Якщо речовини не мають кольору, то проводять реакцію, у результаті якої утворюються розчинні забарвлені сполуки. Колір розчину пов'язаний з довжиною хвилі поглиненої частини світлового потоку. У видимій області колір розчину обумовлений довжиною хвилі випромінювання, не поглиненого цим розчином, і є додатковим до кольору поглиненої частини світла (див. табл.3).

**Таблиця 3**

**Залежність кольору речовини від частини спектра, що поглинається**

Колір розчину речовини (додатковий)	Колір поглиненої частини світлового потоку	$\lambda$ поглиненої частини спектра, (нм)
жовто-зелений	фіолетовий	400-450
жовтий	синій	450-480
жовтогарячий	зелено-синій	480-490
червоний	синьо-зелений	490-500
пурпурний	зелений	500-560
фіолетовий	жовто-зелений	560-575
синій	жовтий	575-590
синьо-зелений	червоний	590-625
зелений	пурпуровий	625-750

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 71

Поглинене світлове випромінювання кількісно описується **законом Бугера-Ламберта-Бера**:

$$A = \lg T = \lg \frac{I}{I_0} = \varepsilon \cdot b \cdot C,$$

де: **A** – поглинання речовини, або його оптична щільність;

**T** – пропускна здатність зразка, тобто відношення інтенсивності світла, яке пройшло через зразок, до інтенсивності падаючого світла ( $I/I_0$ );

**C** – концентрація речовини (зазвичай моль/л);

**b** – товщина кювети (см);

**$\varepsilon$**  – молярна поглинаюча здатність речовини, або молярний коефіцієнт поглинання [л/(моль·см)].

Розрахунок молярного коефіцієнта поглинання проводять за формулами:

$$\varepsilon = A/(C \cdot b) \quad \text{або} \quad \varepsilon\% = A/(C\% \cdot b).$$

### **Область застосування фотоколориметрії.**

Фотометричні методи дуже широко використовуються для визначення домішок у сплавах або мінералах і породах, для вивчення кінетики реакцій, для безперервного контролю технологічного процесу, для визначення малих кількостей речовин.

Фотометричний метод аналізу характеризується високою вибірковістю і є одним зі швидких методів аналізу. Цим методом можна визначити концентрації речовин до  $1 \cdot 10^{-7}$  моль/л.

### **Метод калібрувального графіка.**

Для визначення концентрації речовини (елемента) у досліджуваному розчині використовують найчастіше калібрувальний (градуований) графік у координатах **A – C** (оптична щільність – концентрація).

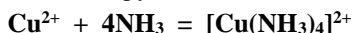
Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 99 / 72</i>

Готують серію стандартних розчинів з відомою концентрацією речовини. Вимірюють оптичну щільність цих розчинів, порівнюючи інтенсивності потоку випромінювання, що проходить через стандартний розчин, з інтенсивністю потоку випромінювання, що проходить через розчин порівняння, поглинання якого приймають рівним нулю. Будують калібрувальний графік.

Калібрувальна пряма являє собою пряму лінію, що йде з початку координат. Потім вимірюють оптичну щільність аналізованого розчину й за графіком визначають його концентрацію.

## ВИЗНАЧЕННЯ ІОНІВ КУПРУМУ(II) У РОЗЧИНІ

В аміачних розчинах іони купруму утворюють комплексні іони синього кольору:



Інтенсивність забарвлення таких розчинів можна визначити фотоколориметрично.

*Порядок виконання роботи:*

1. Візьміть 7 мірних колб на 100 мл для приготування стандартних розчинів солі купруму(II). Напишіть на них склогографом номера 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6.

2. Налийте з бюретки в колби, починаючи з колби № 1, точне число мл розчину солі купруму(II), що містить 1 мг купруму в 1 мл розчину (див. табл. 4) або інші об'єми на розсуд викладача.

3. У кожену колбу долийте циліндром по 5 мл 25% (концентрованого) розчину амоніаку, додайте дистильованої води до мітки, закрийте пробкою, добре перемішайте.

4. Виміряйте оптичну щільність кожного стандартного розчину й запишіть у таблицю 4. Вимірювання проводьте щодо розчину в колбі № 0 (нульовий розчин) у кюветах з  $b = 34$  мм із використанням жовтого світлофільтра.



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 73

5. За результатами побудуйте калібрований графік на міліметровому папері в координатах А – С.

**Таблиця 4**

**Реагенти для фотометричного визначення купруму(II)**

№ колби	Об'єм солі купруму (II), мл	Концентрація купруму (II), мг/мл	Об'єм розчину амоніаку, мл	Оптична щільність
0	0		5	
1	1		5	
2	2		5	
3	3		5	
4	4		5	
5	5		5	
6	6		5	
x	x		5	

6. Отримайте у викладача контрольне завдання з невідомою концентрацією солі купруму(II) (колба № x), додайте 5 мл 25% розчину амоніаку, доведіть дистильованою водою до мітки. Закрийте пробкою, добре перемішайте.

7. Виміряйте оптичну щільність контрольного розчину  $A_x$  і за графіком визначите концентрацію купруму(II)  $C_x$ .

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 74

### Лабораторна робота № 8

## ПОТЕНЦІОМЕТРІЯ

Метод потенціометрії заснований на залежності потенціалу електрода, зануреного в розчин, від концентрації певних іонів у даному розчині (рівняння Нернста). Потенціал скляного електрода, що використовується в роботі залежить від концентрації іонів гідрогену в розчині, що використовується при вимірюванні рН. Скляний електрод у парі з електродом порівняння, потенціал якого не залежить від рН, опускають в розчин, що визначається і вимірюють різницю їх потенціалів. Вольтметр, що використовується для вимірів, має шкалу, градуйовану як у мілівольтах, так і в одиницях рН, що дозволяє знімати показання рН розчину безпосередньо зі шкали приладу.

При кислотно-основному титруванні додавання кожної порції титранта викликає зміну рН розчину. На цьому основане потенціометричне титрування. До точного об'єму розчину, що визначається, послідовно додають невеликі порції стандартного розчину й після кожного додавання вимірюється рН. Точку еквівалентності визначають графічно (див. рис. 1 і 2).

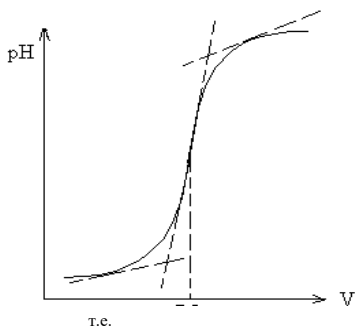


Рис. 1. Інтегральна крива: точка еквів.і відповідає середині відрізка дотичній стрибка титрув.

