

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧЕРКАСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ БОГДАНА ХМЕЛЬНИЦЬКОГО**

Навчально-науковий інститут природничих та аграрних наук
Кафедра хімії та наноматеріалознавства

Ю. А. Шафорост, В. О Мінаєва

**Робочий зошит з аналітичної хімії.
Кількісний аналіз**

Навчально-методичний посібник

Черкаси 2025 р.

УДК 543 (073)

Рецензенти:

Ящук Людмила Борисівна – кандидат хімічних наук, доцент кафедри екології Черкаського державного технологічного університету;

Жабковська Олена Артурівна – кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії та наноматеріалознавства Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького.

Робочий зошит з аналітичної хімії. Кількісний аналіз : навч.-метод. посібник / укладачі : Ю. А. Шафорост, В. О. Мінаєва. – Черкаси, 2025. – 156 с. : табл. ; іл.

ISBN 978-617-8324-64-3

У навчально-методичний посібник включено короткі теоретичні відомості, плани лабораторних занять, зміст самостійної роботи з курсу “Аналітична хімія. Кількісний аналіз”, методики кількісного аналізу речовин, методичні вказівки до виконання лабораторних робіт і основні правила безпеки роботи в лабораторії.

Наведені довідникові таблиці найважливіших констант, які необхідні при розв’язуванні задач та вправ.

Рекомендовано для студентів спеціальності ЕЗ Хімія.

УДК 543 (073)

*Рекомендовано до друку Вченою радою Черкаського
національного університету імені Богдана Хмельницького
(протокол № 4 від 23.10.2025 р.)*

© ЧНУ ім. Б. Хмельницького, 2025

© Ю. А. Шафорост

© В. О. Мінаєва

© Видавець Цибульська

ISBN 978-617-8324-64-3

ЗМІСТ

Пояснювальна записка	5
Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт	5
Гравіметричні методи аналізу	6
Лабораторне заняття №1. Гравіметричний аналіз. Визначення вмісту (%) сульфат-іонів у динатрій сульфаті. Одержання форми осадження	8
Лабораторне заняття №2. Гравіметричний аналіз. Визначення вмісту (%) сульфат-іонів у динатрій сульфаті. Одержання гравіметричної форми. Модульна контрольна робота №1. .	13
Титриметричні методи аналізу	22
Лабораторне заняття №3. Загальна характеристика титриметричного аналізу.	37
Кисотно-основне титрування	42
Лабораторне заняття №4. Теоретичні основи методів кисотно-основного титрування. Криві кисотно-основного титрування. Теорії індикаторів кисотно-основного титрування. Застосування методів кисотно-основного титрування.	48
Лабораторне заняття №5. Стандартизація робочих розчинів кисотно-основного титрування.	53
Лабораторне заняття №6. Застосування методів кисотно-основного титрування. Виконання контрольної експериментальної роботи. Контрольна робота з теми „Кисотно-основне титрування”.	62
Методи окисно-відновного титрування	88
Лабораторне заняття №7. Методи окисно-відновного титрування. Тестовий контроль знань з тем „Загальна характеристика методів окисно-відновного титрування”, „Теоретичні основи окисно-відновного титрування”.	90
Лабораторне заняття №8. Перманганатометрія. Дихроматометрія. Тестовий контроль знань з тем: „Перманганатометрія”, „Дихроматометрія”	92
Лабораторне заняття №9. Йодометрія. Контрольна робота з теми „Методи окисно-відновного титрування”	104
Методи осаджувального титрування	114
Лабораторне заняття №10. Методи осаджувального титрування. Аргентометрія. Тіоціанатометрія. Методи комплексометричного титрування. Комплексонометрія.	116
Лабораторне заняття №11. Виконання контрольної експериментальної роботи з теми „Застосування методів окисно-відновного, осаджувального і комплексометричного титрування”.	133
Модульна контрольна робота з теми: „Титриметричний аналіз	133
Додаток 1. Зважування на електронних вагах	135
Додаток 2. Константи йонізації найважливіших кислот і основ.	137

Додаток 3. Стандартні електродні потенціали деяких систем у водних розчинах.	138
Додаток 4. Молярні маси речовин та молярні маси речовин еквівалента.	142
Додаток 5. Допустимі відхилення від номінальної ємності градуйованого посуду технічного класу при 20 °С.	145
Додаток 6. Значення загальних констант нестійкості комплексних йонів.	147
Додаток 7. Значення коефіцієнтів Стьюдента t	148
Додаток 8. Відомості про шкідливість та безпеку при роботі з деякими хімічними реактивами.	149
Додаток 9. Правила техніки безпеки при роботі в лабораторії.	151
Додаток 10. Правила роботи з небезпечними, токсичними і вогнебезпечними речовинами.	151
Додаток 11. Перша допомога при нещасних випадках.	152
Навчальна література	153

Пояснювальна записка

Розвиток аналітичної хімії сприяв створенню різноманітних методів аналізу та варіантів їх комбінування. Можливість використання цих методів аналізу базується на вивченні їх фізико-хімічної сутності, загальних хімічних і фізичних закономірностей. Таким чином, для розуміння всіх розділів аналітичної хімії необхідні фундаментальні теоретичні знання з дисципліни. Мета курсу „Аналітична хімія” – ознайомити студентів з теоретичними основами сучасної аналітичної хімії, особливостями хімічних реакцій, методами визначення і розділення речовин, показати їх можливості й обмеження.

При вивченні аналітичної хімії необхідно сформулювати у студентів чіткі уявлення про предмет і особливості цієї науки як області наукового пізнання, зв'язки з іншими науками і практичну значимість. Крім цього, необхідно підкреслити провідну роль вимірювань в аналітичній хімії.

Головним завданням студентів при вивченні аналітичної хімії є набуття не тільки навичок лабораторного експерименту, але й умінь робити теоретичні висновки на основі проведених досліджень.

Програмою передбачено самостійне опрацювання значної частини навчального матеріалу, ознайомлення студентів із літературою й обов'язкове виконання студентами курсової роботи з аналітичної хімії.

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт

Виконання лабораторних робіт потребує якісних знань теоретичного матеріалу і методики виконання робіт. Перш ніж розпочати вивчення методики виконання, необхідно самостійно опанувати теоретичний матеріал, що знаходиться на відповідних сторінках вказаних літературних джерел. Після цього, використовуючи методрозробки до лабораторних робіт та відповідні практикуми, на які є посилання у планах лабораторних робіт, необхідно вивчити методику виконання роботи, звертаючи особливу увагу на техніку безпеки. До виконання лабораторних робіт студенти допускаються за умови виконання вище вказаних вимог. Після виконання роботи студент готує звіт і захищає роботу перед викладачем. Викладач перевіряє знання з теорії, методики виконання та практичне значення проведеної роботи.

Після позитивної відповіді, правильного оформлення роботи та перевірки достовірності отриманих результатів студенту виставляється залік за роботу. Якщо ці вимоги не виконуються і студент за таку роботу не отримує заліку, то він ще може повторно звітуватися в дні додаткових занять чи під час консультацій викладачів.

До значної частини робіт студенти повинні індивідуально розв'язати відповідну кількість задач і теж прозвітуватись про їх виконання викладачу. Номери задач і літературні джерела вказані в цій методичній розробці після плану кожного лабораторного заняття. Контрольні заходи будуть здійснюватись у відповідності з часом планування вивчення цього курсу в кожному семестрі.

ГРАВІМЕТРИЧНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ

Ключові слова і терміни: *гравіметричний аналіз; метод гравіметричного аналізу, заснований на хімічному осадженні; електрогравіметрія; методи прямої і непрямой відгонки, осаджувальна форма (осаджена форма; форма осадження); гравіметрична форма; індукційний період; первинні центри кристалізації; кристалічний осад; дозрівання осаду; декантація; аморфний осад; пептизація; коагуляція; електроліт-коагулянт; колоїдний розчин; співосадження; адсорбція; оклюзія; ізоморфне співосадження; переосадження; співосадження з колектором; гравіметричний (аналітичний) фактор (F).*

Короткі теоретичні відомості

Сутність гравіметричного аналізу

Гравіметричні методи кількісного аналізу засновані на точному вимірюванні маси речовини, яку виділяють у хімічно чистому вигляді, або у вигляді осаду точно відомого складу. Вміст визначуваного компонента у пробі розраховують на основі стехіометричних співвідношень.

В народногосподарській практиці гравіметричними методами частіше всього визначають гігроскопічну і кристалізаційну воду (в рудах, силікатах, вугіллі, деревині, оліях тощо); сульфур (у рудах, кам'яному і бурому вугіллі, торфі, нафті тощо); фосфор (у фосфоритах, апатитах, фосфорних добривах); магній і кальцій (у карбонатних породах, силікатній сировині тощо); ферум, алюміній, силіцій. Гравіметричні методи використовуються також для визначення вмісту купруму, цинку, кадмію, меркурію, аргентуму та інших елементів у різних об'єктах.

Класифікація методів гравіметричного аналізу

Методи гравіметричного аналізу можна розділити на 2 великі групи: методи відгонки і методи осадження.

1. Методи відгонки

1.1. Прямі.

1.2. Непрямі.

2. Методи осадження

2.1. Хімічні.

2.2. Електроаналітичні.

В методах відгонки компонент, що визначають, кількісно відганяють у вигляді леткої сполуки шляхом нагрівання або дії відповідних реагентів. Методи відгонки бувають прямими і непрямими. В прямих методах визначають масу леткої сполуки, а в непрямих методах відгонки визначають масу залишку після повного видалення елемента або сполуки, що визначається. Наприклад, вміст вологи в хімічно чистому зразку NaCl можна знайти шляхом висушування при 110 °C наважки* добре розтертої проби. Зважування проби після висушування показує, наскільки зменшилась її маса, тобто скільки води містилось в пробі.

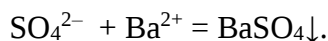
**Наважка аналітична* — частина проби, що використовується для проведення аналітичного визначення.

Прикладом прямого гравіметричного методу відгонки може бути визначення вуглекислого газу (карбон діоксиду) в карбонатних породах шляхом розкладу карбонатів кислотами:



Вуглекислий газ, що виділяється, поглинають спеціальними трубками, що заповнені сумішшю CaO і NaOH. За збільшенням маси апарату, що поглинає, розраховують масу CO₂ в наважці породи, а потім масову частку (%) CO₂.

У хімічних методах гравіметричного аналізу, заснованих на осадженні, компонент, що визначається, наприклад SO₄²⁻-іони, осаджують у вигляді малорозчинної хімічної сполуки BaSO₄:



Осад відфільтровують, промивають, потім висушують або прожарюють і зважують. Знаючи масу і склад осаду, розраховують вміст компонента, що визначають.

Із названих методів гравіметричного аналізу найбільш поширеним є метод гравіметричного аналізу, заснований на хімічному осадженні.

Гравіметричний аналіз, що заснований на хімічному осадженні, складається з ряду етапів: взяття наважки, розчинення її, отримання осаджувальної форми (форми осадження), дозрівання осаду, фільтрування та промивання осаду, висушування або прожарювання осаду до отримання постійної маси гравіметричної форми, зважування її, розрахунку вмісту компонента. Вміст компонента, що визначають, виражають в відсотках від наважки проби, що аналізують. Для деяких етапів аналізу потрібні також розрахунки. Слід розрахувати величину наважки та кількість осаджувача, втрату осаду при промиванні і об'єм промивної рідини.

Переваги та недоліки гравіметричних методів аналізу

Переваги гравіметричних методів аналізу:

- висока точність визначень – похибка визначення складає 0,1 – 0,2 %;
- відсутність будь-яких стандартизацій або градувань за стандартними зразками;
- простота розрахунку (за молярними масами та стехіометричними співвідношеннями);
- невеликі матеріальні затрати та широкий діапазон застосування.

Недоліки гравіметричних методів аналізу:

- невисока селективність осадження, що вимагає попереднього розділення або виділення компоненту, що аналізують;
- тривалість виконання аналізу.

Методичні рекомендації до вивчення теми «Гравіметричний аналіз»

1. Розгляньте суть, класифікацію, переваги і недоліки гравіметричного аналізу в порівнянні з іншими кількісними методами аналізу.

2. При проведенні розрахунків в гравіметричному аналізі зверніть увагу на розрахунок масової частки речовини, що визначають, з використанням фактору перерахунку та без нього і на перерахунок результатів аналізу на абсолютно суху речовину.

3. Розрахунки наважки, маси розчинника, необхідного для розчинення наважки, а також маси чи об'єму осаджувача є наближеними, у межах 1–2 значущих цифр, всі інші **розрахунки в гравіметричному аналізі проводять з чотирма значущими цифрами.**

ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ГРАВІМЕТРИЧНОГО АНАЛІЗУ

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ №1

Тема: „Гравіметричний аналіз. Визначення вмісту (%) сульфат-іонів у динатрій сульфаті. Одержання форми осадження”

Мета: ознайомитися з сутністю гравіметричного аналізу; вивчити основні операції при одержанні форми осадження, вимоги до неї.

План заняття

I. Перевірка знань теоретичного матеріалу:

- 1.1. Предмет і методи кількісного аналізу.
- 1.2. Аналітичні терези, їх будова. Правила зважування.
- 1.3. Сутність гравіметричного аналізу. Класифікація методів гравіметричного аналізу.
- 1.4. Область застосування гравіметричного аналізу.
- 1.5. Методика визначення вмісту (%) кристалізаційної води в барій хлорид-вода (1/2) методом відгонки.
- 1.6. Метод гравіметричного аналізу, заснований на хімічному осадженні.
- 1.7. Форма осадження та вимоги до неї.
- 1.8. Оптимальні умови одержання кристалічних і аморфних осадів у гравіметричному аналізі.
- 1.9. Вибір осаджувача, вимоги до нього, розрахунок кількості осаджувача.
- 1.10. Органічні осаджувачі. Приклади.
- 1.11. Співосадження і способи його усунення.
- 1.12. Методика визначення вмісту (%) сульфат-іонів у динатрій сульфаті.
- 1.13. Розгляд вправ.

II. Практична частина:

Робота №1: „Визначення вмісту (%) сульфат-іонів у динатрій сульфаті”.

Завдання для самостійної роботи:

1. Опрацювати лекційний матеріал з теми: „Гравіметричний аналіз” [6].
2. Робота з підручником: [2, с. 36–100].
3. Самостійно опрацювати питання „Приклади практичного застосування гравіметричного методу аналізу”. (Визначення вмісту кристалізаційної води в кристалогідратах методом відгонки. Визначення вмісту сульфуріу методом осадження. Визначення феруму, кальцію, магнію. Застосування органічного реагенту 8-оксихіноліну для гравіметричного визначення магнію і алюмінію та диметилгліоксиму для гравіметричного визначення нікелю.)
4. Опрацювати тестові завдання з теми „Гравіметричний аналіз” [7].
5. Розв’язати задачі відповідного варіанту з теми „Гравіметричний аналіз” [10].

**Варіанти задач для самостійного розв'язування з теми:
„Гравіметричний аналіз”**

№ варіанту	Лаб. практ. [10]	№ варіанту	Лаб. практ. [10]	№ варіанту	Лаб. практ. [10]
1	1, 14	6	6, 19	11	11, 24
2	2, 15	7	7, 20	12	12, 25
3	3, 16	8	8, 21	13	13, 26
4	4, 17	9	9, 22	14	1, 14
5	5, 18	10	10, 23	15	2, 15

Задачі для самостійного розв'язування

1. Обчислити наважку діалюміній трисульфат(VI)–вода(1/18) – $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$, яку необхідно взяти для визначення елемента алюмінію у вигляді алюміній тригідроксиду, якщо необхідно, щоб аналізований розчин містив алюміній масою близько 0,05 г.

В: 0,6 г.

2. При визначенні хлорид-іонів у вигляді гравіметричної форми аргентум хлориду бажано, щоб осад мав масу близько 0,4–0,6 г. Яку наважку речовини необхідно взяти, якщо масова частка хлорид-іонів в ній близько 30%.

В: $\approx$ 0,33–0,50 г.

3. Обчислити наважку залізного купоросу $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, необхідну для визначення в ньому елемента феруму у вигляді ферум(III) оксиду – Fe_2O_3 , вважаючи, що оптимальна маса Fe_2O_3 дорівнює 0,2 г.

В: 0,7 г.

4. Обчислити наважку сплаву цинку з масовою часткою речовини цинку близько 2%, яку необхідно взяти для визначення в ньому цинку у вигляді цинк дифосфату(V) – $\text{Zn}_2\text{P}_2\text{O}_7$, враховуючи, що формою осадження є амоній цинк ортофосфат – ZnNH_4PO_4 .

В: 10,7 г.

5. Обчислити наважку ферум(II) сульфіді з масовою часткою елемента сульфуру близько 30%, яку необхідно взяти для визначення в ньому сульфуру у вигляді барій сульфату.

В: 0,2 г.

6. Розрахувати наважку руди з масовою часткою елемента феруму близько 70% для визначення вмісту феруму, осадженого у вигляді $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

В: 0,1 г.

7. Обчислити наважку аргентум нітрату для визначення вмісту елемента аргентуму, якщо формою осадження є аргентум хлорид.

В: 0,6 г.

8. Обчислити наважку галуни $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ марки «технічний» з масовою часткою речовини алюміній калій дисульфат(VI)–вода(1/12) 85%, яку необхідно взяти для визначення в ньому вмісту елемента алюмінію.

В: 1,09–3,28 г.

9. Обчислити наважку речовини з масовою часткою елемента феруму 50%, необхідну для визначення в ній вмісту феруму.

В: 0,1 г.

10. Розрахувати наважку речовини, що містить $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ з масовою часткою речовини 35% і $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ з масовою часткою речовини 60% для визначення елемента алюмінію, якщо допустити, що маса гравіметричної форми Al_2O_3 дорівнює 0,0700 г.

В: 0,415 г.

11. Обчислити наважку кальцій карбонату CaCO_3 , необхідну для одержання осаду кальцій оксиду CaO масою 0,3 г.

В: 0,54 г.

12. Обчислити наважку речовини барій дихлорид-вода(1/2) $-\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, яку необхідно взяти для визначення в ній вмісту елемента барію.

В: 0,52 г.

13. Обчислити наважку суміші з масовою часткою речовини натрій сульфату 30% і калій сульфату 70%, яку необхідно взяти для аналізу для визначення вмісту сульфат-іонів, щоб маса прожареного осаду BaSO_4 була не більше, ніж 0,2 г.

В: 0,15 г.

14. Розрахувати об'єм розчину сульфатної кислоти, що містить H_2SO_4 масою 200 г в 1 дм^3 , який необхідно взяти для розчинення цинку масою 0,5 г.

В: 3,75 см^3 .

15. Розрахувати об'єм розчину сульфатної кислоти з масовою часткою речовини H_2SO_4 10%, який необхідно взяти для розчинення алюмінію масою 0,3 г.

В: 15,3 см^3 .

16. Обчислити об'єм води, необхідний для розчинення за кімнатної температури барій карбонату масою 3 г.

В: 169 дм^3 .

17. Розрахувати об'єм одномолярного розчину сульфатної кислоти, який необхідно взяти згідно з рівнянням хімічної реакції осадження плюмбум(2+)-іонів з розчину, що містить плюмбум динітрат $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ масою 0,5 г.

В: 1,5 см^3 .

18. Обчислити об'єм 0,25 M розчину діамоній оксалату $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$, який необхідно взяти для осадження кальцій(2+)-іонів з розчину, одержаного розчиненням кальцій карбонату CaCO_3 масою 0,7 г.

В: 28 см^3 або з надлишком 42 см^3 .

19. Розрахувати об'єм розчину амоніаку $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, густина якого дорівнює 0,99 г/см^3 , який необхідно взяти для осадження ферум(3+)-іонів з розчину, одержаного при розчиненні амонійнозалізного галуноу $(\text{NH}_4)\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ масою 1 г.

В: 5,65 см^3 або з надлишком осаджувача 50 % 8,5 см^3 .

20. Сульфат-іони осаджують з 10 см^3 розчину сульфатної(VI) кислоти з масовою часткою речовини H_2SO_4 5,23 % 1 M розчином барій дихлорид-вода(1/2) ($\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Обчислити необхідний об'єм розчину барій дихлорид-вода(1/2), якщо надлишок осаджувача дорівнює 20 %.

В: 6,62 см^3 .

21. Розрахувати об'єм розчину барій дихлорид-вода(1/2) ($\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), що містить 63 г речовини в 1 дм^3 , необхідний для осадження амоній сульфату $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ масою 0,20 г.

В: 5,9 см^3 .

22. Обчислити об'єм 0,5 М розчину речовини оксалатна кислота-вода(1/2) ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), який потрібно взяти для осадження всієї кількості речовини кальцій(2+)-іонів із кальцій динітрат-вода(1/6) ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) масою 0,3269 г.

В: 4,8 см³.

23. Обчислити об'єм 2 М розчину сульфатної кислоти, який необхідно взяти для осадження всієї кількості речовини барій(2+)-іонів з барій дихлорид-вода(1/2) масою 0,4162 г.

В: 1,7 см³.

24. Обчислити об'єм 0,1 М розчину аргентум нітрату, який необхідно для осадження хлорид-іонів із 12 см³ розчину, що містить в 1 дм³ калій хлорид масою 6,5 г.

В: 10,5 см³.

25. Обчислити об'єм 0,5 М розчину речовини оксалатна кислота-вода(1/2) ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), який потрібно взяти для осадження всієї кількості речовини кальцій(2+)-іонів із сполуки кальцію масою 0,4273 г з масовою часткою речовини кальцій оксиду 22,4%.

В: 6,8 см³.

26. Розрахувати об'єм розчину амоніаку ($\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) з масовою часткою речовини NH_3 2,5% (густина розчину амоній гідроксиду дорівнює 0,99 г/см³), який необхідно взяти для осадження всієї кількості речовини алюміній(3+)-іонів з алюмоамонійного галуну – (NH_4) $\text{Al}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ масою 1,234 г.

В: 5,6 см³.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №1

Тема: „Визначення вмісту (%) сульфат-іонів у динатрій сульфаті”

Мета: одержати форму осадження.

Лабораторне обладнання та реактиви: аналітичні і технічні терези, різноважки, бюкси, електроплитка, 2 хімічних стакана (300 см³), промивалка, скляна паличка з гумовим кінчиком, банки для зливання, кристалічні динатрій сульфат (Na_2SO_4) і барій дихлорид-вода(1/2) ($\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), 2 М розчин хлоридної кислоти.

