

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/E2.00.1/Б/ОК13 -_1_2025
	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 99 / 1</i>

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Державного університету
«Житомирська політехніка»
Протокол від 21 жовтня 2025
р. № 6

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ для проведення лабораторних занять з навчальної дисципліни

«Біогеохімія та аналітична хімія»

для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «бакалавр»
спеціальності: Е2 «Екологія»

освітньо-професійна програма «Екологія»
факультет гірничої справи, природокористування та будівництва
кафедра екології та природоохоронних технологій

Рекомендовано на засіданні
кафедри наук про Землю
25 серпня 2025 р., протокол
№ 8

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

Житомир
2025

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 93 / 2</i>

Методичні рекомендації для проведення лабораторних занять з дисципліни «Біогеохімія та аналітична хімія» для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності Е2 «Екологія» освітньо-професійна програма «Екологія». Житомир: Державний університет «Житомирська політехніка», 2025. 93 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 «Біогеохімія та аналітична хімія» а також завдання для самостійної роботи.

Рецензенти:

к. п. н., доцент 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 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 3

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
Методичні вказівки до оформлення і захисту лабораторних робіт.....	5
Загальні правила безпеки, застережні заходи під час роботи в хімічній лабораторії	7
• <i>Лабораторна робота №1 Властивості простих і складних речовин</i>	9
• <i>Лабораторна робота №2 Хімічна кінетика і рівновага</i>	21
• <i>Лабораторна робота №3 Розчини. Приготування розчинів.....</i>	30
• <i>Лабораторна робота №4 Розчини електролітів. Електролітична дисоціація.....</i>	40
• <i>Лабораторна робота №5 Окисно-відновні реакції. Електрохімічні процеси</i>	49
• <i>Лабораторна робота №6 Якісний аналіз. Аналітична кислотно-основна класифікація катіонів</i>	55
• <i>Лабораторна робота №7 Кількісний аналіз. Методи кількісного аналізу. Окремі методики визначення хімічних елементів</i>	72
• <i>Лабораторна робота №7(1) Визначення кристалізаційної води в кристалогідраті барій хлориду.....</i>	75
• <i>Лабораторна робота №7(2)Титриметричний аналіз. Метод нейтралізації.....</i>	77
• <i>Лабораторна робота №8 Фізико-хімічні методи аналізу. Фотоколориметрія.....</i>	81
• <i>Лабораторна №9 Характеристика хімічного складу природних вод. Визначення окиснюваності води</i>	85
ДОДАТКИ.....	87

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 4

Вступ

Програма курсу «Біогеохімія та аналітична хімія» визначає задачі і місце дисципліни в системі природничих наук. Дисципліна «Біогеохімія та аналітична хімія» 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 та біогеохімії.

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

Кожний з лабораторних робіт передувє 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 «Біогеохімія та аналітична хімія» 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 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 5

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.

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

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 6

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	Заважачі 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 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 7

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

Дотримування 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, захарашувати проходи сумками;
- 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;

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 8

– досліді 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;

– визначати речовину за запахом наступним чином – легким рухом долоні над отвором посудини спрямовувати 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, витяжну 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 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 9

Лабораторна робота № 1

Властивості простих і складних речовин

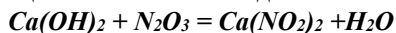
Короткі теоретичні відомості

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

Оксидами називаються бінарні оксигеновмісні сполуки, в яких Оксиген виявляє негативний ступінь окиснення. Отже, до оксидів належать майже всі бінарні сполуки елементів з Оксигеном, крім сполуки Оксигену з Флуором OF_2 . Ця сполука відноситься до фторидів, оскільки Оксиген в ній має ступінь окиснення +2. За хімічними властивостями оксиди поділяються на солетворні і несолетворні. Солетворні в свою чергу поділяються на основні, кислотні та амфотерні.

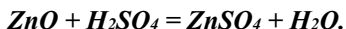
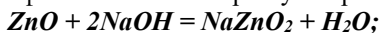
Основними оксидами називаються оксиди, гідрати яких є основними. До основних оксидів належать оксиди металів (не всі): Li_2O , Na_2O , K_2O , MnO , CrO , BaO , CaO та інші. Основні оксиди здатні реагувати з ангідридами кислот та кислотами і не реагують з основними оксидами та основами.

Кислотними оксидами називаються оксиди, які з водою утворюють кислоти. Тому кислотні оксиди часто називають ангідридами кислот. До кислотних оксидів належать V_2O_5 , CrO_3 , MnO_3 , SO_3 , CO_2 тощо. Кислотні оксиди не взаємодіють між собою і з кислотами, вступають у реакції з основними оксидами та основами. Наприклад:



В результаті таких реакцій утворюються солі.

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

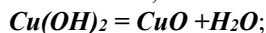
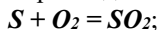


До амфотерних оксидів належать: Al_2O_3 , ZnO , Cr_2O_3 , BeO , SnO , SnO_2 тощо. Амфотерні оксиди у воді не розчиняються.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 10

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

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

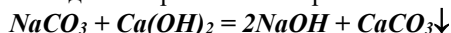


Існує декілька номенклатурних правил оксидів. Якщо елемент утворює кілька оксидів, то в їх назвах, згідно з номенклатурними правилами ІЮПАК, зазначають ступінь окиснення електропозитивного елемента римською цифрою в дужках після назви сполуки. Наприклад: FeO - ферум (II) оксид, Fe₂O₃ - ферум (III) оксид, CuO - купрум (II) оксид, Cu₂O - купрум (I) оксид.

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

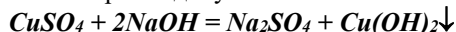
Число гідроксильних груп у молекулі основи відповідає валентності металу і визначає кислотність основи. Наприклад, NaOH – однокислотна основа; Ca(OH)₂ – двокислотна основа.

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

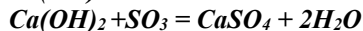
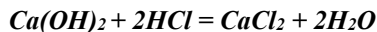


У лабораторних умовах луги можна добути також дією на воду лужними і лужноземельними металами або їхніми оксидами.

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



Основи взаємодіють з кислотами та кислотними оксидами з утворенням солей:



За номенклатурними правилами ІЮПАК речовини, які містять OH-групи називаються гідроксидами. Якщо елемент утворює декілька

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 11

гідроксидів, то в його назві позначають ступінь окиснення металу римською цифрою в дужках після назви гідроксиду: $\text{Cu}(\text{OH})_2$ - купрум (II) гідроксид, $\text{Fe}(\text{OH})_2$ - ферум (II) гідроксид, $\text{Fe}(\text{OH})_3$ - ферум (III) гідроксид. Існують також інші назви гідроксидів: $\text{Fe}(\text{OH})_2$ - ферум дигідроксид тощо.

Кислотами називаються сполуки, що містять у молекулах атоми Гідрогену, здатні заміщуватись на атоми металу з утворенням солей. За кількістю таких атомів Гідрогену у кислоті визначається основність кислоти: HCl - одноосновна кислота, H_2SO_4 - двохосновна кислота, H_3PO_4 - трьохосновна тощо.

За міжнародною номенклатурою назви безосигеновмісних кислот складаються з назви елемента чи групи атомів, які утворюють кислоту та слова „гідроген” з додаванням суфікса –ід або –ид. HCl – гідроген хлорид, HBr – гідроген бромід, H_2S – дигідроген сульфід.

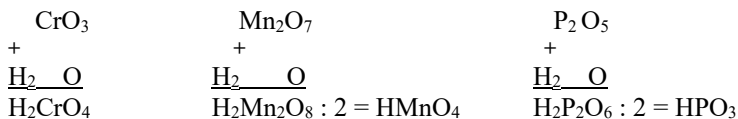
За міжнародною номенклатурою назва оксигеновмісних кислот складається за наступною схемою: при утворенні назви кислоти до кореня латинського найменування елемента додають:

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

Наприклад:

HNO_2 –	нітритна кислота;	HNO_3 –	нітратна кислота;
H_2SO_4 –	сульфатна кислота;	H_2SO_3 –	сульфітна кислота;
H_2CrO_4	хроматна кислота;	H_2CO_3 –	карбонатна кислота;

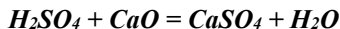
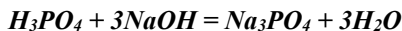
Для складання формули кислоти із відповідного ангідриду (оксиду), необхідно до формули ангідриду додати воду:



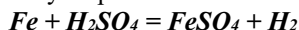
Хімічні властивості кислот.

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

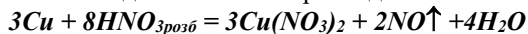
Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 12



2. Водні розчини розбавлених кислот (крім нітратної) реагують з металами, які стоять в ряду активностей лівіше гідрогену, з витісненням H_2 та з утворенням солей. Наприклад:



3. З концентрованою H_2SO_4 та HNO_3 (розбавленою та концентрованою) метали взаємодіють без виділення H_2 . Наприклад:



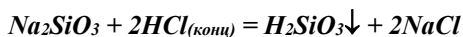
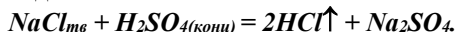
4. Розчини кислот кислі на смак, замінюють колір індикаторів: синього лакмусу – на червоний, метилоранжевого – на червоний.

Способи одержання кислот.

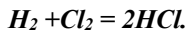
1. Взаємодія ангідридів кислот з водою. Наприклад:



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



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



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

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

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

При складанні загальних формул середніх солей необхідно сполучити атоми металу та кислотні залишки в молекулу солі так, щоб

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10-05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 13

сумарний заряд атомів металу був рівний за величиною сумарному заряду кислотних залишків.

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

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

Основні солі є продуктами неповного заміщення гідроксильних груп в основах на кислотні залишки. Однокислотні основи (**$NaOH$** , **KOH**) містять лише одну гідроксильну групу, яка може заміщуватись на кислотний залишок. Тому такі основи основних солей не утворюють.

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

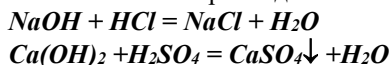
Приклади основних солей та їх назв: **$Fe(OH)_2Cl$** – ферум дигідроксохлорид, **$FeOHCl_2$** – ферум гідроксохлорид, **$(MgOH)_2SO_4$** – димагній дигідроксосульфат і т. д.

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

Змішані солі містять два аніони різних кислот та катіон одного металу. Наприклад: $Cl - Ca - OCl$ або $CaOCl_2$.

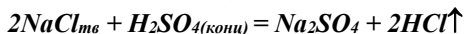
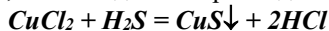
Способи одержання солей.

1. Взаємодія кислот з основами. Наприклад:

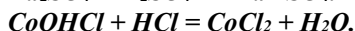


Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 14

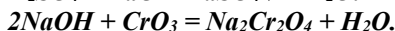
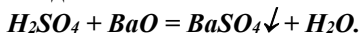
2. Взаємодія кислот з солями. Для здійснення цієї реакції необхідно, щоб сіль, яка утворюється випадала в осад, або щоб нова кислота була більше летючою, ніж вихідна. Наприклад:



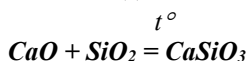
При дії надлишку кислоти на середні солі цим методом одержують кислі солі, переводять основні солі в середні. Наприклад:



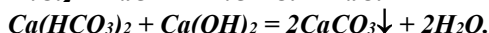
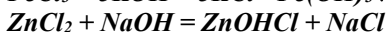
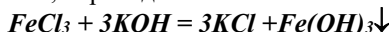
3. Взаємодією кислот з основними оксидами та лугами – з кислотними оксидами. Неприклад:



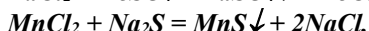
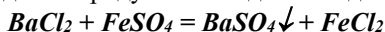
4. Взаємодією основних оксидів з кислотними. Наприклад:



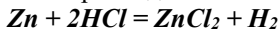
5. Взаємодія основ з солями. Цим методом одержують середні солі, інші основи, основні солі, переводять кислі солі в основні. Наприклад:



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



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



Експериментальна частина

Прилади та реактиви: сірка, магнієві ошурки, металічний цинк, розчин лакмусу H_2SO_4 ($\rho = 1,84$), розчини: CuSO_4 , $\text{Cu}(\text{OH})_2$, NaOH , H_2SO_4 (1:5), $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$, K_2SO_4 ; дистильована вода, хімічні стакани (100 - 200мл), колба (300мл), пробірки, лійка, фарфорова чашка,

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/E2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 15

фільтрувальний папір, апарат Кіппа, технічні терези, набір наважків, пальник, сушильна шафа.

Дослід №1 Добування оксидів SO_2 , MgO , безпосереднім окисненням сірки та магнію.

Порядок виконання роботи:

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

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

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

Порядок виконання роботи:

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

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

Дослід №3 Взаємодія натрію з водою

Порядок виконання роботи:

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

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

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/E2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 16

Дослід №4 **Одержання карбон(IV) оксиду та його властивості.**

Порядок виконання роботи. Приготувати пробірку з розчином метилоранжу (5 – 6 крапель). В колбу покласти 3 – 4 кусочки крейди. Закріпити колбу в штативі, додати до неї 5 крапель води та 10 крапель концентрованої HCl. Швидко закрити колбу пробкою з газовідвідною трубкою. Кінець трубки опустити в пробірку з індикаторним розчином метилоранжу і пропускати газ 2 – 3 хвилини. Відмітити зміну кольору індикатора.

Запис даних дослід. Описати пророблену роботу, намалювати прилад. Написати схему рівноваги, яка встановилась у водному розчині карбон(IV) оксиду. Як зміститься ця рівновага при додаванні в розчин луку? Кислоти? Вказати причину зміщення рівноваги в кожному випадку.