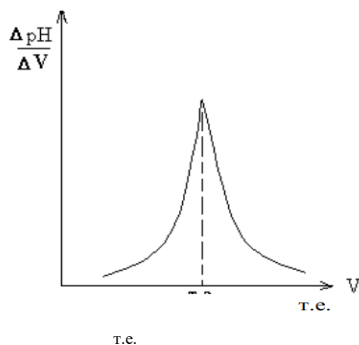


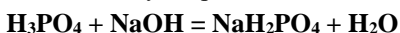
Рис. 2. Диференціальна крива: точка еквівалентності відповідає максимуму кривої.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 75

## ВИЗНАЧЕННЯ МАСИ ФОСФАТНОЇ КИСЛОТИ

**Мета роботи.** Визначити масу  $\text{H}_3\text{PO}_4$  методом потенціометричного титрування. Потенціометричне титрування – метод фізико-хімічного аналізу, при якому точку еквівалентності визначають по зміні потенціалу індикаторного електрода в ході титрування.

**Суть роботи.** При титруванні фосфорної кислоти розчином лугу протікають наступні реакції:



$\text{pK}_a(\text{H}_3\text{PO}_4) = 2,15$ ;  $\text{pK}_a(\text{H}_2\text{PO}_4^-) = 7,21$ ;  $\text{pK}_a(\text{HPO}_4^{2-}) = 2,33$ , то при титруванні фосфорної кислоти лугом на кривій титрування будуть спостерігатися два стрибки титрування, які відповідають відтитруванню кислоти по I та II ступеням (реакції 1, 2).

Тому маса  $m(\text{H}_3\text{PO}_4)$ , г/дм<sup>3</sup> розраховується за формулами:

$$m(\text{H}_3\text{PO}_4) = (V_1 \cdot 10^{-3} \cdot C \cdot M(\text{H}_3\text{PO}_4) \cdot V_k) / V(\text{H}_3\text{PO}_4) \cdot 10^{-3},$$

де  $V_1$  – об'єм розчину **NaOH**, який пішов на титрування I т.е., см<sup>3</sup>;

$C$  – концентрація розчину **NaOH** (титранта), моль/дм<sup>3</sup>;

$M(\text{H}_3\text{PO}_4)$  – молекулярна маса **H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>**, г/моль;

$V_k$  – об'єм мірної колби, см<sup>3</sup> (100 см<sup>3</sup>);

$V(\text{H}_3\text{PO}_4)$  – аліквота розчину **H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>**, см<sup>3</sup> або

$$m(\text{H}_3\text{PO}_4) = (V_2 \cdot 10^{-3} \cdot C \cdot M(1/2 \text{H}_3\text{PO}_4) \cdot V_k) / V(\text{H}_3\text{PO}_4) \cdot 10^{-3},$$

де  $V_2$  - об'єм розчину **NaOH**, який пішов на титрування II т.е., см<sup>3</sup>.

Найбільш вживаним методом визначення рН водних розчинів потенціометричний. Він базується на вимірюванні електрорушійної сили (ЕРС) гальванічного елемента, що утворюють індикаторний та порівняльний електроди, занурені в розчин, рН якого визначають. Як індикаторний, використовують, переважно, скляний електрод, виготовлений із спеціального скла, до складу якого входять іони лужних металів ( $\text{Li}^+$ ,  $\text{Na}^+$  або  $\text{K}^+$ ). При контакті поверхні скла з

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 76

розчином відбувається реакція обміну, в процесі якої іони лужного металу скла частково замінюються на іони водню розчину. В результаті між поверхнею скла та об'ємом розчину виникає різниця потенціалів, величина якої визначається активністю водневих іонів і є лінійною функцією рН розчину. Складний електрод має форму тонкостінного порожнистого шарика, в середині якого знаходиться допоміжний хлорсрібний електрод, занурений в розчин з постійним значенням рН. Як порівняльний - найчастіше використовують проточний хлорсрібний електрод з насиченим розчином КСІ. Оскільки потенціали допоміжного та порівняльного електродів мають сталу величину, то ЕРС гальванічного елемента є лінійною функцією рН розчину. Електродна система може бути виготовлена як два окремих електроди або у вигляді одного блоку. ЕРС гальванічного елемента вимірюється спеціальним електронним вольтметром, шкала якого градуйована в одиницях рН. рН-метр має автоматичну або ручну компенсацію температурної похибки. Розповсюдженими є прилади, які називаються іонірами. З допомогою іоніру можна визначати не тільки рН, а і активність (концентрацію) ряду іонів, для чого замість скляного електроду необхідно підключити відповідний іонселективний електрод. Конструктивно прилад складається із електронного блоку, штатива та електродної системи (рис. 1).

**Реактиви.** Розчин фосфорної кислоти, стандартний розчин лугу (NaOH), 0,1 М.

**Посуд та обладнання.** Бюретка, стакани ємкістю 100–150 см<sup>3</sup>; рН-метр; магнітна мішалка; перемішувачий елемент магнітної мішалки.

**Виконання роботи.**

### ***I. Підготовка рН - метра до роботи. II. Проведення титрування.***

1. Заповнити бюретку стандартним розчином лугу (*не забути видалити пухирець повітря із нижньої частини бюретки!*).

2. Отримати розчин для аналізу в мірній колбі об'ємом 100,0 см<sup>3</sup>, довести до мітки дистильованою водою та перемішати.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 77

3. Відібрати аліквоту 20,0 мл в стакан для титрування, додати ~20-30 см<sup>3</sup> дистильованої води, опустити в стакан стрижень магнітної мішалки та погрузити електроди в розчин на глибину не менше 1–1,5 см. Включити магнітну мішалку на помірну швидкість.

4. Дочекатися встановлення постійного значення рН і записати значення.

5. Приблизне титрування:

Додати в розчин, який аналізується, 1,0 см<sup>3</sup> стандартного розчину лугу із бюретки, дочекатися встановлення постійного значення рН та записати значення в таблицю, вказавши об'єм титранта, який додали. Продовжити титрування, додаючи по 1,0 см<sup>3</sup> стандартного розчину лугу та записуючи значення рН після додавання кожної порції титранта. Титрування завершується після другого стрибка, коли значення рН розчину практично незмінюється або змінюється трохи та рівномірно. Результати титрування занести в табл. 1.

Таблиця 1.

**Результати приблизного титрування**

V, см <sup>3</sup>																			
рН																			
V, см <sup>3</sup>																			
рН																			

6. Точне титрування

При повторному (точному) титруванні розчин лугу біля стрибків титрування приливати по 0,5 см<sup>3</sup>. Результати титрування занести в табл. 2.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 78

Таблиця 2.

## Результати точного титрування

V, см <sup>3</sup>																			
pH																			
V, см <sup>3</sup>																			
pH																			

7. Після закінчення титрування електроди промити дистильованою водою тапогрузити в стакан з дистильованою водою.

8. За результатами титрування побудувати криву титрування в координатах  $pH - V(NaOH)$ .

9. Для більш точного визначення положення точок еквівалентності, побудувати графік залежності  $\Delta pH/\Delta V$  від  $V(NaOH)$  і за максимумами на них визначити положення першої та другої точок еквівалентності та об'єми титранта в першій т.е. ( $V_1$ ) та другій т.е. ( $V_2$ ). Результати занести в табл. 3.

Таблиця 3.