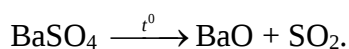
Сутність визначення

Визначення вмісту елементу сульфору або сульфат-іонів гравіметричним методом засновано на хімічному осадженні сульфат-іонів розчином барій хлориду:

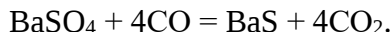
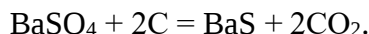


Осаджувальна форма BaSO_4 має кристалічну структуру, зручну при відокремленні осаду. Недоликом осаджувальної форми BaSO_4 є властивість утворювати *дрібнокристалічний* осад і помітна розчинність осаду у воді і кислих розчинах. Розчинність осаду BaSO_4 зменшують введенням надлишку осаджувача.

При прожарюванні осаду BaSO_4 склад осаду не змінюється, тому сполука BaSO_4 є і гравіметричною формою. Прожарювання осаду проводять за температури 600–800 °С у продовж 20–25 хв. При 1400 °С осад розкладається (термічна дисоціація):



Осад може частково відновлюватися вугіллям фільтра або відновлювальним полум'ям:



З метою усунення побічних процесів спалювання (озоління) фільтра проводять повільно при низькій температурі і доступі кисню повітря.

Порядок виконання роботи

1. Схема гравіметричного визначення:



2. Розрахунок теоретичної наважки динатрій сульфату.

Оскільки осад барій сульфату кристалічний, практична маса гравіметричної форми BaSO_4 повинна бути приблизно 0,5 г.



<i>n</i>	1 моль	1 моль
<i>M</i>	142,04 г/моль	233,43 г/моль
<i>m</i>	142,04 г	233,43 г
	х г	0,5 г

$$x = m(\text{Na}_2\text{SO}_4)_{\text{теор.}} = \frac{142,04 \cdot 0,5}{233,43} = 0,3042 \text{ (г)}.$$

3. Взяття наважки Na_2SO_4 :

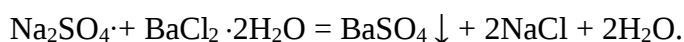
маса бюксу з речовиною, г

маса пустого бюксу....., г

наважка $m(\text{Na}_2\text{SO}_4)_{\text{практ.}}$, г

4. Розчинення наважки Na_2SO_4 у воді ($\approx 100 \text{ см}^3$).

5. Розрахунок наважки осаджувача барій дихлорид-вода (1/2):



<i>n</i>	1 моль	1 моль
<i>M</i>	142,04 г/моль	244,31 г/моль
<i>m</i>	142,04 г	244,31 г
	0,3042 г	х г

$$x = \frac{0,3042 \cdot 244,31}{142,04} = 0,52 \text{ (г)}.$$

Для того, щоб зменшити розчинність осаду барій сульфату, беруть півторакратний надлишок осаджувача. Тому: $m(\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = 0,52 \cdot 1,5 = 0,78 \text{ (г)}.$

6. Приготування розчину осаджувача.

Звичайно осаджування проводять розведеним розчином осаджувача $w(\%)(\text{BaCl}_2) = 5$, тобто в 100 г розчину знаходиться 5 г барій дихлориду або 5,87 г барій дихлорид-води (1/2). Розрахуємо об'єм розчину барій дихлориду з $w(\%)(\text{BaCl}_2) = 5$, який містить 0,78 г $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$:

100 г розчину містить 5,87 г $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

x г розчину містить 0,78 г $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

$$x = 13,3 \text{ г або } \approx 13,3 \text{ см}^3.$$

Розчин барій дихлориду ($w(\%)(\text{BaCl}_2) = 5$) наливаємо в бюретку.

7. Осадження:

До розчину динатрій сульфату додаємо 2–3 см³ 2 М розчину хлоридної кислоти (пояснити для чого?), розчин нагріваємо на електроплитці до кипіння (не кип'ятити!). Із бюретки **по краплях** до гарячого розчину динатрій сульфату додаємо розчин барій дихлориду об'ємом 13,3 см³, помішуємо скляною паличкою, не торкаючись нею дна і стінок стакану (пояснити чому?).

8. Дозрівання осаду.

Розчин з осадом залишаємо для дозрівання до наступного заняття.

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ №2

Тема: „Гравіметричний аналіз. Визначення вмісту (%) сульфат-іонів у динатрій сульфаті. Одержання гравіметричної форми”

Мета: засвоїти основні операції гравіметричного аналізу та вимоги до гравіметричної форми.

План заняття

I. Перевірка знань теоретичного матеріалу:

- 1.1. Дозрівання осаду.
- 1.2. Повнота осадження.
- 1.3. Гравіметрична форма та вимоги до неї.
- 1.4. Способи одержання гравіметричної форми.
- 1.5. Основні операції одержання гравіметричної форми.
- 1.6. Розрахунки в гравіметричному аналізі. Аналітичний множник (фактор перерахунку).
- 1.7. Області застосування гравіметричного аналізу.
- 1.8. Методика одержання гравіметричної форми осаду при визначенні масової частки сульфат-іонів у динатрій сульфаті.
- 1.9. Розгляд вправ.

II. Практична частина:

Робота №2: „Визначення вмісту (%) сульфат-іонів у динатрій сульфаті” (продовження).

III. Тестова модульна контрольна робота з теми: „Гравіметричний аналіз”.

Завдання для самостійної роботи:

1. Робота з підручником: [2, с. 36–100].
2. Розв'язати задачі відповідного варіанту з теми „Гравіметричний аналіз”.
3. Підготуватися до модульної контрольної роботи з теми „Гравіметричний аналіз”.
4. Дати відповіді на контрольні питання з теми „Гравіметричний аналіз”.

**Варіанти задач для самостійного розв'язування з теми:
„Гравіметричний аналіз”**

№ варіанту	Лаб. практ. [10]	№ варіанту	Лаб. практ. [10]
1	27, 40, 57(а), 68	8	34, 47, 54, 63
2	28, 41, 58, 64	9	35, 48, 53, 64
3	29, 42, 57(б), 59	10	36, 49, 58, 65
4	30, 43, 56(б), 60	11	37, 50, 57(а), 66
5	31, 44, 56(а), 61	12	39, 51, 57(б), 67
6	32, 45, 55, 62	13	38, 52, 56(а), 68
7	33, 46, 54, 63	14	27, 40, 57(а), 68

Задачі для самостійного розв'язування

27. Розрахувати об'єм 1 М розчину барій дихлорид-вода(1/2) ($\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), необхідний для осадження сульфат-іонів з розчину, що містить мідний купорос $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ масою 2 г з масовою часткою домішок 5%.

В: 23 см³ (з півторакратним надлишком).

28. Визначити об'єм 0,1 М розчину хлоридної кислоти, який необхідно взяти для осадження аргентум-іонів з наважки 0,6 г аргентум нітрату.

В: 53 см³ (з півторакратним надлишком).

29. Обчислити об'єм 0,5 М розчину діамоній оксалату, який необхідно взяти для осадження всієї кількості речовини Ca^{2+} -іонів із розчину, одержаного при розчиненні кальцій карбонату масою 0,7 г.

В: 28 см³.

30. Обчислити масу барій сульфату, яка залишиться в розчині об'ємом 200 см³ при осадженні барій дихлориду еквівалентною кількістю речовини H_2SO_4 . Чи можна вважати осадження за цих умов практично повним?

В: 0,0005 г, не можна.

31. Осад, що містить кальцій карбонат масою 0,3 г CaCO_3 , промили дистильованою водою об'ємом 300 см³. Обчислити, яка маса речовини кальцій карбонату розчиниться при цьому і яку масову частку від маси осаду (у %) становлять втрати внаслідок розчинення осаду?

В: 0,0021 г; 0,70 %.

32. Осад, що містить кальцій карбонат масою 0,3 г, промили 0,1 М розчином амоній карбонату – $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ об'ємом 300 см³. Яка маса осаду речовини кальцій карбонату розчиниться при цьому і яку масову частку від маси осаду (у %) становлять втрати внаслідок розчинення осаду?

В: $1,44 \cdot 10^{-6}$ г; 0,0005 %.

33. Обчислити втрату від розчинності осаду барій сульфату в 200 см³ розчину при осадженні барій(2+)-іонів надлишком сульфатної кислоти у 0,001 моль/дм³.

В: 0,000005 г.

34. Осад BaSO_4 масою 0,1 г промитий 250 см³ дистильованої води. Яка маса осаду перейшла у розчин (у %)?

В: 0,6 %.

35. При промиванні осаду барій карбонату масою 0,15 г витрачено 200 см³ дистильованої води. Обчислити масову частку (у %) втрати осаду при промиванні його.

В: 1,9 %.

36. Обчислити масову частку (у %) втрати осаду при промиванні кальцій сульфату масою 2 г 1 дм³ дистильованої води. $DP(CaSO_4) = 9,1 \cdot 10^{-6}$.

В: 20,53 %.

37. Осад барій хромату(VI) масою 0,01 г промили 100 см³ дистильованої води. Обчислити масову частку (у %) втрати осаду від розчинення при промиванні.

В: 2,8 %.

38. Обчислити масу барій сульфату, яка перейде в розчин, якщо осад промили 500 см³ 0,01 М розчину сульфатної кислоти.

В: $1,2 \cdot 10^{-6}$ г.

39. Обчислити масу барій сульфату, яка перейде в розчин, якщо осад промити: а) 250 см³ дистильованої води; б) 250 см³ дистильованої води, що містить амоній сульфат – $(NH_4)_2SO_4$ масою 0,83 г.

В: а) 0,6 мг; б) 0,000256 мг.

40. Хлорид-іони, які містить розчин, осадили аргентум нітратом у вигляді AgCl. Маса одержаного осаду після висушування була рівна 0,1562 г. Написати рівняння хімічної реакції і обчислити вміст (у г) хлорид-іонів у розчині.

В: 0,0386 г.

41. Аргентум-іони, які містить розчин, осадили у вигляді аргентум хлориду, маса якого після висушування була рівною 0,4206 г. Обчислити вміст (у %) аргентум-іонів у розчині.

В: 0,3165 г.

42. З розчину натрій броміду бромід-іони осадили у вигляді аргентум броміду. Після висушування маса осаду була рівна 0,2510 г. Написати рівняння хімічної реакції і обчислити вміст (у г) бромід-іонів у розчині.

В: 0,1375 г.

43. З розчину магній хлориду магній(2+)-іони осадили у вигляді амоній магній ортофосфату $MgNH_4PO_4$. Після прожарювання маса отриманого осаду магній дифосфату(V) $Mg_2P_2O_7$ була рівна 0,1113 г. Написати рівняння хімічних реакцій і обчислити вміст (у г) магній(2+)-іонів у розчині.

В: 0,02400 г.

44. З розчину ферум(III) сульфату $(Fe_2(SO_4)_3)$ ферум(III)-іони осадили у вигляді ферум(III) гідроксиду. Маса прожареного осаду ферум(III) оксиду Fe_2O_3 виявилась рівною 0,3288 г. Написати рівняння хімічних реакцій і обчислити вміст (у г): а) ферум(III)-іонів у розчині; б) ферум(III) сульфату – $Fe_2(SO_4)_3$ у розчині.

В: а) 0,23 г; б) 0,821 г.

45. З розчину, приготованому із залізного купоросу $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, ферум(II)-іони окиснили нітратною(V) кислотою до феруму(III), а потім осадили у вигляді ферум(III) гідроксиду. Маса прожареного осаду ферум(III) оксиду Fe_2O_3 виявилась рівною 0,2662 г. Написати рівняння хімічних реакцій і обчислити вміст (у г): а) феруму у розчині, б) залізного купоросу $FeSO_4 \cdot 7H_2O$.

В: а) 0,1863 г; б) 0,9269 г.

46. З 50 см³ розчину алюміній сульфату сульфат-іони осадили у вигляді барій сульфату. Маса барій сульфату була рівна 0,2640 г. Обчислити вміст (у г) в 1 дм³ розчину: а) сульфат-іонів, б) речовини алюміній сульфат-вода(1/18) – $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$.

В: а) 2,174 г; б) 5,025 г.

47. З 200 см³ розчину натрій флюориду NaF флюорид-іони осадили у вигляді плумбум(II) хлорид флюориду PbClF , діючи плумбум динітратом і калій хлоридом. Обчислити вміст в 1 дм³ розчину: а) флюорид-іонів б) натрій флюориду, якщо маса висушеного осаду PbClF була рівна 0,3069 г.

В: а) 0,1115 г; б) 0,2465 г.

48. Розчин калій хлорату(V) KClO_3 (бертолетова сіль) обробили розчином сульфатної(IV) кислоти для відновлення хлорат(V)іонів ClO_3^- до хлорид-іонів і додали надлишок аргентум нітрату. Маса одержаного осаду AgCl після висушування була рівна 0,2442 г. Написати рівняння хімічних реакцій і обчислити вміст (у г) бертолетової солі у розчині.

В: 0,2088 г.

49. Розчин мідного купоросу $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ обробили калій тіоціанатом KSCN у присутності відновника – сульфатної(IV) кислоти H_2SO_3 для відновлення купрум(II)-іонів до купрум(I)-іонів. Маса одержаного осаду CuSCN після висушування була рівна 0,2058 г. Написати рівняння хімічних реакцій і обчислити масу мідного купоросу, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, що міститься у розчині.

В: 0,4217 г.

50. Для визначення вмісту у розчині речовини динатрій тіосульфат-вода(1/5) $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ його окиснили до сульфат(VI)-іонів, які осадили у вигляді барій сульфату. Обчислити масу $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ у взятому для аналізу розчині, якщо маса прожареного осаду барій сульфату була рівна 0,3062 г.

В: 0,1628 г.

51. Розчин калій йодиду обробили паладій(II) хлоридом PdCl_2 . Осад паладій(II) йодиду PdI_2 прожарили в струмені водню, який відновив сполуку осаду до металічного паладію. Обчислити вміст (у г) калій йодиду у розчині, якщо маса металічного паладію дорівнює 0,2345 г.

В: 0,7317 г.

52. Осад, що містить діалюміній триоксид Al_2O_3 , диферум триоксид Fe_2O_3 , і силіцій діоксид SiO_2 , обробили сумішшю флюоридної HF та сульфатної H_2SO_4 кислот для видалення силіцій діоксиду. При цьому маса осаду зменшилась на 0,2607 г. Написати рівняння хімічної реакції і обчислити масу елемента силіцію у початковому осаді.

В: 0,1216 г.

53. Розрахувати аналітичний множник для визначення вмісту хлорид-іонів, якщо гравіметричною формою є аргентум хлорид.

В: 0,2474.

54. Розрахувати аналітичні множники для визначення вмісту флюору, якщо гравіметричною формою є кальцій дифлюорид CaF_2 і силіцій тетрафлюорид SiF_4 .

В: 0,4867 та 0,7308.

55. Розрахувати аналітичні множники в наступних прикладах: визначають вміст кальцію у вигляді кальцій оксиду CaO ; хрому – у вигляді дихром триоксиду Cr_2O_3 ; магній сульфату MgSO_4 у вигляді магній дифосфату(V) $\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$; калію у вигляді дикалій натрій гексанітрокобальтат-вода(1/1) $\text{K}_2\text{Na}[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]\cdot\text{H}_2\text{O}$.

В: 0,7147; 0,6843; 1,0816; 0,1722.

56. Розрахувати аналітичні множники при визначенні а) трикальцій дифосфату(V) за масою кальцій оксиду CaO , б) дихром триоксиду Cr_2O_3 за масою плюмбум(II) хромату(VI) PbCrO_4 .

В: а) 1,8438; б) 0,2351.

57. Розрахувати аналітичні множники при визначенні а) сульфур у за масою барій сульфату і за масою аргентум сульфату; б) цинку за масою цинк дифосфату(V) $\text{Zn}_2\text{P}_2\text{O}_7$.

В: а) 0,1372; 0,1291; б) 0,4276.

58. Використавши аналітичний множник, обчислити масу магнію у пробі, якщо маса гравіметричної форми магній дифосфату(V) $\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$ дорівнює 0,2518 г.

В: 0,05499 г.

59. У результаті аналізу глинозему знайдено, що маса алюмінію відноситься до маси оксигену в глиноземі як 9 : 8. Знайти формулу глинозему.

В: Al_2O_3 .

60. У результаті аналізу сполуки знайдено, що масові частки, які припадають на атоми кальцію, гідрогену, фосфору і оксигену у сполуці, дорівнюють відповідно (у %): 23,53; 2,37; 36,49 і 37,61. Знайти найпростішу формулу цієї сполуки.

В: $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$.

61. Знайти найпростішу хімічну формулу сполуки, якщо аналізом установлено, що масові частки (у %), які припадають на атоми карбону, гідрогену і оксигену у сполуці, дорівнюють відповідно: 26,67; 2,24 і 71,09.

В: $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$.

62. Знайти найпростішу хімічну формулу сполуки, якщо аналізом установлено, що масові частки (у %), які припадають на сполуки кальцій оксид CaO , натрій оксид Na_2O і сульфур триоксид SO_3 , відносяться між собою як 9:10:26.

В: $\text{Na}_2\text{CaS}_2\text{O}_8$.

63. Знайти найпростішу хімічну формулу мінералу, якщо аналізом установлено, що масові частки (у %), які припадають на сполуки калій оксид K_2O , діалюміній триоксид Al_2O_3 , і силіцій діоксид SiO_2 , відповідно дорівнюють 21,53; 23,35 і 55,12.

В: KAlSi_2O_6 .

64. Знайти найпростішу хімічну формулу силікату, якщо аналізом установлено, що масові частки (у %), які припадають на сполуки кальцій оксид CaO , магній оксид MgO , ферум(II) оксид FeO і силіцій діоксид SiO_2 , відповідно дорівнюють 24,72; 11,93; 10,39 і 53,09.

В: $\text{Ca}(\text{Mg,Fe})(\text{SiO}_3)_2$.

65. Знайти найпростішу хімічну формулу мінералу, якщо аналізом установлено, що масові частки (у %), які припадають на сполуки манган монооксид MnO , кальцій оксид CaO і сульфур діоксид SO_2 , відповідно дорівнюють 46,36; 6,91 і 46,83.

В: $(\text{Mn,Ca})\text{SO}_3$.

66. Знайти найпростішу хімічну формулу сполуки, якщо аналізом установлено, що масові частки (у %), які припадають на атоми феруму і кисню в ній, відповідно дорівнюють 69,94 і 30,06.

В: Fe_2O_3 .

67. Знайти найпростішу хімічну формулу сполуки, якщо аналізом установлено, що масові частки (у %), які припадають на сполуки магній оксид MgO і дифосфор пентаоксид P_2O_5 , відповідно дорівнюють 36,23 і 63,77.

В: $\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$.

68. Знайти найпростішу хімічну формулу силікату, якщо аналізом установлено, що масові частки (у %), які припадають на сполуки діалюміній триоксид Al_2O_3 , кальцій оксид CaO , силіцій діоксид SiO_2 і вода, відповідно дорівнюють 17,23; 18,92; 60,81 і 3,04.

В: $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №1 (продовження)

Тема: „Визначення вмісту (%) сульфат-іонів у кристалогідраті динатрій сульфаті. Одержання гравіметричної форми”

Мета: одержати гравіметричну форму; провести розрахунок вмісту сульфат-іонів за результатами аналізу.

Лабораторне обладнання та реактиви: промивалка, мірний циліндр, 2 стакана, штатив з кільцем, лійка діаметром 7-9 см, фільтри з синьою стрічкою, тигель, сушильна шафа, муфельна піч, ексікатор, пробірки, піпетки (1 та 5 см^3), ножиці, аналітичні і технічні терези, різноважки; розчин барій хлориду ($w(\%)(\text{BaCl}_2) = 5$), розчин аргентум нітрату ($c(\text{AgNO}_3) = 0,02$ моль/ дм^3).

Порядок виконання роботи

1. Перевірка на повноту осадження.

2. Підготовка до фільтрування [2, с. 48–51]:

- а) щільність фільтра;
- б) розмір фільтра;
- в) вибір лійки;
- г) укладання фільтра в лійку.

3. Фільтрування і промивання осаду:

- а) декантація;
- б) вибір промивної рідини (осад промивають холодною дистильованою водою);
- в) промивання осаду в стакані з наступною декантацією 2–3 рази (щоб менше втратити барій сульфат при промиванні, осад промивають малими порціями холодної води);
- г) перенесення осаду на фільтр;
- д) промивання осаду на фільтрі (при промиванні осаду на фільтрі необхідно кожний раз досягати повного стікання рідини з фільтра);
- е) перевірка на повноту відмивання хлорид-іонів (для перевірки повноти промивання осаду у пробірку беруть 1–2 краплі фільтрату з промивної рідини і виконують характерну якісну реакцію на Cl^- -іон з аргентум нітратом).

4. Висушування фільтра з осадом.

5. Озоління фільтра.

Після висушування осад с фільтром переносять у прожарений до сталої маси тигель і озольють.

6. Прожарювання осаду.

7. Зберігання тигля з осадом і зважування гравіметричної форми:

Тигель з осадом зберігають в ексикаторі!

маса тигля з речовиною....., Г

маса пустого тигля....., Г

$m(\text{BaSO}_4)_{\text{практ.}}$, Г

8. Розрахунок вмісту (%) сульфат-іонів у солі динатрій сульфаті.

$$m(\text{SO}_4^{2-})_{\text{практ.}} = m(\text{BaSO}_4)_{\text{практ.}} \cdot F(\text{SO}_4^{2-}/\text{BaSO}_4),$$

де $F(\text{SO}_4^{2-}/\text{BaSO}_4)$ – аналітичний множник перерахунку гравіметричної форми BaSO_4 на сульфат-іон. З таблиці 1 $F(\text{SO}_4^{2-}/\text{BaSO}_4) = 0,4116$.

$$w(\%)(\text{SO}_4^{2-}) = \frac{m(\text{SO}_4^{2-})_{\text{практ.}}}{m(\text{Na}_2\text{SO}_4)} \cdot 100.$$

9. Розрахунок теоретичного вмісту (%) сульфат-іонів у солі динатрій сульфаті.

	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \longrightarrow$	SO_4^{2-}
n	1 моль	1 моль
M	142,04 г/моль	96,06 г/моль
m	142,04 г	96,06 г
	100 г	х г

$$x = w(\%)(\text{SO}_4^{2-}) = \frac{96,06 \cdot 100}{142,04} = 67,63.$$

Висновок:

Контрольні питання з теми „Гравіметричний аналіз”

1. На чому заснований гравіметричний аналіз?
2. Які є методи гравіметричного аналізу?
3. Наведіть приклади гравіметричних визначень прямої і непрямої відгонки.
4. Назвіть основні операції гравіметричного аналізу методом осадження.
5. При якій умові утворюється осад?
6. Який з наведених осадів є найменш розчинним? $\text{ДР}(\text{CaCO}_3) = 4,8 \cdot 10^{-9}$; $\text{ДР}(\text{CaC}_2\text{O}_4) = 2,3 \cdot 10^{-9}$; $\text{ДР}(\text{CaSO}_4) = 9,1 \cdot 10^{-6}$.
7. Що називається осаджувальною формою? Які основні вимоги до осаджувальної форми?
8. Напишіть формули форм осадження, придатних для гравіметричного визначення Mg^{2+} , Ca^{2+} , Ba^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{3+} і Ni^{2+} -іонів.