Дослід №5 **Одержання нерозчинних ферум (II) і нікель (II) гідроксидів.**

Порядок виконання роботи.

В дві пробірки помістити по дві краплі розчинів солей феруму та нікелю двовалентних. Додати надлишок (4 краплі) розчину луку. Чи спостерігається розчинення осадів в надлишку луку? Зробити висновок про кислотно-основні властивості гідроксидів феруму(II) і нікелю(II).

Запис даних дослід. Написати рівняння реакції одержання нерозчинних гідроксидів. Зробити висновок.

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

Порядок виконання роботи.

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

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

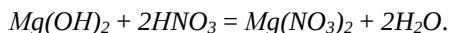
Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 17

Приклади розв'язання

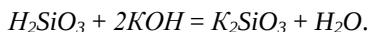
Приклад 1. Напишіть формули гідроксидів, які відповідають оксидам MgO , Al_2O_3 , SiO_2 . Охарактеризуйте їх хімічні властивості складанням рівнянь відповідних реакцій.

Розв'язок. Основному оксиду MgO відповідає основа – магній гідроксид $Mg(OH)_2$.

Основи реагують з кислотами, утворюючи солі і воду (реакція нейтралізації):



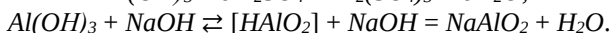
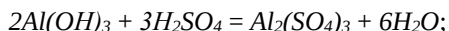
Кислотному оксиду SiO_2 відповідає силікатна кислота H_2SiO_3 . Кислоти реагують з лугами (реакція нейтралізації), утворюючи солі і воду:



Амфотерному оксиду Al_2O_3 відповідає амфотерний гідроксид $Al(OH)_3$. Цю формулу можна записати і як формулу кислоти, розкривши дужки:

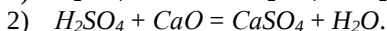


Амфотерні гідроксиди реагують з кислотами і лугами, утворюючи солі:

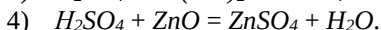
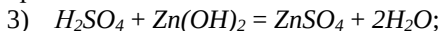


Приклад 2. Які з приведених речовин реагують з сульфатною кислотою: 1) KOH ; 2) CaO ; 3) $Zn(OH)_2$; 4) ZnO ; 5) $ZnOHCl$; 6) Na_2SiO_3 ?

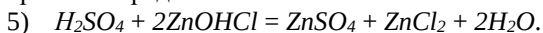
Розв'язок. Сульфатна кислота взаємодіє з лугом KOH , основним оксидом CaO , утворюючи солі:



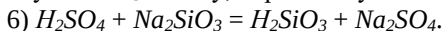
H_2SO_4 реагує з амфотерними гідроксидом $Zn(OH)_2$ і оксидом ZnO , утворюючи солі:



H_2SO_4 реагує з основною сіллю – гідроксохлоридом цинку, утворюючи середні солі:

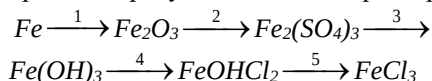


H_2SO_4 – сильна кислота; вона витісняє з розчину солі натрій силікату Na_2SiO_3 слабку, нерозчинну силікатну кислоту:



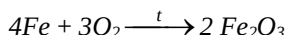
Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 18

Приклад 3. Скласти рівняння ряду послідовних перетворень:

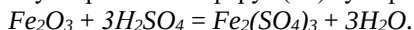


Розв'язок.

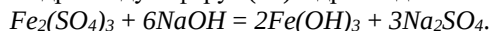
1. Проста речовина Fe реагує з киснем при нагріванні, утворюючи ферум(III) оксид (Fe_2O_3):



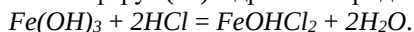
2. Ферум(III) оксид має слабкі амфотерні властивості; з сульфатною кислотою утворює сіль – ферум(III) сульфат:



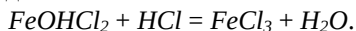
3. При дії на розчин $Fe_2(SO_4)_3$ лугу – (гідроксиду натрію) випадає осад амфотерного гідроксиду – ферум(III) гідроксид:



4. При неповній нейтралізації $Fe(OH)_3$ соляною кислотою утворюється основна сіль – ферум(III) гідроксохлорид:



5. При повній нейтралізації основної солі утворюється середня сіль – ферум(III) хлорид:



Приклад 4. Сірководень утворюється внаслідок гниття органічних решток, особливо багато його утворюється під час гниття яєчного білка. Встановіть формулу сірководню, коли відомо, що масові частки Гідрогену і Сульфуру відповідно становлять: 5,88 % та 94,12 %.

Розв'язок:

Дано:

$\omega(H) = 5,88 \%$

$\omega(S) = 94,12 \%$

$H_xS_y = ?$

$A - H_xS_y$

$x : y = \nu(H) : \nu(S)$

Нехай (A) = 100г, тоді $m(H) = 5,88г$, $m(S) = 94,12г$.

$$\nu = \frac{m}{Mr}$$

$Mr(H) = 1 \text{ г/моль}, \quad Mr(S) = 32 \text{ г/моль}.$

$$\nu(H) = \frac{5,88}{1 \text{ г/моль}} = 5,88 \text{ моль} \quad \nu(S) = \frac{94,12}{32 \text{ г/моль}} = 2,94 \text{ моль}$$

$$x : y = 5,88 : 2,94 = 2 : 1$$

Відповідь: формула сірководню – H_2S .

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 19

Приклад 5. Рідкий амоніак використовують у холодильних установках для створення штучного холоду. Встановить його формулу, коли відомо, що масова частка Нітрогену дорівнює 82,35 %, а Гідрогену 17,65 %

Розв'язок:

Дано:

$\omega(N) = 82,35 \%$

$\omega(H) = 17,65 \%$

$N_xH_y - ?$

$A - N_xH_y$

$x : y = \nu(N) : \nu(H)$

Нехай $m(A) = 100\text{г}$, тоді

$m(N) = 82,35 \text{ г}$, $m(H) = 17,65 \text{ г}$.

$M_r(N) = 14 \text{ г/моль}$, $M_r(H) = 1 \text{ г/моль}$.

$\nu(N) = \frac{82,35}{14 \text{ г/моль}} = 5,88 \text{ моль}$, $\nu(H) = \frac{17,65}{1 \text{ г/моль}} = 17,65 \text{ моль}$;

$x : y = 5,88 : 17,65 = 1 : 3$

Відповідь: формула амоніаку – NH_3 .

Запитання для самоконтроля

1. Назвати нижче перераховані сполуки. До яких класів вони належать? P_2O_3 ; P_2O_5 ; PH_3 ; HPO_3 ; H_3PO_4 ; K_3PO_4 ; $H_4P_2O_7$; $Ca_3(PO_4)_2$; Na_2HPO_4 ; $Cr(H_2PO_4)_2$; $MgNH_4PO_4$.
2. Які оксиди можна добути нагріванням таких речовин: H_2SiO_3 , $Pb(NO_3)_2$, $Fe(OH)_3$, $CaCO_3$? Напишіть рівняння реакцій і назвіть хімічні сполуки.
3. З якими з перелічених нижче оксидів реагуватиме соляна кислота: SiO_2 , CuO , SO_2 , Fe_2O_3 , P_2O_5 , CO_2 , ZnO , K_2O ? Напишіть можливі рівняння реакцій і назвіть всі речовини.
4. Які з наведених нижче гідроксидів розчиняються в лугах: $Ca(OH)_2$, $Sn(OH)_2$, $Fe(OH)_3$, $Fe(OH)_2$, $Mg(OH)_2$, $Al(OH)_3$, $Zn(OH)_2$. Напишіть рівняння можливих реакцій і назвіть продукти реакцій.
5. Які кислоти можуть утворитися при безпосередній взаємодії з водою оксидів, назвіть їх: P_2O_5 , CO_2 , CrO_3 , SO_2 ?
6. Напишіть рівняння таких реакцій і назвіть продукти реакцій за міжнародною номенклатурою:
 - 1) $Ag_2O + HNO_3 = \dots$;
 - 2) $Cr_2O_3 + H_2SO_4 = \dots$;
 - 3) $Zn + AgNO_3 = \dots$;
 - 4) $Ca(OH)_2 + P_2O_5 = \dots$;
 - 5) $CaO + SiO_2 = \dots$;
 - 8) $NaOH + CH_3COOH = \dots$;
 - 9) $Al_2O_3 + H_2SO_4 = \dots$;
 - 10) $Mg(OH)_2 + P_2O_5 = \dots$;
 - 11) $NaOH + Al_2O_3 = \dots$;
 - 12) $Zn(OH)_2 + NaOH = \dots$;

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 20

- 6) $Pb(NO_3)_2 + ZnSO_4 = \dots$; 13) $CaCl_2 + Na_2CO_3 = \dots$;
 7) $Al(SO_4)_3 + Na_3PO_4 = \dots$; 14) $Al(SO_4)_3 + Na_3PO_4 = \dots$.
 7. За допомогою яких реакцій можна добути $CuCl_2$, виходячи із $Cu(NO_3)_2$? Напишіть відповідні рівняння реакцій.
 8. Виконайте перетворення, записавши рівняння реакцій та назвіть продукти за міжнародною номенклатурою:

- 1) $Ca \rightarrow CaO \rightarrow Ca(OH)_2 \rightarrow CaSO_4$
 $\downarrow$
 $Ca(HCO_3)_2$
 2) $FeS_2 \rightarrow SO_2 \rightarrow SO_3 \rightarrow H_2SO_4 \rightarrow NaHSO_4 \rightarrow Na_2SO_4$
 3) $Zn \rightarrow ZnO \rightarrow Zn(NO)_2 \rightarrow Zn(OH)_2 \rightarrow Na_2ZnO_2 \rightarrow ZnCl_2$
 4) $N_2 \rightarrow NH_3 \rightarrow NO \rightarrow NO_2 \rightarrow HNO_3 \rightarrow NH_4NO_3$
 5) $Cu \rightarrow Cu(NO_3)_2 \rightarrow CuO \rightarrow CuSO_4 \rightarrow Cu(OH)_2$
 6) $C \rightarrow CO \rightarrow CO_2 \rightarrow CaCO_3 \rightarrow Ca(HCO)_2$
 7) $Fe \rightarrow FeCl_2 \rightarrow Fe(OH)_2 \rightarrow Fe(OH)_3 \rightarrow Fe_2O_3$
 8) $P_4 \rightarrow P_2O_5 \rightarrow HPO_3 \rightarrow H_3PO_4 \rightarrow Ca(H_2PO_4)_2$
 9) $Cl_2 \rightarrow HCl \rightarrow NaCl \rightarrow AgCl \rightarrow [Ag(NH_3)_2]Cl$
 10) $S \rightarrow FeS \rightarrow H_2S \rightarrow SO_2 \rightarrow Na_2SO_3 \rightarrow Na_2SO_4 \rightarrow BaSO_4$
 11) $S \rightarrow SO_2 \rightarrow SO_3 \rightarrow H_2SO_4 \rightarrow Fe_2(SO_4)_3$
 $\downarrow \quad \uparrow \quad \downarrow$
 $PbS \quad Na_2SO_4 \rightarrow NaHSO_4$
 12) $S \rightarrow H_2S \rightarrow SO_2 \rightleftharpoons K_2SO_3 \rightarrow Na_2SO_4 \rightarrow BaSO_4$
 $\downarrow \quad \uparrow \quad \downarrow$
 $K_2S \rightarrow KHS \quad KHSO_3$
 13) $N_2 \rightarrow NH_3 \rightarrow NO \rightarrow NO_2 \rightarrow HNO_3 \rightarrow NH_4NO_3$
 $\uparrow \quad \downarrow$
 NH_4NO_3
 14) $NO_2 \rightarrow HNO_3 \rightarrow Ba(NO_3)_2 \rightarrow KNO_3$
 15) $C \rightarrow CO_2 \rightarrow Na_2CO_3 \rightarrow NaHCO_3 \rightarrow CO_2$
 $\downarrow \quad \downarrow$
 $Ca(HCO_3)_2 \leftarrow CaCO_3$
 16) $Ca(HCO_3)_2 \rightarrow CaCO_3 \rightarrow CO_2 \rightarrow CaCO_3 \rightarrow CaO \rightarrow CaSO_4$
 $\downarrow$
 $Ca(NO_3)_2 \rightarrow CaO \rightarrow Ca_3(PO_4)_2$
 17) $C \rightarrow CO \rightarrow CO_2 \rightarrow H_2CO_3 \rightarrow K_2CO_3 \rightarrow KHCO_3 \rightarrow K_2CO_3 \rightarrow CO_2$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/E2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 21

Лабораторна робота № 2. Хімічна кінетика і рівновага.

Короткі теоретичні відомості

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

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

$$A + B = E + D$$

$$v = \frac{\Delta C}{\Delta t},$$

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

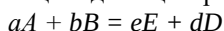
C_1, C_2 – концентрації (початкова і кінцева), моль/л;

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

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

Фактори, що впливають на швидкість реакції:

- природа реагуючих речовин;
 - концентрація;
 - температура;
 - каталізатор;
 - тиск (для газів);
 - ступінь подрібнення (для твердих речовин).
- Залежність швидкості реакції від концентрації.



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

C_A – концентрація компонента А;

C_B – концентрація компонента В;

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

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

k – константа хімічної реакції.

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

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 22

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

$$aA_{(тв.)} + bB = eE + dD$$

$$v = k \cdot C_B$$

Вплив температури на швидкість реакції.