## Дані для побудови диференційної кривої титрування

V, см <sup>3</sup>																			
$\Delta V$ , см <sup>3</sup>																			
pH																			
$\Delta pH$																			
$\Delta pH/\Delta V$																			
V, см <sup>3</sup>																			
$\Delta V$ , см <sup>3</sup>																			
pH																			
$\Delta pH$																			
$\Delta pH/\Delta V$																			

10. Розрахувати масу фосфатної кислоти в розчині, використовуючи формули приведені вище. Порівняти отримані результати.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 79

Лабораторна № 9

## ХРОМАТОГРАФІЯ

Хроматографія – метод розділення та аналізу сумішей речовин, а також вивчення фізико-хімічних властивостей речовин. Ґрунтується на розподілі речовин між двома фазами - нерухомою (тверда фаза або рідина, зв'язана на інертному носії) і рухомою (газова або рідка фаза, елюент).

Першовідкривачем хроматографії був російський вчений, ботанік і фізико-хімік Михайло Семенович Цвет. Досліджуючи пігменти рослин, Цвет пропустив розчин суміші пігментів які мало відрізнялися за кольором через трубку, заповнену адсорбентом - порошкоподібним карбонатом кальцію, а потім промив адсорбент чистим розчинником. Окремі компоненти суміші при цьому розділилися і утворили кольорові смуги. Відповідно до сучасної термінології Цвет відкрив варіант проявної хроматографії (проявна рідинно- адсорбційна хроматографія).

М.С. Цвет сформулював закон, який назвав законом адсорбційного заміщення: *Речовини, розчинені в певній рідині, утворюють певний адсорбційний ряд А, В, С, ..., що виражає відносну адсорбційну спорідненість його членів до адсорбентів. Кожен з членів адсорбційного ряду, маючи більшу адсорбційну спорідненість, ніж наступний, витісняє його із сполуки і в свою чергу витісняється попереднім.*

Таким чином, основною умовою для здійснення хроматографічного процесу (розділення речовин на колонці) - М.С. Цвет вважав відмінність в адсорбованості.

У сучасній хроматографії для розділення речовин крім молекулярної адсорбції використовують і інші фізико-хімічні явища.

На сьогоднішній день існує багато різних видів хроматографії.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -_1_2024
	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 99 / 80</i>

Класифікацію різних видів хроматографії проводять за різними підходами.

*За фізичною природою нерухої і рухої фаз.*

Газова включає газо-рідинну і газо-адсорбційну хроматографію. Рідинна хроматографія поділяється на рідинно-рідинну, рідинно-адсорбційну і рідинно-гелеву. Перше слово в цій класифікації характеризує агрегатний стан рухої фази.

Залежно від способу переміщення сорбату вздовж шару сорбенту: проявний (елюентний), фронтальний, витісняючий, електрохроматографія.

Залежно від природи процесу, що обумовлює розподіл сорбату між рухою і нерухою фазами:

1. Адсорбційна хроматографія - розділення базується на відмінності в адсорбованості речовин, що розділяються, твердим адсорбентом;
2. Розподільна хроматографія - розділення базується на відмінності в розчинності речовин, що розділяються, в нерухомій фазі (газова хроматографія) і на відмінності в розчинності в рухомій та нерухомій рідких фазах;
3. Іонообмінна хроматографія - розділення базується на відмінності в здатності речовин, що розділяються, до іонного обміну;
4. Проникаюча хроматографія - розділення базується на відмінності в розмірах або формах молекул речовин, що розділяються, наприклад, при застосуванні молекулярних сит (цеолітів);
5. Осадова хроматографія - розділення базується на утворенні різних за розчинністю садів речовин, що розділяються, з сорбентом;

Слід мати на увазі, що дуже часто процес поділу протікає за декількома механізмами.

*Якісний хроматографічний аналіз, тобто ідентифікація речовини на її хроматограмі, може бути виконаний порівнянням*



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 81

хроматографічних характеристик, найчастіше *утримуваного об'єму* (тобто об'єму рухомої фази, пропущеної через колонку від початку введення суміші до появи даного компонента на виході з колонки), знайдених при певних умовах для компонентів суміші, що аналізується, і для еталону.

*Кількісний хроматографічний аналіз* проводять зазвичай на хроматографі. Метод базується на вимірюванні різних параметрів хроматографічного піку, які залежать від концентрації досліджуваних речовин - висоти, ширини, площі і утримуваного об'єму або добутку утримуваного об'єму на висоту піку.

Для проведення хроматографічного розділення речовин або визначення їх фізико-хімічних характеристик зазвичай використовують спеціальні прилади – хроматографи. Основні вузли хроматографа – це хроматографічна колонка, детектор, а також пристрій для введення проби. Колонка, яка містить сорбент, виконує функцію розділення речовин, що розділяються, на складові компоненти, а детектор - функцію їх кількісного визначення. Детектор, розташований на виході з колонки, автоматично безперервно визначає концентрацію сполук, що розділяються, в потоці рухомої фази.

Після введення суміші, що аналізується, з потоком рухомої фази в колонку зони всіх речовин розташовані на початку хроматографічної колонки (рис. 1). Під дією потоку рухомої фази компоненти суміші починають переміщатися уздовж колонки з різними швидкостями, величини яких обернено пропорційні коефіцієнтам розподілу  $K$  (або констант розподілу) компонентів.

Чим більша величинами  $K$ , тим повільніше речовина переміщуються вздовж шару сорбенту по колонці. Тому швидше за всіх з колонки виходить компонент А, потім компонент Б і останнім залишає колонку компонент В ( $K_A < K_B < K_B$ ). Сигнал детектора, величина якого пропорційна концентрації визначуваної речовини в потоці елюенту, автоматично безперервно реєструється.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 82

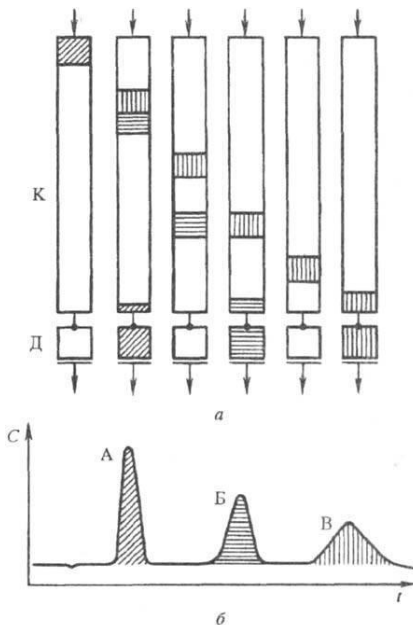


Рис. 1. Розділення суміші з трьох компонентів (А, Б і В) на хроматографічній колонці К з детектором Д: а – положення хроматографічних зон компонентів, що розділяються, в колонці через певні інтервали часу; б – хроматограма (С - сигнал, t - час).

Отримана хроматограма відображає розташування хроматографічних зон на шарі сорбенту або в потоці рухомої фази в часі.

### Іонообмінна хроматографія

Сучасний етап у розвитку іонообмінної хроматографії почався в 1975 році після роботи Г. Смолла, Т. Стівенса і У. Баумана (США), в якій вони запропонували новий аналітичний метод, названий іонною

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 99 / 83</i>

хроматографією (варіант високоефективної іонообмінної хроматографії з кондуктометричним детектуванням).