9. Що таке практично повне осадження? Які втрати осаду допустимі в гравіметричному аналізі?
10. У вигляді якої сполуки – BaCO_3 , BaC_2O_4 або BaSO_4 – найбільш доцільно осаджувати йони Ba^{2+} з метою кількісного гравіметричного визначення?
11. Дати визначення «гравіметричній» формі та навести приклади.
12. Які вимоги повинна задовольняти гравіметрична форма осаду?
13. Вкажіть гравіметричні форми таких форм осадження: CaC_2O_4 , $\text{Mg}(\text{NH}_4)\text{PO}_4$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, AgCl .
14. Чому дорівнює рекомендована маса гравіметричної форми для кристалічних осадів?
15. Чому дорівнює рекомендована маса гравіметричної форми для аморфних осадів?
16. Які вимоги висуваються до осаджувачів у гравіметричному аналізі?
17. Який об'єм осаджувача рекомендується брати для гравіметричного аналізу?
18. Яким осаджувачем – розчином NaOH чи NH_4OH – найбільш доцільно осаджувати ферум(III)-іони при гравіметричному визначенні феруму? Чому?
19. Яким реактивом у гравіметричному аналізі найкраще осаджувати аргентум-іони?
20. Охарактеризуйте умови отримання кристалічних осадів у гравіметричному аналізі?
21. Які процеси відбуваються при дозріванні кристалічного осаду?
22. Які умови необхідно виконувати при одержанні аморфних осадів у гравіметричному аналізі?
23. Охарактеризуйте адсорбційні властивості аморфних осадів.
24. Що таке коагуляція, пептизація?
25. Як називається явище подрібнення аморфного осаду?
26. Що називається співосадженням?
27. Що таке адсорбція та оклюзія?
28. Які заходи вживають для зменшення забруднення осаду за рахунок адсорбції?
29. Як проконтролювати повноту осадження йону, який визначають?
30. Що розуміють під поняттям «декантація»?
31. Як обирають промивні рідини для промивання осадів у гравіметричному аналізі?
32. Якого правила потрібно дотримуватись при промиванні осаду?
33. За якою формулою можна розрахувати практичний вміст води в кристалогідраті барій хлорид–вода(1/2)?
34. Що таке аналітичний множник перерахунку гравіметричної форми на визначувану речовину, як його ще називають?
35. Скільки значущих цифр у визначенні аналітичного множника повинно бути?
36. Що показує аналітичний множник гравіметричного визначення?
37. Які переваги та недоліки гравіметричних методів аналізу?

**Зразок завдань до тестової модульної контрольної роботи
з теми: „Гравіметричний аналіз”**

1. Осадження барій сульфату проводять у присутності хлоридної кислоти. Для яких цілей додають хлоридну кислоту?
 - а) для нейтралізації розчину;
 - б) для збільшення розчинності осаду в процесі осадження;
 - в) для зменшення розчинності осаду.

2. Для гравіметричного визначення феруму Fe^{3+} -іони осаджують у вигляді гідроксиду. Яка сполука є гравіметричною формою?

- а) Fe_2O_3 б) $\text{Fe}(\text{OH})_3$ в) $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ г) Fe д) Fe_3O_4 .

3. Для чого при промиванні осаду рекомендується додавати до промивної рідини електроліт?

- а) для зменшення розчинності осаду;
б) для видалення адсорбованих йонів;
в) щоб припинити пептизацію аморфних осадів;
г) для збільшення розчинності осаду.

4. Чому після одержання осаджувальної форми у вигляді кристалічного осаду в гравіметричному аналізі осад залишають на деякий час під маточним розчином?

- а) для десорбції домішок;
б) для збільшення повноти осадження;
в) для дозрівання осаду;
г) для збільшення частинок осаду за рахунок розчинення маленьких кристалів.

5. Для гравіметричного визначення алюмінію його осаджують у вигляді гідроксиду. Яка сполука є гравіметричною формою?

- а) $\text{Al}(\text{OH})_3$ б) Al_2O_3 в) $[\text{Al}(\text{OH})_6]^{3-}$ г) Al .

6. Який об'єм розчину сульфатної кислоти ($\rho = 1,03 \text{ г/см}^3$) із масовою часткою розчиненої речовини 5% треба взяти для осадження барій-іонів із розчину, якщо наважка кристалогідрату барій хлориду 0,3664 г. Розрахунки проводити з урахуванням півторакратного надлишку осаджувача.

- а) $0,88 \text{ см}^3$; б) $1,16 \text{ см}^3$; в) $4,3 \text{ см}^3$; г) 10 см^3

7. Яку наважку кристалогідрату барій хлорид-вода (1/2) треба взяти для визначення в ньому вмісту барій-іонів у вигляді кристалічного осаду барій сульфату?

- а) 0,10 г б) 0,52 г в) 1,56 г г) 1,04 г

8. Чому дорівнює рекомендована маса гравіметричної форми для аморфних осадів?

- а) 1,5 г б) $0,3 \div 0,5 \text{ г}$ в) $0,1 \div 0,3 \text{ г}$; г) $0,5 \div 1,0 \text{ г}$

ТИТРИМЕТРИЧНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТИТРИМЕТРИЧНОГО АНАЛІЗУ

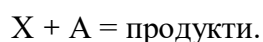
Ключові слова і терміни: *титриметричний аналіз, титрування, реверсивне титрування, стандартний розчин, робочий розчин, установочний розчин, титрант, точка еквівалентності, кінцева точка титрування, індикатор, кислотно-основне титрування, окисно-відновне титрування, осаджувальне титрування, комплексометричне титрування, пряме титрування, зворотне титрування, титрування замісника, спосіб окремих наважок, спосіб піпеткування, молярна концентрація речовини у розчині, молярна концентрація речовини еквівалента у розчині, молярна маса речовини еквівалента, титр розчину, титр розчину за аналізованою (визначуваною) речовиною, поправочний коефіцієнт, стандартизація розчину, первинна стандартна речовина, первинний стандартний розчин, вторинний стандартний розчин, фіксанал (стандарт-титр), характеристики стандартного розчину, мірний (вимірювальний) посуд, мірна колба, градуйована піпетка (піпетка з поділками), аліквотна піпетка (піпетка Мора), аліквотний об'єм (аліквота), бюретка, закон еквівалентів, рівняння матеріального балансу за кількістю речовини еквівалентів.*

Короткі теоретичні відомості

Сутність титриметричного аналізу. Вимоги до реакцій, які використовують у титриметричному аналізі

Титриметричний аналіз – кількісний хімічний аналіз, заснований на точному вимірюванні об'єму розчину реагенту точно відомої концентрації, який витрачається в реакції з еквівалентною кількістю речовини, що визначають.

Процес визначення концентрації речовини X поступовим додаванням невеликих кількостей речовини А (у вигляді розчину точно відомої концентрації), при якому забезпечується виявлення стану, коли вся речовина X прореагувала, називається *титруванням*.



Можливий *реверсивний процес титрування* – додавання порціями речовини X (у вигляді розчину невідомої концентрації) до розчину речовини А.

Розчин з точно відомою концентрацією хімічно активної речовини називається *стандартним розчином*. За призначенням стандартні розчини є *робочими*, якщо вони використовуються для визначення вмісту визначуваної речовини у зразку, і *установочними*, якщо вони використовуються для стандартизації, тобто знаходження концентрації речовини у розчині, який стандартизують.

Розчин, який містить хімічно активну речовину і використовується під час проведення титрування, називається *титрантом*. Титрант поміщують у бюретку. Як титрант зазвичай використовують стандартний розчин, тобто розчин з точно відомою концентрацією хімічно активної речовини. При реверсивному титруванні титрантом є розчин речовини, яку визначають.

Момент титрування, коли кількість речовини титранта, яку додали, хімічно еквівалентна кількості речовини, яку титрують, називається *точкою еквівалентності*.

До реакцій, що використовуються в титриметричних методах аналізу, висувають ряд вимог:

1. Достатньо велика швидкість;
2. Необоротність;
3. Стехіометричність, тобто при їх проходженні не повинно виникати побічних реакцій;
4. Можливість фіксування точки еквівалентності.

У тому випадку, коли реакція не задовольняє цим вимогам, для усунення недоліків використовують спеціальні прийоми. Наприклад, швидкість реакції можна збільшити нагріванням, введенням каталізатора, додаванням надлишку реагенту (при зворотному титруванні і титруванні замісника).

Точні об'єми розчинів у титриметричному аналізі відміряють *мірним посудом* – *мірними колбами, піпетками, бюретками*. Кожний вид мірного посуду має цільове призначення. Зокрема, мірні колби призначені для приготування розчинів точних концентрацій за точною наважкою або із фіксаналів. Піпетки призначені для відбирання певного об'єму розчину, бюретки призначені для титрування. Мірні колби калібровані на вливання, піпетки і бюретки – на виливання певного об'єму розчину.

Класифікації методів титриметричного аналізу

Методи титриметричного аналізу класифікують:

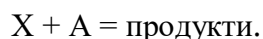
- 1) за типом аналітичної реакції;
- 2) за прийомами виконання операцій (за способами титрування);
- 3) у залежності від способу відбору наважки для титрування.

За типом аналітичної реакції розрізняють:

1. Кислотно-основне титрування.
2. Окисно-відновне титрування.
3. Осаджувальне титрування.
4. Комплексометричне титрування.

За прийомами виконання операцій розрізняють *пряме титрування, зворотне титрування і титрування замісника*.

Пряме титрування – безпосереднє титрування розчину речовини X, який аналізують, стандартним розчином речовини A:



Рівняння матеріального балансу за кількістю речовин еквівалентів *при прямому титруванні* має вигляд:

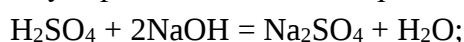
$$n(f_{\text{екв.}}(X)X) = n(f_{\text{екв.}}(A)A).$$

Пряме титрування застосовують у тих випадках, коли основна реакція між речовиною X, яку аналізують, і речовиною A стандартного розчину задовольняє всім вимогам до реакцій у титриметричному аналізі.

Приклад 1.

Написати рівняння матеріального балансу за кількістю речовин еквівалентів при прямому титруванні сульфатної кислоти стандартним розчином натрій гідроксиду.

Рівняння реакції взаємодії сульфатної кислоти з натрій гідроксидом:

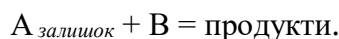
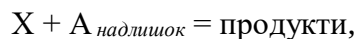


$$f_{\text{екв.}}(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1/2; f_{\text{екв.}}(\text{NaOH}) = 1.$$

Рівняння матеріального балансу за кількістю речовин еквівалентів при визначенні сульфатної кислоти титруванням стандартним розчином натрій гідроксиду має вигляд;

$$n(1/2\text{H}_2\text{SO}_4) = n(\text{NaOH}).$$

Зворотне титрування (обернене титрування, титрування залишку) – титрування залишку першого стандартного розчину речовини А, який добавлений до розчину, що аналізують, другим стандартним розчином, який містить речовину В:

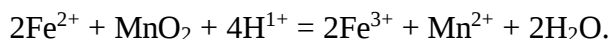


При зворотньому титруванні використовують два титранта А і В. Тому рівняння матеріального балансу за кількістю речовин еквівалентів набуває такого вигляду:

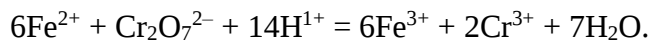
$$n(f_{\text{екв.}}(\text{X})\text{X}) = n(f_{\text{екв.}}(\text{A})\text{A}) - n(f_{\text{екв.}}(\text{B})\text{B}).$$

Приклад 2.

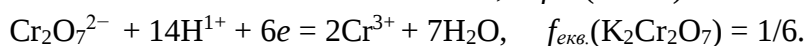
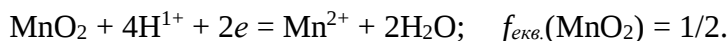
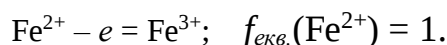
Пряме титрування манган діоксиду розчином ферум(II) сульфату неможливо через малу швидкість реакції:



Тому застосовують зворотне титрування. Наважку манган діоксиду обробляють стандартним розчином ферум(II) сульфату, взятим з наперед відомим надлишком, і нагрівають до повного закінчення реакції. Залишок Fe^{2+} -іонів відтитровують стандартним розчином дикалій дихромату:



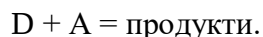
Йонно-молекулярні рівняння напівреакцій окиснення йонів Fe^{2+} , відновлення манган діоксиду і йонів $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ мають вигляд:



Рівняння матеріального балансу за кількістю речовин еквівалентів при визначенні манган діоксиду зворотним титруванням набуває такого вигляду:

$$n(1/2 \text{MnO}_2) = n(\text{Fe}^{2+}) - n(1/6 \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7).$$

Титрування замісника – титрування, при якому речовина Х, яку аналізують, безпосередньо не взаємодіє з титрантом, а заміщується еквівалентною кількістю іншої речовини, наприклад D, яку титрують стандартним розчином речовини А:

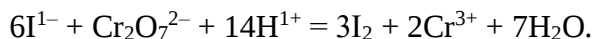


Рівняння матеріального балансу за кількістю речовин еквівалентів при титруванні замісника має вигляд:

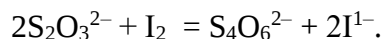
$$n(f_{\text{екв.}}(\text{X})\text{X}) = n(f_{\text{екв.}}(\text{A})\text{A}).$$

Приклад 3.

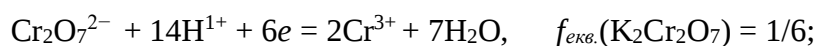
Взаємодія дихромат- і тіосульфат-іонів проходить нестехіометрично. Тому, при визначенні дихромат-іонів до розчину, який містить $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ -іони, додають допоміжний розчин калій йодиду, який стехіометрично реагує з дихромат-іонами:

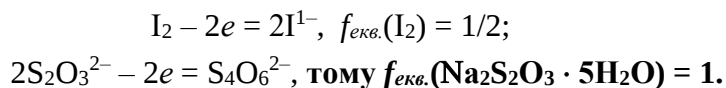


Йод, який виділився в кількості, еквівалентній дихромат-іонам, відтитровують розчином динатрій тіосульфату ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$). Цьому процесу відповідає рівняння:



Йонно-молекулярні рівняння напівреакцій відновлення дихромат-іонів $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, йоду I_2 і окиснення тіосульфат-іонів $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ і відповідні фактори еквівалентності мають вигляд:





Рівняння матеріального балансу за кількістю речовин еквівалентів при визначенні дихромат-іонів титруванням замісника має вигляд:

$$\begin{aligned} n(1/6 \text{ K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) &= n(1/2 \text{ I}_2) = n(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}), \\ \text{або } n(1/6 \text{ K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) &= n(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}). \end{aligned}$$

Як видно з наведених прикладів, зворотне титрування та титрування замісника застосовують у тих випадках, коли основна реакція між речовиною X, яку аналізують, і речовиною А стандартного розчину не задовольняє вимогам до реакцій у титриметричному аналізі (наприклад, реакція проходить з низькою швидкістю, як в **прикладі 2**, або нестехіометрично, як у **прикладі 3**).

У залежності від способу відбору наважки для титрування розрізняють **спосіб окремих наважок і спосіб піпеткування**. У **способі окремих наважок** наважку речовини ($m(X)$) переносять у колбу для титрування, розчиняють у довільному об'ємі розчинника і титрують.

При розрахунку наважки слід брати до уваги що максимальний об'єм, який витрачається на титрування, не повинен перевищувати об'єму бюретки (25 або 50 см³).

У **способі піпеткування** більшу наважку речовини ($m(X)$) розчиняють у мірній колбі певної місткості ($V_{\text{м.к.}}$); для кожного титрування відбирають піпеткою порцію розчину – **аліквотний об'єм** (V^a), тобто частину наважки, що дорівнює $\frac{m(X) \cdot V^a}{V_{\text{м.к.}}}$. Піпеткування замінює декілька зважувань більш простим, але менш точним прийомом – відбором аліквотних об'ємів. **Спосіб піпеткування застосовують у тих випадках, коли розрахована маса окремої наважки мала (менше ніж 0,1 г) і тому похибка зважування буде більша, ніж допустима.**

Приклад 4.

Розрахувати наважку первинної стандартної речовини натрій карбонату, необхідну для стандартизації розчину хлоридної кислоти, щоб на титрування її до карбонатної кислоти (з індикатором метиловим оранжевим) було витрачено не більш ніж 25 см³ приблизно 0,2 М розчину хлоридної кислоти.

Дано:

$$c(\text{HCl}) \approx 0,2 \text{ моль/дм}^3$$

$$V(\text{HCl}) = 25,00 \text{ см}^3$$

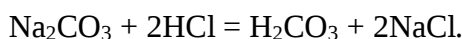
$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) - ?$$

Дані з довідника:

$$M(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 105,99 \text{ г/моль}$$

Розв'язування:

1. Рівняння реакції, яка проходить при стандартизації хлоридної кислоти з індикатором метиловим оранжевим:



$$f_{\text{екв.}}(\text{HCl}) = 1; \quad f_{\text{екв.}}(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 1/2.$$

Рівняння матеріального балансу за кількістю речовин еквівалентів при прямому титруванні за способом окремих наважок має вигляд:

$$n(1/2 \text{ Na}_2\text{CO}_3) = n(\text{HCl}).$$

2. Яка наважка натрій карбонату?

Розкриваючи ліву частину рівняння через масу наважки і молярну масу речовини еквівалента Na_2CO_3 , а праву – через молярну концентрацію і об'єм хлоридної кислоти, отримаємо формулу для розрахунку наважки Na_2CO_3 :

$$\frac{m(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{M(1/2\text{Na}_2\text{CO}_3)} = \frac{c(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl})}{1000}.$$

$$\text{Звідси } m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{c(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl}) \cdot M(1/2\text{Na}_2\text{CO}_3)}{1000}.$$

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,2 \cdot 25,00 \cdot 53,00/1000 = 0,265 \text{ (г)}.$$

Наважку обчислюють приблизно, а зважують із аналітичною точністю (звичайно 0,0001 г).

Відповідь: 0,265 г.

Приклад 5.

Яку наважку бурштинової (янтарної) кислоти ($\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_4$) необхідно взяти для стандартизації розчину натрій гідроксиду з молярною концентрацією приблизно 0,4 моль/дм³ методом окремих наважок, щоб на титрування розчину янтарної кислоти було витрачено розчину натрій гідроксиду, який стандартизують, не більше 25,00 см³?

Дано:

$$c(\text{NaOH}) \approx 0,4 \text{ моль/дм}^3$$

$$V(\text{NaOH розч.}) = 25,00 \text{ см}^3$$

$$m(\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_4) - ?$$

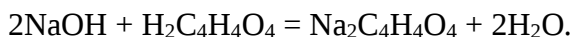
Дані з довідника:

$$M(\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_4) = 118,089 \text{ г/моль}.$$

Розв'язування:

1. Які фактори еквівалентності натрій гідроксиду, бурштинової кислоти та молярна маса речовини еквівалента бурштинової кислоти ?

Рівняння реакції взаємодії натрій гідроксиду з бурштиновою кислотою:



$$f_{\text{екв.}}(\text{NaOH}) = 1; \quad f_{\text{екв.}}(\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_4) = 1/2;$$

$$M(1/2\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_4) = f_{\text{екв.}}(\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_4) \cdot M(\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_4);$$

$$M(1/2\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_4) = 1/2 \cdot 118,089 = 59,045 \text{ (г/моль)}.$$

2. Яку кількість речовини натрій гідроксиду було витрачено?

Рівняння матеріального балансу за кількістю речовин еквівалентів:

$$n(\text{NaOH}) = n(1/2\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_4);$$

$$n(\text{NaOH}) = c(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH розч.});$$

$$n(\text{NaOH}) = 0,4 \cdot 0,025 = 0,01 \text{ (моль)}.$$

3. Яка наважка бурштинової кислоти ?

$$n(1/2\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_4) = n(\text{NaOH}) = 0,01 \text{ моль}.$$

$$n(1/2\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_4) = \frac{m(\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_4)}{M(1/2\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_4)};$$

$$m(\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_4) = n(1/2\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_4) \cdot M(1/2\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_4);$$

$$m(\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_4) = 0,01 \cdot 59,045 = 0,590 \text{ (г)}.$$

Відповідь: $m(\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_4) = 0,5905 \text{ г}.$

Приклад 6.

Обчислити наважку первинної стандартної речовини оксалатна кислота–вода(1/2), яку необхідно взяти для приготування 250,0 см³ розчину, щоб при титруванні 25,00 см³ цього розчину витрачалось не більше 25,00 см³ приблизно 0,1 М розчину натрій гідроксиду.

Дано:

$$c(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) \approx 0,1 \text{ моль/дм}^3$$

$$V(\text{NaOH розч.}) = 25,00 \text{ см}^3$$

$$V^a(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O розч.}) = 25,00 \text{ см}^3$$

$$V_{\text{м.к.}}(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O розч.}) = 250,0 \text{ см}^3$$

$$m(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) - ?$$

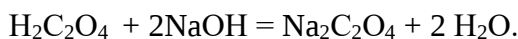
Дані з довідника:

$$M(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = 126,066 \text{ г/моль}$$

Розв'язування:

1. Який фактор еквівалентності оксалатної кислоти?

Рівняння реакції, яка проходить при титруванні оксалатної кислоти розчином натрій гідроксиду:



$$f_{\text{екв.}}(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = 1/2; \quad f_{\text{екв.}}(\text{NaOH}) = 1; \quad M(1/2\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = 63,033 \text{ г/моль}.$$

2. Рівняння матеріального балансу за кількістю речовин еквівалентів при прямому титруванні за способом піпеткування має вигляд:

$$n(1/2 \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = n(\text{NaOH}).$$

Розкриваючи ліву частину рівняння через масу наважки і молярну масу речовини еквивалента $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, а праву – через молярну концентрацію і об'єм натрій гідроксиду, аліквотний об'єм оксалатної кислоти і об'єм мірної колби, отримаємо формулу для розрахунку наважки $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$:

$$\frac{m(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})}{M(1/2\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})} = \frac{c(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH})}{1000} \cdot \frac{V_{\text{м.к.}}(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O розч.})}{V^a(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O розч.})}.$$

Звідси

$$m(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = \frac{c(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH}) \cdot M(1/2\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})}{1000} \cdot \frac{V_{\text{м.к.}}(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O розч.})}{V^a(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O розч.})}.$$

$$m(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = \frac{0,1 \cdot 25,00 \cdot 63,033}{1000} \cdot \frac{250,0}{25,00} = 1,576 \text{ (г)}.$$

Відповідь: 1,576 г.