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

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

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

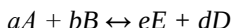
γ – температурний коефіцієнт швидкості реакції.

Хімічна рівновага

Хімічна рівновага відноситься до оборотних процесів.

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

Концентрації речовин в стані рівноваги називаються рівноважними.



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

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

$$v_1 = v_2$$

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

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

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

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

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 23

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

Експериментальна частина

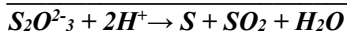
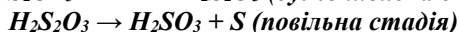
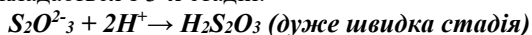
Дослід №1 Залежність швидкості реакції від концентрації реагуючих речовин

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

Натрій тіосульфат розкладається в розчині сульфатної кислоти за рівнянням:



Реакція складається з 3-х стадій:



Швидкість сумарного процесу визначається швидкістю повільної другої стадії.

Порядок виконання роботи.

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

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -_1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 24

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

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

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

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

Таблиця 1

№ пробірки	Об'єм, мл			$C_{Na_2S_2O_3}$, моль/л	Час появи помутніння τ , с	$v_{ум.} = 1/\tau$, $с^{-1}$ 0,0000
	$Na_2S_2O_3$ (а)	H_2O (б)	H_2SO_4 (в)			
1	1	4	5	0,01		-
2	2	3	5	0,02		-
3	3	2	5	0,03		-
4	4	1	5	0,04		-
5	5	0	5	0,05		-

Дослід №2 Залежність швидкості реакції від температури

В три пробірки налейте по 5 мл 0,1М $Na_2S_2O_3$, а в три інші – по 5 мл 1М H_2SO_4 . Поміщають всі пробірки в стакан з водою і через 5-7 хвилин, замірявши температуру води в стакані, зливають разом вміст однієї пари пробірок з $Na_2S_2O_3$ і H_2SO_4 . Поміщують цю пробірку знову в стакан і визначають за секундоміром час до появи легкого помутніння. Наливають в стакан гарячої води так, щоб температура води підвищилась приблизно на $10^\circ C$ і знову витримують розчин при цій температурі 5-7 хвилин. Зливають вміст другої пари пробірок з $Na_2S_2O_3$ і H_2SO_4 і визначають час до появи помутніння. Дослід з третьою парою пробірок проводять при температурі приблизно на $10^\circ C$ вище від попередньої. Результати дослідів записують в таблицю 2.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 25

Таблиця 2

№ п/п	t, °C	T, K	Час появи помутніння, τ, с	$\nu_{\text{ум.}} = 1/\tau,$ с ⁻¹ ; 0,0000	X, 1/T, К ⁻¹ 0,0000	Y, lg $\nu_{\text{ум}}$
1					1/283	-
2					-	-
3					-	-

Побудуйте графік залежності логарифма швидкості реакції від зворотної величини абсолютної температури. З графіка визначте тангенс кута нахилу прямої і обчисліть енергію активації реакції: $\alpha = 10^\circ$, $R = 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$

$$E_a = 2,3 \cdot R \cdot \text{тга}$$

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

Приклади розв'язання задач

Приклад 1. Для гомогенної реакції:



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

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

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

$$K = \frac{[\text{H}_2] \cdot [\text{I}_2]}{[\text{HI}]^2} = 0,25.$$

Згідно рівняння реакції, з 2 моль HI повинна утворюватись половинна кількість, по 1 моль H_2 і I_2 . Якщо на момент рівноваги прореагувало x моль HI, то утворилось $x/2$ моль I_2 , а залишилось $2 - x$ моль HI.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 26

	$\text{HI}_{(г)}$	$\text{H}_{2(г)}$	$\text{I}_{2(г)}$
Початкові концентрації, моль/л	2	0	0
Рівноважні концентрації, моль/л	$2 - x$	$x/2$	$x/2$

Підставляємо рівноважні концентрації у вираз константи рівноваги:

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

Добуваючи квадратний корінь з обох частин рівняння, одержимо:

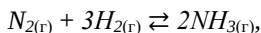
$$0,5 = \frac{0,5x}{2-x}; \quad x=1.$$

Рівноважні концентрації:

$$[\text{H}_2]_{\text{рівн.}} = [\text{I}_2]_{\text{рівн.}} = \frac{x}{2} = \frac{1}{2} = 0,5 \text{ моль/л.}$$

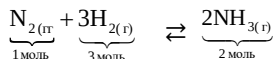
$$[\text{HI}]_{\text{рівн.}} = 2 - 1 = 1 \text{ моль/л.}$$

Приклад 2. В системі:



рівноважні концентрації речовин склали $[\text{N}_2]_{\text{рівн.}} = 4$ моль/л, $[\text{H}_2]_{\text{рівн.}} = 10$ моль/л, $[\text{NH}_3]_{\text{рівн.}} = 4$ моль/л. Обчисліть початкові концентрації водню і азоту.

Розв'язок. З рівняння реакції:



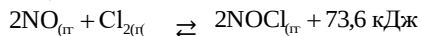
видно, що 2 моль NH_3 утворюються з 1 моль N_2 . Тоді 4 моль утворились з 2 моль N_2 . Початкова концентрація азоту дорівнює:

$$[\text{N}_2]_{\text{поч.}} = [\text{N}_2]_{\text{рівн.}} + 2 = 4 + 2 = 6 \text{ моль/л.}$$

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

$$[\text{H}_2]_{\text{поч.}} = [\text{H}_2]_{\text{рівн.}} + 6 = 10 + 6 = 16 \text{ моль/л.}$$

Приклад 3. Для реакції:



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

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 27

Розв'язок. Вплив зовнішніх факторів на стан рівноваги узагальнює принцип *Ле-Шательє*: якщо на рівноважну систему діють зовнішні фактори, то рівновага зміщується в сторону реакції, яка ослаблює дію зовнішніх факторів.

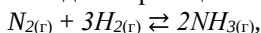
1. При збільшенні концентрацій рівновага зміщується в сторону реакції, яка проходить із зменшенням кількості моль газів, при зменшенні концентрацій – навпаки.

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

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

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

Приклад 4. Як зміниться швидкість реакції:



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

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

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

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

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

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

$$v_{\text{пр.}} = k_1[N_2][H_2]^3.$$

Початкова швидкість зворотної реакції:

$$v_{\text{зв.}} = k_2[NH_3]^2.$$

Після збільшення концентрації в 2 рази швидкість прямої концентрації складе:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 28

$$v_{\text{пр.}}^1 = k_1[2\text{N}_2][2\text{H}_2]^3 = 16 k_1[\text{N}_2][\text{H}_2]^3,$$

а швидкість зворотної реакції буде дорівнювати:

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

Швидкість прямої реакції зростає в:

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

Швидкість зворотної реакції зростає в:

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

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

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

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

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

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

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

Завдання для самоконтроля

- Вказати, якими змінами концентрацій реагуючих речовин можна змістити вправо рівновагу реакції $\text{CO}_{2(\text{г.})} + \text{C}_{(\text{графіт})} \rightleftharpoons 2\text{CO}_{(\text{г.})}$.
- В якому напрямку зміститься рівновага реакції $\text{A}_{2(\text{г.})} + \text{B}_{2(\text{г.})} \rightleftharpoons 2\text{AB}_{(\text{г.})}$, якщо тиск збільшити в 2 рази і одночасно підвищити температуру на 10 градусів? Температурні коефіцієнти швидкості прямої і зворотної реакцій дорівнюють відповідно 2 і 3. Який знак ΔH° в цій реакції?
- Чому дорівнює швидкість хімічної реакції, якщо концентрація однієї з реагуючих речовин на початку реакції дорівнювала 1,2 моль/л, а через 50 хв. стала дорівнювати 0,3 моль/л.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 29

4. Початкова концентрація етилоцтового естеру при реакції омилення дорівнювала 0,02 моль/л. Через 25 хв. вона стала дорівнювати 0,0054 моль/л. Обчисліть швидкість реакції.
5. Температурний коефіцієнт реакції дорівнює 2. Як зміниться її швидкість:
 - а) при підвищенні температури від 60 до 100 °С;
 - б) при охолодженні суміші, яка реагує, від 50 до 30 °С;
 - в) при підвищенні температури від 80 до 140 °С.
6. Для реакції $\text{FeO}_{(к)} + \text{CO}_{(г.)} \rightleftharpoons \text{Fe}_{(к)} + \text{CO}_{2(г.)}$ константа рівноваги при деякій температурі дорівнює 0,5. Початкові концентрації CO і CO₂ відповідно дорівнюють 0,05 і 0,01 моль/л. Знайдіть їх рівноважні концентрації.
7. Метанол одержують за реакцією $\text{CO}_{(г.)} + 2\text{H}_{2(г.)} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OH}_{(р.)}$; $\Delta H^\circ_{298} = -127,8$ кДж. Куди буде зміщуватись рівновага при підвищенні: а) температури, б) тиску?
8. Як вплине на вихід хлору в системі $4\text{HCl}_{(г.)} + \text{O}_{2(г.)} \rightleftharpoons 2\text{Cl}_{2(г.)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(р.)}$; $\Delta H^\circ_{298} = -202,4$ кДж:
 - а) підвищення температури в реакційній суміші;
 - б) зменшення загального об'єму суміші;
 - в) зменшення концентрації кисню;
 - г) збільшення об'єму реактору;
 - д) введення каталізатора?
9. Константа рівноваги системи $\text{H}_{2(г.)} + \text{I}_{2(г.)} \rightleftharpoons 2\text{HI}_{(г.)}$ при деякій температурі дорівнює 50. Яку кількість речовини H₂ потрібно взяти на 1 моль I₂, щоб 90 % залишку перевести в HI?
10. На скільки градусів необхідно підвищити температуру реакції, щоб її швидкість зросла у 20 разів, якщо температурний коефіцієнт швидкості реакції становить 3.
11. Температурний коефіцієнт швидкості певної реакції дорівнює 3. В скільки разів збільшиться швидкість цієї реакції, якщо підвищити температуру на 30 градусів?
12. Через деякий час після початку реакції

$$3\text{A}_{(г.)} + \text{B}_{(г.)} \rightleftharpoons 2\text{C}_{(г.)} + \text{D}_{(г.)}$$
 концентрації речовин складають: $[\text{A}] = 0,03$ моль/л; $[\text{B}] = 0,01$ моль/л; $[\text{C}] = 0,008$ моль/л. Які початкові концентрації речовин А і В?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 30

Лабораторна робота № 3.

Розчини. Приготування розчинів.

Короткі теоретичні відомості

Розчини цілком однорідні суміші з двох (або кількох) речовин, в яких молекули (або іони) одної речовини рівномірно розподілені між молекулами іншої речовини. У розчинах протікає багато природних і промислових процесів. З ними пов'язане формування покладів ряду корисних копалин, їх видобування і переробка, розділення речовин, глибоке очищення тощо.

Розчин – гомогенна, термодинамічно стійка система змінного хімічного складу, яка складається з розчиненої речовини, подрібненої до розмірів окремих молекул або іонів та розчинника.

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

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

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

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

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

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

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

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 31

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

3. Молярна концентрація C_M або полярність M виражається кількістю моль розчиненої речовини в 1 л розчину; має розмірність моль/л або моль/дм³, кмоль/м³

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

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

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

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

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

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

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

Осмотичний тиск розведеного молекулярного розчину π пропорційний його молярній концентрації C_M і температурі T

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

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

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

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 32

$$\frac{P_0 - P}{P_0} = N_{p.p.} = \frac{n_{p.p.}}{n_{p.p.} + n_{p-ка}} = \frac{m_{p.p.} / M_{p.p.}}{m_{p.p.} / M_{p.p.} + m_{p-ка} / M_{p-ка}};$$

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

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

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

$P_0 - P$ – пониження тиску пари;

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

Температури кипіння і замерзання (кристалізації) розчинів виражається 2-им законом Рауля:

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

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

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

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

Експериментальна частина

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

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

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

Таблиця 1

Густина водних розчинів натрій хлориду, г/см^3

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

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 33

3. Визначте масу даного розчину:

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

4. Визначте масу розчиненої речовини:

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

5. Визначте масу води для приготування заданого розчину:

$$m_6 = m_{p-ny} - m_{NaCl}, [г]$$

6. Зважте на терезах розраховану масу натрій хлориду і перенесіть її в стакан. Циліндром відміряйте необхідний об'єм води (густина води приймаємо рівною 1 г/см³), перелийте її в стакан з сіллю і перемішайте до повного розчинення солі.

7. Заміряйте густину приготовленого розчину ρ_1 і, користуючись табл., визначте концентрацію приготовленого розчину ω_1 . Якщо виміряне значення густини ρ_1 в таблиці відсутнє, то концентрацію розчину ω_1 знаходять методом інтерполяції. Інтерполяція – це знаходження проміжного значення величини за двома її найближчими більшим і меншим значеннями.