Іонообмінна хроматографія - це затримання молекул речовин в нерухомій фазі обумовлене їх зв'язуванням з поверхнею твердого гідрофільного матеріалу (суцільних або пористих гранул), які знаходяться в контактi з рідким елюентом. У цьому варіанті хроматографії затримання відбувається в результаті електростатичної взаємодії різнойменнозаряджених іонів.

Для розділення катіонів використовують катіоніти, а для розділення аніонів - аніоніти (рис. 2). Елюентом в першому випадку служить розчин кислоти, в другому - луг. Поділ іонів регулюють підбором оптимальних значень рН елюента. Сильнокислотні сульфокатіоніти і високоосновні аніоніти можуть використовуватися при будь-яких значеннях рН. Варіюючи рН елюента, можна різко змінювати ступінь іонізації компонентів суміші (сорбату) і, отже, час їх утримування, домагаючись необхідної селективності розділення. Багатозарядні іони утримуються іонітом сильніше однозарядних. При рівних величинах зарядів утримування падає з ростом радіуса гідратованого іона.

На відміну від абсорбції, іонний обмін описується стехіометричним хімічним рівнянням, що важливо і для іонної хроматографії. Однак на іонообмінних матеріалах часто може відбуватись і фізична адсорбція. Розділення в цьому випадку відбувається завдяки різній спорідненості компонентів суміші до нерухокої фази і, отже, різними швидкостями переміщення по колонці. Іонообмінна хроматографія широко використовується для вирішення багатьох проблем в наукових дослідженнях. На всіх зовнішніх і внутрішніх поверхнях твердих гранул уздовж полімерних молекул, що утворюють просторову сітку, більш-менш рівномірно розподілені ковалентно зв'язані іоногенні групи (рис. 3). Якщо молекули компонентів суміші яку необхідно розділити теж здатні

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 84

іонізуватися при розчиненні, причому так, що їх сумарний заряд має протилежний знак, то вони зв'язуються з нерухожими іоногенними групами силами електростатичної взаємодії, та залишаються в нерухокій фазі. Зв'язок цей зворотний: іони одних компонентів можуть заміщатися на інші або витіснятися іншими іонами, а також спеціально введеними для цієї мети в елюент іонами.

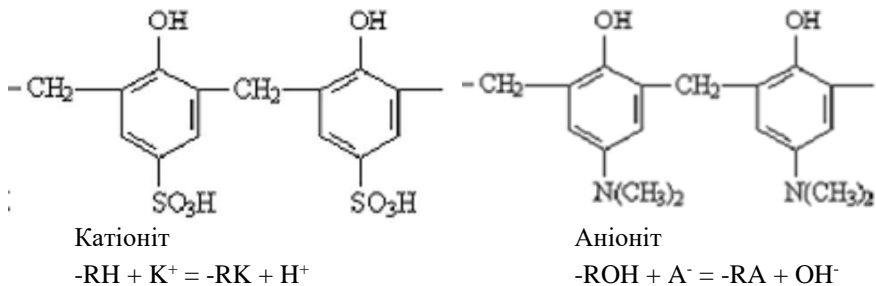


Рис. 3. Фрагменти структур іонообмінних смол (катіоніта та аніоніта)

Важливою характеристикою іонообмінника є його обмінна ємність. Обмінну ємність іоніту чисельно можна виразити кількістю молей еквівалента протиіону на одиницю маси або об'єму смоли.

Перебіг хроматографічного процесу як завжди визначається, в першу чергу, значеннями коефіцієнтів рівноважного розподілу ( $K$ ) між нерухоною і рухоною фазами для кожного з компонентів хроматографічної суміші речовин. Розподіл речовини між фазами залежить від сили електростатичної взаємодії іонів або заряджених груп в молекулі речовини з зарядженими групами іонообмінника. Ця взаємодія визначається як природою самої речовини, так і властивостями рідкого середовища, в якому вона відбувається, зокрема рН.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 99 / 85</i>

Методи іонообмінної хроматографії використовують переважно для розділення іонів. Кількісні визначення компонентів після поділу можуть бути виконані будь-яким методом.

Методами іонообмінної хроматографії визначають дуже багато аніонів і катіонів у питній та технічній воді, в продуктах технологічної переробки в харчовій, фармацевтичній та інших галузях промисловості.

### **РОЗДІЛЕННЯ СУМІШІ ІОНІВ МІДІ (II) І ЗАЛІЗА (III) МЕТОДОМ ІОНООБМІННОЇ ХРОМАТОГРАФІЇ**

**Мета роботи:** Розділення суміші іонів міді (II) і заліза (III) методом іонообмінної хроматографії з подальшим кількісним визначенням концентрації міді.

#### **Підготовка колонки і іонітів**

Для іонообмінної хроматографії в кількісному аналізі застосовують у більшості випадків скляні колонки. Наважку іоніту поміщають в склянку, заливають насиченим розчином NaCl і витримують протягом доби (уся маса іоніту повинна знаходитися під розчином). Через добу розчин видаляють і іоніт відмивають водою декантацією (рідину зливають після осадження зеренна дно склянки).

Набухлий іоніт переносять в колонку, заздалегідь заповнену на  $\frac{1}{2}$  об'єму водою, щоб виключити попадання бульбашок повітря в проміжки між зернами іоніту (зазвичай іоніт займає половину об'єму колонки). Необхідно пам'ятати, що над шаром іоніту увесь час повинна знаходитися рідина. Для отримання певних форм іонітів застосовують промивання розчинами солей, кислот і лугів. У практиці широко застосовують сильноокислі катіоніти в  $H^+$  – формі і високоосновні аніоніти в  $Cl^-$  – формі.

#### **Переведення іоніту в необхідну форму (зарядка іоніту)**

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -_1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 86

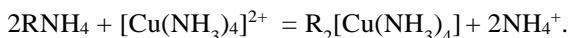
Іоніт в колонці відмивають від надлишку кислоти, після чого він готовий до застосування. Перед кожним подальшим застосуванням необхідно проводити регенерацію іоніту, повертаючи його в початковий стан.

**Регенерація катіонітів.** При регенерації катіонітів колонку наповнюють 2 моль/дм<sup>3</sup> НСІ. Швидкість протікання рідини через іоніт 1 мл/хв. Регенерація катіоніту закінчується, коли концентрація кислоти у витікаючому з катіоніту розчині дорівнюватиме концентрації початкового розчину. Після пропускання розчину кислоти катіоніт промивають дистильованою водою. Повноту відмивання катіоніту від кислоти перевіряють за індикатором метиловим оранжевим. Катіоніт, переведений таким чином в Н<sup>+</sup> – форму, підготовлений для проведення хроматографічного розділення.

**Регенерація аніонітів.** При регенерації аніонітів (переведення його в СІ<sup>-</sup> – форму) колонку з аніонітом наповнюють 2 моль/дм<sup>3</sup> НСІ. Регенерацію аніоніту закінчують, коли концентрація СІ<sup>-</sup> у витікаючому з колонки розчині дорівнюватиме концентрації хлорид-іонів в початковому розчині кислоти. Потім аніоніт відмивають від надлишку кислоти дистильованою водою або спиртом.