Способи вираження кількісного складу розчинів у титриметричному аналізі

Основним способом вираження концентрації розчинів у відповідності до вимог Міжнародної системи одиниць фізичних величин (СІ) є *молярна концентрація* ($c(X)$).

Молярна концентрація речовини X у розчині – це відношення кількості речовини X (моль) до об'єму даного розчину (дм³).

$$c(X) = \frac{n(X)}{V(X \text{ розч.})} = \frac{m(X)}{M(X) \cdot V(X \text{ розч.})}, \text{ моль/дм}^3.$$

Приклад 7.

Молярна концентрація гідроген хлориду у розчині дорівнює 0,1 моль/дм³. Можливі такі форми запису: а) $c(\text{HCl}) = 0,1 \text{ моль/дм}^3$; б) 0,1 М розчин HCl; в) 0,1 М HCl.

Не рекомендується застосовувати такі форми запису: $c(\text{HCl}) = 0,1 \text{ М}$; $c(\text{HCl}) = 0,1$.

У титриметричному аналізі зручним для розрахунків є вираження концентрації розчинів через молярну концентрацію речовини еквівалента $c(f_{\text{екв.}}(\text{X})\text{X})$.

Молярна концентрація речовини еквівалента у розчині (нормальна концентрація) – це відношення кількості речовини еквівалента у розчині (моль) до об'єму цього розчину (дм³).

$$c(f_{\text{екв.}}(\text{X})\text{X}) = \frac{n(f_{\text{екв.}}(\text{X})\text{X})}{V(\text{X розч.})}, \text{ моль/дм}^3.$$

Допускається замість позначення одиниць вимірювання моль/дм³ при вказуванні молярної концентрації речовини еквівалента писати скорочення “н.” або “N”.

Приклад 8.

Молярна концентрація речовини еквівалента дигідроген сульфату в розчині дорівнює 1 моль/дм³. Можливі такі форми запису: а) $c(1/2\text{H}_2\text{SO}_4) = 1 \text{ моль/дм}^3$; б) 1 н. розчин H₂SO₄; в) 1 н. H₂SO₄; г) 1N розчин H₂SO₄; д) 1N H₂SO₄. **Не рекомендовані такі форми запису: $c(1/2\text{H}_2\text{SO}_4) = 1 \text{ н.}$; $c(1/2\text{H}_2\text{SO}_4) = 1$. Також не рекомендується вживати термін „нормальність розчину” замість терміну „нормальная концентрація розчину”.**

Співвідношення між молярною концентрацією та молярною концентрацією речовини еквівалента у розчині:

$$c(\text{X}) = f_{\text{екв.}}(\text{X}) \cdot c(f_{\text{екв.}}(\text{X})\text{X});$$

$$c(f_{\text{екв.}}(\text{X})\text{X}) = \frac{c(\text{X})}{f_{\text{екв.}}(\text{X})},$$

тобто молярна концентрація речовини еквівалента у розчині завжди більша або рівна молярній, тому що $f_{\text{екв.}}(\text{X}) \leq 1$.

У тих випадках, коли фактор еквівалентності дорівнює одиниці, використовувати термін „нормальная концентрація” або „молярна концентрація речовини еквівалента” не рекомендується. У таких випадках слід користуватися терміном „молярная концентрація”.

Молярну концентрацію речовини еквівалента у розчині $c(f_{\text{екв.}}(\text{A})\text{A})$ можна розрахувати через масову частку речовини А у розчині $w(\%)(\text{A})$ наступним чином:

$$c(f_{\text{екв.}}(\text{A})\text{A}) = \frac{w(\%)(\text{A}) \cdot 10 \cdot \rho(\text{A розч.})}{M(f_{\text{екв.}}(\text{A})\text{A})}, \text{ моль/дм}^3,$$

де $\rho(\text{A розч.})$ – густина цього розчину.

У титриметричному аналізі для вираження кількісного складу стандартних розчинів використовують також такі фізичні величини як титр розчину і титр розчину за аналізованою (або визначуваною) речовиною.

Титр розчину речовини А (позначення $T(\text{A})$) – це маса речовини $m(\text{A})$ (г), яка міститься в одному кубічному сантиметрі (або в одному мілілітрі) стандартного розчину.

$$T(\text{A}) = \frac{m(\text{A})}{V(\text{A розч.})}, \text{ г/см}^3 \text{ або г/мл.}$$

Титр розчину пов'язаний з молярною концентрацією речовини еквівалента у розчині співвідношенням:

$$c(f_{\text{екв.}}(A)A) = \frac{T(A) \cdot 1000}{M(f_{\text{екв.}}(A)A)}.$$

Титр розчину за аналізованою (визначуваною) речовиною ($T(A/X)$) – це маса визначуваної речовини X (г), яка еквівалентна масі речовини A, що міститься в 1 см³ (1 мл) розчину титранта. Іншими словами, $T(A/X)$ показує, яка маса речовини X, що аналізують, реагує з 1 см³ розчину титранта A.

Приклад 9.

$T(\text{HCl}/\text{CaCO}_3) = 0,008543 \text{ г/см}^3$. Це означає, що 1 см³ стандартного розчину хлоридної кислоти реагує з 0,008543 г кальцій карбонату. Такий “похідний” титр зручний при серійних аналізах для розрахунку маси визначуваної речовини $m(X)$ у пробах, які аналізують, за формулою:

$$m(X) = T(A/X) \cdot V(A \text{ розч.}),$$

де $V(A \text{ розч.})$ – об’єм розчину титранта A, який витрачають на титрування проби.

Титр розчину за визначуваною речовиною можна розрахувати, якщо відомий титр стандартного розчину $T(A)$:

$$T(A/X) = \frac{T(A) \cdot M(f_{\text{екв.}}(X)X)}{M(f_{\text{екв.}}(A)A)},$$

або якщо відома молярна концентрація речовини еквівалента стандартного розчину $c(f_{\text{екв.}}(A)A)$:

$$T(A/X) = \frac{c(f_{\text{екв.}}(A)A) \cdot M(f_{\text{екв.}}(X)X)}{1000}.$$

Таким чином, між різними фізичними величинами, які характеризують кількісний склад розчину, існують прості співвідношення, які дозволяють легко переходити від одних величин до інших.

Приклад 10.

$T(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 0,004650 \text{ г/см}^3$. Яка молярна концентрація речовини еквівалента дикалій дихромату в розчині для реакції відновлення калій дихромату до хром(III) хлориду?

Дано:

$$T(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 0,004650 \text{ г/см}^3$$

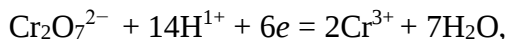
$$c(f_{\text{екв.}}(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) \text{ K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = ?$$

Дані з довідника:

$$M(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 294,185 \text{ г/моль}$$

Розв’язування:

1. Йонно-молекулярне рівняння напівреакції відновлення йонів $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ має вигляд:



$$\text{тому } f_{\text{екв.}}(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 1/6, \quad M(1/6\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 49,03 \text{ г/моль}.$$

2. Яка молярна концентрація речовини еквівалента дикалій дихромату?

$$c(f_{\text{екв.}}(A)A) = \frac{T(A) \cdot 1000}{M(f_{\text{екв.}}(A)A)}.$$

$$c(1/6\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = \frac{T(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) \cdot 1000}{M(1/6\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)} = \frac{0,004650 \cdot 1000}{49,03} = 0,09484 \text{ (моль/дм}^3\text{)}.$$

Відповідь: 0,09484 моль/дм³.

Приклад 11.

Для стандартизації розчину хлоридної кислоти з наважки динатрій карбонату масою 0,2500 г був приготовлений стандартний розчин об'ємом 50,00 см³. Розрахувати молярну концентрацію речовини еквівалента динатрій карбонату в розчині, титр розчину динатрій карбонату, титр стандартного розчину динатрій карбонату за визначуваною речовиною гідроген хлоридом.

Дано:

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,2500 \text{ г}$$

$$V(\text{Na}_2\text{CO}_3 \text{ розч.}) = 50,00 \text{ см}^3$$

$$c(f_{\text{екв.}}(\text{Na}_2\text{CO}_3)\text{Na}_2\text{CO}_3) - ?$$

$$T(\text{Na}_2\text{CO}_3) - ?$$

$$T(\text{Na}_2\text{CO}_3/\text{HCl}) - ?$$

Дані з довідника:

$$M(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 105,989 \text{ г/моль};$$

$$M(\text{HCl}) = 36,461 \text{ г/моль}.$$

Розв'язування:

1. Які фактори еквівалентності гідроген хлориду, динатрій карбонату та молярна маса речовини еквівалента динатрій карбонату ?

Рівняння реакції взаємодії динатрій карбонату з гідроген хлоридом:



$$f_{\text{екв.}}(\text{HCl}) = 1; \quad f_{\text{екв.}}(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 1/2;$$

$$M(1/2\text{Na}_2\text{CO}_3) = f_{\text{екв.}}(\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot M(\text{Na}_2\text{CO}_3);$$

$$M(1/2\text{Na}_2\text{CO}_3) = 1/2 \cdot 105,989 = 52,995 \text{ (г/моль)}.$$

2. Яка кількість речовини еквівалента динатрій карбонату?

$$n(1/2\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{m(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{M(1/2\text{Na}_2\text{CO}_3)};$$

$$n(1/2\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{0,2500}{52,995} = 0,004717 \text{ (моль)}.$$

3. Яка молярна концентрація речовини еквівалента динатрій карбонату?

$$c(1/2\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{n(1/2\text{Na}_2\text{CO}_3)}{V(\text{Na}_2\text{CO}_3 \text{ розч.})};$$

$$c(1/2\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{0,004717}{0,05000} = 0,09435 \text{ (моль/дм}^3\text{)}.$$

4. Який титр розчину динатрій карбонату?

$$T(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{c(1/2\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot M(1/2\text{Na}_2\text{CO}_3)}{1000};$$

$$T(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{0,09435 \cdot 52,995}{1000} = 0,005000 \text{ (г/см}^3\text{)}.$$

5. Який титр стандартного розчину динатрій карбонату за визначуваною речовиною гідроген хлоридом ?

$$T(\text{Na}_2\text{CO}_3/\text{HCl}) = \frac{T(\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot M(\text{HCl})}{M(1/2\text{Na}_2\text{CO}_3)};$$

$$T(\text{Na}_2\text{CO}_3/\text{HCl}) = \frac{0,005000 \cdot 36,461}{52,995} = 0,003440 \text{ (г/см}^3\text{)}.$$

Відповідь: $c(1/2\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,09435 \text{ моль/дм}^3$;

$T(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,005000 \text{ г/см}^3$; $T(\text{Na}_2\text{CO}_3/\text{HCl}) = 0,003440 \text{ г/см}^3$.

Відношення практичної (справжньої) молярної концентрації речовини еквівалента у розчині до теоретичної, що показує відхилення практичної концентрації стандартного розчину від теоретичного значення, вираженого округленим десятковим дробом, називається *поправочним коефіцієнтом K*:

$$K = \frac{c(f_{\text{екв.}}(A)A)_{\text{практ.}}}{c(f_{\text{екв.}}(A)A)_{\text{теор.}}}$$

Приклад 12.

З концентрованого розчину речовини сульфатної(VI) кислоти приготували розчин з молярною концентрацією речовини еквівалента у розчині 0,1000 моль/дм³, а в результаті стандартизації цього розчину встановили, що молярна концентрація речовини еквівалента сульфатної(VI) кислоти у розчині дорівнює 0,1187 моль/дм³, тоді:

$$K(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{c(1/2\text{H}_2\text{SO}_4)_{\text{практ.}}}{c(1/2\text{H}_2\text{SO}_4)_{\text{теор.}}} = \frac{0,1187}{0,1000} = 1,187.$$

Таким чином, поправочний коефіцієнт показує, у скільки разів даний розчин більш концентрований або більш розбавлений, ніж розчин точно вказаної молярної концентрації речовини еквівалента.

Для зручності розрахунків при серійних аналізах проб молярну концентрацію речовини еквівалента виражають через теоретичну (округленим десятковим дробом) з поправочним коефіцієнтом (*K*).

Приклад 13.

Молярна концентрація речовини гідроген хлориду у розчині дорівнює 0,1000 моль/дм³ (*K* = 0,9850). Це означає, що практична молярна концентрація речовини гідроген хлориду у розчині менше теоретичної і дорівнює:

$$c(\text{HCl})_{\text{практ.}} = K \cdot c(\text{HCl})_{\text{теор.}} = 0,9850 \cdot 0,1000 = 0,09850 \text{ (моль/дм}^3\text{)}.$$

Будь-який стандартний розчин повинен мати три *характеристики*:

- молярну концентрацію речовини еквівалента у розчині ($c(f_{\text{екв.}}(A)A)$);
- титр розчину речовини А ($T(A)$);
- поправочний коефіцієнт ($K(A)$).

Молярну концентрацію речовини еквівалента, поправочний коефіцієнт, титр розчину та титр розчину за визначуваною речовиною виражають *чотирма значущими цифрами*. Наприклад, $c(\text{KOH})_{\text{практ.}} = 0,1000$ моль/дм³, $K(\text{KOH}) = 1,000$, $T(\text{KOH}/\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,004904$ г/см³. **Нулі, які стоять попереду десяткового дробу, не є значущими!!!**

Способи приготування стандартних розчинів у титриметричному аналізі

Стандартний розчин можна приготувати розчиненням *точної наважки первинної стандартної речовини* та розведенням одержаного розчину в мірній колбі до певного об'єму. Такі стандартні розчини ще називають *розчинами з приготовленим титром*.

Первинна стандартна речовина – речовина високої чистоти, яку використовують у стехіометричних реакціях для встановлення концентрації титранта або для приготування розчинів з точно відомою концентрацією.

Первинні стандартні речовини мають задовольняти наступні вимоги:

1. Бути хімічно чистими, тобто не містити сторонніх домішок;
2. Склад речовини має строго відповідати хімічній формулі;

3. Речовина має бути стійкою при зберіганні на повітрі та в розчині;
4. Бажано велика молярна маса речовини еквівалента, тоді відносна похибка при взятті наважки буде мінімальною.

Як первинні стандартні речовини в кислотно-основному титруванні використовують $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ – динатрій гептаоксотетраборат-вода (1/10), $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – оксалатну кислоту (дигідроген оксалат-вода (1/2)), Na_2CO_3 – динатрій карбонат, $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ – динатрій оксалат, $\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_4$ – бурштинову (янтарну) кислоту.

Стандартний розчин, який готують з первинної стандартної речовини, називають *первинним стандартним розчином*. Концентрацію цього розчину розраховують виходячи з маси первинної стандартної речовини та об'єму розчину, який приготували.

$$T(A) = \frac{m(A)}{V(A \text{ розч.})}, \text{ г/см}^3 \text{ або г/мл};$$

$$c(f_{\text{екв.}}(A)A) = \frac{m(A) \cdot 1000}{M(f_{\text{екв.}}(A)A) \cdot V(A \text{ розч.})} = \frac{T(A) \cdot 1000}{M(f_{\text{екв.}}(A)A)}, \text{ моль/дм}^3.$$

Приклад 14.

Наважку „х.ч.” заліза масою 2,8120 г розчинили у хлоридної кислоті в мірній колбі об'ємом 500,0 см^3 . Знайти титр приготовленого розчину феруму ($T(\text{Fe}^{2+})$).

Дано:

$$m(\text{Fe}) = 2,8120 \text{ г}$$

$$V_{\text{м.к.}}(\text{Fe}^{2+} \text{ розч.}) = 500,0 \text{ см}^3$$

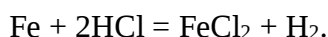
$$T(\text{Fe}^{2+}) - ?$$

Дані з довідника:

$$M(\text{Fe}) = 55,847 \text{ г/моль}$$

Розв'язування:

1. Рівняння реакції, яка проходить при розчиненні заліза у хлоридної кислоті:



2. Який титр приготовленого розчину феруму?

$$T(A) = \frac{m(A)}{V(A \text{ розч.})}, \text{ г/см}^3.$$

$$T(\text{Fe}^{2+}) = m(\text{Fe})/V(\text{Fe}^{2+} \text{ розч.}) = 2,8120 \text{ г} : 500,0 \text{ см}^3 = 0,005624 \text{ г/ см}^3.$$

Відповідь: 0,005624 г/ см^3 .

Первинні стандартні розчини використовують, як правило, для стандартизації розчинів (для встановлення концентрації титрантів) і у ряді випадків – для визначення вмісту визначуваної речовини (під час одиничних аналізів).

Не завжди вдається приготувати стандартні розчини за точною наважкою, тому що багато речовин, які використовують для приготування робочих розчинів у титриметричному аналізі, не відповідають вимогам до стандартних речовин. Наприклад, натрій гідроксид відрізняється великою гігроскопічністю і хімічно взаємодіє з карбон(IV) оксидом повітря, динатрій тіосульфат-вода(1/5) ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) втрачає кристалізаційну воду, калій манганат(VII) частково розкладається при зберіганні, хлоридна і сульфатна кислоти – леткі. Тому, для виготовлення стандартних розчинів цих речовин використовують інший спосіб:

спочатку готують розчин приблизної концентрації, а потім встановлюють точну концентрацію (тобто стандартизують). *Стандартизація розчину* – знаходження концентрації речовини у розчині, яка виражається кількістю речовини еквівалента, тобто знаходження молярної концентрації речовини еквівалента ($c(f_{\text{екв.}}(X)X)$). Як правило, стандартизацію проводять реверсивним титруванням, тобто шляхом титрування відомої кількості стандартної речовини розчином, який стандартизують.

Для розчинів, стандартизованих способом піпеткування, молярну концентрацію речовини еквівалента та титр розчину можна визначити за формулами:

$$c(f_{\text{екв.}}(X)X) = \frac{c(f_{\text{екв.}}(A)A) \cdot V^a(A \text{ розч.})}{V(X \text{ розч.})};$$

$$T(X) = \frac{c(f_{\text{екв.}}(X)X) \cdot M(f_{\text{екв.}}(X)X)}{1000}.$$

Розчин, концентрацію якого знаходять шляхом стандартизації, називають *вторинним стандартним розчином*. Вторинні стандартні розчини ще називають *стандартизованими розчинами* або *розчинами з встановленим титром*.

Приклад 15.

Для стандартизації розчину хлоридної кислоти наважку первинної стандартної речовини динатрій тетраборат–вода(1/10) масою 3,6227 г розчинили в мірній колбі місткістю 200,0 см³ і довели водою до риски. На титрування 20,00 см³ цього розчину витрачено 19,50 см³ розчину хлоридної кислоти. Обчислити молярну концентрацію стандартизованого розчину хлоридної кислоти.

Дано:

$$\begin{aligned} m(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) &= 3,6227 \text{ г} \\ V_{\text{м.к.}}(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O} \text{ розч.}) &= 200,0 \text{ см}^3 \\ V^a(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O} \text{ розч.}) &= 20,00 \text{ см}^3 \\ V(\text{HCl}) &= 19,50 \text{ см}^3 \\ \hline c(f_{\text{екв.}}(\text{HCl})\text{HCl}) &= ? \end{aligned}$$

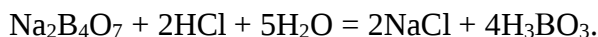
Дані з довідника:

$$M(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = 381,37 \text{ г/моль}$$

Розв'язування:

1. Які фактори еквівалентності гідроген хлориду, динатрій тетраборат–вода(1/10) та молярна маса речовини еквівалента динатрій тетраборат–вода(1/10)?

Рівняння реакції взаємодії динатрій тетраборату з гідроген хлоридом:



$$f_{\text{екв.}}(\text{HCl}) = 1; \quad f_{\text{екв.}}(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = 1/2;$$

$$M(1/2\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = f_{\text{екв.}}(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O});$$

$$M(1/2\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = 1/2 \cdot 381,37 = 190,685 \text{ (г/моль)}.$$

2. Яка кількість речовини еквівалента динатрій тетраборат–вода(1/10) у наважці?

$$n(1/2\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O})}{M(1/2\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O})};$$

$$n(1/2\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = \frac{3,6227}{190,685} = 0,01900 \text{ (моль)}.$$

3. Яка молярна концентрація речовини еквівалента динатрій тетраборат–вода(1/10) у розчині?

$$c(1/2\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = n(1/2\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) \cdot \frac{1000}{V_{\text{м.к.}}(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O} \text{ розч.})};$$

$$c(1/2\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = 0,01900 \cdot 1000/200,0 = 0,09500 \text{ (моль/дм}^3\text{)}.$$

3. Яка молярна концентрація розчину хлоридної кислоти?

Рівняння матеріального балансу за кількістю речовин еквівалентів при прямому титруванні має вигляд:

$$n(1/2\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = n(\text{HCl}).$$

Розкриваючи праву частину рівняння через молярну концентрацію речовини еквівалента динатрій тетраборат–вода(1/10) і об'єм аліквоти розчину динатрій тетраборат–вода(1/10), а ліву частину рівняння через молярну концентрацію і об'єм хлоридної кислоти, отримаємо формулу для розрахунку молярної концентрації розчину хлоридної кислоти:

$$c(1/2\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) \cdot V^{\text{р}}(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O} \text{ розч.}) = c(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl}).$$

Звідси:

$$c(\text{HCl}) = \frac{c(1/2\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) \cdot V^{\text{р}}(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O} \text{ розч.})}{V(\text{HCl})}.$$

$$c(\text{HCl}) = 0,09500 \cdot 20,00/19,50 = 0,09744 \text{ (моль/дм}^3\text{)}.$$

Відповідь: 0,09744 моль/дм³.

Вторинні стандартні розчини використовують, в основному, як робочі розчини, тобто для визначення вмісту визначуваної речовини, та іноді – для стандартизації. Наприклад, для стандартизації розчину натрій гідроксиду в кислотно-основному титруванні можна використовувати вторинний стандартний розчин хлоридної кислоти, який стандартизували за речовиною динатрій гептаоксотетраборат-вода (1/10) ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$).

У практиці титриметричного аналізу стандартні розчини готують також з фіксаналів. *Фіксанал (стандарт-титр)* – ампула, яка містить, як правило, 0,1 моль речовини еквівалента у вигляді розчину або у твердому стані. Фіксанал використовують, як правило, для приготування 1 дм³ розчину з молярною концентрацією речовини еквівалента у розчині 0,1000 моль/дм³ (або для приготування 0,5 дм³ розчину з молярною концентрацією речовини еквівалента у розчині 0,2000 моль/дм³,).

Приклад 16.

Яка молярна концентрація речовини еквівалента і титр розчину сульфатної кислоти, приготовленого із фіксаналу, якщо ампула містить 0,1000 моль еквівалента сульфатної кислоти ($f_{\text{екв.}}(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1/2$) і об'єм мірної колби 500,0 см³.