Приймемо, що залежність густини розчину від концентрації носить лінійний характер (рис.). Тоді густина розчину ρ_1 знаходиться між найближчими меншим ρ_m і більшим ρ_6 значеннями, а концентрація ω_1 – між відповідними значеннями ω_m і ω_6 . Інтерполяцію можна виконати графічно, будуючи графік у відповідному масштабі, або аналітично, за формулою:

$$\omega_1 = \omega_m + (\omega_6 - \omega_m) \times \left(\frac{\rho_1 - \rho_m}{\rho_6 - \rho_m} \right).$$

Обчисліть відносну похибку δ при визначенні ω_1 розрахуйте молярну концентрацію C_M , молярну концентрацію еквіваленту $C_{ек}$ і титр Т приготовленого розчину:

$$C_M = \frac{m_{NaCl} \times 1000}{M_{NaCl}}, [моль / л];$$

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

$$T = \frac{m_{NaCl}}{V_{p-ny}}, [г / мл];$$

$$\delta = \left| \frac{\omega_x - \omega_l}{\omega_x} \right| \times 100, [\%]$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 34

Де M_{NaCl} – молярна маса натрій хлориду; δ – відносна похибка визначення ω_1 . отримані результати запишіть в табл. 1

Результати визначення концентрації розчину $NaCl$

Задана концен-трація	Густина, г/см ³	Розрахункові маси, г		Густина отриманого розчину, г/см ³	Отримані концентрації				Відносна похибка
		NaCl	H ₂ O		ω_1 , %	C_M , моль/л	$C_{ек}$, моль-екв/л	T , г/см ³	
ω_x	ρ_x			ρ_1					δ , %

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

Вихідний розчин – отриманий в попередньому досліді з концентрацією ω_1 .

- Отримайте завдання на приготування розчину з концентрацією $\omega_{x2}=1\%$.
- В табл. знайдіть густину заданого розчину ρ_{x2} , г/см³.
- Визначте масу розчину, який необхідно приготувати:

$$m_{p-ny2} = V \times \rho_{x2} \cdot [\varepsilon]$$

- Розрахуйте масу вихідного розчину m_{p-ny1} з концентрацією ω_1 , необхідну для приготування заданого розчину:

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

- Обчисліть масу води m_{e2} , необхідну для приготування заданого розчину:

$$m_{e2} = m_{p-ny2} - m_{p-ny1}.$$

- Обчисліть об'єми вихідного розчину з масою m_{p-ny1} і води з V_{e2} :

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

$$V_{e2} = m_{e2} / 1, [cm^3]$$

- Налийте в циліндр розрахований об'єм вихідного розчину, перелийте його в стакан, долийте розрахований об'єм води і старанно перемішайте.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 35

8. Виміряйте аерометром густину одержаного розчину ρ_2 і визначте концентрацію ω_2 . обчисліть масу NaCl в одержаному розчині:
Обчисліть молярну концентрацію, молярну концентрацію еквівалента і титр одержаного розчину. Результати запишіть в табл. 2.

Таблиця 2

Результати розрахунків визначення об'єму води для розбавлення розчину NaCl

Концентрація вихідного розчину $\omega_1, \%$	Концентрація заданого розчину $\omega_2, \%$	Концентрація заданого розчину, $\rho_2, \text{г/см}^3$	Маса заданого розчину $m_{\text{розчину}}, \text{г}$	Об'єми		Концентрації				Відносна похибка
				Вихідного розчин $V_{\text{р-ну}}$	Води $V_{\text{в2}}$	ω	C_M	$C_{\text{ек}}$	T	

Приклади розв'язання

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

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

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

Маса NaOH в 1 л розчину (1180 г):

$$\begin{array}{ll} \text{в } 100 \text{ г розчину} & 16 \text{ г } \text{NaOH}, \\ \text{в } 1180 \text{ г} & m(\text{NaOH}). \end{array}$$

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

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

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

Молярна концентрація розчину:

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

Нормальна концентрація розчину:

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

Приклад 2. Обчисліть масову відсоткову концентрацію 2 Н розчину H_2SO_4 густиною $\rho = 1,07 \text{ г/мл}$.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 36

Розв'язок. Еквівалентна маса H_2SO_4 :

$$M_{\text{екв.}}(H_2SO_4) = \frac{M_r}{2} = \frac{98}{2} = 49 \text{ г/моль.}$$

1 л розчину містить $2 \cdot 49 = 98 \text{ г } H_2SO_4$.

Маса 1 л розчину:

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

Масова відсоткова концентрація:

в 1070 г розчину – 98 г H_2SO_4

в 100 г розчину – $w(H_2SO_4)$

$$w(H_2SO_4) = \frac{98 \cdot 100}{1070} = 9,15 \%$$

Приклад 3. Обчисліть тиск пари над розчином, який містить 60 г глюкози $C_6H_{12}O_6$ в 450 г води. Тиск насиченої пари чистої води при 20 °С дорівнює 17,5 мм.рт.ст.

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

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

де P_0 – тиск пари над чистим розчинником;

P – тиск пари над розчином;

n_1 – кількість моль розчиненої речовини;

n_2 – кількість моль розчинника.

Молярна маса глюкози: $M_r = 180 \text{ г/моль}$. Кількість моль глюкози:

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

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

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

Пониження тиску пари над розчином:

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

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

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 37

Приклад 4. Обчисліть пониження температури замерзання розчину, який містить 9 л води і 4 л етиленгліколю $C_2H_6O_2$. Густина етиленгліколю дорівнює $1,11 \text{ г/см}^3$.

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

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

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

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

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

Молярна маса етиленгліколю $M(C_2H_6O_2) = 62 \text{ г/моль}$; кількість речовини етиленгліколю:

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

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

в 9000 г води – 71,26 моль $C_2H_6O_2$

в 1000 г води – C_m

Моляльна концентрація розчину:

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

Пониження температури замерзання:

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

Оскільки вода замерзає при $0 \text{ }^\circ\text{C}$, то розчин замерзне при $t = -14,8 \text{ }^\circ\text{C}$.

Завдання для самоконтроля

1. В якому об'ємі 1 М розчину і в якому об'ємі 1 Н розчину міститься 114 г $Al_2(SO_4)_3$?
2. Визначити масову частку $CuSO_4$ в розчині, отриманому при розчиненні 50 г мідного купоросу $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ в 450 г води.
3. Визначити масову частку речовини в розчині одержаному змішуванням 300 г 25 %-го і 400 г 40 %-го розчинів цієї речовини.
4. Для нейтралізації 30 мл 0,1 Н розчину лугу необхідно 12 мл розчину кислоти. Визначити нормальність кислоти.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 38

5. З 400 г 50 %-го розчину H_2SO_4 випаровуванням видалили 100 г води. Чому дорівнює масова частка H_2SO_4 в розчині, що лишився?
6. Змішали два розчини, для яких $\omega(KOH)$ дорівнює відповідно 9 % і 12 %. Маса першого розчину 120 г, другого 380 г. Визначте масову частку KOH в отриманому розчині.
7. Знайти масову частку глюкози в розчині, який містить 280 г води і 40 г глюкози.
8. Знайти масу $NaNO_3$, необхідну для приготування 300 мл 0,2 М розчину.
9. Знайти масу води необхідну для приготування розчину $NaCl$, що містить 1,5 моль $NaCl$ на 1000 г H_2O , якщо взяли наважку 10 г $NaCl$.
10. Знайти молярність 36,2 %-го розчину HCl , густина якого 1,18 г/мл.
11. На нейтралізацію 40 мл розчину лугу витрачено 24 мл 0,5 Н розчину H_2SO_4 . Яка нормальність розчину лугу. Який об'єм 0,5 Н розчину HCl потрібно для такої ж реакції.
12. Обчисліть масову відсоткову концентрацію 3 Н розчину H_2SO_4 ($\rho = 1,07$ г/мл).
13. Обчисліть молярність розчину Na_2S , в 900 мл якого міститься 100 г Na_2S .
14. Обчисліть нормальність розчину $NaBr$, в 200 мл якого міститься 20,5 г $NaBr$.
15. При 25 °С розчинність $NaCl$ дорівнює 36,0 г в 100 г води. Знайти масову частку $NaCl$ в насиченому розчині.
16. Скільки грамів $FeCl_2$ потрібно для приготування 100 мл 2 М розчину?
17. Скільки грамів Na_2SO_3 необхідно для приготування 5 л 8%-го розчину ($\rho = 1,075$ г/мл)?
18. Скільки грамів Na_2CO_3 міститься в 500 мл 0,25Н розчину?
19. Скільки грамів $NaOH$ необхідно для приготування 3 л 30 %-го розчину густиною 1,33 г/мл?
20. Скільки мілілітрів 0,5 М розчину H_2SO_4 можна приготування із 15 мл 2,5 М розчину.
21. Скільки мілілітрів 96 %-го розчину H_2SO_4 ($\rho = 1,84$ г/мл) потрібно взяти для приготування 1 л 0,25 Н розчину?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 39

22. Чому дорівнює маса безводного ферум(II) сульфату, який міститься в розчині об'ємом 800 мл ($\rho = 1,10$ г/мл), з масовою часткою розчиненої речовини 10 %.
23. Яка маса $K_3[Fe(CN)_6]$ потрібно для приготування 3 л 0,1 Н розчину?
24. Яка маса розчиненої речовини міститься в розчині масою 1,8 кг, з масовою часткою 20 %, і чому дорівнює масова частка розчиненої речовини, якщо вона масою 75 г міститься в розчині масою 250 г?
25. Обчисліть масову частку для розчину, який приготовлений з K_2SO_4 масою 10 г і води об'ємом 80 мл?
26. Який об'єм 2 М розчину Na_2CO_3 потрібно взяти для приготування 1 л 0,25 Н розчину?
27. В якому об'ємі 0,5 М розчину $MnSO_4$ міститься 25 г цієї солі?
28. В якому об'ємі 2 Н розчину $NaOH$ міститься 40 г цієї речовини?
29. При 25 °С тиск пари води дорівнює 31,68 гПа. Знайдіть масу глюкози, яку потрібно розчинити у воді масою 540 г, щоб знизити тиск пари на 8 гПа?
30. Тиск пари розчину, що містить розчинену речовину кількістю 0,05 моль і воду масою 90 г, дорівнює 52,67 гПа при температурі 34 °С. Чому дорівнює тиск пари чистої води при цій же температурі?
31. При якій температурі повинні замерзати розчини, приготовані розчиненням в воді об'ємом 200 мл: 1) сахарози масою 20,52 г; 2) глюкози масою 14,4 г; 3) сечовини масою 3 г?
32. Чому дорівнює осмотичний тиск 0,5 М розчину глюкози $C_6H_{12}O_6$ при 25 °С?
33. До 100 мл 0,5 М водного розчину сахарози $C_{12}H_{22}O_{11}$ додали 300 мл води. Чому дорівнює осмотичний тиск отриманого розчину при 25 °С?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/E2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 40

Лабораторна робота № 4. **Електролітична дисоціація.**
Розчини електролітів.

Короткі теоретичні відомості

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

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

Теорія електролітичної дисоціації Арреніуса:

1. електроліти при розчиненні розпадаються (дисоціюють) на позитивно та негативно заряджені іони;
2. під дією електричного струму, позитивно заряджені іони (катіони) рухаються до катоду, а негативно заряджені (аніони) – до аноду;
3. дисоціація – зворотний процес.

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

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

Фактори, що впливають на ступінь електролітичної дисоціації:

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

Сильні і слабкі електроліти:

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

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

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

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 41

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

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

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

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

Електролітична дисоціація води і іонний добуток води.

Вода є амфотерним слабким електролітом.

Константа дисоціації води має вигляд:

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

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

Одержаний вираз називається іонним добутком води:

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

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

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

$$pH + pOH = 14$$

$pH < 7$ – кисле середовище,

$pH = 7$ – нейтральне середовище,

$pH > 7$ – лужне середовище.

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

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

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 42

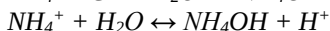
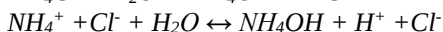
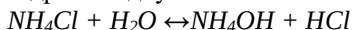
Гідроліз солей

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

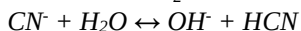
Солі утворені катіонами сильних кислот та аніонами сильних кислот не гідролізуються.

Гідролізуються солі:

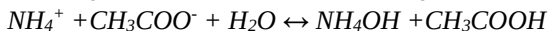
- 1) Солі утворені катіонами слабких основ і катіонами слабких кислот. Гідроліз відбувається по катіону, $pH < 7$, середовище кисле.



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



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



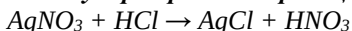
Іонообмінні реакції

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

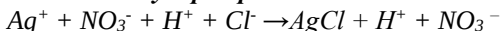
Іонообмінні реакції являються необоротними, ідуть зліва направо, до кінця, якщо внаслідок взаємодії між іонами:

- 1) Утворюється осад малорозчинної сполуки:

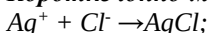
Молекулярне рівняння реакції:



Іонно-молекулярне рівняння:



Коротке іонно-молекулярне рівняння:



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 43

- 2) Виділяється летка сполука:
 $Na_2S + 2HCl \rightarrow 2NaCl + H_2S\uparrow$
 $2Na^+ + S^{2-} + 2H^+ + 2Cl^- \rightarrow 2Na^+ + 2Cl^- + H_2S\uparrow$
 $S^{2-} + 2H^+ \rightarrow H_2S\uparrow$;
- 3) Утворюється слабкий електроліт:
 $H_2SO_4 + 2KOH \rightarrow K_2SO_4 + 2H_2O$
 $2H^+ + SO_4^{2-} + 2K^+ + 2OH^- \rightarrow 2K^+ + SO_4^{2-} + 2H_2O$
 $2H^+ + 2OH^- \rightarrow 2H_2O$
- 4) Утворюється комплексна сполука.
 $FeCl_3 + 3NH_4SCN + 3H_2O \rightarrow [Fe(SCN)_3(H_2O)_3] + 3NH_4Cl$
 $Fe^{3+} + 3Cl^- + 3NH_4^+ + 3SCN^- + 3H_2O \rightarrow [Fe(SCN)_3(H_2O)_3] + 3NH_4^+ + 3Cl^-$
 $Fe^{3+} + 3SCN^- + 3H_2O \rightarrow [Fe(SCN)_3(H_2O)_3] + 3Cl^-$

Експериментальна частина

Прилади та реактиви: рН-метр; електроплитка; пробірки; стакани; розчини 0,1М: **HCl**, **H₂SO₄**, **HNO₃**; розчини 0,1М: **NaOH**, **KOH**, **NH₄OH**; індикатори метилоранж, лакмус, фенолфталеїн, універсальний індикатор.