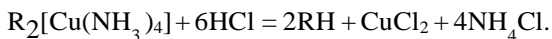
#### **Порядок виконання роботи**

Суть хроматографічного розділення іонів міді (II) і заліза (III) полягає в переведенні міді (II) і заліза (III) в комплекси протилежних знаків і сорбції одного з компонентів катіонітом. У аміачному середовищі у присутності сульфосаліцилової кислоти ці катіони утворюють аніони трисульфосаліцилату заліза (III) [Fe(HSO<sub>3</sub>C<sub>6</sub>H<sub>3</sub>OCOO)<sub>3</sub>]<sup>3-</sup> і катіони аміаку міді (II): [Cu(NH<sub>3</sub>)<sub>4</sub>]<sup>2+</sup>. При пропусканні через колонку з катіонообмінником в NH<sub>4</sub><sup>+</sup> – формі суміші комплексних іонів негативно заряджені іони трисульфосаліцилату заліза (III) не сорбуються на колонці, а комплексні катіони міді (II) поглинаються катіонообмінником:



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 87

Після вилучення комплексу заліза (III) іони міді (II) видаляють з катіоніту 2 моль/дм<sup>3</sup> розчином HCl :



Вміст іонів заліза (III) визначають фотометричним методом, що ґрунтується на утворенні в лужному середовищі при рН 8–11 комплексних аніонів трисульфосаліцилата заліза (III) жовтого кольору ( $\lambda_{max} = 410$  нм).

Вміст іонів міді (II) можна визначити фотометричним або йодиметричним методом.

### ***Підготовка катіоніту до роботи***

1. Переведіть катіоніт в Н<sup>+</sup>-форму. Для цього через колонку з катіонітом КУ–2 необхідно пропустити 200 см<sup>3</sup> 2 моль/дм<sup>3</sup> розчину HCl із швидкістю 1-2 краплі/с. 2. Відмийте катіоніт від кислоти 200–250 мл дистильованої води (швидкість пропускання 2-3 краплі/с). Періодично відбирайте декілька крапель розчину, витікаючого з колонки, і перевіряйте рН середовища за допомогою індикатора метилового оранжевого. Промивання проводите до отримання жовтого забарвлення індикатору.
2. Над шаром катіоніту увесь час повинна знаходитися рідина. У разі утворення в колонці бульбашок повітря катіоніт слід розпушити склянню паличкою.
3. Переведіть катіоніт з Н<sup>+</sup>-форми в NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-форму. Для цього пропустіть через катіоніт 100 мл 5% розчину аміаку. Рідину в колонці спустите до верхнього шару катіоніту.

### ***Розділення суміші іонів міді (II) і заліза (III)***

#### ***Хід роботи***

1. У склянку місткістю 100 см<sup>3</sup>, що містить розчин суміші іонів Fe<sup>3+</sup> і Cu<sup>2+</sup>, додайте 15 см<sup>3</sup> 10% розчину сульфосаліцилової кислоти, перемішайте і підлийте 10 см<sup>3</sup> концентрованого розчину аміаку.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 88

- Отриману суміш пропустите через катіоніт КУ–2 в NH<sub>4</sub>–формі із швидкістю 1–2 краплі/с.
- Вимивання іонів заліза (III)*. Приготуйте близько 50 см<sup>3</sup> промивної рідини (суміш 5 см<sup>3</sup> 10% розчину сульфосаліцилової кислоти, 5 см<sup>3</sup> концентрованого розчину аміаку і 40 см<sup>3</sup> дистильованої води). Слянку, в якій знаходився розчин для аналізу, двічі обполосніть промивною рідиною і вилийте її в колонку. Пропустіть через колонку промивну рідину, що залишилася. Витікаючий з колонки елюат з моменту внесення в неї суміші для аналізу збирайте в мірну колбу на 100 см<sup>3</sup> і, після заповнення колби до мітки, ретельно перемішайте (*розчин 1*).
- Після видалення комплексних аніонів трисульфосаліцилату заліза (III) промийте катіоніт 50 см<sup>3</sup> дистильованої води.
- Вилучення іонів Cu<sup>2+</sup> з катіоніту*. Пропустіть через катіоніт близько 100 см<sup>3</sup> 2 моль/дм<sup>3</sup> розчину HCl порціями по 10–15 см<sup>3</sup>. Розчин, що витікає з колонки, зберіть в мірну колбу на 100 см<sup>3</sup> і, після заповнення колби до мітки, добре перемішайте (*розчин 2*). Катіоніт після вилучення Cu<sup>2+</sup>переведений в Н–форму і, після відмивання від кислоти, може бути використаний для подальшої роботи.

### **Визначення міді**

Вміст міді визначають фотометричним методом, що ґрунтується на вимірюванні інтенсивності забарвлення аміачного комплексу міді [Cu(NH<sub>3</sub>)<sub>4</sub>]<sup>2+</sup>, що має максимум поглинання при  $\lambda = 610$  нм.

#### *Хід роботи Приготування еталонних розчинів міді (II)*

- Приготуйте стандартний розчин міді (II), що містить 5,0 мг/см<sup>3</sup> Cu<sup>2+</sup>.
- У мірні колби на 50,0 см<sup>3</sup> відберіть, відповідно, 1,00; 1,50; 2,00; 2,50 і 3,00 см<sup>3</sup> розчину, що містить 5,0 мг/см<sup>3</sup> Cu<sup>2+</sup>.
- В кожен колбу додайте по 5 см<sup>3</sup> розчину аміаку (1:1), доведіть розчин до мітки дистильованою водою і ретельно перемішайте.



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 89

*Підготовка розчину міді (II) до аналізу*

1. З мірної колби, що містить розчин 2, відберіть піпеткою аликвоту, перенесіть в мірну колбу на 50,0 см<sup>3</sup>, додайте 5 см<sup>3</sup> розчину аміаку (1:1) і доведіть до мітки дистильованою водою.
2. Аналогічно в іншій мірній колбі на 50,0 см<sup>3</sup> приготуйте ще один розчин речовини для аналізу для паралельного визначення міді (II).

*Вимірювання оптичної густини розчинів*

1. Виміряти оптичну густину еталонних розчинів на спектрофотометрі при довжині хвилі  $\lambda = 610$  нм в кюветах з товщиною шару  $l = 1,0$  см (розчином порівняння – вода). Результати занесіть в таблицю.
2. Виміряти оптичну густину ( $A_x$ ) розчинів для аналізу на спектрофотометрі при довжині хвилі  $\lambda = 610$  нм при умовах, що були використані для еталонних розчинів.