Дано:

$$n(1/2\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,1000 \text{ моль}$$

$$V(\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ розч.}) = 500,0 \text{ см}^3$$

$$c(1/2\text{H}_2\text{SO}_4) - ?$$

$$T(\text{H}_2\text{SO}_4) - ?$$

Дані з довідника:

$$M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98,07 \text{ г/моль}$$

Розв'язування:

1. Яка молярна концентрація речовини еквівалента розчину сульфатної кислоти?

$$c(1/2\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{n(1/2\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot 1000}{V_{\text{м.к.}}(\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ розч.})} = \frac{0,1000 \cdot 1000}{500,0} = 0,2000 \text{ (моль/дм}^3\text{)}.$$

2. Яка молярна маса речовини еквівалента сульфатної кислоти?

$$f_{\text{екв.}}(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1/2; M(1/2\text{H}_2\text{SO}_4) = 49,035 \text{ г/моль.}$$

3. Який титр приготовленого розчину сульфатної кислоти?

$$T(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{c(1/2\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot M(1/2\text{H}_2\text{SO}_4)}{1000} = \frac{0,2000 \cdot 49,035}{1000} = 0,009807 \text{ (г/см}^3\text{)}.$$

Відповідь: 0,2000 моль/дм³; 0,009807 г/см³.

Стандартні розчини, які виготовлені з фіксаналу, використовують, для стандартизації робочих розчинів і рідко – для визначення вмісту визначуваної речовини (під час одиничних аналізів).

Обчислення результатів титриметричного аналізу

В основу всіх розрахунків у титриметричному аналізі покладено **закон еквівалентів: відношення мас реагуючих речовин прямо пропорційне відношенню їх молярних мас речовин еквівалентів:**

$$\frac{m(X)}{m(A)} = \frac{M(f_{\text{екв.}}(X)X)}{M(f_{\text{екв.}}(A)A)}.$$

$$\text{Звідси: } \frac{m(X)}{M(f_{\text{екв.}}(X)X)} = \frac{m(A)}{M(f_{\text{екв.}}(A)A)} \quad \text{і}$$
$$n(f_{\text{екв.}}(X)X) = n(f_{\text{екв.}}(A)A),$$

тобто в момент еквівалентності в хімічній реакції, яка проходить до кінця, кількість речовини еквівалента X дорівнює кількості речовини еквівалента А стандартного розчину. Рівняння

$$n(f_{\text{екв.}}(X)X) = n(f_{\text{екв.}}(A)A),$$

виведене нами із закону еквівалентів, називають *рівнянням матеріального балансу за кількістю речовин еквівалентів.*

Всі розрахунки в титриметричному аналізі проводять у такій послідовності:

1. *Складають рівняння реакцій, які проходять при аналізі.*
2. *За рівняннями реакцій визначають фактори еквівалентності, еквіваленти та молярні маси речовин еквівалентів.*
3. *Записують рівняння матеріального балансу за кількістю речовин еквівалентів.*
4. *Використовуючи рівняння матеріального балансу за кількістю речовин еквівалентів та інші формули, які встановлюють взаємозв'язок між фізичними величинами і використовуються в розрахунках, проводять розрахунок вмісту речовини, що визначають.*

Вміст визначуваної речовини може бути виражений через відповідні концентрації, в одиницях маси, кількістю визначуваного компоненту (моль) або масовою часткою визначуваного компонента в зразку.

Обчислення вмісту визначуваної речовини залежить від способу титрування (пряме, зворотне титрування або титрування замісника), від способу відбору наважки для титрування (спосіб окремих наважок або спосіб піпеткування) та від способу вираження кількісного складу стандартного розчину (молярна концентрація речовини еквівалента у розчині, титр розчину речовини або титр розчину за визначуваною речовиною).

Приклади обчислення вмісту визначуваної речовини при прямому титруванні, зворотному титруванні та титруванні замісника наведені в посібнику [6]: Мінаєва В. О., Шафорост Ю. А., Нінова Т. С. Аналітична хімія. Кількісний хімічний аналіз : Методи гравіметричного і титриметричного аналізу : Навч.-метод. посібник для студентів вищих навчальних закладів. Черкаси : Вид. відділ ЧНУ імені Богдана Хмельницького, 2025. 511 с.

Контрольні питання з теми „Загальна характеристика титриметричного аналізу”

1. На чому заснований титриметричний аналіз?
2. Дайте визначення поняттям: титрування, титрант, точка еквівалентності, кінцева точка титрування.
3. Чи обов'язкове співпадання точки еквівалентності та кінцевої точки титрування?
4. Сформулюйте вимоги до реакцій в титриметричному аналізі.
5. Як класифікують методи титриметричного аналізу за типом аналітичної реакції?
6. Як класифікують методи титриметричного аналізу за прийомами виконання операцій (за способами титрування)?
7. У яких випадках застосовують зворотне титрування та титрування замісника?
8. Як класифікують методи титриметричного аналізу в залежності від способу відбору наважки для титрування?
9. Як називається спосіб титрування, при якому наважку зразку розчиняють у мірній колбі, доводять об'єм одержаного розчину до риски, піпеткою беруть аліквотну частину розчину та титрують?
10. Як називається спосіб титрування, при якому наважку зразку розчиняють у колбі для титрування в довільному об'ємі розчинника і весь розчин титрують?
11. Дайте визначення поняттям: еквівалент речовини, фактор еквівалентності речовини, молярна маса речовини еквівалента, кількість речовини та кількість речовини еквівалента. Вкажіть їхні позначення.
12. Як визначають еквівалент речовини в кислотно-основних реакціях, у реакціях осадження, в окисно-відновних реакціях, у реакціях комплексоутворення?
13. Як визначають еквівалент речовини в реакціях комплексоутворення за участю динатрієвої солі етилендіамінтетраацетатної кислоти?
14. Які способи вираження концентрації розчинів використовують в титриметричному аналізі?
15. Сформулюйте закон еквівалентів і дайте його математичний запис.
16. Що називають титром розчину та титром розчину за визначуваною речовиною? Який між ними зв'язок?
17. Що означає вираз $T(\text{H}_2\text{SO}_4/\text{NaOH}) = 0,05945 \text{ г/см}^3$?
18. Як пов'язаний титр розчину з молярною концентрацією речовини еквівалента у розчині?
19. Як називається величина, яка показує співвідношення між практичною молярною концентрацією речовини еквівалента в розчині та теоретично заданою?
20. Що означає запис: молярна концентрація речовини еквівалента дигідроген сульфату(VI) у розчині дорівнює $0,1000 \text{ моль/дм}^3$ ($K = 1,1359$)?
21. Дайте визначення поняттям: стандартний розчин, первинна стандартна речовина, первинний стандартний розчин, стандарт-титр.
22. Назвіть способи приготування стандартних розчинів.

23. Яким вимогам мають відповідати стандартні речовини?
24. Як класифікують стандартні розчини за призначенням?
25. Як записується рівняння матеріального балансу за кількістю речовин еквівалентів при прямому, зворотному титруванні та титруванні замісника?
26. Які способи вираження вмісту визначуваної речовини використовують у титриметричному аналізі?
27. Як обрахувати молярну концентрацію речовини еквівалента в розчині та практичну масу речовини у наважці зразка, який аналізують, якщо титриметричний аналіз виконаний прямим титруванням або титруванням замісника методом піпеткування?
28. Як обрахувати практичну масу речовини у наважці зразка, який аналізують, якщо титриметричний аналіз виконано прямим титруванням або титруванням замісника методом окремих наважок?
29. Як обрахувати молярну концентрацію речовини еквівалента в розчині та практичну масу речовини у наважці зразка, який аналізують, якщо титриметричний аналіз виконано зворотним титруванням методом піпеткування?
30. Як обрахувати практичну масу речовини у наважці зразка, який аналізують, якщо титриметричний аналіз виконано зворотним титруванням методом окремих наважок?

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ №3

Тема: „Загальна характеристика титриметричного аналізу”

Мета: ознайомитися з сутністю титриметричного аналізу, набутти уміння проводити обчислення в титриметричному аналізі.

План заняття

I. Перевірка знань теоретичного матеріалу:

- 1.1. Сутність титриметричного аналізу, порівняння його з гравіметричним аналізом.
- 1.2. Вимоги до реакцій, які використовуються в титриметричному аналізі.
- 1.3. Класифікація методів титриметричного аналізу.
- 1.4. Вираження кількісного складу розчинів у титриметричному аналізі.
- 1.5. Залежність еквівалента речовини від характеру реакції.
- 1.6. Стандартні і стандартизовані розчини, вимоги які висуваються до первинних стандартних речовин.
- 1.7. Обчислення в титриметричному аналізі. Обчислення вмісту визначуваної речовини при прямому, зворотному титруванні та титруванні замісника.
- 1.8. Розрахунки при використанні методу окремих наважок і методу піпеткування.
- 1.9. Мірний посуд та його призначення.
- 1.10. Приготування розчинів заданої концентрації.
- 1.11. Розв’язування вправ.

Завдання для самостійної роботи:

1. Опрацювати лекційний матеріал з теми „Загальна характеристика титриметричного аналізу” [6].
2. Робота з підручником: [2, с. 12–40].
3. Опрацювати тестові завдання з теми „Загальна характеристика титриметричного аналізу” [7].

4. Розв'язати задачі відповідно варіанту з тем „Приготування розчинів”, „Вираження кількісного складу розчинів у титриметричному аналізі”.

5. Дати відповіді на контрольні питання з теми „Загальна характеристика титриметричного аналізу”.

**Варіанти задач для самостійного розв'язування з тем:
„Приготування розчинів”, „Вираження кількісного складу розчинів у титриметричному аналізі”**

№ ва- ріанту	Збірник задач		№ ва- ріанту	Збірник задач		№ ва- ріанту	Збірник задач	
	Сегеда А.С. [5]	Лаб. пр. [10]		Сегеда А.С. [5]	Лаб. пр. [10]		Сегеда А.С. [5]	Лаб. пр. [10]
1	529, 611	4, 27	6	546, 617	9, 23	11	552, 616	1, 16
2	530, 612	5, 26	7	547, 618	10, 20	12	582, 615	2, 15
3	531, 613	6, 25	8	548, 619	11, 19	13	599, 613	3, 2
4	532, 615	7, 24	9	549, 620	12, 18	14	602, 612	4, 27
5	534, 616	8, 22	10	550, 621	13, 17	15	607, 611	5, 26

Задачі для самостійного розв'язування [10]

1. Розрахувати молярну концентрацію речовини еквівалента розчину динатрій тетраборат-вода(1/10) $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, якщо відомо, що наважку речовини масою 2,6113 г розчинили в мірній колбі місткістю 200,0 cm^3 і розчин довели дистильованою водою до риски.

В: 0,06847 моль/дм³.

2. Обчислити титр розчину натрій хлориду, якщо наважку солі масою 3,2816 г розчинили в мірній колбі місткістю 1000,0 cm^3 і довели водою до риски.

В: 0,003282 г/см³.

3. Наважку речовини оксалатна кислота-вода(1/2) $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ масою 0,8615 г розчинили в мірній колбі місткістю 250,0 cm^3 і розчин довели дистильованою водою до риски. Розрахувати молярну концентрацію речовини еквівалента оксалатна кислота-вода(1/2) в приготовленому розчині.

В: 0,05467 моль/дм³.

4. Розрахувати молярну концентрацію речовини еквівалента дигідроген тетраоксосульфату H_2SO_4 у розчині, титр якого рівний 0,02446 г/см³.

В: 0,4988 г/см³.

5. Розрахувати молярну концентрацію речовини натрій гідроксиду, титр якого рівний 0,004020 г/см³.

В: 0,1005 моль/дм³.

6. Молярна концентрація речовини гідроген хлориду у розчині дорівнює 0,1020 моль/дм³. Розрахувати титр розчину хлоридної кислоти.

В: 0,003719 г/см³.

7. Розрахувати молярну концентрацію речовини і молярну концентрацію речовини еквівалента дигідроген тетраоксосульфату H_2SO_4 у розчині, титр якого дорівнює 0,004852 г/см³.

В: 0,09894 моль/дм³; 0,04947 моль/дм³.

8. Розрахувати об'єм розчину натрій карбонату з масовою часткою речовини Na_2CO_3 10,0 % і густиною розчину $1,105 \text{ г/см}^3$, який потрібно взяти для приготування його розчину об'ємом 1 дм^3 з титром $0,01000 \text{ г/см}^3$.

В: $90,5 \text{ см}^3$.

9. Розрахувати об'єм розчину дигідроген тетраоксосульфату H_2SO_4 з масовою часткою речовини 50,0 % і густиною розчину $1,4 \text{ г/см}^3$, який потрібно взяти для приготування його розчину об'ємом 10 дм^3 з молярною концентрацією речовини еквівалента $0,25 \text{ моль/дм}^3$.

В: 175 см^3 .

10. Обчислити об'єм води, який необхідно додати до 2 дм^3 $0,5 \text{ М}$ розчину хлоридної кислоти, щоб одержати $0,4 \text{ М}$ розчин.

В: 500 см^3 .

11. До $550,0 \text{ см}^3$ $0,1925 \text{ М}$ розчину HCl додали $50,0 \text{ см}^3$ розчину HCl з титром $0,02370 \text{ г/см}^3$. Знайти молярну концентрацію і титр отриманого розчину.

В: $0,2306 \text{ моль/дм}^3$; $0,008409 \text{ г/см}^3$.

12. Який об'єм 96% розчину сульфатної (VI) кислоти ($\rho = 1,835 \text{ г/см}^3$) потрібно для приготування $5,0 \text{ дм}^3$ $0,2 \text{ М}$ розчину?

В: $27,8 \text{ см}^3$.

13. Який об'єм хлоридної кислоти ($\rho = 1,19 \text{ г/см}^3$), що містить 38,32% HCl , слід розбавити до 1500 см^3 , щоб отримати $0,2000 \text{ М}$ розчин?

В: 24 см^3 .

14. Обчислити титр розчину сульфатної (VI) кислоти, якщо для $0,01000 \text{ Н}$ розчину $K = 0,9123$.

В: $0,0004474 \text{ г/см}^3$.

15. Обчислити титр калій гідроксиду, якщо для його $0,05000 \text{ М}$ розчину $K = 0,8549$.

В: $0,002398 \text{ г/см}^3$.

16. Знайти молярну концентрацію розчину HCl , якщо на титрування $0,1946 \text{ г}$ хімічно чистого Na_2CO_3 витрачають $20,45 \text{ см}^3$ розчину хлоридної кислоти?

В: $0,1796 \text{ моль/дм}^3$.

17. Розрахувати наважку речовини оксалатна кислота-вода(1/2) $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, необхідну для приготування розчину, щоб на її титрування витратилось $20,00 \text{ см}^3$ $0,1000 \text{ М}$ розчину натрій гідроксиду?

В: $0,1261 \text{ г}$.

18. Розрахувати молярну концентрацію речовини гідроген хлориду у розчині і титр розчину хлоридної кислоти, якщо на титрування наважки динатрій тетраборат-вода(1/10) – $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ $0,8434 \text{ г}$ витрачено $17,50 \text{ см}^3$ цього розчину.

В: $0,2528 \text{ моль/дм}^3$; $0,009215 \text{ г/см}^3$.

19. Знайти істинну молярну концентрацію речовини еквівалента дигідроген тетраоксосульфату H_2SO_4 і титр $0,1 \text{ М}$ розчину сульфатної кислоти – H_2SO_4 з $K = 0,9808$.

В: $0,1962 \text{ моль/дм}^3$; $0,009621 \text{ г/см}^3$.

20. Який об'єм $2,0 \text{ М}$ розчину хлоридної кислоти необхідно додати до $1,1 \text{ дм}^3$ $0,1880 \text{ М}$ розчину HCl для того, щоб одержати $0,2000 \text{ М}$ розчин?

В: $7,33 \text{ см}^3$.

21. На титрування розчину, отриманого розчиненням наважки 0,3044 г речовини оксалатна кислота-вода(1/2) $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ в довільному об'ємі води витрачається 24,68 см³ розчину калій перманганату KMnO_4 . Визначити титр, молярну концентрацію речовини еквівалента і поправочний коефіцієнт розчину калій перманганату.

В: 0,006186 г/см³; 0,1957 моль/дм³; 0,9785 (до 0,2000 моль екв./дм³).

22. 23,85 см³ розчину калій гідроксиду з титром 0,02763 г/см³ відтитрували 25,00 см³ розчину хлоридної кислоти. Знайти молярну концентрацію речовини гідроген хлориду в цьому розчині.

В: 0,4698 моль/дм³.

23. На титрування 25,00 см³ розчину натрій хлориду витрачено 21,14 см³ 0,1145 М розчину аргентум нітрату. Знайти молярну концентрацію речовини натрій хлориду в приготовленому розчині.

В: 0,09682 моль/дм³.

24. Наважку 2,6500 г хімічно чистого натрій карбонату розчинили в мірній колбі місткістю 250,0 см³. На титрування 25,00 см³ одержаного розчину витрачено 23,16 см³ розчину хлоридної кислоти. Знайти молярну концентрацію речовини гідроген хлориду в розчині.

В: 0,2159 моль/дм³.

25. З наважки 6,2270 г динатрій тетраборат-вода(1/10) – $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ приготували 250,0 см³ розчину. 25,00 см³ цього розчину реагує з 24,17 см³ розчину хлоридної кислоти. Обчислити молярну концентрацію речовини гідроген хлориду в розчині.

В: 0,1351 моль/дм³.

26. Для нейтралізації 20,00 см³ 0,2215 М розчину хлоридної кислоти необхідно 21,40 см³ розчину барій дигідроксиду, а 25,00 см³ розчину ацетатної кислоти нейтралізуються 22,55 см³ цього ж розчину барій дигідроксиду. Обчислити молярну концентрацію речовини ацетатної кислоти.

В: 0,1867 моль/дм³.

27. На титрування 15,00 см³ форміатної кислоти HCOOH з титром 0,001150 г/см³ витрачається 12,50 см³ розчину калій гідроксиду. Обчислити молярну концентрацію речовини калій гідроксиду у цьому розчині і титр розчину KOH .

В: 0,02998 моль/дм³; 0,001682 г/см³.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №1

Тема: „Приготування розчинів із заданою концентрацією”

Мета: приготувати розчини хлоридної кислоти та натрій гідроксиду з молярною концентрацією речовин 0,1 моль/дм³ об'ємом 250,0 см³ з їх розчинів, наявних в лабораторії.

Лабораторне обладнання і реактиви: 2 циліндри (250 см³), ареометр, мірна колба (об'єм 250,0 см³), склянки з пробками для зберігання приготовлених розчинів кислоти і лугу, етикетки, промивалка, сушильна шафа, піпетка з поділками на 10 см³, гумова груша, клей, концентровані розчини HCl та NaOH .

Порядок виконання роботи

I. Приготування 250,0 см³ розчину хлоридної кислоти з молярною концентрацією ~0,1 моль/дм³ з наявного розчину в лабораторії.

1.1. Визначити ареометром густину наявного в лабораторії розчину хлоридної кислоти:

$$\rho(\text{HCl}) = \quad , \text{ г/см}^3.$$

1.2. Знайти в довідниковій літературі масову частку гідроген хлориду в даному розчині хлоридної кислоти за визначеною густиною:

$$w(\%)(\text{HCl}) =$$

1.3. Розрахувати молярну концентрацію даного розчину хлоридної кислоти за формулою:

$$c_1(\text{HCl}) = \frac{w(\%)(\text{HCl}) \cdot 10 \cdot \rho(\text{HCl})}{M(\text{HCl})} = \quad = \quad \text{моль/дм}^3.$$

1.4. Розрахувати об'єм V_1 концентрованого розчину хлоридної кислоти, необхідний для приготування 250,0 см³ розчину хлоридної кислоти з молярною концентрацією 0,1 моль/дм³ за формулою:

$$c_1(\text{HCl}) \cdot V_1(\text{HCl}) = c_2(\text{HCl}) \cdot V_2(\text{HCl})$$

$$V_1(\text{HCl}) = \quad = \quad \text{см}^3.$$

1.5. Відміряти розрахований об'єм розчину хлоридної кислоти піпеткою (за допомогою гумової груші!) і перенести у мірну колбу на 250,0 см³. *Оскільки готуємо розчин приблизної концентрації, то не обов'язково його готувати в мірній колбі, можна приготувати розчин в мірному циліндрі, в мензурці або в мірному стакані.*

1.6. Довести дистильованою водою до мітки, закрити пробкою і перемішати 10–15 разів.

1.7. Промити невеликим об'ємом (10–15 см³) приготовленого розчину кислоти склянку, перенести в неї приготовлений розчин кислоти, закрити пробкою, наклеїти етикетку (0,1 М НСl, група, прізвище та ініціали) і зберігати до наступного заняття.

II. Приготування 250,0 см³ розчину натрій гідроксиду з молярною концентрацією 0,1 моль/дм³ з розчину, наявного в лабораторії.

2.1. Визначити ареометром густину наявного в лабораторії розчину натрій гідроксиду:

$$\rho(\text{NaOH}) = \quad , \text{ г/см}^3.$$

2.2. Знайти в довідниковій літературі масову частку натрій гідроксиду в даному розчині:

$$w(\%)(\text{NaOH}) =$$

2.3. Розрахувати молярну концентрацію даного розчину натрій гідроксиду за формулою:

$$c_1(\text{NaOH}) = \frac{w(\%)(\text{NaOH}) \cdot 10 \cdot \rho(\text{NaOH})}{M(\text{NaOH})} = \quad = \quad \text{моль/дм}^3.$$

2.4. Розрахувати об'єм V_1 концентрованого розчину натрій гідроксиду, необхідний для приготування 250,0 см³ розчину луку з молярною концентрацією 0,1 моль/ дм³ за формулою:

$$c_1(\text{NaOH}) \cdot V_1(\text{NaOH}) = c_2(\text{NaOH}) \cdot V_2(\text{NaOH})$$

$$V_1(\text{NaOH}) = \quad = \quad \text{см}^3.$$

2.5. Відміряти розрахований об'єм розчину натрій гідроксиду (за допомогою гумової груші) і перенести у мірну колбу на 250,0 см³.

2.6. Довести дистильованою водою до мітки, закрити пробкою і перемішати 10–15 разів.

2.7. Промити невеликим об'ємом (10–15 см³) приготовленого розчину лугу склянку, перенести в неї приготовлений розчин лугу, закрити пробкою, наклеїти етикетку (0,1 М NaOH, група, прізвище, та ініціали) і зберігати до наступного заняття.