Дослід №1 Визначення середовища розчинів за допомогою індикаторів

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

Таблиця 1

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

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 44

Дослід №2 Визначення рН розчинів потенціалометричним методом

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

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

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

Таблиця 2

Розчин	Концентрація, моль/л	pH	
		виміряне	обчислене
HCl	0,001M		
NaOH	0,01M		

Дослід №3 Необоротні і оборотні іонообмінні реакції

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

BaCl₂ і **Na₂SO₄**;

Na₂CO₃ і **H₂SO₄**;

NaOH і **HNO₃**;

FeCl₃ і **NH₄SCN**;

NaNO₃ і **K₂SO₄**.

В третю пробірку до розчину **NaOH** додайте спершу краплю фенолфталеїну і після цього – розчину **HNO₃**. Що спостерігається в пробірках? Напишіть рівняння іонообмінних реакцій в молекулярній, повній і короткій іонно-молекулярних формах. За яких умов іонообмінні реакції являються необоротними, проходять до кінця?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/E2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 45

Дослід №4 Гідроліз солей

На листок білого паперу помістіть п'ять окремих смужок універсального індикаторного папірця і на кожну з них нанесіть краплю розчинів NaCl , K_2SO_4 , ZnSO_4 , Na_2CO_3 , $\text{NH}_4\text{CH}_3\text{COO}$.

Порівняйте забарвлення індикаторних папірців із шкалою, запишіть pH розчинів солей, охарактеризуйте природу кожної солі.

Результати запишіть в таблицю 3

Таблиця 3

Речовина	Сіль утворена		pH	Число ступенів гідролізу
	кислотою сильн. слаб.	основою сильн. слаб.		
NaCl				
K_2SO_4				
ZnSO_4				
Na_2CO_3				
$\text{NH}_4\text{CH}_3\text{COO}$				

Напишіть рівняння гідролізу в молекулярному та іонному вигляді для однієї із зазначених солей на вибір.

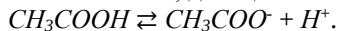
Приклади розв'язання

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

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

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

Оцтова кислота – слабка кислота, дисоціює оборотно:



$$K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = 1,74 \cdot 10^{-5}$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 46

Константа дисоціації K_d , ступінь дисоціації α і молярна концентрація C_M зв'язані співвідношенням, яке називається законом розведення Оствальда:

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_d}{C_M}};$$

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

Приклад 2. Обчислити ступінь дисоціації оцтової кислоти у розчині з молярною концентрацією речовини CH_3COOH 0,1 моль/дм³.

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

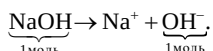
$$K_d(CH_3COOH) = 1,74 \cdot 10^{-5}.$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_d}{C_M}};$$

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

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

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



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

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

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

звідси:

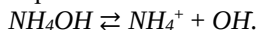
$$[H^+] = \frac{10^{-14}}{[OH^-]} = \frac{10^{-14}}{10^{-2}} = 10^{-12} \text{ моль/л,}$$

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

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

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 47

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



Ступінь дисоціації слабого електроліту обчислюється згідно закону розведення Оствальда:

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

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

Молярна концентрація іонів OH^- складає:

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

Молярна концентрація іонів H^+ складає:

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

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

Завдання для самоконтроля

1. Константа дисоціації масляної кислоти $\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}$ дорівнює $1,5 \cdot 10^{-5}$. Обчислити ступінь її дисоціації в 0,005 М розчині.
2. Знайти ступінь дисоціації гіпохлоритної кислоти HClO в 0,2 Н розчині.
3. Ступінь дисоціації мурашиної кислоти HCOOH в 0,2 Н розчині дорівнює 0,03. Визначити константу дисоціації кислоти.
4. Ступінь дисоціації карбонатної кислоти H_2CO_3 за першим ступенем в 0,1 Н розчині дорівнює $2,11 \cdot 10^{-3}$. Обчислити константу дисоціації K_{a1} .
5. При якій концентрації розчину ступінь дисоціації нітритної кислоти HNO_2 буде дорівнювати 0,2?
6. В 0,1 Н розчині ступінь дисоціації оцтової кислоти дорівнює $1,32 \cdot 10^{-2}$. При якій концентрації нітритної кислоти HNO_2 її ступінь дисоціації буде така сама?
7. Скільки води потрібно додати до 300 мл 0,2 М розчину оцтової кислоти, щоб ступінь дисоціації кислоти подвоївся?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 48

8. Чому дорівнює концентрація іонів $[H^+]$ у водному розчині мурашиної кислоти $HCOOH$, якщо $\alpha = 0,03$?
9. Обчислити $[H^+]$ в $0,02$ М розчині сульфітної кислоти. Дисоціацією кислоти за другим ступенем знехтувати.
10. Обчислити $[H^+]$, $[HSe^-]$ і $[Se^{2-}]$ в $0,05$ М розчині H_2Se .
11. В 1 л $0,01$ М розчину оцтової кислоти міститься $6,26 \cdot 10^{21}$ її молекул та іонів. Визначити ступінь дисоціації.
12. Знайти молярну концентрацію іонів H^+ в водних розчинах, в яких концентрація гідроксид-іонів (в моль/л) дорівнює: 1) 10^{-4} ; 2) $3,2 \cdot 10^{-6}$; 3) $7,4 \cdot 10^{-11}$.
13. Знайти молярну концентрацію іонів OH^- в водних розчинах, в яких концентрація іонів H^+ (в моль/л) дорівнює: 1) 10^{-3} ; 2) $6,5 \cdot 10^{-8}$; 3) $1,4 \cdot 10^{-6}$.
14. Обчислити рН розчинів, в яких концентрація іонів H^+ (в моль/л) дорівнює 1) $2 \cdot 10^{-7}$; 2) $8,1 \cdot 10^{-3}$; 3) $2,7 \cdot 10^{-10}$.
15. Обчислити рН розчинів, в яких концентрація іонів OH^- (в моль/л) дорівнює 1) $4,6 \cdot 10^{-4}$; 2) $5 \cdot 10^{-6}$; 3) $9,3 \cdot 10^{-9}$.
16. Обчислити рН $0,01$ Н розчину оцтової кислоти, в якому ступінь дисоціації кислоти дорівнює $0,042$.
17. Визначити $[H^+]$ і $[OH^-]$ в розчині, рН якого дорівнює $6,2$.
18. Обчислити рН наступних слабких електролітів: 1) $0,02$ М NH_4OH ; 2) $0,1$ М HCN ; 3) $0,05$ Н $HCOOH$; 4) $0,01$ М CH_3COOH .
19. Чому дорівнює концентрація розчину оцтової кислоти, рН якого становить $5,2$?
20. Обчислити масу осаду $AgCl$, який виділиться при змішуванні 100 мл $NaCl$ концентрацією $0,5$ моль/л і 50 мл $AgNO_3$ концентрацією $0,1$ моль/л.
21. Чи випаде в осад плюмбум(II) сульфат ($PbSO_4$), якщо до 1 л розчину сульфатної кислоти з концентрацією $0,001$ моль/л додати сполуку $Pb(NO_3)_2$, з концентрацією $0,0002$ моль/л?
22. Чи утворюється осад, при змішуванні рівних об'ємів насиченого розчину $CaSO_4$ з розчином $(NH_4)_2C_2O_4$ з концентрацією $0,0248$ г/л?
23. Серед наведених солей вказати ті, що не гідролізують, а для тих, що гідролізують, вказати тип гідролізу: K_2SO_4 , Na_2Se , BaS , $RbNO_3$, $LiCl$, NH_4NO_3 , $ZnCl_2$, K_2SO_3 , Na_3PO_4 , $KClO_3$, $HCOOK$, NH_4ClO_4 , $Fe(CH_3COO)_3$, $AlSO_4NO_3$? Написати рівняння гідролізу в іонно-молекулярній формі для однієї із солей.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 49

Лабораторна робота №5.

Окисно-відновні Електрохімічні процеси

реакції.

Короткі теоретичні відомості

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

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

Правила обчислення ступеня окиснення

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

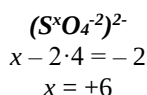
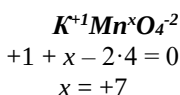
2. Ступінь окиснення Гідрогену в сполуках +1, а Оксигену – 2, наприклад, $H_2^{+1}SO_4^{-2}$.

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

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

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

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



Реакція окиснення – процес віддачі електронів з підвищенням ступеня окиснення.

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

Реакція відновлення – процес приєднання електронів із зменшенням ступеня окиснення.

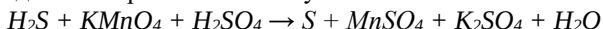
Відновник – елемент, який в процесі реакції віддає електрони, при цьому ступінь окиснення підвищується.

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

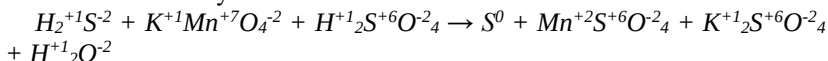
Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -_1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 50

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

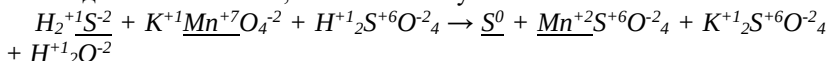
Визначення коефіцієнтів в рівняннях окисно-відновних реакцій методом електронного балансу.



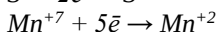
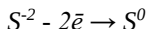
Визначаємо ступені окиснення елементів:



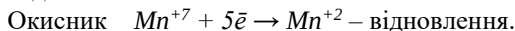
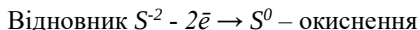
Виділяємо елементи, які змінили ступінь окиснення:



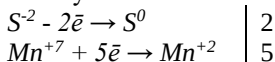
Складаємо електронні рівняння для елементів, які змінили ступінь окиснення:



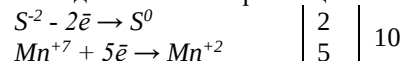
Визначаємо елементи: відновник, окисник, реакцію окиснення і відновлення:



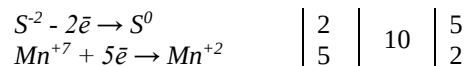
Записуємо кількість електронів в реакції окиснення і відновлення:



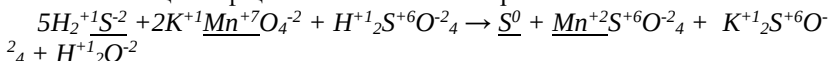
Знаходимо спільне кратне цих чисел:



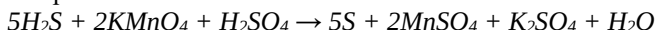
Ділимо спільне кратне на кількість електронів, при цьому одержуємо коефіцієнти при відновнику і окиснику



Ставимо ці коефіцієнти в лівій частині рівняння:

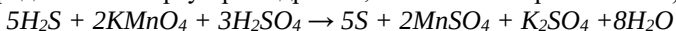


Зрівнюємо число атомів, які змінили ступені окиснення, в правій частині рівняння:



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 51

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



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

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

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

Електродний потенціал металу залежить від наступних факторів:

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

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

Експериментальна частина

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

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

В три пробірки помістіть по 2-3 краплі розчину $KMnO_4$ і додайте: в першу пробірку – 2 краплі розчину H_2SO_4 , в другу – стільки ж розчину $NaOH$, в третю – дистильованої води. В кожен пробірку внесіть на кінчику шпателя по крупинці K_2SO_3 і перемішайте. Як зміниться

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/E2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 52

забарвлення в кожній пробірці? Майте на увазі, що сполуки Мангану з різними ступенями окиснення мають характерне забарвлення: іон MnO_4^- – фіолетовий, Mn^{2+} – практично безбарвний, іон MnO_4^{2-} – зелений, діоксид MnO_2 – малорозчинна сполука бурого кольору. Складіть рівняння реакції за участю $KMnO_4$ і K_2SO_3 в кислому, лужному і нейтральному середовищах, визначте окисник і відновник. До яких ступенів окиснення відновлюється $KMnO_4$ при $pH < 7$? $pH = 7$? $pH > 7$?

Дослід №2 Гальванічні елементи Даніеля-Якобі

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

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

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

Дослід №3 Гальванічний елемент Вольтя (контактна електрохімічна корозія металів)

В пробірку наберіть 1 мл розчину H_2SO_4 , розведіть 1-1,5 мл води і помістіть гранулу цинку. Спостерігайте повільне виділення водню на

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/E2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 53

поверхні металу (корозія цинку). Опустіть в розчин кислоти зачищену мідну дротину. Чи витісняє мідь водень з розчину H_2SO_4 ? Доторкніться дротиною до гранули цинку. Що відбувається?

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

Дослід №4 Корозія оцинкованого і лудженого заліза

В дві пробірки по 0,5 мл розчину H_2SO_4 , додайте 5 мл води і 2-3 краплі розчину $K_3[Fe(CN)_6]$, який є чутливим реактивом на іони Fe^{2+} і Zn^{2+} . В першу пробірку помістіть смужку оцинкованого заліза, а в другу – лудженого. Спостерігайте появу жовтого забарвлення в першій пробірці внаслідок утворення комплексу $Zn_3[Fe(CN)_6]_2$ і синього в другій – за рахунок комплексу $Fe[Fe(CN)_6]_2$.