**Таблиця - Дані для побудови градувального графіку** для визначення вмісту  $\text{Cu}^{2+}$   $\lambda = 610$  нм;  $l = 1,0$  см;  $V_{p-ну} = 50,0$  см

№	Додано р-ну $\text{Cu}^{2+}$ , см <sup>3</sup>	Вміст $m_i(\text{Cu}^{2+})$ , мг	$A_{1i}$	$A_{2i}$	$A_i$
1	1,00				
2	1,50				
3	2,00				
4	2,50				
5	3,00				

*Визначення вмісту міді (II) фотометрично методом градувального графіку*

1. Побудуйте градувальний графік для визначення  $\text{Cu}^{2+}$  в розчині в координатах -  $m_i(\text{Cu}^{2+})$ .
2. Користуючись градувальним графіком, за виміряними значеннями оптичної густини  $A_x$  знайдіть вміст  $\text{Cu}^{2+}$  у розчинах для фотометрування ( $m_x(\text{Cu}^{2+})$ , мг).
3. Розрахуйте масу міді (II) в розчині 2 (у суміші для аналізу).

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 -1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 90

## ДОДАТКИ

Таблиця 1. Фізико – хімічні константи

Назва	Значення		
Гравітаційна стала,	G	$= 6,6720 \cdot 10^{-11}$	Н· м/кг <sup>2</sup>
Швидкість поширення електромагнітних хвиль в вакуумі,	c	$= 2,99792458 \cdot 10^8$	м/с
Магнітна проникливість вакууму,	$\mu_0$	$= 1,256637061 \cdot 10^{-6}$	Гн/м
Електрична проникливість вакууму,	$\epsilon_0$	$= 8,85418782 \cdot 10^{-12}$	Ф/м
Стала Планка,	h	$= 6,626176 \cdot 10^{-34}$	Дж/Гц
Атомна одиниця маси,	а.о. м.	$= 1,6605655 \cdot 10^{-27}$	кг
Маса електрона,	$m_e$	$= 9,109584 \cdot 10^{-31}$	кг
Маса протону,	$m_p$	$= 1,6726485 \cdot 10^{-27}$	кг
Маса нейтрона,	$m_n$	$= 1,6749543 \cdot 10^{-27}$	кг
Елементарний електричний заряд,	e	$= 1,6021892 \cdot 10^{19}$	Кл
Класичний радіус електрона,	$r_e$	$= 2,817938 \cdot 10^{-15}$	м
Стала Авогадро,	$N_A$	$= 6,022045 \cdot 10^{23}$	моль <sup>-1</sup>
Стала Фарадея,	F	$= 9,648456 \cdot 10^4$	Кл/моль
Стала Лошмідта,	$N_L$	$= 2,686754 \cdot 10^{25}$	м <sup>3</sup>
Універсальна газова стала,	R	$= 8,31441$	Дж/(К·моль)
Нормальні умови: –тиск, –температура,	p T	$= 1,01325 \cdot 10^5$ $= 273,15$	Па °К
Молярний об'єм газу,	$V_M$	$= 2,241383 \cdot 10^{-2}$	м <sup>3</sup> /моль
Стала Больцмана,	k	$= 1,380662 \cdot 10^{-23}$	Дж/К
Магнітний момент електрона	$\mu_e$	$= 9,284832 \cdot 10^{-24}$	А · м <sup>2</sup>

Таблиця 2. Приставки для утворення кратних і ділених одиниць

Приставка	Множник	Приставка	Множник
Тера, Т	$10^{12}$	Деци, д	$10^{-1}$
Гіга, Г	$10^9$	Сантис, с	$10^{-2}$
Мега, М	$10^6$	Мілі, м	$10^{-3}$
Кіло, к	$10^3$	Мікро, мк	$10^{-6}$
Гекто, г	$10^2$	Нано, н	$10^{-9}$
Дека, да	$10^1$	Піко, п	$10^{-12}$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/Б/ОК18 - 1_2024
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 91

**Таблиця 3**  
**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-23.10- 05.02/2/103.00.1/МБ/ОК18 -2023
	Екземпляр № 1	Арк 98 / 92

Таблиця 4

## Добуток розчинності малорозчинних речовин у воді

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

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/МБ/ОК18 -2023
	Екземпляр № 1	Арк 98 / 93

**Таблиця 5**

**Стандартні електродні потенціали металів**

Електрод	Електродна реакція	$E^0$ , В
Li <sup>+</sup> /Li	$\text{Li}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{Li}$	-3,045
K <sup>+</sup> /K	$\text{K}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{K}$	-2,925
Rb <sup>+</sup> /Rb	$\text{Rb}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{Rb}$	-2,925
Cs <sup>+</sup> /Cs	$\text{Cs}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{Cs}$	-2,923
Ca <sup>2+</sup> /Ca	$\text{Ca}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Ca}$	-2,866
Na <sup>+</sup> /Na	$\text{Na}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{Na}$	-2,714
Mg <sup>2+</sup> /Mg	$\text{Mg}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Mg}$	-2,363
Al <sup>3+</sup> /Al	$\text{Al}^{3+} + 3e^- \rightleftharpoons \text{Al}$	-1,662
Mn <sup>2+</sup> /Mn	$\text{Mn}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Mn}$	-1,179
Zn <sup>2+</sup> /Zn	$\text{Zn}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Zn}$	-0,763
Cr <sup>3+</sup> /Cr	$\text{Cr}^{3+} + 3e^- \rightleftharpoons \text{Cr}$	-0,744
Fe <sup>2+</sup> /Fe	$\text{Fe}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Fe}$	-0,440
Cd <sup>2+</sup> /Cd	$\text{Cd}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Cd}$	-0,403
Co <sup>2+</sup> /Co	$\text{Co}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Co}$	-0,277
Ni <sup>2+</sup> /Ni	$\text{Ni}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Ni}$	-0,250
Sn <sup>2+</sup> /Sn	$\text{Sn}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Sn}$	-0,136
Pb <sup>2+</sup> /Pb	$\text{Pb}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Pb}$	-0,126
H <sup>+</sup> /1/2H <sub>2</sub>	$\text{H}^+ + e^- \rightleftharpoons 1/2\text{H}_2$	±0,000
Cu <sup>2+</sup> /Cu	$\text{Cu}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Cu}$	+0,337
Hg <sub>2</sub> <sup>2+</sup> /2Hg	$\text{Hg}_2^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons 2\text{Hg}$	+0,788
Ag <sup>+</sup> /Ag	$\text{Ag}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{Ag}$	+0,799
Au <sup>3+</sup> /Au	$\text{Au}^{3+} + 3e^- \rightleftharpoons \text{Au}$	+1,498

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/МБ/ОК18 -2023
	Екземляр № 1	Арк 98 / 94