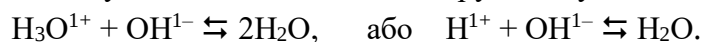
КИСЛОТНО-ОСНОВНЕ ТИТРУВАННЯ

Ключові слова і терміни: *кисотно-основне титрування, робочі розчини кислотно-основного титрування, ацидиметрія, алкаліметрія, первинні стандартні речовини в кислотно-основному титруванні, кислотно-основні індикатори, йонна теорія індикаторів, хромофорна теорія індикаторів, бензоїдно-хіноїдна таутомерія, хромофори, ауксохроми, йонно-хромофорна теорія індикаторів, інтервал переходу забарвлення індикатору, показник титрування, крива титрування, точка еквівалентності, кінцева точка титрування, стрибок титрування, вибір індикатору за кривими титрування, індикаторна похибка титрування, карбонатна твердість води, формальдегідний метод визначення солей амонію, метод К'ельдаля.*

Короткі теоретичні відомості

Загальна характеристика методу кислотно-основного титрування

Основна реакція методу кислотно-основного титрування у водних розчинах:



Робочими розчинами методу кислотно-основного титрування є стандартні розчини сильних кислот (HCl, H₂SO₄) і сильних основ (NaOH, KOH, рідше Ba(OH)₂). Речовини для приготування робочих розчинів у кислотно-основному титруванні не задовольняють вимоги до стандартних речовин: кислоти “димлять” на повітрі, тверді натрій гідроксид і калій гідроксид поглинають воду та карбон(IV) оксид. Тому робочі розчини в кислотно-основному титруванні спочатку готують приблизної концентрації, а потім стандартизують і одержують вторинні стандартні розчини.

Для стандартизації кислот використовують первинні стандартні речовини: безводний динатрій карбонат (Na₂CO₃), динатрій гептаоксотетраборат-вода (1/10) (Na₂B₄O₇·10H₂O), калій йодат(V) (KIO₃), меркурій(II) оксид (HgO) або вторинний стандартний розчин натрій гідроксиду; для стандартизації розчинів сильних основ використовують первинні стандартні речовини: оксалатну кислоту (H₂C₂O₄·2H₂O), бурштинову кислоту (H₂C₄H₄O₄), бензойну кислоту (C₆H₅COOH) та інші [6] або вторинний стандартний розчин хлоридної кислоти.

Методом кислотно-основного титрування визначають вміст різних неорганічних і органічних кислот та основ, а також оксиди і солі, які реагують у стехіометричних співвідношеннях з кислотами і основами. Наприклад, карбонати, гідрогенкарбонати, солі амонію, цинк оксид та інші.

У залежності від титранту розрізняють *ацидиметричне* та *алкаліметричне* титрування. Кисотно-основне титрування, при якому як титрант використовують стандартний розчин кислоти, називається ацидиметричним титруванням (лат. *acidum* – кислота), кислотно-основне титрування, при якому як титрант використовують стандартний розчин сильної основи, називається алкаліметричним титруванням (лат. *alkalis* – луг).

У порівнянні з іншими методами титриметричного аналізу методи кислотно-основного титрування відрізняються більшою складністю у визначенні точки еквівалентності. Для фіксування кінцевої точки титрування додають кислотно-основний індикатор, зміну забарвлення якого спостерігають візуально. *Кислотно-основні індикатори – це органічні речовини, здатні оборотно змінювати своє забарвлення в розчині при зміні рН середовища.* Щоб правильно вибрати індикатор, необхідно знати: 1) яке значення рН буде в точці еквівалентності та наскільки різко зміниться рН розчину, який титрують, поблизу точки еквівалентності; 2) як правильно підібрати індикатор, здатний зафіксувати точку еквівалентності. Відповідь на перше питання можна отримати шляхом розрахунку, побудови та аналізу кривих титрування. Зробити правильний вибір індикатора в кислотно-основному титруванні можна лише знаючи теорії індикаторів.

Криві кислотно-основного титрування

Процес титрування можна передати кількісно, побудувавши експериментальну або теоретичну криву титрування. *Крива кислотно-основного титрування – це графічне зображення зміни рН у процесі титрування від об'єму добавленого титранту (в см³).*

У кислотно-основному титруванні розрізняють чотири типи кривих титрування:

1. Титрування сильної кислоти сильною основою (або навпаки);
2. Титрування слабкої кислоти сильною основою (або навпаки);
3. Титрування слабкої основи сильною кислотою (або навпаки);
4. Титрування слабкої кислоти слабкою основою (або навпаки)*.

Для побудови теоретичних кривих титрування розраховують значення рН до точки еквівалентності, в точці еквівалентності і за точкою еквівалентності за формулами для обчислення рН у розчинах сильних кислот, сильних основ, слабких кислот, слабких основ, буферних систем, розчинах солей, що гідролізують, тощо.

Поблизу точки еквівалентності різко змінюється рН розчину. *Різка зміна рН поблизу точки еквівалентності при додаванні невеликого об'єму титранту називається стрибком титрування* (рис. 1).

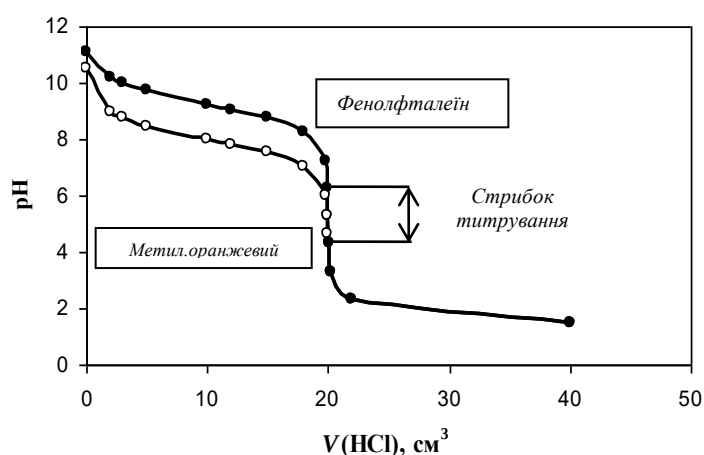


Рис. 1. Криві титрування 0,1 М розчинів різних слабких основ 0,1 М розчином хлоридної кислоти: • – $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ($\text{pK} = 4,76$); ○ – основа з $\text{pK} = 7,0$

Четвертий тип кривої титрування практичного застосування не має.

Стрибок титрування (в одиницях рН) вимірюють висотою вертикальної ділянки на кривій титрування. **Початок стрибка титрування відповідає значенню рН розчину, коли не відтитровано 0,1 % кислоти (або основи). Кінець стрибка титрування відповідає 0,1 % надлишку основи (або кислоти).** Чим більша ширина стрибка титрування, тим більша можливість вибору індикатора. На ширину стрибка титрування впливають величини концентрацій розчину, який титрують, і титранту, температура. При титруванні слабких кислот або слабких основ (рис. 1) значний вплив на ширину стрибка титрування має також рК слабого електроліту (кислоти чи основи).

На кривій титрування слабкої кислоти слабкою основою (або навпаки) відсутній стрибок титрування. При поступовій зміні рН у процесі титрування забарвлення індикатора буде змінюватися не різко, а поступово, і ми не зможемо встановити кінцеву точку титрування. Отже, *в кисло-основному титруванні по меншій мірі одна з реагуючих речовин повинна бути сильним електролітом. Тому, незалежно від того, що титрують, сильні чи слабкі кислоти, титрантом є сильна основа і навпаки, якщо титрують сильні або слабкі основи, титрантом є сильна кислота.*

Індикатори кисло-основного титрування

Індикатори, які використовують в кисло-основному титруванні, змінюють своє забарвлення в залежності від рН середовища. Є кілька теорій, які пояснюють зміну забарвлення кисло-основних індикаторів при зміні величини рН розчину: йонна, хромофорна, йонно-хромофорна тощо.

Зміна забарвлення кисло-основного індикатора відповідно йонної теорії індикаторів (В. Оствальд, 1894 р.) зв'язана з оборотним зміщенням рівноваги дисоціації індикатора під впливом гідроген- або гідроксид-іонів.

У відповідності до хромофорної теорії (Ганч, 1905 р.) зміна забарвлення індикаторів при зміні рН середовища обумовлена внутрішньомолекулярним перегрупуванням атомів в молекулах індикатора, внаслідок якого виникають (або зникають) групи атомів, які містять кратні зв'язки і впливають на забарвлення (хромофори).

Згідно з йонно-хромофорною теорією індикаторів зміна рН розчину приводить не тільки до зміщення рівноваги електролітичної дисоціації індикатора-кислоти або індикатора-основи, але й викликає перегрупування атомів у самих молекулах індикатора. Рівняння

$$\text{pH} = \text{pK}(\text{HInd}) - \lg \frac{[\text{HInd}^{\text{A}}]}{[\text{Ind}^{\text{I-}}]}$$

є основним рівнянням у йонно-хромофорній теорії кисло-основних індикаторів і виражає залежність між забарвленням індикатора ($[\text{HInd}^{\text{A}}]/[\text{Ind}^{\text{I-}}]$) і рН розчину.

Забарвлення індикатора (у даному прикладі кислоти) залежить від співвідношення концентрацій неіоногенної (не здатної до дисоціації) форми (HInd^{A}) і аніонів індикатора ($\text{Ind}^{\text{I-}}$), а це співвідношення визначається величиною рН розчину.

Інтервал ΔpH , у якому індикатор змінює своє забарвлення, називається *інтервалом переходу забарвлення індикатора* або спрощено *інтервалом переходу індикатора*.

Значення рН у межах інтервалу переходу індикатора, при якому візуально сприймається рівність забарвлення обох форм індикатора, називається *показником титрування індикатора* (рТ) і ототожнюється з кінцевою точкою титрування, тобто

титрування закінчують при $pH = pT$. Характеристики найважливіших кислотно-основних індикаторів наведені в таблиці 1.

Індикатор підбирають таким чином, щоб показник титрування (pT) був якомога ближчим до значення pH розчину у точці еквівалентності. Внаслідок розбіжності показника титрування індикатора зі значенням pH розчину у точці еквівалентності виникає індикаторна похибка титрування. **Індикаторна похибка титрування вважається припустимою, якщо вона не перебільшує 0,2%.** При цій умові інтервал переходу індикатора хоча б частково знаходиться в області стрибка pH на кривій титрування.

Таблиця 1

Найважливіші кислотно-основні індикатори та їх характеристики

Індикатор	Інтервал переходу, одиниці pH	pT	Забарвлення індикатора	
			кислотна форма	основна форма
Метиловий оранжевий	3,1 – 4,4	4,0	червоне	жовте
Метиловий червоний	4,2 – 6,2	5,5	червоне	жовте
Фенолфталеїн	8,2 – 10,0	9,0	безбарвне	малинове
Тимолфталеїн	9,3 – 10,5	10,0	безбарвне	синє

Контрольні питання з теми „Загальна характеристика кислотно-основного титрування”

1. Назвіть основну реакцію кислотно-основного титрування.
2. Як приготувати стандартні розчини хлоридної кислоти та натрій гідроксиду? Які первинні стандартні речовини використовують для стандартизації розчинів кислот і основ? Наведіть рівняння реакцій взаємодії стандартних речовин з речовинами розчинів, які стандартизують, і вкажіть фактори еквівалентності означених речовин та їх молярні маси речовин еквівалентів.
3. Яким вимогам повинна відповідати ідеальна первинна стандартна речовина?
4. Назвіть вторинні стандартні розчини, які застосовують у методі кислотно-основного титрування.

Контрольні питання з теми „Криві кислотно-основного титрування”

1. В якій області pH знаходиться точка еквівалентності при титруванні:
 - а) сильної кислоти сильною основою;
 - б) слабкої кислоти сильною основою;
 - в) слабкої основи сильною кислотою?
2. Що називають кривою титрування і з якою метою її будують? У яких координатах будують криву титрування у методі кислотно-основного титрування?
3. Який вид має крива титрування:
 - а) розчину хлоридної кислоти розчином натрій гідроксиду;
 - б) розчину амоніаку розчином хлоридної кислоти;
 - в) розчину натрій гідроксиду розчином хлоридної кислоти;
 - г) розчину ацетатної кислоти розчином натрій гідроксиду?
4. Вкажіть на кривих титрування зону буферної дії та точку з максимальною буферною ємністю.

5. Наведіть приклади симетричних і асиметричних кривих кислотно-основного титрування.
6. Що називають стрибком титрування?
7. Як змінюється вигляд кривої титрування (ширина стрибка титрування, положення точки еквівалентності, нахил віток кривих) при зміні концентрації розчинів, констант йонізації кислот і основ, температури?
8. Яке граничне значення константи йонізації кислоти (або основи), при якому можливе визначення слабкої кислоти (або основи) прямим титруванням?
9. За якими формулами розраховують початок та кінець стрибка титрування при титруванні:
 - а) сильної кислоти сильною основою;
 - б) слабкої кислоти сильною основою;
 - в) слабкої основи сильною кислотою?
10. Чи обов'язкова збіжність кінцевої точки титрування і точки еквівалентності?
11. Вкажіть можливості застосування методів кислотно-основного титрування.

Контрольні питання з теми „Індикатори кислотно-основного титрування”

1. Які сполуки використовують як індикатори в кислотно-основному титруванні?
2. Як пояснити зміну забарвлення кислотно-основних індикаторів з точки зору йонної теорії? Вкажіть недоліки цієї теорії.
3. Поясніть сутність хромофорної теорії індикаторів?
4. Які групи атомів є хромофорами, які – ауксохромами:

$$-\text{N}=\text{O}; -\text{NH}_2; -\text{N}=\text{N}-; -\text{OCH}_3;$$

$$-\text{N}(\text{CH}_3)_2; \text{ } =\text{ } \langle \text{ } \rangle \text{ } =\text{ } ; -\text{OH} ?$$
5. Які переваги і недоліки має хромофорна теорія індикаторів у порівнянні з йонною?
6. Яка сутність йонно-хромофорної теорії кислотно-основних індикаторів?
7. Розгляньте рівновагу в розчинах індикаторів з позиції йонно-хромофорної теорії. Що таке позірна константа йонізації (дисоціації) індикатора?
8. Напишіть основне рівняння йонно-хромофорної теорії індикаторів, яке показує залежність забарвлення кислотно-основного індикатора від pH середовища.
9. Назвіть основні характеристики кислотно-основних індикаторів.
10. Що називають інтервалом переходу індикатора та показником титрування? Назвіть інтервали переходу і показники титрування найважливіших кислотно-основних індикаторів.
11. Який зв'язок існує між константою йонізації індикатора та інтервалом переходу його забарвлення?
12. Які фактори впливають на показники (характеристики) індикаторів?
13. Яким вимогам повинні відповідати кислотно-основні індикатори?
14. Які структурні зміни відбуваються в молекулі фенолфталеїну при $\text{pH} = 8,2 - 10,0$?
15. Утворенням якої сполуки можна пояснити знебарвлення малинового забарвлення фенолфталеїну в лужному середовищі ($\text{pH} = 13-14$)?
16. Яке правило використовується при виборі індикатора в кислотно-основному титруванні?
17. Які індикатори можна використовувати для титрування:
 - а) $0,1 \text{ M HCl} + 0,1 \text{ M NaOH}$;
 - б) $0,1 \text{ M CH}_3\text{COOH} + 0,1 \text{ M NaOH}$;

- в) $0,01\text{ M HCl} + 0,01\text{ M NaOH}$;
- г) $1,0\text{ M HCl} + 1,0\text{ M NaOH}$;
- д) $0,1\text{ M NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O} + 0,1\text{ M HCl}$?

18. Що таке індикаторна похибка титрування ?

19. Як розраховують гідрогенну, гідроксидну, кислотну, основну, сольову індикаторні похибки титрування?

Контрольні питання з теми „Титрування складних кислотно-основних систем”

1. Які формули використовують для розрахунку концентрації гідроген-іонів і рН при титруванні суміші сильної і слабкої кислоти стандартним розчином натрій гідроксиду:
 - а) на початкових стадіях титрування;
 - б) поблизу першої точки еквівалентності;
 - в) у першій точці еквівалентності;
 - г) у другій точці еквівалентності.
2. Який вигляд має крива титрування:
 - а) суміші водних розчинів хлоридної і ацетатної кислот стандартним розчином натрій гідроксиду;
 - б) суміші водних розчинів натрій гідроксиду і амоніаку стандартним розчином хлоридної кислоти;
 - в) трьохосновної слабкої кислоти ($pK_1 = 2$; $pK_2 = 6$; $pK_3 = 11$) стандартним розчином натрій гідроксиду;
 - г) розчину динатрій карбонату стандартним розчином хлоридної кислоти?
3. За якими формулами розраховують значення рН у першій і у другій точках еквівалентності при титруванні фосфатної(V) кислоти стандартним розчином натрій гідроксиду?
4. Скільки стрибків на кривих титрування оксалатної, фосфатної, сульфатної, карбонатної кислот?
5. Чи можна провести окреме визначення компонентів водного розчину суміші нітратної(V) та хлоридної кислот стандартним розчином натрій гідроксиду?
6. За якої умови можливе окреме титрування компонентів суміші кислот (або багатоосновних кислот за ступенями)?
7. Чи можна провести пряме титрування боратної та карбонатної кислот за другими ступенями йонізації і фосфатної(V) кислоти – за третім ступенем йонізації?
8. Як провести визначення фосфатної(V) кислоти як трьохосновної, карбонатної як двохосновної?
9. Які прийоми застосовують при титруванні слабких кислот (і слабких основ) з константою йонізації менше, ніж 10^{-8} ?
10. Чому на кривій титрування борної кислоти в присутності гліцерину з’являється стрибок титрування?
11. Опишіть спосіб окремого визначення сульфатної і фосфатної кислот в суміші кислотно-основним титруванням?
12. Сформулюйте правило, користуючись яким можна визначати можливість прямого кислотно-основного титрування солі, що гідролізує.

13. Чи можна прямим кислотно-основним титруванням визначати вміст солей амонію, солей ацетатної, форміатної та оксалатної кислот?
14. Опишіть два способи визначення вмісту динатрій карбонату в розчині прямим титруванням стандартним розчином хлоридної кислоти?
15. Опишіть спосіб окремого визначення карбонат- і гідроксид-іонів в суміші кислотно-основним титруванням.
16. Опишіть спосіб визначення карбонат- і гідрогенкарбонат-іонів при сумісній присутності прямим кислотно-основним титруванням.
17. З яким індикатором визначають тимчасову твердість води при ацидиметричному титруванні?
18. Вкажіть, які із наступних сполук – калій гідроксид, дикалій карбонат і калій гідрогенкарбонат присутні в розчині, якщо:
 - а) на титрування його з фенолфталеїном і метиловим оранжевим витрачається однаковий об'єм стандартного розчину хлоридної кислоти;
 - б) на титрування його з фенолфталеїном витрачається вдвічі менше хлоридної кислоти, ніж з метиловим оранжевим;
 - в) розчин не дає лужної реакції з фенолфталеїном, але може бути відтитрований з метиловим оранжевим.
19. Опишіть методи визначення нітрогену в солях амонію. Обґрунтуйте вибір індикатора в кожному випадку.
20. Поясніть сутність методу К'ельдаля для визначення нітрогену в органічних сполуках?
21. Як можна визначити вміст нітрогену в нітратах і нітритах?

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ №4

Тема: „Теоретичні основи методів кислотно-основного титрування”

Мета: ознайомитися з теоретичними основами методів кислотно-основного титрування та областю їх застосування.

План заняття

I. Перевірка знань теоретичного матеріалу:

- 1.1. Сутність методів кислотно-основного титрування. Основна реакція методу кислотно-основного титрування.
- 1.2. Ацидиметрія і алкаліметрія. Робочі розчини в кислотно-основному титруванні та стандартні речовини.
- 1.3. Розрахунок і побудова теоретичних кривих кислотно-основного титрування. Стрибок титрування, його залежність від різних факторів.
- 1.4. Індикатори методів кислотно-основного титрування.
- 1.5. Йонна, хромофорна, йонно-хромофорна теорії індикаторів.
- 1.6. Інтервал переходу індикатора. Показник титрування (pT).
- 1.7. Вибір індикаторів для конкретних випадків титрування.
- 1.8. Титрування багатоосновних сильних і слабких кислот. Криві титрування. Титрування суміші кислот.
- 1.9. Титрування розчинів солей. Криві титрування. Можливість визначення солей, які гідролізують, прямим кислотно-основним титруванням.

1.10. Титрування суміші натрій гідроксиду і динатрій карбонату, суміші натрій гідрокарбонату і динатрій карбонату

1.11. Визначення солей амонію кислотно-основним титруванням

II. Письмовий контроль знань з теми:

„Методи кислотно-основного титрування”.

Завдання для самостійної роботи:

1. Опрацювати лекційний матеріал з теми „Методи кислотно-основного титрування та їх застосування” [6].

2. Робота з підручником: [2, с. 141–163, 180–215].

3. Самостійно опрацювати питання „Індикаторні похибки кислотно-основного титрування” [6].

4. Дати відповіді на контрольні питання з тем: „Криві кислотно-основного титрування”, „Індикатори кислотно-основного титрування”, „Застосування методів кислотно-основного титрування”.

5. Опрацювати тестові завдання з теми „Методи кислотно-основного титрування та їх застосування” [7].

6. Побудувати криву титрування згідно зразка. Підібрати індикатори. Обрахувати індикаторну похибку титрування.

7. Підготуватися до контрольної роботи з теми „Методи кислотно-основного титрування”.

Зразок завдань до контрольної роботи з теми: „Методи кислотно-основного титрування”

1. Які з індикаторів можна застосовувати при титруванні 0,1 н. розчину динатрій тетраборату 0,1 М розчином хлоридної кислоти?

а) метиловий оранжевий; б) метиловий червоний; в) фенолфталеїн.

2. Які положення придатні при виборі індикатора в кислотно-основному титруванні:

а) інтервал переходу повинен бути рівним величині стрибка титрування;

б) показник титрування індикатора (рТ) повинен бути якомога ближче до значення рН в точці еквівалентності;

в) необхідно, щоб рТ індикатора співпадав зі значенням рН в точці еквівалентності;

г) для титрування можна застосовувати тільки ті індикатори, інтервал переходу яких повністю або частково входить в стрибок титрування.

3. Яка характеристика розраховується за формулою $pH = pK \mp 1$?

а) показник індикатору; в) інтервал переходу індикатору;

б) показник титрування; г) водневий показник.

4. Чому приблизно дорівнює величина константи йонізації кислотного індикатора, якщо інтервал переходу його знаходиться в межах рН від 8 до 10?

а) 10^{-5} ; б) 10^{-4} ; в) 10^{-9} ; г) 9.