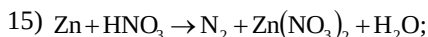
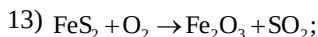
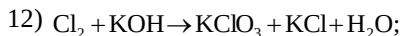
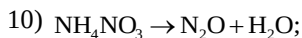
Напишіть схеми мікрокорозійного цинк-залізного і залізо-олов'яного гальванічного елементів в розчині H_2SO_4 і рівняння реакції при порушенні покриттів. Зробіть висновок про захисну здатність цинкового і лудженого покриттів на залізі.

Завдання для самоконтроля

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

- $HClO_3 \rightarrow ClO_2 + HClO_4 + H_2O$;
- $KClO_3 \rightarrow O_2 + KCl$;
- $I_2 + H_2O_2 \rightarrow HIO_3 + H_2O$;
- $AgNO_3 \rightarrow Ag + NO_2 + O_2$;
- $HCl + MnO_2 \rightarrow MnCl_2 + Cl_2 + H_2O$;
- $H_2S + HNO_3 \rightarrow S + NO_2 + H_2O$;
- $As_2S_3 + HNO_3 + H_2O \rightarrow H_3AsO_4 + H_2SO_4 + NO$;
- $Zn + KOH + H_2O \rightarrow K_2[Zn(OH)_4] + H_2$;
- $H_2S + KMnO_4 + HCl \rightarrow S + MnCl_2 + KCl + H_2O$;

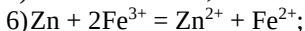
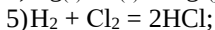
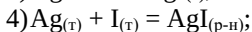
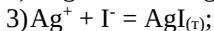
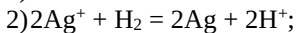
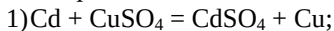
Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/E2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 54



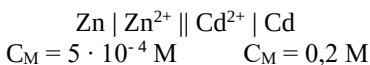
2. Напишіть рівняння реакцій, які протікають в наступних елементах:



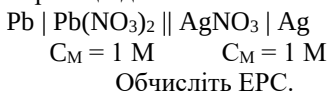
3. Як повинні бути складені елементи та напівелементи, щоб в них протікали реакції:



4. Розрахуйте ЕРС елемента:



5. Напишіть рівняння реакції для елемента:



6. Зобразіть схематично гальванічний елемент, запишіть напівреакції анодного та катодного процесів, обчисліть його ЕРС, якщо він складений:

1) з мідного та цинкового електродів, занурених в 1 М розчини їх сульфатів;

2) зі срібного та залізного (III) електродів, занурених в 1 М розчини їх нітратів;

3) з кадмієвого та мідного електродів, занурених в 1 М розчини їх хлоридів;

4) із золотого та кадмієвого електродів, занурених в 1 М розчини їх нітратів;

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 55

Лабораторна робота 6.

**Якісний аналіз.
кисотно-основна
катионів**

**Аналітична
класифікація**

Короткі теоретичні відомості

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

Хімічні методи ґрунтуються 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) катионів 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.

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

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

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 56

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 луку, при дії надлишку якого утворюються розчинні комплексні сполуки (гідроксокомплексні).

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 катіони IV аналітичної групи у вигляді відповідних гідроксокомплексів.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 57

Таблиця 1

Аналітична кислотно-основна класифікація катіонів

№ групи	Катіони	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^{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 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 58

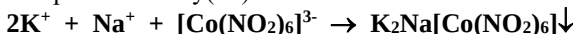
Експериментальна частина

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 pH 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 катіони I і II аналітичних груп проведенню цієї реакції не заважають. Якщо pH розчину > 7 , то варто додати по краплях 2 М розчин CH_3COOH , якщо pH розчину < 3 , то варто додати по краплях 2 М розчин CH_3COONa для досягнення необхідного значення pH. Середовище із pH > 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.

3. Аналітичні реакції катіона амонію, NH_4^+ .

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



Амоніак, що виділяється, можна виявити за запахом або за допомогою фенолфталеїнової смужки, змоченої дистильованою водою.

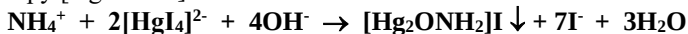
Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 59

Утворені іони OH^- 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. 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 $\text{K}_2[\text{HgI}_4]$ і KOH) утворює із катіонами NH_4^+ осад червоно-бурого кольору $[\text{Hg}_2\text{ONH}_2]\text{I}$:



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.

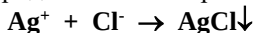
Запишіть спостереження та рівняння реакції в молекулярному й іонно-молекулярному вигляді.

АНАЛІТИЧНІ РЕАКЦІЇ КАТІОНІВ II 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 .

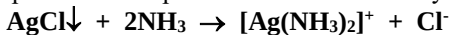
1. Аналітичні реакції катіона аргентуму, Ag^+ .

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



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 60

Осад AgCl розчиняється в надлишку розчину амоніаку з утворенням безбарвної комплексної сполуки $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}$:



Отримана комплексна сполука стійка тільки в присутності надлишку амоніаку й може бути зруйнована сильними кислотами (HNO_3 , H_2SO_4) з утворенням осаду AgCl :



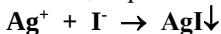
Виконання реакції: помістіть в центрифужну пробірку (коротка конічна пробірка) 2-3 краплі розчину солі аргентуму й додайте до нього 2-3 краплі 2 М розчину HCl .

Відокремте осад від розчину центрифугуванням.

До осажденного 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 HNO_3 нейтралізуйте надлишок основи й зруйнують комплекс. Помутніння розчину вказує на утворення осаду AgCl .

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

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

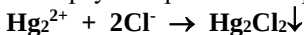


Виконання реакції: помістіть в пробірку 2-3 краплі розчину солі аргентуму й додайте до нього 2-3 краплі розчину калій йодиду.

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

2. Аналітичні реакції катіона димеркурія(I), Hg_2^{2+} .

2.1. Реакція із хлоридами. Хлоридна кислота й розчинні у воді хлориди з катіоном меркурію(I) утворюють білий осад димеркурій дихлориду – Hg_2Cl_2 (каломель), при взаємодії якого з розчином амоніаку утворюється білий осад сполуки $[\text{HgNH}_2]\text{Cl}$ і виділяється металева ртуть чорного кольору.



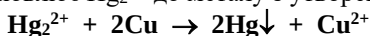
Виконання реакції: помістіть в пробірку 2-3 краплі розчину солі меркурію(I) і додайте до нього 3-4 краплі 2 М розчину HCl . До осаду,

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -_1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 61

що утворився, додайте 5-10 крапель концентрованого розчину амоніаку.

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

2.2. Відновлення меркурію(І) металевою міддю. Металева мідь відновлює Hg_2^{2+} до металу з утворенням амальгами:

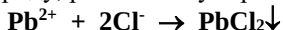


Виконання реакції: на мідну монету або мідну пластинку помістіть 2-3 краплі розчину солі меркурію(І). Через 2-3 хвилини змийте розчин водою й потріть поверхню шматочком фільтрувального паперу.

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

3. Аналітичні реакції катіона плюмбуму, Pb^{2+} .

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



Виконання реакції: помістіть в центрифужну пробірку 2-3 краплі розчину солі плюмбуму. 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 плюмбуму Pb^{2+} осад жовтого кольору, розчинний у гарячій дистильованій воді:



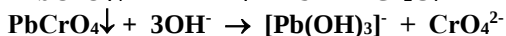
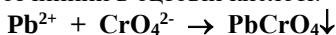
При охолодженні розчину PbI_2 знову випадає в осад у вигляді жовтих кристалів. Цю реакцію часто називають “реакцією золотого дощу”.

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 .

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 62

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

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



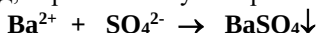
Виконання реакції: у пробірку помістіть 2-3 краплі розчину солі свинцю, додайте до нього 2-3 краплі розчину дикалій хромату. Отриманий осад розділіть на дві частини. У першу пробірку з осадом додайте 4-5 краплі 2 М розчину NaOH або KOH. У другу пробірку з осадом додайте 4-5 краплі 2 М розчину оцтової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

1. Аналітичні реакції катіона барію, Ba^{2+} .

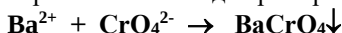
1.1. Реакція із сульфатною кислотою. Сульфатна кислота й розчинні сульфати з іонами барію Ba^{2+} утворюють білий кристалічний осад, нерозчинний у мінеральних кислотах:



Виконання реакції: помістіть в пробірку 1-2 краплі розчину солі барію й додайте до нього 2-3 краплі 1 М розчину H_2SO_4 .

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

1.2. Реакція із дикалій хроматом, K_2CrO_4 або дикалій дихроматом, $K_2Cr_2O_7$. Дикалій хромат з іонами барію Ba^{2+} при $pH = 4-5$ утворює жовтий осад барій хромату $BaCrO_4$:



Барію хромат розчинний у сильних кислотах (крім H_2SO_4), але не розчинний в оцтовій кислоті. При проведенні реакції в оцтовокислому

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 63

середовищі визначенню іона барію не заважають іони Ca^{2+} , тому що осад CaCrO_4 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_3COOH .

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

1.3. Забарвлення полум'я. Летучі 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^{2+} .

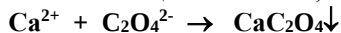
2.1. Реакція із сульфатною кислотою. Сульфатна кислота й розчинні сульфати в концентрованих розчинах утворюють із катіоном кальцію Ca^{2+} кристали гіпсу $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ білого кольору, що мають голчасту форму:



Виконання реакції: помістіть на предметне скло 1 краплю розчину солі кальцію, додайте до нього 1 краплю 1 М розчину H_2SO_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 диамоній оксалатом, $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$. Диамоній оксалат з іонами кальцію Ca^{2+} утворює білий кристалічний осад CaC_2O_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 HCl , а в іншу – 2-3 мл 2 М розчину CH_3COOH .

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 64

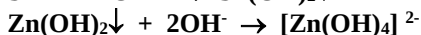
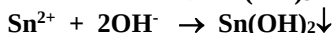
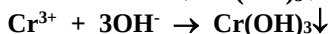
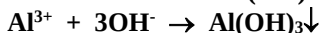
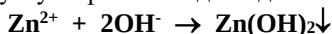
Запишіть спостереження та рівняння реакції в молекулярному й іонно-молекулярному виді.

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.

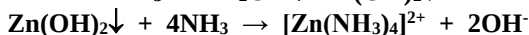
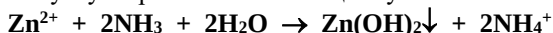
АНАЛІТИЧНІ РЕАКЦІЇ КАТІОНІВ IV - IV АНАЛІТИЧНИХ ГРУП

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)₃, білі Zn(OH)₂, Al(OH)₃ і Sn(OH)₂. Оскільки гідроксиди хрому (III), цинку, алюмінію й свинцю(II) проявляють амфотерні властивості, то вони розчиняються в надлишку лугу з утворенням відповідних гідроксополук:



1. Аналітичні реакції катіона цинку, Zn²⁺.

1.1. Реакція з розчином амоніаку. Іони Zn²⁺ 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. Долийте до нього по краплях 2 М розчини амоніаку до утворення білого осаду. До отриманого осаду долийте надлишок розчину NH₃ до розчинення осаду.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/E2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 65

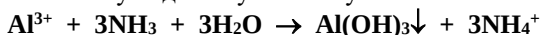
Запишіть спостереження й рівняння реакцій у молекулярному й іонно-молекулярному вигляді.

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 внутрішньокомплексну 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 внутрішньокомплексна 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 $Al(OH)_3$ внутрішньокомплексну сіль червоного кольору (алюмінієвий лак).

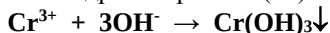
Виконання реакції: візьміть шматочок фільтрувального паперу й нанесіть на нього піпеткою 1 краплю розчину солі алюмінію. Потримаєте папір протягом 1-2 хвилини над відкритою склянкою з концентрованим (25%) розчином NH_3 . На папері утвориться $Al(OH)_3$. У центр вологої плями нанесіть краплю алізарину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

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/E2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 66

3. Аналітичні реакції катіона хрому(III), Cr^{3+} .

3.1. Реакція з лугами. Натрій і калій гідроксиди осаджують іони 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 Cr^{3+} у надлишку лугу окиснюються гідроген пероксидом H_2O_2 до хромат-іонів CrO_4^{2-} - жовтого кольору:

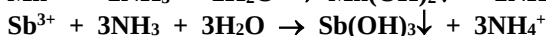
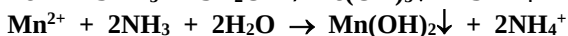
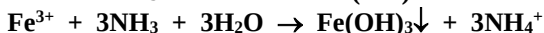
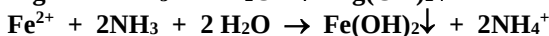
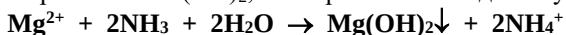


Виконання реакції: помістіть в пробірку 2-3 краплі розчину солі хрому (III) і додайте 6-7 крапель 2 М розчину NaOH до утворення зеленого розчину гідроксокомплексу хрому(III). До отриманого розчину додайте 3-4 краплі 10% розчину H_2O_2 і нагрівайте суміш на водяній бані протягом 2-3 хвилин. Забарвлення розчину в жовтий колір свідчить про утворення іона CrO_4^{2-} .