Таблиця 6

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

Окислена форма	Відновлена форма	Електродна реакція	$E^0$ , В
$2H^+$	$H_2$	$2H^+ + 2e^- \rightleftharpoons H_2$	0,00
S	$S^{2-}$	$S + 2e^- \rightleftharpoons S^{2-}$	-0,51
$PbSO_4$	$Pb + SO_4^{2-}$	$PbSO_4 + 2e^- \rightleftharpoons Pb + SO_4^{2-}$	-0,356
$Sn^{4+}$	$Sn^{2+}$	$Sn^{4+} + 2e^- \rightleftharpoons Sn^{2+}$	+0,15
$Cu^{2+}$	$Cu^+$	$Cu^{2+} + e^- \rightleftharpoons Cu^+$	+0,153
$SO_4^{2-} + 2H^+$	$SO_3^{2-} + H_2O$	$SO_4^{2-} + 2H^+ + 2e^- \rightleftharpoons SO_3^{2-} + H_2O$	+0,22
$[Fe(CN)_6]^{3-}$	$[Fe(CN)_6]^{4-}$	$[Fe(CN)_6]^{3-} + e^- \rightleftharpoons [Fe(CN)_6]^{4-}$	+0,36
$\frac{1}{2}O_2 + H_2O$	$2OH^-$	$\frac{1}{2}O_2 + H_2O + 2e^- \rightleftharpoons 2OH^-$	+0,401
$\frac{1}{2}I_2$	$I^-$	$\frac{1}{2}I_2 + e^- \rightleftharpoons I^-$	+0,536
$MnO_4^-$	$MnO_4^{2-}$	$MnO_4^- + e^- \rightleftharpoons MnO_4^{2-}$	+0,564
$MnO_4^- + 2H_2O$	$MnO_2(т) + 4OH^-$	$MnO_4^- + 2H_2O + 3e^- \rightleftharpoons MnO_2(т) + 4OH^-$	+0,57
$Fe^{3+}$	$Fe^{2+}$	$Fe^{3+} + e^- \rightleftharpoons Fe^{2+}$	+0,771
$2Hg^{2+}$	$Hg_2^{2+}$	$2Hg^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Hg_2^{2+}$	+0,910
$NO_3^- + 3H^+$	$HNO_2 + H_2O$	$NO_3^- + 3H^+ + 2e^- \rightleftharpoons HNO_2 + H_2O$	+0,94
$NO_3^- + 4H^+$	$NO + 2H_2O$	$NO_3^- + 4H^+ + 3e^- \rightleftharpoons NO + 2H_2O$	+0,96
$HNO_2 + H^+$	$NO + H_2O$	$HNO_2 + H^+ + e^- \rightleftharpoons NO + H_2O$	+1,00
$\frac{1}{2}Br_2(ж)$	$Br^-$	$\frac{1}{2}Br_2 + e^- \rightleftharpoons Br^-$	+1,065
$IO_3^- + 6H^+$	$\frac{1}{2}I_2 + 3H_2O$	$IO_3^- + 6H^+ + 5e^- \rightleftharpoons \frac{1}{2}I_2 + 3H_2O$	+1,195
$O_2 + 4H^+$	$2H_2O$	$O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightleftharpoons 2H_2O$	+1,229
$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+$	$2Cr^{3+} + 7H_2O$	$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^- \rightleftharpoons 2Cr^{3+} + 7H_2O$	+1,36
$\frac{1}{2}Cl_2$	$Cl^-$	$\frac{1}{2}Cl_2 + e^- \rightleftharpoons Cl^-$	+1,36
$ClO_3^- + 6H^+$	$Cl^- + 3H_2O$	$ClO_3^- + 6H^+ + e^- \rightleftharpoons Cl^- + 3H_2O$	+1,44
$PbO_2 + 4H^+$	$Pb^{2+} + 2H_2O$	$PbO_2 + 4H^+ + 2e^- \rightleftharpoons Pb^{2+} + 2H_2O$	+1,455
$MnO_4^- + 8H^+$	$Mn^{2+} + 4H_2O$	$MnO_4^- + 8H^+ + 5e^- \rightleftharpoons Mn^{2+} + 4H_2O$	+1,51
$H_2O_2 + 2H^+$	$2H_2O$	$H_2O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightleftharpoons 2H_2O$	+1,77
$Co^{3+}$	$Co^{2+}$	$Co^{3+} + e^- \rightleftharpoons Co^{2+}$	+1,82
$S_2O_8^{2-}$	$2SO_4^{2-}$	$S_2O_8^{2-} + 2e^- \rightleftharpoons 2SO_4^{2-}$	+2,01
$\frac{1}{2}F_2$	$F^-$	$\frac{1}{2}F_2 + e^- \rightleftharpoons F^-$	+2,87

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/МБ/ОК18 -2023
	Екземпляр № 1	Арк 98 / 95

**Таблиця 7**

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

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

# РОЗЧИННІСТЬ КИСЛОТ, ОСНОВ І СОЛЕЙ У ВОДІ

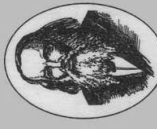
Аніони	Катіони																			
	H <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Ba <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Cr <sup>3+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Fe <sup>3+</sup>	Ni <sup>2+</sup>	Mn <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	Ag <sup>+</sup>	Hg <sup>2+</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	Н
Cl <sup>-</sup>	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	М	М	Р
Br <sup>-</sup>	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	М	Р	М	М	Р
I <sup>-</sup>	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	-	Р	Р	Р	Р	Н	Н	Н	М	М
S <sup>2-</sup>	Р	Р	Р	Р	Р	М	М	-	-	Н	-	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н
SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Р	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	Р	М	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	М	Р	Р	Н	Н	Р
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Р	Р	Р	Р	Р	Н	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	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	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	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	ГРУППЫ ЭЛЕМЕНТОВ									
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
1	1 H водород 1,008	2 He гелий 4,003								
2	3 Li литій 6,941	4 Be берилій 9,012	5 B бор 10,811	6 C вуглець 12,011	7 N азот 14,007	8 O кислород 15,999	9 F фтор 18,998	10 Ne неон 20,179		
3	11 Na натрій 22,99	12 Mg магній 24,312	13 Al алюміній 26,982	14 Si кремній 28,086	15 P фосфор 30,974	16 S сірка 32,064	17 Cl хлор 35,453	18 Ar аргон 39,948		
4	19 K калій 39,102	20 Ca кальцій 40,09	21 Sc скандій 44,956	22 Ti титан 47,88	23 V ванадій 50,942	24 Cr хром 51,996	25 Mn марганець 54,938	26 Fe залізо 55,848	27 Co кобальт 58,933	28 Ni нікель 58,7
5	29 Cu мідь 63,546	30 Zn цинк 65,37	31 Ga галій 69,72	32 Ge германій 72,59	33 As мыш'як 74,922	34 Se селен 78,96	35 Br бром 79,904	36 Kr криптон 83,8		
6	37 Rb рубідій 85,468	38 Sr стронцій 87,62	39 Y іттрій 88,906	40 Zr цирконій 91,224	41 Nb ніобій 92,906	42 Mo молибден 95,94	43 Tc технецій [99]	44 Ru рутений 101,07	45 Rh родій 102,906	46 Pd паладій 106,4
7	47 Ag срібло 107,868	48 Cd кадмій 112,411	49 In індій 114,818	50 Sn олово 118,710	51 Sb сур'як 121,76	52 Te телуриум 127,6	53 I йод 126,905	54 Xe ксенон 131,3		
8	55 Cs цезій 132,905	56 Ba барій 137,327	57-71 лантаноїди	72 Hf hafnium 178,49	73 Ta тантал 180,948	74 W вольфрам 183,84	75 Re рений 186,207	76 Os осій 190,23	77 Ir іридій 192,22	78 Pt платина 195,084
9	79 Au золото 196,967	80 Hg ртуть 200,59	81 Tl талій 204,37	82 Pb свинець 207,19	83 Bi віскіт 208,98	84 Po полоній [209]	85 At астат [210]	86 Rn радон [222]		
7 10	87 Fr франції [223]	88 Ra радію [226]	89-103 актиноїди	104 Rf резерфордій [261]	105 Db дубній [262]	106 Sg сіборгій [263]	107 Bh борій [264]	108 Hn ханній [265]	109 Mt метерій [266]	110 Ds дубній [269]
<p>ВІСШІЕ ОКСИДЫ R<sub>2</sub>O RO R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> RO<sub>2</sub> R<sub>2</sub>O<sub>5</sub> RO<sub>3</sub> R<sub>2</sub>O<sub>7</sub></p> <p>ЛЕГУЮЩИЕ ВОДОРОДНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ RH<sub>4</sub> RH<sub>3</sub> H<sub>2</sub>R HR</p>										