5. Які формули для вираження титру правильні?

$$\text{а) } T(A) = \frac{c(f_{\text{екв.}}(A)A) \cdot M(f_{\text{екв.}}(A)A)}{1000}; \quad \text{б) } T(A) = \frac{m(A)}{V(A_{\text{розч.}})};$$

$$\text{в) } T(A) = \frac{m(A) \cdot 1000}{M(f_{\text{екв.}}(A)A)}$$

$$\text{г) } T(A/X) = \frac{T(A) \cdot M(f_{\text{екв.}}(X)X)}{M(f_{\text{екв.}}(A)A)};$$

$$\text{д) } T(A/X) = \frac{c(f_{\text{екв.}}(A)A) \cdot M(f_{\text{екв.}}(X)X)}{1000}$$

$$\text{е) } T(A/X) = \frac{T(A) \cdot M(f_{\text{екв.}}(A)A)}{M(f_{\text{екв.}}(X)X)}.$$

6. Як називається область значень рН, в межах якої відбувається зміна забарвлення індикатора?

- а) показник індикатора б) показник титрування
в) кінцева точка титрування г) інтервал переходу

7. За якою формулою необхідно розрахувати рН розчину, якщо до розчину амоніаку об'ємом 100 см³ з молярною концентрацією речовини NH₃·H₂O 0,1 моль/дм³ додано розчин хлоридної кислоти об'ємом 50 см³ з молярною концентрацією речовини 0,1 моль/дм³?

- а) рН = -lg c_{кисл.} б) рН = 14 - 1/2 pK_{осн.} + 1/2 lg c_{осн.}
в) рН = 7 - 1/2 pK_{осн.} - 1/2 lg c_{солі} г) рН = 14 - pK_{осн.} + lg c_{осн./солі}

8. На титрування розчину сульфатної кислоти витрачається 10,00 см³ розчину КОН з T(КОН/H₂SO₄) = 0,004904 г/см³. Яка маса дигідроген сульфату знаходиться в розчині?

- а) 0,0004904 г; в) 0,1000 г;
б) 0,04904 г; г) 0,005600 г.

Завдання для самостійної роботи з тем:
„Розрахунок і побудова кривої титрування”, „Вибір індикатора”,
„Індикаторні похибки кислотно-основного титрування”.

1. Розрахувати зміну рН розчину в процесі титрування.
2. Накреслити криву титрування. Вказати стрибок титрування, точку еквівалентності.
3. Провести аналіз кривої титрування.
4. Розрахувати відношення ΔрН/ΔV і накреслити диференціальну криву титрування (залежність ΔрН/ΔV = f(V)).
5. Підібрати індикатор для даного титрування.
6. Визначити індикаторну похибку титрування.

Варіант	Завдання
1.	10 см ³ 0,12 М НСl + 0,12 М NaOH
2.	10 см ³ 0,14 М НСl + 0,14 М NaOH
3.	10 см ³ 0,16 М НСl + 0,16 М NaOH
4.	10 см ³ 0,18 М НСl + 0,18 М NaOH
5.	10 см ³ 0,20 М НСl + 0,20 М NaOH
6.	10 см ³ 0,08 М НСl + 0,08 М NaOH
7.	10 см ³ 0,06 М НСl + 0,06 М NaOH
8.	20 см ³ 0,12 М НСl + 0,12 М NaOH
9.	20 см ³ 0,14 М НСl + 0,14 М NaOH
10.	20 см ³ 0,16 М НСl + 0,16 М NaOH
11.	20 см ³ 0,18 М НСl + 0,18 М NaOH
12.	20 см ³ 0,20 М НСl + 0,20 М NaOH

Примітка. Криву титрування розрахувати з урахуванням розведення розчину в процесі титрування.

Приклад розрахунку кривої титрування
 (10,00 см³ 0,1 М розчину НСІ титруємо 0,1 М розчином NaOH)

V (NaOH), см ³	Загальний об'єм р-ну, см ³	Залишилось НСІ, см ³	$c(\text{HCl})$, моль/дм ³	pH	$\frac{\Delta \text{pH}}{\Delta V}$
0	10,00	10,00	0,1	1,00	
5,00	15,00	5,00	$c(\text{HCl}) = \frac{0,1 \cdot 5,00}{15,00} = 3,33 \cdot 10^{-2}$	1,48	0,096
9,00	19,00	1,00	$c(\text{HCl}) = \frac{0,1 \cdot 1,00}{19,00} = 5,26 \cdot 10^{-3}$	2,28	0,20
9,90	19,90	0,10	$c(\text{HCl}) = \frac{0,1 \cdot 0,10}{19,90} = 5,03 \cdot 10^{-4}$	3,30	1,13
9,99	19,99	0,01	$c(\text{HCl}) = \frac{0,1 \cdot 0,01}{19,99} = 5,00 \cdot 10^{-5}$	4,30	11,11
10,00	20,00	0	$c(\text{H}^+) = \sqrt{1 \cdot 10^{-14}} = 1 \cdot 10^{-7}$	7,00	270

V(NaOH), см ³	Загальний об'єм р-ну, см ³	Надлишок NaOH, см ³	$c(\text{NaOH})$, моль/ дм ³	pOH	pH	$\frac{\Delta \text{pH}}{\Delta V}$
10,01	20,01	0,01	$c(\text{NaOH}) = \frac{0,1 \cdot 0,01}{20,01} = 5,00 \cdot 10^{-5}$	4,30	9,70	270
10,10	20,10	0,10	$c(\text{NaOH}) = \frac{0,1 \cdot 0,10}{20,10} = 4,98 \cdot 10^{-4}$	3,30	10,70	11,11
11,00	21,00	1,00	$c(\text{NaOH}) = \frac{0,1 \cdot 1,00}{21,00} = 4,76 \cdot 10^{-3}$	2,32	11,68	1,09
15,00	25,00	5,00	$c(\text{NaOH}) = \frac{0,1 \cdot 5,00}{25,00} = 2,00 \cdot 10^{-2}$	1,70	12,30	0,15
20,00	30,00	10,00	$c(\text{NaOH}) = \frac{0,1 \cdot 10}{30,00} = 3,33 \cdot 10^{-2}$	1,48	12,52	0,056

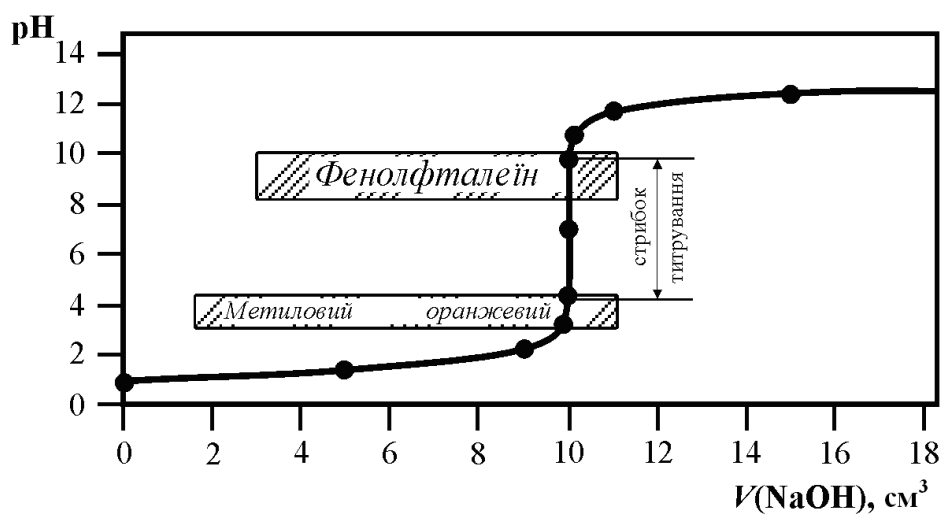


Рис. 1. Крива титрування 0,1 М розчину НСІ
0,1 М розчином NaOH.

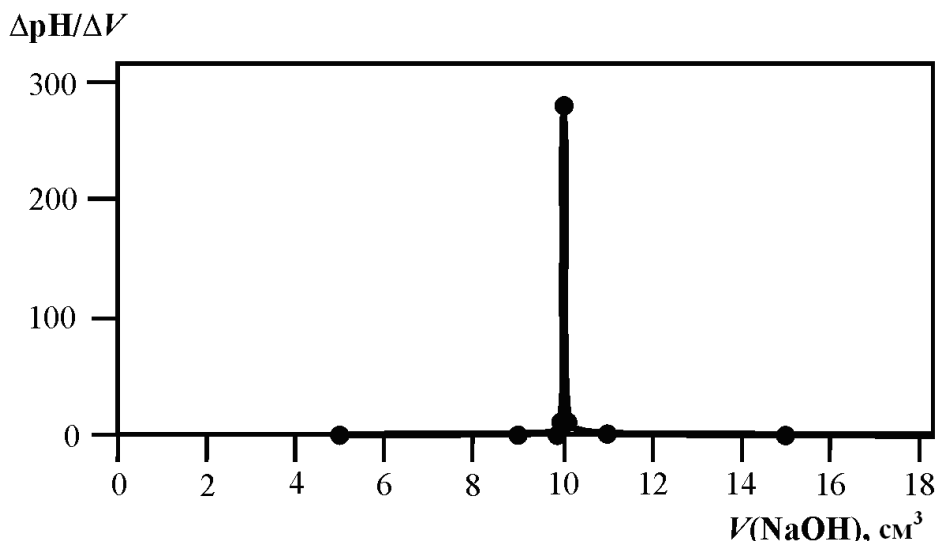


Рис. 2. Диференційована крива титрування 0,1 М розчину НСІ 0,1 М розчином NaOH

Приклад розрахунку індикаторної похибки титрування

1. Розрахунок індикаторної похибки при титруванні розчину хлоридної кислоти об'ємом 10,00 см³ з молярною концентрацією НСІ 0,1000 моль/дм³ розчином натрій гідроксиду з молярною концентрацією NaOH 0,1000 моль/дм³ з індикатором метиловим оранжевим.

Рівняння реакції: $\text{HCl} + \text{NaOH} = \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$.

Точка еквівалентності при титруванні хлоридної кислоти натрій гідроксидом досягається при $\text{pH} = 7,0$, а титрування з метиловим оранжевим закінчується при $\text{pH} = \text{pT}_{\text{м.ор}} = 4,0$ (оранжевий колір). Отже, розчин не дотитровують, що й викликає від'ємну гідрогенну похибку титрування (H^+ -похибка).

$$\text{ПТ}(\%)(\text{H}^+) = \frac{10^{-\text{pT}} \cdot V_{\text{заг.}} \cdot 100}{c(\text{HCl}) \cdot V^a(\text{HCl})} = -\frac{10^{-4} \cdot 20,00 \cdot 100}{0,1000 \cdot 10,00} = -0,2.$$

2. Розрахунок індикаторної похибки при титруванні розчину хлоридної кислоти об'ємом 10,00 см³ з молярною концентрацією НСІ 0,1000 моль/дм³ розчином натрій гідроксиду з молярною концентрацією NaOH 0,1000 моль/дм³ з індикатором фенолфталеїном.

У присутності фенолфталеїну титрування закінчується при $\text{pH} = \text{pT}_{\text{ф.фт.}} (9,0)$, тобто розчин перетитровують. У кінці титрування в розчині буде надлишок луку, що викликає позитивну гідроксидну похибку титрування (OH^- -похибка).

$$\text{ПТ}(\%)(\text{OH}^-) = \frac{10^{-(14-\text{pT})} \cdot V_{\text{заг.}} \cdot 100}{c(\text{HCl}) \cdot V^a(\text{HCl})} = -\frac{10^{-(14-9,0)} \cdot 20,00 \cdot 100}{0,1000 \cdot 10,00} = +0,02.$$

Висновки:

1. Індикаторна похибка при титруванні з індикатором метиловим оранжевим складає 0,2%. Оскільки допустиме значення індикаторної похибки 0,2%, то титрування 0,1000 М розчину НСІ розчином NaOH з молярною концентрацією NaOH 0,1000 моль/дм³ з метиловим оранжевим можливе.

2. Титрування 0,1000 М розчину хлоридної кислоти розчином натрій гідроксиду з індикатором фенолфталеїном можливе, індикаторна похибка складає 0,02%.

3. Для даного випадку титрування індикаторна похибка при використанні фенолфталеїну менша, ніж при використанні метилового оранжевого.

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ №5

Тема: „Стандартизація робочих розчинів кислотно-основного титрування”.

Мета: засвоїти загальні правила виконання кількісних визначень у титриметричному аналізі.

План заняття

I. Перевірка знань теоретичного матеріалу:

- 1.1. Крива титрування слабкої основи сильною кислотою.
- 1.2. Крива титрування сильної основи сильною кислотою.
- 1.3. Вибір індикаторів для конкретних випадків титрування.
- 1.4. Первинні стандартні речовини в кислотно-основному титруванні.

II. Перевірка знань методики стандартизації робочих розчинів кислотно-основного титрування:

- 2.1. Методика приготування стандартного розчину динатрій тетраборат-вода (1/10) з фіксааналу (стандарт-титру) [2, с. 120–121].
- 2.2. Методика встановлення молярної концентрації розчину хлоридної кислоти за стандартним розчином $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (динатрій тетраборат-вода (1/10)).
- 2.3. Методика встановлення молярної концентрації розчину натрій гідроксиду за стандартизованим розчином хлоридної кислоти.

III. Практична частина:

Стандартизація робочих розчинів кислотно-основного титрування.

Завдання для самостійної роботи:

1. Робота з підручником: [2, с. 105–115, 176–180].
2. Обґрунтувати вибір індикатора в практичній роботі №1 за допомогою кривих титрування та інтервалу переходу індикатора.
 - 2.1. Навести криву титрування 0,1 н. розчину $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 0,1 М розчином хлоридної кислоти (загальний вигляд), вказати ширину стрибка титрування, підписати рисунок 1 (Рис. 1. Крива титрування 0,1 н. розчину $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 0,1 М розчином хлоридної кислоти).
 - 2.2. На кривій титрування навести інтервали переходів індикаторів метилового оранжевого, метилового червоного, фенолфталеїну.
 - 2.3. Зробити висновок про вибір індикатора для даного випадку титрування.
 - 2.4. Навести криву титрування 0,1 М розчину NaOH 0,1 М розчином хлоридної кислоти (загальний вигляд), вказати ширину стрибка титрування, підписати рисунок 2.
 - 2.5. На кривій титрування навести інтервали переходів індикаторів метилового оранжевого, метилового червоного, фенолфталеїну.
 - 2.6. Зробити висновок про вибір індикатора для даного випадку титрування.
3. Розв'язати задачі відповідно варіанту з теми „Стандартизація робочих розчинів кислотно-основного титрування”.

Варіанти задач для самостійного розв'язування з теми:
„Стандартизація робочих розчинів кислотно-основного титрування”.

№ варіанту	Збірник задач	№ варіанту	Збірник задач
	Лаб. практ. [10]		Лаб. практ. [10]
1	1, 23, 31, 46	8	8, 30, 40, 17
2	2, 24, 32, 47	9	9, 31, 41, 18
3	3, 25, 33, 48	10	10, 32, 42, 19
4	4, 26, 34, 49	11	11, 35, 43, 20
5	5, 27, 35, 14	12	12, 36, 44, 21
6	6, 28, 38, 15	13	13, 37, 45, 22
7	7, 29, 39, 16	14	1, 23, 31, 46

Задачі для самостійного розв'язування

1. Розрахувати титр розчину сульфатної (VI) кислоти, якщо на титрування 0,1120 г калій гідроксиду витрачається 10,50 см³ розчину цієї кислоти.

В: 0,009323 г/см³.

2. Для визначення молярної концентрації речовини еквівалента сульфатної(VI) кислоти з наважки 1,9070 г динарій тетраборат-вода(1/10) – Na₂B₄O₇·10H₂O приготували 250,0 см³ розчину. 20,00 см³ одержаного розчину нейтралізували 22,50 см³ сульфатної кислоти. Обчислити молярну концентрацію речовини еквівалента сульфатної(VI) кислоти.

В: 0,03556 моль/дм³.

3. Обчислити молярну концентрацію речовини еквівалента калій манганату(VII) у розчині і титр розчину калій манганату(VII), якщо на титрування 20,00 см³ розчину калій манганату(VII) витрачено 12,00 см³ 0,05000 н. розчину оксалатної кислоти – H₂C₂O₄·2H₂O.

В: 0,03000 моль/дм³; 0,0009482 г/см³.

4. Обчислити наважку оксалатної кислоти – H₂C₂O₄·2H₂O, яку необхідно взяти для приготування 0,05000 н. розчину об'ємом 250,0 см³, якщо цей розчин використовують в окисно-відновному титруванні.

В: 0,7879 г.

5. Яка маса сульфатної(VI) кислоти – H₂SO₄ міститься в розчині, якщо на його нейтралізацію витрачено 15,35 см³ 0,25 М розчину калій гідроксиду?

В: 0,1882 г.

6. На нейтралізацію розчину, що містить 0,5000 г натрій гідроксиду, витрачено 20 см³ 0,5 М розчину хлоридної кислоти. Обчислити масову частку (у %) натрій гідроксиду у зразку.

В: 79,99%.

7. Яка маса оксалатної кислоти – H₂C₂O₄·2H₂O міститься в розчині об'ємом 500,0 см³, якщо на титрування 20 см³ розчину оксалатної кислоти витрачено 18,25 см³ 0,1000 н. розчину KMnO₄?

В: 2,876 г.

8. Наважку сульфатної(VI) кислоти марки «т» (технічної) 1,0000 г розчинили в дистильованій воді в мірній колбі місткістю 200,0 см³. На нейтралізацію 15,00 см³ одержаного розчину витрачено 25,33 см³ 0,05000 М розчину натрій гідроксиду. Обчислити масову частку (у %) дигідроген тетраоксосульфату у досліджуваному зразку.

В: 82,81 %.

9. Наважку 1,3516 г срібного сплаву розчинили в нітратній кислоті в мірній колбі місткістю 200,0 см³. На титрування 15,00 см³ приготовленого розчину витрачено 17,36 см³ 0,05000 *M* розчину амоній тіоціанату NH₄SCN. Обчислити масову частку (у %) срібла в сплаві.

В: 92,36%.

10. Наважку барій хлориду марки «т» (технічний) 6,7000 г розчинили в мірній колбі місткістю 1000,0 см³. На титрування 25,00 см³ одержаного розчину витрачено 26,95 см³ розчину аргентум нітрату з титром 0,008059 г/см³. Знайти масову частку (у %) хлорид-іонів у зразку.

В: 27,097%.

11. Наважку натрій оксалату – Na₂C₂O₄ розчинили в мірній колбі місткістю 250,0 см³. На титрування 20,0 см³ одержаного розчину витрачено 18,45 см³ розчину калій манганату(VII) з титром, рівним 0,006030 г/см³. Обчислити масу речовини натрій оксалату в наважці зразку.

В: 2,9476 г.

12. Обчислити масову частку (у %) речовини динатрій тетраборат-вода(1/10) – Na₂B₄O₇·10H₂O у зразку бури, якщо на титрування наважки її 0,8750 г витрачається 20,40 см³ 0,2120 *M* розчину хлоридної кислоти.

В: 94,21%.

13. У мірну колбу місткістю 250,0 см³ помістили 25,00 см³ розведеної хлоридної кислоти і довели до риски дистильованою водою. На титрування 25,00 см³ цього розчину витрачено 24,37 см³ 0,9850 *M* розчину аргентум нітрату. Знайти масу гідроген хлориду – HCl, яка міститься в 1 дм³ досліджуваної кислоти.

В: 350,08 г.

14. Наважку 1,0000 г натрій тіосульфат-вода(1/5) – Na₂S₂O₃·5H₂O розчинили у воді. На титрування одержаного розчину витрачено 40,31 см³ 0,1000 *n*. розчину йоду. Обчислити масову частку (у %) безводної солі Na₂S₂O₃.

В: 63,73%.

15. Обчислити масову частку (у %) натрій сульфату(IV) Na₂SO₃ в зразку марки «т» (технічний), якщо на титрування наважки 0,1450 г витрачено 20,20 см³ 0,1000 *n*. розчину йоду.

В: 87,79%.

16. Яка маса натрій оксалату – Na₂C₂O₄ міститься в розчині, якщо на титрування цього розчину витрачено 21,30 см³ 0,4000 *n*. розчину калій манганату(VII) – KMnO₄?

В: 0,5708 г.

17. Наважку 1,6120 г безводної оксалатної кислоти – H₂C₂O₄ розчинили в мірній колбі місткістю 250,0 см³. На титрування 25,00 см³ цього розчину витрачено 22,80 см³ 0,1 *n*. розчину калій манганату(VII) – KMnO₄ (*K* = 1,122). Обчислити масову частку (у %) H₂C₂O₄ в зразку.

В: 71,42%.

18. Наважку 4,8530 г концентрованої нітратної(V) кислоти розчинили в мірній колбі місткістю 200,0 см³. На титрування 25,00 см³ одержаного розчину витрачено 20,00 см³ 0,2 *M* розчину NaOH (*K* = 1,040). Обчислити масову частку (у %) HNO₃ в досліджуваній кислоті.

В: 43,21%.

19. Наважку натрій хлориду 1,4987 г марки «т» розчинили в мірній колбі місткістю 250,0 см³. На титрування 20,00 см³ одержаного розчину витрачено 20,20 см³ 0,09850 *M* розчину аргентум нітрату. Обчислити масову частку (у %) домішок в зразку.

В: 3,01%.

20. На титрування 25,00 см³ калій хлориду марки «т» витрачено 34,00 см³ 0,1050 *M* розчину аргентум нітрату. Обчислити масу речовини калій хлориду в 250,0 см³ розчину.

В: 2,6629 г.

21. Наважку 1,8640 г калій хлориду марки «т» розчинили в мірній колбі місткістю 500,0 см³. На титрування 25,00 см³ одержаного розчину витрачено 21,30 см³ 0,05140 *M* розчину аргентум нітрату. Визначити вміст калій хлориду в зразку.

В: 87,62%.

22. До 25,00 см³ водного розчину гідроген сульфідіду – H₂S додали 50,00 см³ 0,01960 *n*. розчину йоду. На титрування залишку йоду витрачено 11,00 см³ 0,02040 *M* розчину динатрій-тіосульфат-вода(1/5) – Na₂S₂O₃·5H₂O. Яка маса гідроген сульфідіду міститься в 1 дм³ досліджуваного розчину?

В: 0,5150 г.

23. Обчислити молярну концентрацію розчину хлоридної кислоти, якщо титр розчину хлоридної кислоти за натрій гідроксидом рівний 0,004010 г/см³.

В: 0,1003 моль/дм³.

24. Молярна концентрація розчину калій гідроксиду дорівнює 0,09617 моль/дм³. Розрахувати титр розчину калій гідроксиду і титр розчину калій гідроксиду за гідроген хлоридом.

В: 0,005396 г/см³; 0,003506 г/см³.