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

АНАЛІТИЧНІ РЕАКЦІЇ КАТІОНІВ V АНАЛІТИЧНОЇ ГРУПИ

Груповим реагентом на катіони V аналітичної групи є 25% розчин NH_3 . При дії розчину амоніаку на розчин, що містить катіони V аналітичної групи, утворюються аморфні осаді 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 NH_3 .

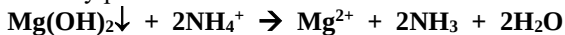


Виконання реакції: помістіть в пробірку 2-3 краплі розчину відповідної солі й 2-3 краплі 25% розчину амоніаку.

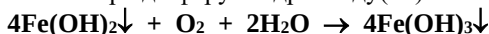
Запишіть спостереження та рівняння реакцій у молекулярному й іонно-молекулярному виді.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 67

Гідроксиди $\text{Mg}(\text{OH})_2$, $\text{Fe}(\text{OH})_2$ і $\text{Mn}(\text{OH})_2$ розчиняються в насиченому розчині NH_4Cl :



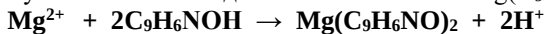
Основи $\text{Mg}(\text{OH})_2$, $\text{Fe}(\text{OH})_2$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$ і $\text{Mn}(\text{OH})_2$ не розчиняються в розчинах лугів і амоніаку, але легко розчиняються в сильних кислотах. Ферум гідроксид(II) у лужному середовищі швидко окиснюється киснем повітря до ферум гідроксиду(III):



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

1. Аналітичні реакції катіона магнію, Mg^{2+} .

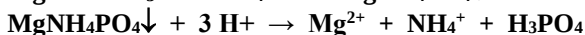
1.1. Реакція з 8-оксихіноліном, $(\text{C}_9\text{H}_6\text{NOH})$. Іони Mg^{2+} в амоніачному середовищі ($\text{pH} = 9-10$) з 8-оксихіноліном утворюють зеленувато-жовтий осад магній оксихінолят $\text{Mg}(\text{C}_9\text{H}_6\text{NO})_2$:



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, Na_2HPO_4 . Катіони магнію Mg^{2+} у присутності амоніаку й амоній хлориду утворюють білий кристалічний осад амоній магній фосфату MgNH_4PO_4 , що легко розчиняється в оцтовій і сильних кислотах:

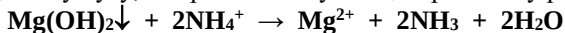


Виконання реакції: помістіть в пробірку 2-3 краплі розчину солі магнію, додайте 2-3 краплі розчину HCl (2 М) і 2-3 краплі розчину Na_2HPO_4 . Потім додайте в пробірку 1 краплю розчину фенолфталеїну й по краплях розчин амоніаку (2 М), перемішуючи вміст пробірки скляною паличкою, до появи рожевого забарвлення фенолфталеїну ($\text{pH} \approx 9$). У присутності іона 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 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 68

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 :

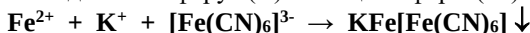


Виконання реакції: помістіть в пробірку 4-5 крапель розчину солі магнію й додайте до нього 4-5 крапель розчину NaOH (2 М), а потім 5-7 крапель розчину NH_4Cl .

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):

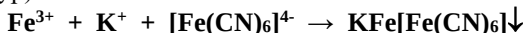


Виконання реакції: помістіть в пробірку 2-3 краплі розчину солі феруму(II), додайте 1-2 краплі 2 М розчину HCl і 1-2 краплі розчину $K_3[Fe(CN)_6]$.

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

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

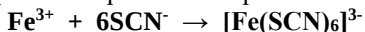
3.1. Реакція з калій гексаціанофератом(II), $K_4[Fe(CN)_6]$. Іони Fe^{3+} у кислому середовищі з калій гексаціанофератом(II) утворюють темно-синій осад калій ферум(III) гексаціаноферат(II) (берлінська лазур):



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 $K_4[Fe(CN)_6]$.

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

3.2. Реакція з амоній роданідом, NH_4SCN , або калій роданідом, $KSCN$. Іони Fe^{3+} у кислому середовищі ($pH = 2$) з амоній роданідом або калій роданідом утворюють комплексну сполуку, що забарвлює розчин у криваво-червоний колір:



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 69

Виконання реакції: помістіть в пробірку 2-3 краплі солі феруму(III). Універсальним індикатором перевірте рН. При необхідності додайте 1-2 краплі 2 М розчину HCl. Додайте 2-3 краплі насиченого розчину роданіду 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^{2+} .

4.1. Реакція з бісмутатом натрію, $NaBiO_3$. Іони Mn^{2+} в нітратнокислому середовищі окиснюються бісмутатом натрію до іонів MnO_4^- , що забарвлює розчин у малиновий колір:

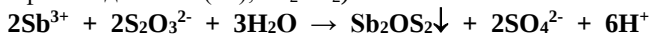


Виконання реакції: внесіть у пробірку на кінчику шпателя трошки порошку бісмутата натрію. Додайте 2 мл 2 М розчину нітратної кислоти й 1-2 краплі розчину солі мангану(II). Малиновий колір розчину вказує на утворення іона MnO_4^- .

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

5. Аналітичні реакції катіона стибію(III), Sb^{3+} .

5.1. Реакція з тіосульфатом натрію, $Na_2S_2O_3$. Катіони Sb^{3+} при нагріванні з тіосульфатом натрію утворюють осад червоного кольору (сульфооксид стибію(III), Sb_2OS_2):



Виконання реакції: помістіть в пробірку 2-3 краплі розчину хлориду стибію(III), додайте декілька крапель сульфатної кислоти (1 М), киньте кристалик $Na_2S_2O_3$ і нагрійте на водяній бані. Утвориться червоний осад Sb_2OS_2 .

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

АНАЛІТИЧНІ РЕАКЦІЇ КАТІОНІВ VI АНАЛІТИЧНОЇ ГРУПИ

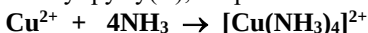
Груповим реагентом на катіони VI аналітичної групи є 25% розчин NH_3 . При дії надлишку розчину амоніаку на розчин, що містить

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 70

катіони VI аналітичної групи, утворюються забарвлені розчини комплексних сполук – аміакатів.

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

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

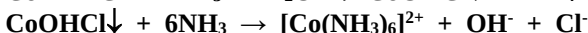
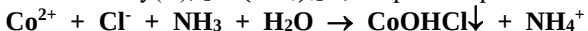


Виконання реакції: помістіть в пробірку 2-3 краплі розчину солі купрум(II) і додайте до нього 4-6 крапель 25% розчину амоніаку. Зверніть увагу на колір розчину.

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

2. Аналітичні реакції катіона кобальту(II), Co^{2+} .

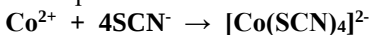
2.1. Реакція з розчином амоніаку. Катіони Co^{2+} з надлишком концентрованого розчину амоніаку утворюють комплексну сполуку – аміакат кобальту(II), $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$, яскраво-коричневого кольору:



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_4SCN (або калій роданідом, KSCN). Катіон Co^{2+} у нейтральному або слабкокислому середовищі з роданід-іонами утворює комплексний іон $[\text{Co}(\text{SCN})_4]^{2-}$, забарвлений у синій колір:



Виконанню реакції заважають іони Fe^{3+} , що утворюють із роданід-іоном комплексну сполуку криваво-червоного кольору. Тому при визначенні іонів Co^{2+} реакцією з роданід-іоном у присутності Fe^{3+} у реакційну суміш додають суху сіль натрій флуориду (або амоній флуориду) для зв'язування іонів Fe^{3+} у міцний безбарвний комплекс $[\text{FeF}_6]^{3-}$.

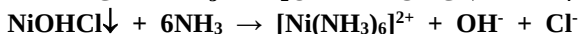
Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 71

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^{2+} .

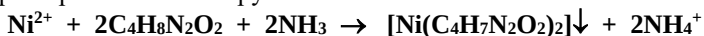
3.1. Реакція з розчином амоніаку. Катіони Ni^{2+} з розчином амоніаку спочатку утворюють ясно-зелений осад основної солі ніколу (II), що потім розчиняється в надлишку концентрованого розчину амоніаку з утворенням синього розчину аміакату ніколу(II) $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$:



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 Ni^{2+} в амоніачному середовищі ($\text{pH} = 9$) утворюють із диметилглюксимом малорозчинну внутрішньокмплесну 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 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 72

Лабораторна робота 7. **Кількісний аналіз. Методи кількісного аналізу. Окремі методики визначення хімічних елементів**

Короткі теоретичні відомості

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.

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.

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

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 73

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 до вбирання з розчину сторонніх речовин, їх важко відмити від домішок. Крім того аморфні осадки 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+}

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 74

осаджуваною формою відповідно будуть $\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{Al}(\text{OH})_3$, 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;

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

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

Ці величини обчислюють за такими формулами:

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

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

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

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

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.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 75

Лабораторна робота № 7(1)

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

Залежно від термодинамічних умов одна і та ж сіль може кристалізуватися з різним числом молекул води. Так, наприклад, тетраборат натрію при температурі нижче 60°C утворить кристали сполуки $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, а вище 60°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 щавелевої 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 $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – $120-125^\circ\text{C}$, 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.

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 $120-125^\circ\text{C}$. 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 сіллю 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

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 76

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 H_2O

в 100 г $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ » X г H_2O

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

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:

в 244,3 г $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ міститься 36,03 г H_2O

в 100 г $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ » X г H_2O

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

Абсолютна похибка аналізу складе:

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

Відносна помилка буде дорівнювати:

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

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°C , а при $105-110^\circ\text{C}$. Вода, адсорбована речовинами, називається гігроскопічною. На відміну від кристалізаційної води вміст гігроскопічної води непостійний. 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 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 77

Лабораторна робота № 7(2).

ТИТРИМЕТРИЧНИЙ (ОБ'ЄМНИЙ) АНАЛІЗ. МЕТОД НЕЙТРАЛІЗАЦІЇ

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:

$$C_e = n_e / V,$$

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:

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

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 78

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**:

$$n_e(A) = n_e(B), \text{ або}$$

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

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 розчищеної речовини, що міститься в 1 мл розчину.

Титр і молярна концентрація еквівалента розчину зв'язані формулою:

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

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

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

В основі **методу нейтралізації** 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 H₂SO₄) і сильних основ (NaOH або KOH). В якості робочих розчинів (або первинних стандартів) для встановлення титру (стандартизації) кислот використовують натрій тетраборат (Na₂B₄O₇·10H₂O) або натрій

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 79

карбонат (Na_2CO_3), для стандартизації лугів використовують щавелеву кислоту ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) або бурштинову кислоту ($\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_4$).

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**.

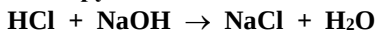
Таблиця 2

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

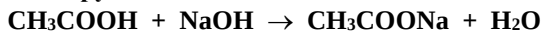
Розглянемо наступні випадки титрування.

1. Титрування сильної кислоти сильною основою:

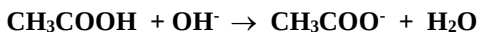


У точці еквівалентності утвориться сіль сильної кислоти й сильної основи, що не піддається гідролізу. Реакція середовища буде нейтральною (рН = 7). У цьому випадку індикатором може служити лакмус.

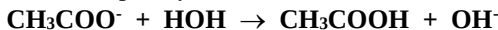
2. Титрування слабкої кислоти сильною основою:



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/E2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 80

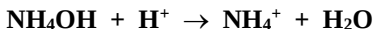
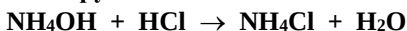


Утворена сіль слабкої кислоти й сильної основи в розчині піддається гідролізу:

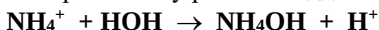


Точка еквівалентності в цьому випадку буде перебувати в лужному середовищі, тому варто застосовувати індикатор, що міняє забарвлення при $\text{pH} > 7$, наприклад, фенолфталеїн.

3. Титрування слабкої основи сильною кислотою:



Утворена сіль у розчині піддається гідролізу:



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	$V(\text{HCl})$, мл	$V(\text{NaOH})$, 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 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/E2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 81

Лабораторна робота 8. Фізико-хімічні методи аналізу. Фотоколориметрія

Короткі теоретичні відомості

Фотоколориметрія – це оптичний метод аналізу, що розглядає взаємодію речовини з електромагнітним випромінюванням у видимій області: довжина хвилі (λ) 380-750 нм; частота (ν) $2,5 \cdot 10^4$ - $1,5 \cdot 10^4$ см⁻¹; енергія випромінювання (Е) 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. 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	λ 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

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

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

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 82

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);

ε – молярна поглинаюча здатність речовини, або молярний коефіцієнт поглинання [$\text{л}/(\text{моль} \cdot \text{см})$].

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. 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 (градуирований) графік у координатах **A** – **C** (оптична щільність – концентрація).

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. 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.

Лабораторний дослід

Характеристика хімічного складу природних вод. Колориметричне визначення іонів феруму (III) у воді

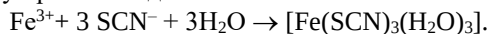
Мета роботи: Ознайомитися з хімічними властивостями природних вод та з кількісним методом визначення іонів феруму у воді.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/E2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 83

Обладнання і реактиви:

- мірні колби на 100, 200 мл і мірна колба на 1000 мл;
- амоній тіоціанат, 20% розчин;
- стандартний розчин солі феруму (ІІІ), що містить 0,01 мг/мл Fe^{3+} ;
- наважка галуни $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ масою 0,8640 г;
- концентрована нітратна кислота;
- фотоелектроколориметр;
- набір піпеток, дистильована вода.