Д.И. Менделеев  
1834-1907

СИМВОЛ ЭЛЕМЕНТА  
ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР

**Rb 37**  
РУБИДИЙ  
85,468  
НАЗВАНИЕ ЭЛЕМЕНТА  
ОТНОСИТЕЛЬНАЯ АТОМНАЯ МАССА

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ ПО СЛОЯМ

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

ЛАНАНОИДЫ

57 La лантан 138,905	58 Ce церий 140,257	59 Pr прозермий 140,908	60 Nd неодим 144,242	61 Pm прометий [145]	62 Sm самарий 150,36	63 Eu европий 151,964	64 Gd гадолиний 157,25	65 Tb тербій 158,925	66 Dy диспроцій 162,50	67 Ho гольмій 164,930	68 Er єрцій 167,26	69 Tm тульмій 168,934	70 Yb йtterbium 173,054	71 Lu лютецій 174,967
----------------------------	---------------------------	-------------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------	-----------------------------	------------------------------	----------------------------	------------------------------	-----------------------------	--------------------------	-----------------------------	-------------------------------	-----------------------------

АКТИНОИДЫ

89 Ac актиній [227]	90 Th торій 232,038	91 Pa проактиній [231]	92 U ураній 238,029	93 Np нептуній [237]	94 Pu плутоній [244]	95 Am амерцій [243]	96 Cm курцій [247]	97 Bk беркелій [247]	98 Cf кальфорній [251]	99 Es эйзенштейний [252]	100 Fm фермій [257]	101 Md мелендий [258]	102 No нобелій [259]	103 Lr люрецій [260]
---------------------------	---------------------------	------------------------------	---------------------------	----------------------------	----------------------------	---------------------------	--------------------------	----------------------------	------------------------------	--------------------------------	---------------------------	-----------------------------	----------------------------	----------------------------

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/МБ/ОК18 -2023
	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 98 / 98</i>

## РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

### *Основна література*

1. Скиба Г.В., Герасимчук О.Л., Корбут М.Б., Кірейцева Г.В. Аналітична хімія природного середовища: навч. посібник. Житомир: Державний університет "Житомирська політехніка", 2022. 164 с.
2. Аналітична хімія: навчальний посібник / Кичкирук О.Ю., Шляніна А.В., Кусяк Н.В. Житомир: Вид-во ЖДУ імені Івана Франка. 2022. 242 с.
3. CRC Handbook of Basic Tables for Chemical Analysis Data-Driven Methods and Interpretation / [Thomas J. Bruno](#), [Paris D.N. Svoronos](#). Published by CRC Press. 2020. 559 p.
4. Sharma B.K. Instrumental Methods of Chemical Analysis. Krishna Prakashan Media, 2005. 574 p.  
[https://books.google.lk/books?id=igR\\_jsqfcowC&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false](https://books.google.lk/books?id=igR_jsqfcowC&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false)
5. Демчук Л.І., Нонік Л.Ю., Войналович І.М., Скиба Г.В. Оцінка можливостей використання сорбентів при очищенні стічних вод . Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова. № 1 (493) 2024. с.151-158.
6. Skyba G, Kolodii M. Quantitative assessment of water quality in the Vidsichne reservoir (Zhytomyr, Ukraine). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 4th International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technology, Social and Economic Matters (ICSF-2023) 22/05/2023 - 26/05/2023 / Kryvyi Rih, Ukraine. 2023. Vol.1254. P. 012084

### *Допоміжна література*

1. Аналітична хімія (якісний аналіз): Навчальний посібник / Г. О. Сирова, В. М. Петюніна, Л. В. Лук'янова, Т. С. Тішакова, О. В. Савельєва. Харків. 2019. 131 с.
2. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.10- 05.02/2/103.00.1/МБ/ОК18 -2023
	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 98 / 99</i>

«Аналітична хімія з інструментальними методами аналізу» Частина II. Оптичні методи аналізу. Методи розділення та концентрування для студентів всіх спеціальностей ІХТФ. / Укладачі: Ракіпов І.М., Цимбал І.П., Пономарьова Л.А. Одеса, «Одеська політехніка». 2022. 39 с.

3. I.G. Kotsiuba, G.V. Skyba, I.A. Skuratovskaya, S.M. Lyko. Ecological Monitoring of Small Water Systems: Algorithm, Software Package, the Results of Application to the Uzh River Basin (Ukraine). Methods and objects of chemical analysis, Volume 14, No.4, 2019. P. 200-207.

4. Єльнікова Т.О., Коцюба І.Г., Герасимчук О.Л., Скиба Г.В. Дослідження екологічного стану річки Ірша. Водні біоресурси та аквакультура. Херсон. 2021. Вип. 1 (9). С. 18-26.

5. Пачкурний Д.О., Скиба Г.В. Дослідження самоочисної здатності річки Тетерів. Тези Всеукраїнської наукової конференції здобувачів вищої освіти і молодих вчених "Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції» 30 листопада 2022 року. Житомир: "Житомирська політехніка", 2022. С. 41.

6. Скиба Г. Ефективність використання окисників для зменшення фітотоксичної дії залишків гербіцидів у ґрунті. Abstracts of VI International Scientific and Practical Conference. Warsaw, Poland. 13-15 лютого, 2023. Рр. 19-213.

7. Корбут М.Б., Мальований М. С., Давидова І.В., Скиба Г.В. Оцінювання звалищ твердих побутових відходів на гідрохімічний режим прилеглих територій (на прикладі полігону Житомирської територіальної громади). Науковий вісник НЛТУ України. 2023. Т. 23. №3. С. 40-45.

### **Інформаційні ресурси в Інтернеті**

1. Атлас мікрокристалічних реакцій катіонів І аналітичної групи: [https://drive.google.com/open?id=1ipTfVtt\\_idmCZqHq2i2vEwD86q\\_WHrOt](https://drive.google.com/open?id=1ipTfVtt_idmCZqHq2i2vEwD86q_WHrOt)

2. Наукова бібліотека Державного університету «Житомирська політехніка» (адреса: м. Житомир, вул. Чуднівська 103, режим доступу: <https://lib.ztu.edu.ua/>)