Метод базується на утворенні комплексної сполуки криваво-червоного кольору при взаємодії Fe^{3+} з іонами SCN^- :



Інтенсивність забарвлення розчину залежить від вмісту в ньому іонів Fe^{3+} , який визначають фотоколориметричним методом.

Хід виконання роботи.

1. Побудувати калібрувальний графік. Для цього виконують наступні операції:

- а) на аналітичних терезах зважують 0,8640 г галуни і переносять в мірну колбу на 1000 мл, підкислюють 25 мл концентрованої нітратної кислоти і доводять дистильованою водою до мітки;
- б) для приготування стандартного розчину солі Fe^{3+} відбирають піпеткою 10 мл одержаного розчину в мірну колбу на 200 мл і доводять водою до мітки (одержаний розчин містить 0,02 мг Fe^{3+} в 1 мл);
- с) в шість мірних колб на 100 мл відібрати піпеткою 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 мл стандартного розчину солі Fe^{3+} і додають по 5 мл 20% розчину амоній тіоціанату, доводять розчини до мітки дистильованою водою;
- д) розчини перемішують і вимірюють оптичну густину на фотоелектроколориметрі, використовуючи синій світлофільтр і кювету з робочою довжиною 10 мм; як розчин порівняння беруть дистильовану воду;
- е) за даними вимірювання будують калібрувальний графік в координатах $D - C_{\text{Fe}^{3+}}$, мг/мл.

2. Хід визначення вмісту Fe^{3+} в воді. 10 – 30 мл досліджуваної води відбирають в мірну колбу на 100 мл, додають 5 мл 20 % розчину амоній тіоціанату і доводять дистильованою водою до мітки.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/E2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 84

3. Перемішують розчин, наливають у кювету і вимірюють його оптичну густину D_x .

4. Концентрацію іонів Fe^{3+} знаходять за допомогою калібрувального графіка. Вміст іонів Fe^{3+} обчислюють за формулою:

$$m_{Fe^{3+}} = (C_{Fe^{3+}} \cdot 1000) / V, \text{ (мг/л)}$$

де $C_{Fe^{3+}}$ – концентрація іонів Fe^{3+} , знайдена за калібрувальним графіком;

V – об'єм взятої для дослідження води, мл;

1000 – коефіцієнт перерахунку.

Завдання для самоконтроля

1. Які вимоги до хімічних реакцій, що їх використовують в колориметричному аналізі?
2. Для чого в колориметрії застосовують калібрувальний графік?
3. На яких засадах будується його побудова?
4. Поясніть хімізм визначення іонів Fe^{3+} колориметричним методом в реакції з NH_4SCN .
5. На що вказує високий вміст іонів Феруму у поверхневих водах?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 85

Лабораторна робота 9. Характеристика хімічного складу природних вод. Визначення окиснюваності води

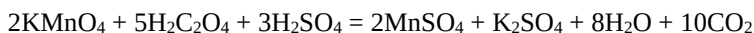
Мета роботи: Ознайомитися з хімічними властивостями природних вод та кількісними методами визначення вмісту органічних речовин у воді.

Обладнання та реактиви:

- бюретки;
- колби на 250 мл;
- лійки;
- електроплитка;
- мірні циліндри на 50 мл;
- піпетки;
- 0,01Н розчин щавелевої кислоти;
- 20% розчин H_2SO_4 ;
- 0,01Н розчин KMnO_4 .

Теоретична частина

Природні води містять різноманітні мінеральні та органічні речовини. *Окиснюваність води* ($\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$) – це непрямий показник, який характеризує наявність у воді органічних речовин. Під окиснюваністю води розуміють кількість перманганату калію (KMnO_4), яка необхідна для окиснення органічних речовин, які розчинені у 1 літрі води у стандартних умовах. Визначення цього показника проводять у кислих умовах, при яких перманганат калію є сильним окисником. Результати визначення виражають у міліграмах на літр кисню, еквівалентного кількості витраченого KMnO_4 . Реакція нейтралізації надлишку перманганату проходить за рівнянням:



Розрахунки проводять за формулою:

$$\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{n \cdot 0,08 \cdot 1000}{V_b}$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/E2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 86

p – об’єм окисника, який пішов на титрування (мл);

V_b – об’єм води (мл);

O_{H_2O} – окиснюваність води (мг/л O_2).

Хід виконання роботи:

1. У конічну колбу об’ємом 250 мл відбирають 50 мл води, додають 50 мл дистильованої води, 5 мл сульфатної кислоти і додають з бюретки 20 мл перманганату калію.
2. Колбу закривають лійкою і кип’ятять 10 хвилин. При цьому відбувається окиснення органічних речовин, які містяться у воді, в результаті чого забарвлений іон MnO_4^- (фіолетовий колір) відновлюється до безбарвного Mn^{2+} .
3. Для визначення окиснюваності води необхідно визначити надлишок, який був використаний на окиснення органічних речовин. Для цього до гарячого розчину з іншої бюретки додають щавелеву кислоту до повного знебарвлення розчину.
4. До знебарвленого розчину при помішуванні невеликими порціями з першої бюретки додають розчин перманганату калію до появи слабого рожевого забарвлення. Його поява свідчить про незначний надлишок перманганату. Кількість перманганату калію, яка була використана на це титрування, використовується для проведення розрахунків.

Запитання для самоконтроля

1. Назвіть основні фізичні та хімічні показники якості води.
2. Що характеризує окиснюваність води?
3. В яких одиницях виражають окиснюваність води?
4. На чому заснований метод визначення перманганатної окиснюваності води? Яка відбувається реакція?
5. Яка окиснюваність є важливою характеристикою питних та природних вод?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 87

ДОДАТКИ

Таблиця 1. Фізико – хімічні константи

Назва	Значення		
Гравітаційна стала,	G	$= 6,6720 \cdot 10^{-11}$	Н·м/кг ²
Швидкість поширення електромагнітних хвиль в вакуумі,	c	$= 2,99792458 \cdot 10^8$	м/с
Магнітна проникливість вакууму,	μ_0	$= 1,256637061 \cdot 10^{-6}$	Гн/м
Електрична проникливість вакууму,	ϵ_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 ⁻¹
Стала Фарадея,	F	$= 9,648456 \cdot 10^4$	Кл/моль
Стала Лошмідта,	N_L	$= 2,686754 \cdot 10^{25}$	м ⁻³
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 ³ /моль
Стала Больцмана,	k	$= 1,380662 \cdot 10^{-23}$	Дж/К
Магнітний момент електрона	μ_e	$= 9,284832 \cdot 10^{-24}$	А·м ²

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	Санті, 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 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -_1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 99 / 88

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	$\text{H}_2\text{SiO}_3 \Leftrightarrow \text{H}^+ + \text{SiO}_3^-$	$3,2 \cdot 10^{-10}$
	$\text{HSiO}_3^- \Leftrightarrow \text{H}^+ + \text{SiO}_3^{2-}$	$1,6 \cdot 10^{-12}$
Форміатна кислота	$\text{HCOOH} \Leftrightarrow \text{H}^+ + \text{HCOO}^-$	$1,8 \cdot 10^{-4}$
Сульфітна кислота	$\text{H}_2\text{SO}_3 \Leftrightarrow \text{H}^+ + \text{HSO}_3^-$	$1,3 \cdot 10^{-2}$
	$\text{HSO}_3^- \Leftrightarrow \text{H}^+ + \text{SO}_3^{2-}$	$6 \cdot 10^{-8}$
Сульфідна кислота	$\text{H}_2\text{S} \Leftrightarrow \text{H}^+ + \text{HS}^-$	$8,9 \cdot 10^{-8}$
	$\text{HS}^- \Leftrightarrow \text{H}^+ + \text{S}^{2-}$	$1,3 \cdot 10^{-13}$
Карбонатна кислота	$\text{H}_2\text{CO}_3 \Leftrightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$	$4,31 \cdot 10^{-7}$
	$\text{HCO}_3^- \Leftrightarrow \text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-}$	
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	$\text{H}_3\text{PO}_4 \Leftrightarrow \text{H}^+ + \text{H}_2\text{PO}_4^-$	$7,5 \cdot 10^{-3}$
	$\text{H}_2\text{PO}_4^- \Leftrightarrow \text{H}^+ + \text{HPO}_4^{2-}$	$6,2 \cdot 10^{-8}$
	$\text{HPO}_4^{2-} \Leftrightarrow \text{H}^+ + \text{PO}_4^{3-}$	$2,2 \cdot 10^{-13}$
Ціанідна кислота	$\text{HCN} \Leftrightarrow \text{H}^+ + \text{CN}^-$	$7,2 \cdot 10^{-10}$
Оксалатна кислота	$\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \Leftrightarrow \text{H}^+ + \text{HC}_2\text{O}_4^-$	$5,9 \cdot 10^{-2}$
	$\text{HC}_2\text{O}_4^- \Leftrightarrow \text{H}^+ + \text{C}_2\text{O}_4^{2-}$	$6,4 \cdot 10^{-5}$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/E2.00.1/Б/ОК13 -_1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 89

Таблиця 4

Добуток розчинності малорозчинних речовин у воді

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

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -_1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 90

Таблиця 5

Стандартні електродні потенціали металів

Електрод	Електродна реакція	E^0 , В
Li ⁺ /Li	$\text{Li}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{Li}$	-3,045
K ⁺ /K	$\text{K}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{K}$	-2,925
Rb ⁺ /Rb	$\text{Rb}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{Rb}$	-2,925
Cs ⁺ /Cs	$\text{Cs}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{Cs}$	-2,923
Ca ²⁺ /Ca	$\text{Ca}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Ca}$	-2,866
Na ⁺ /Na	$\text{Na}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{Na}$	-2,714
Mg ²⁺ /Mg	$\text{Mg}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Mg}$	-2,363
Al ³⁺ /Al	$\text{Al}^{3+} + 3e^- \rightleftharpoons \text{Al}$	-1,662
Mn ²⁺ /Mn	$\text{Mn}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Mn}$	-1,179
Zn ²⁺ /Zn	$\text{Zn}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Zn}$	-0,763
Cr ³⁺ /Cr	$\text{Cr}^{3+} + 3e^- \rightleftharpoons \text{Cr}$	-0,744
Fe ²⁺ /Fe	$\text{Fe}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Fe}$	-0,440
Cd ²⁺ /Cd	$\text{Cd}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Cd}$	-0,403
Co ²⁺ /Co	$\text{Co}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Co}$	-0,277
Ni ²⁺ /Ni	$\text{Ni}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Ni}$	-0,250
Sn ²⁺ /Sn	$\text{Sn}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Sn}$	-0,136
Pb ²⁺ /Pb	$\text{Pb}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Pb}$	-0,126
H ⁺ /1/2H ₂	$\text{H}^+ + e^- \rightleftharpoons 1/2\text{H}_2$	±0,000
Cu ²⁺ /Cu	$\text{Cu}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Cu}$	+0,337
Hg ₂ ²⁺ /2Hg	$\text{Hg}_2^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons 2\text{Hg}$	+0,788
Ag ⁺ /Ag	$\text{Ag}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{Ag}$	+0,799
Au ³⁺ /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 та ДСТУ ISO 21001:2019	Ф-23.10- 05.02/2/Е2.00.1/Б/ОК13 -1_2025
	Екземпляр № 1	Арк 93 / 91

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

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ Д.И.МЕНДЕЛЕЕВА

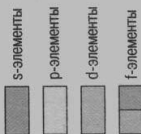


Д.И. Менделеев
1834–1907

СИМВОЛ
ЭЛЕМЕНТА

ПОРЯДОКОВЫЙ
НОМЕР

37
Rb
РУБИДИЙ
85,468
НАЗВАНИЕ
ЭЛЕМЕНТА
ОТНОСИТЕЛЬНАЯ
АТОМНАЯ МАССА
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ
ЭЛЕКТРОНОВ
ПО СЛОЯМ



Периоды	Г Р У П П Ы Э Л Е М Е Н Т О В																VIII	б	а	б	VII	б	а	б	VI	б	а	б	V	б	а	б	IV	б	а	б	III	б	а	б	II	б	а	б	I	а	б	1	H	1,008	2	He	4,003	X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а																																							б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б

ЛАНТАНОИДЫ

57 La Лантан 138,905	58 Ce Церий 140,12	59 Pr Прометий 140,908	60 Nd Неодим 144,24	61 Pm Прометий [145]	62 Sm Самарий 150,36	63 Eu Европий 151,964	64 Gd Гадолий 157,25	65 Tb Тербий 158,925	66 Dy Диспрозий 162,50	67 Ho Гольмий 164,93	68 Er Ербий 167,26	69 Tm Тиман 168,934	70 Yb Иттербий 173,04	71 Lu Лютеций 174,967
----------------------------	--------------------------	------------------------------	---------------------------	----------------------------	----------------------------	-----------------------------	----------------------------	----------------------------	------------------------------	----------------------------	--------------------------	---------------------------	-----------------------------	-----------------------------

АКТИНОИДЫ

89 Ac Актиний [227]	90 Th Торий 232,038	91 Pa Протактиний [231]	92 U Уран 238,029	93 Np Нептуний [237]	94 Pu Плутоний [244]	95 Am Америций [243]	96 Cm Кюрий [247]	97 Bk Беркелий [247]	98 Cf Калифорний [251]	99 Es Эйнштейний [252]	100 Fm Фермий [257]	101 Md Менделеев [258]	102 No Нобелий [259]	103 Lr Лоренс [260]
---------------------------	---------------------------	-------------------------------	-------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------	-------------------------	----------------------------	------------------------------	------------------------------	---------------------------	------------------------------	----------------------------	---------------------------