25. Обчислити титр розчину сульфатної(VI) кислоти для молярної концентрації речовини еквівалента дигідроген тетраоксосульфату 0,02000 моль/дм³, якщо поправочний коефіцієнт *K* рівний 0,9615.

В: 0,0009430 г/см³.

26. Знайти титр розчину калій гідроксиду за дигідроген тетраоксосульфатом, якщо титр розчину калій гідроксиду дорівнює 0,005727 г/см³.

В: 0,005006 г/см³.

27. До якого об'єму необхідно довести 1 дм³ 0,5300 *M* розчину хлоридної кислоти, щоб одержати 0,5000 *M* розчин?

В: 1060 см³.

28. До 550,0 см³ 0,1925 *M* розчину хлоридної кислоти додали 50,00 см³ розчину гідроген хлориду з титром 0,02370 г/см³. Обчислити молярну концентрацію речовини гідроген хлориду у розчині і титр одержаного розчину.

В: 0,2306 моль/дм³; 0,008408 г/см³.

29. Обчислити наважку речовини динатрій тетраборат-вода(1/10) – Na₂B₄O₇·10H₂O, яку необхідно взяти для приготування 500,0 см³ розчину динатрій тетраборату для стандартизації $\approx$ 0,05 *M* розчину хлоридної кислоти?

В: 4,767 г.

30. Обчислити наважку безводного натрій карбонату, яку необхідно взяти для приготування 200,0 см³ розчину для встановлення титру $\approx$ 0,1 *M* розчину сульфатної кислоти?

В: 1,06 г.

31. Обчислити наважку бурштинової (янтарної) кислоти, яку необхідно взяти для встановлення титру $\approx 0,4$ М розчину натрій гідроксиду методом окремої наважки, щоб на титрування приготованого розчину бурштинової кислоти було витрачено не більше 20,00 см³ розчину натрій гідроксиду?

В: 0,4724 г.

32. Яку наважку речовини оксалатна кислота-вода(1/2) – $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ необхідно взяти для встановлення титру 1 М розчину калій гідроксиду методом окремих наважок, щоб на титрування отриманого розчину було витрачено близько 25 см³ розчину калій гідроксиду?

В: 1,576 г.

33. Яку наважку натрій карбонату необхідно взяти для встановлення титру $\approx 0,1$ М розчину хлоридної кислоти, щоб на її титрування до карбон(IV) оксиду – CO_2 було витрачено 20,00 см³ хлоридної кислоти?

В: 0,1060 г.

34. Яку наважку натрій гідроксиду необхідно взяти, щоб на титрування її було витрачено 22,00 см³ розчину хлоридної кислоти з титром за динатрій оксидом, рівним 0,003514 г/см³?

В: 0,09978 г.

35. Для стандартизації розчину хлоридної кислоти наважку хімічно чистого натрій карбонату 2,6030 г розчинили в мірній колбі місткістю 250,0 см³. На титрування 25,00 см³ одержаного розчину було витрачено 26,18 см³ розчину хлоридної кислоти. Визначити молярну концентрацію речовини гідроген хлориду у розчині і титр розчину гідроген хлориду за натрій гідроксидом – $T(\text{HCl}/\text{NaOH})$.

В: 0,1876 моль/дм³; 0,007503 г/см³.

36. Для встановлення титру розчину калій гідроксиду наважку речовини оксалатна кислота-вода(1/2) – $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 1,4960 г розчинили в мірній колбі місткістю 250,0 см³. На титрування 20,00 см³ одержаного розчину витрачено 21,06 см³ розчину калій гідроксиду. Обчислити молярну концентрацію речовини калій гідроксиду у розчині і титр розчину калій гідроксиду за гідроген хлоридом – $T(\text{KOH}/\text{HCl})$.

В: 0,09016 моль/дм³; 0,003287 г/см³.

37. На титрування розчину, що містить 0,2436 г хімічно чистого натрій карбонату, витрачено 21,35 см³ розчину сульфатної(VI) кислоти. Обчислити молярну концентрацію речовини еквівалента дигідроген тетраоксосульфату – H_2SO_4 у розчині, титр розчину сульфатної кислоти – $T(\text{H}_2\text{SO}_4)$ і титр розчину сульфатної кислоти за натрій гідроксидом – $T(\text{H}_2\text{SO}_4/\text{NaOH})$.

В: 0,2153 моль/дм³; 0,01056 г/см³; 0,008612 г/см³.

38. На титрування розчину, що містить хімічно чистий динатрій тетраборат-вода(1/10) – $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ масою 0,6020 г витрачено 27,16 см³ розчину хлоридної кислоти. Обчислити молярну концентрацію речовини гідроген хлориду у розчині і титр розчину гідроген хлориду.

В: 0,1162 моль/дм³; 0,004238 г/см³.

39. Обчислити титр і молярну концентрацію речовини гідроген хлориду у розчині, якщо на титрування розчину, що містить хімічно чистий динатрій тетраборат-вода(1/10) – $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ масою 0,4217 г, витрачено 17,50 см³ цієї кислоти.

В: 0,1264 моль/дм³; 0,004608 г/см³.

40. Наважку речовини оксалатна кислота-вода(1/2) – $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0,6000 г, розчинили у мірній колбі місткістю 100,0 см³. На титрування 20,00 см³ одержаного розчину витрачено 18,34 см³ розчину натрій гідроксиду. Обчислити молярну концентрацію речовини натрій гідроксиду у розчині і титр розчину натрій гідроксиду за оксалатною кислотою.

В: 0,1038 моль/дм³; 0,004673 г/см³.

41. Обчислити молярну концентрацію речовини калій гідроксиду у розчині, якщо на титрування 15,00 см³ розчину калій гідроксиду витрачено 8,70 см³ хлоридної кислоти з титром, рівним 0,002864 г/см³.

В: 0,09793 моль/дм³.

42. Яка молярна концентрація речовини гідроген хлориду у розчині, якщо на титрування розчину, що містить хімічно чистий динатрій карбонат – Na_2CO_3 масою 0,2147 г витрачено 22,46 см³ розчину хлоридної кислоти?

В: 0,1804 моль/дм³.

43. На титрування 20,00 см³ розчину хлоридної кислоти з титром 0,003617 г/см³ витрачено 21,15 см³ розчину натрій гідроксиду. Обчислити а) молярну концентрацію речовини натрій гідроксиду у розчині і б) титр розчину натрій гідроксиду за дигідроген тетраоксосульфатом – $T(\text{NaOH}/\text{H}_2\text{SO}_4)$.

В: а) 0,09381 моль/дм³; б) 0,004600 г/см³.

44. Наважку хімічно чистого динатрій тетраборат-вода(1/10) – $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 6,2270 г розчинили в мірній колбі місткістю 250,0 см³. На титрування 25,00 см³ одержаного розчину витрачається 24,17 см³ розчину хлоридної кислоти. Обчислити молярну концентрацію речовини гідроген хлориду у розчині.

В: 0,1351 моль/дм³.

45. Для встановлення титру розчину хлоридної кислоти взяли 25,00 см³ розчину натрій гідроксиду з титром 0,04017 г/см³. Розчин розбавили водою в мірній колбі на 250,0 см³ до риски. На титрування 25,00 см³ одержаного розчину витрачається 23,95 см³ розчину хлоридної кислоти. Обчислити молярну концентрацію речовини гідроген хлориду у розчині, титр розчину гідроген хлориду і титр розчину гідроген хлориду за калій гідроксидом.

В: 0,1048 моль/дм³; 0,003820 г/см³; 0,005879 г/см³.

46. На титрування 20,00 см³ 0,1000 н. розчину стандарт-титру динатрій тетраборат-вода(1/10) – $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ витрачено 19,45 см³ розчину сульфатної кислоти. Обчислити молярну концентрацію речовини еквівалента дигідроген тетраоксосульфату – H_2SO_4 у розчині і титр розчину сульфатної кислоти за натрій гідроксидом – $T(\text{H}_2\text{SO}_4/\text{NaOH})$.

В: 0,1028 моль/дм³; 0,005770 г/см³.

47. Наважку луку масою 0,5341 г з масовою часткою речовини натрій гідроксиду 92,00 % і домішок 8,00 % розчинили в мірній колбі місткістю 100,0 см³. На титрування 15,00 см³ одержаного розчину витрачається 19,50 см³ розчину хлоридної кислоти. Обчислити молярну концентрацію речовини гідроген хлориду у розчині і титр розчину гідроген хлориду за калій гідроксидом.

В: 0,09450 моль/дм³; 0,005302 г/см³.

48. Обчислити, до якого об'єму необхідно розбавити розчин, що містить натрій гідроксид масою 1,5300 г, щоб на титрування 20,00 см³ одержаного розчину було витрачено 14,70 см³ 0,1041 М розчину хлоридної кислоти?

В: 500 см³.

49. Визначити титр розчину ацетатної кислоти, якщо на титрування 25,00 см³ цього розчину витрачено 27,65 см³ натрій гідроксиду, титр якого дорівнює 0,004140 г/см³.

В: 0,006869 г/см³.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №1

Тема: „Стандартизація робочих розчинів кислотно-основного титрування”

Мета: встановити молярну концентрацію, титр і поправочний коефіцієнт робочих розчинів хлоридної кислоти та натрій гідроксиду.

Лабораторне обладнання і реактиви: бюретка, аліквотна піпетка, лійка, мірна колба на 100,0 см³, мірна колба на 1 дм³, бюкс, промивалка, сушильна шафа, технічні і аналітичні терези, різноважки, електроплитка, стакан для нагрівання води, промивалка, штатив для закріплення бюретки, білий фон; кристалічний Na₂B₄O₇·10H₂O, приготовлені розчини хлоридної кислоти і натрій гідроксиду, фіксанал хлоридної кислоти, розчини індикаторів фенолфталеїну та метилоранжу.

Порядок виконання роботи

I. Приготування 1000,0 см³ стандартного розчину динатрій гептаоксотетраборат-вода (1/10) з молярною концентрацією речовини еквівалента Na₂B₄O₇·10H₂O 0,1000 моль/дм³ з фіксаналу.

II. Встановлення молярної концентрації, титру та поправочного коефіцієнту розчину хлоридної кислоти за стандартним розчином динатрій гептаоксотетраборат-вода (1/10) методом піпеткування.

2.1. Запис рівняння реакції взаємодії динатрій гептаоксотетраборату з хлоридною кислотою:

2.2. Визначення факторів еквівалентності хлоридної кислоти та кристалогідрату динатрій гептаоксотетраборату:

2.3. Визначення молярної маси речовин еквівалента хлоридної кислоти та кристалогідрату динатрій гептаоксотетраборату:

2.4. Титрування стандартного розчину динатрій гептаоксотетраборат-вода(1/10)

В бюретку: розчин HCl.

В колбу для титрування: аліквотний об'єм стандартного розчину $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$;

$V^a(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O} \text{ розч.}) = 5,00 \text{ см}^3$.

Індикатор метиловий оранжевий.

Вказати зміну кольору індикатора при титруванні:

Результати титрування:

I титрування $V(\text{HCl})$, см^3

II титрування....., см^3

III титрування....., см^3

$\bar{V}(\text{HCl})$, см^3

Вказати спосіб титрування:

Примітка: Оскільки, на титрування $5,00 \text{ см}^3$ розчину $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ з молярною концентрацією речовини еквівалента $0,1000 \text{ моль/дм}^3$ витрачається менше $10,00 \text{ см}^3$, то об'єм хлоридної кислоти за бюреткою необхідно записувати з трьома значущими цифрами (наприклад, $5,15 \text{ см}^3$ або $4,90 \text{ см}^3$).

2.5. Розрахунок практичної молярної концентрації хлоридної кислоти ($c(\text{HCl})$), титру ($T(\text{HCl})$) та поправочного коефіцієнту ($K(\text{HCl})$) за формулами:

$$n(1/2\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = n(\text{HCl});$$

$$c(1/2\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) \cdot V(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O} \text{ розч.}) = c(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl} \text{ розч.});$$

$$c(\text{HCl}) = \text{-----} =$$

$$= \text{-----} = \text{моль/дм}^3.$$

$$T(\text{HCl}) = \frac{c(\text{HCl}) \cdot M(\text{HCl})}{1000} = \text{-----} = \text{г/см}^3.$$

$$K(\text{HCl}) = \frac{c_{\text{практ.}}(\text{HCl})}{c_{\text{теор.}}(\text{HCl})} = \text{-----} = \text{-----}.$$

Примітка: оскільки об'єм титранту (хлоридної кислоти) записувався з трьома значущими цифрами, то всі характеристики робочого розчину хлоридної кислоти необхідно записувати з трьома значущими цифрами (наприклад, $c(\text{HCl}) = 0,0986 \text{ моль/дм}^3$; $T(\text{HCl}) = 0,003595 \text{ г/см}^3$, $K(\text{HCl}) = 0,986$). Нулі попереду не є значущими!!!

III. Встановлення характеристик робочого розчину натрій гідроксиду за вторинним стандартним (тобто стандартизованим) розчином хлоридної кислоти.

3.1. Запис рівняння реакції взаємодії натрій гідроксиду з хлоридною кислотою:

3.2. Визначення факторів еквівалентності хлоридної кислоти та натрій гідроксиду:

3.3. Визначення молярної маси речовини еквівалента натрій гідроксиду:

3.4. Титрування розчину натрій гідроксиду.

В бюретку: стандартизований розчин хлоридної кислоти.

В колбу для титрування: аліквотний об'єм розчину NaOH;

$V^{\text{р}}(\text{NaOH розч.}) = 5,00 \text{ см}^3$.

Індикатор фенолфталеїн.

Вказати зміну кольору індикатора при титруванні:

Результати титрування:

I титрування $V(\text{HCl})$, см^3

II титрування....., см^3

III титрування....., см^3

$\bar{V}(\text{HCl})$, см^3

3.5. Розрахунок молярної концентрації робочого розчину натрій гідроксиду ($c(\text{NaOH})$), титру натрій гідроксиду ($T(\text{NaOH})$) та поправочного коефіцієнту ($K(\text{NaOH})$):

$$n(\text{NaOH}) = n(\text{HCl}).$$

$$c(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH розч.}) = c(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl розч.}).$$

$$c(\text{NaOH}) = \text{_____} = \text{_____} = \text{_____} \text{ моль/дм}^3.$$

$$T(\text{NaOH}) = \text{_____} = \text{_____} = \text{_____} \text{ г/см}^3.$$

$$K(\text{NaOH}) = \text{_____} = \text{_____} = \text{_____}.$$

Висновок:

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ №6

Тема: „Застосування методів кислотно-основного титрування. Виконання контрольної експериментальної роботи”.

Мета: ознайомитися із застосуванням методів кислотно-основного титрування, набути умінь аналізувати складні кислотно-основні системи.

План заняття

I. Перевірка знання теоретичних основ і методик визначення вмісту кислот, основ, солей та складних кислотно-основних систем.

- 1.1. Визначення вмісту фосфатної(V) кислоти в розчині.
- 1.2. Визначення вмісту натрій гідроксиду і динатрій карбонату при сумісній присутності.
- 1.3. Визначення масової частки(%) натрій гідрокарбонату та динатрій карбонату при їх сумісній присутності.
- 1.4. Визначення карбонатної твердості води.
- 1.5. Аналіз технічної тартратної (винної) кислоти методом окремих наважок.
- 1.6. Визначення нітрогену в солях амонію формальдегідним методом.

II. Контрольна робота з теми „Кислотно-основне титрування”.

Завдання для самостійної роботи:

1. Повторити лекційний матеріал з теми „Застосування методів кислотно-основного титрування” [6].
2. Опанувати теоретичні основи і методику визначення вмісту фосфатної(V) кислоти в розчині.
3. Опанувати теоретичні основи і методику визначення вмісту натрій гідроксиду і динатрій карбонату при сумісній присутності.
4. Опанувати теоретичні основи і методику визначення масової частки(%) натрій гідрокарбонату та динатрій карбонату при їх сумісній присутності.
5. Опанувати теоретичні основи і методику визначення карбонатної твердості води.
6. Опанувати теоретичні основи і методику аналізу технічної тартратної кислоти методом окремих наважок.
7. Опанувати теоретичні основи і методику визначення нітрогену в солях амонію формальдегідним методом.
8. Розв’язати задачі відповідно варіанту з теми „Застосування методів кислотно-основного титрування”.
9. Опрацювати тестові завдання з теми „Застосування методів кислотно-основного титрування” [7].
10. Підготуватися до контрольної роботи з теми „Застосування методу кислотно-основного титрування”.

**Зразок завдань до контрольної роботи з теми
„Застосування методу кислотно-основного титрування”**

1. Наважку 1,4800 г амоніачної селітри нагріли з 100,0 см³ розчину натрій гідроксиду до повного виділення амоніаку ($T(\text{NaOH}/\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,02452 \text{ г/см}^3$). На титрування залишку луку витрачено розчин сульфатної кислоти об’ємом 44,00 см³ з молярною концентрацією

речовини еквівалента 0,8000 моль/дм³. Яка масова частка амоній нітрату в досліджуваному зразку?

2. Вкажіть, яка із речовин присутня в розчині, якщо на титрування розчину з фенолфталеїном витрачається стільки ж розчину HCl, скільки витрачено на титрування з метиловим оранжевим.

а) KOH

б) K₂CO₃

в) KHCO₃

3. При титруванні солі, утвореної сильною основою та слабкою кислотою, pH розчину до початку титрування визначається за формулою:

а) $\text{pH} = 7 + \frac{1}{2} \text{p}K_{\text{кисл.}} + \frac{1}{2} \lg c_{\text{солі}};$

б) $\text{pH} = 7 - \frac{1}{2} \text{p}K_{\text{осн.}} - \frac{1}{2} \lg c_{\text{солі}};$

в) $\text{pH} = -\lg c_{\text{кисл.}};$

г) $\text{pH} = \frac{1}{2} \text{p}K_{\text{кисл.}} - \frac{1}{2} \lg c_{\text{кисл.}}$

4. Вміст яких з вказаних солей може бути визначений прямим кислотно-основним титруванням у водних розчинах?

а) CaCO₃;

б) CH₃COONa;

в) NH₄Cl;

г) NaCl;

д) Na₂CO₃;

е) NaHCO₃;

є) Na₂B₄O₇;

ж) CaCl₂;

з) Na₂HPO₄.

5. Які з наведених нижче багатоосновних кислот можна титрувати постадійно?

а) H₂C₂O₄ (pK₁ = 1,25; pK₂ = 4,27);

б) H₂SO₄ (pK₂ = 1,94);

в) H₃PO₄ (pK₁ = 2,15; pK₂ = 7,21; pK₃ = 12,0);

г) H₂C₄H₄O₄ (pK₁ = 4,21; pK₂ = 5,63);

д) H₂CO₃ (pK₁ = 6,35; pK₂ = 10,32);

е) H₂C₄H₄O₆ (pK₁ = 2,89; pK₂ = 4,52).

**Варіанти задач для самостійного розв'язування з теми:
„Застосування методів кислотно-основного титрування”**

№ варіанту	Збірник задач	№ варіанту	Збірник задач
	Лаб. практик.[10]		Лаб. практик. [10]
1	1, 12, 23	8	8, 19, 30
2	2, 13, 24	9	9, 20, 31
3	3, 14, 25	10	10, 21, 32
4	4, 15, 26	11	11, 22, 33
5	5, 16, 27	12	12, 23, 34
6	6, 17, 28	13	13, 24, 35
7	7, 18, 29	14	1, 12, 23

Задачі для самостійного розв'язування

1. Для встановлення титру розчину хлоридної кислоти взяли 25,00 см³ розчину натрій гідроксиду з титром 0,04017 г/см³. Розчин розбавили водою в мірній колбі на 250,0 см³ до риски. На титрування 25,00 см³ одержаного розчину витрачається 23,95 см³ розчину

хлоридної кислоти. Обчислити молярну концентрацію речовини гідроген хлориду у розчині, титр розчину гідроген хлориду і титр розчину гідроген хлориду за калій гідроксидом.

В: 0,1048 моль/дм³; 0,003820 г/см³; 0,005879 г/см³.

2. На титрування 20,00 см³ 0,1000 н. розчину стандарт-титру динатрій тетраборат-вода(1/10) – Na₂B₄O₇·10H₂O витрачено 19,45 см³ розчину сульфатної кислоти. Обчислити молярну концентрацію речовини еквівалента дигідроген тетраоксосульфату – H₂SO₄ у розчині і титр розчину сульфатної кислоти за натрій гідроксидом – $T(\text{H}_2\text{SO}_4/\text{NaOH})$.

В: 0,1028 моль/дм³; 0,005770 г/см³.

3. Наважку луку масою 0,5341 г з масовою часткою речовини натрій гідроксиду 92,00 % і домішок 8,00 % розчинили в мірній колбі місткістю 100,0 см³. На титрування 15,00 см³ одержаного розчину витрачається 19,50 см³ розчину хлоридної кислоти. Обчислити молярну концентрацію речовини гідроген хлориду у розчині і титр розчину гідроген хлориду за калій гідроксидом

В: 0,09450 моль/дм³; 0,005302 г/см³.

4. Обчислити, до якого об'єму необхідно розвести розчин, що містить натрій гідроксид масою 1,5300 г, щоб на титрування 20,00 см³ одержаного розчину було витрачено 14,70 см³ 0,1041 М розчину хлоридної кислоти?

В: 500 см³.

5. На титрування 20,00 см³ калій гідроксиду витрачається 21,40 см³ розчину хлоридної кислоти ($K = 1,027$ до 0,1000 моль/дм³). Обчислити масу речовини калій гідроксиду, яка міститься у 500 см³ розчину?

В: 3,083 г.

6. Наважку речовини бури марки «т» 4,1424 г розчинили в мірній колбі місткістю 200,0 см³. На титрування 20,00 см³ одержаного розчину витрачено 21,80 см³ 0,09935 М розчину хлоридної кислоти. Обчислити масову частку (у %) речовини динатрій тетраборат-вода(1/10) – Na₂B₄O₇·10H₂O у зразку.

В: 99,71%.

7. Визначити масу речовини динатрій карбонату у розчині, якщо на нейтралізацію його з метиловим оранжевим витрачається 23,00 см³ 0,1020 М розчину хлоридної кислоти.

В: 124,3 мг.

8. Для аналізу взяли 50,00 см³ розчину хлоридної кислоти і розвели водою в мірній колбі місткістю 1000 см³. На титрування 20,00 см³ розчину натрій гідроксиду з титром за дигідроген тетраоксосульфатом, рівним 0,003118 г/см³, витрачено 18,60 см³ одержаного розчину кислоти. Обчислити масу речовини гідроген хлориду у 1 дм³ вихідного розчину.

В: 49,85 г.

9. Наважку калій гідроксиду 1,4000 г розчинили в мірній колбі місткістю 250,0 см³. На титрування 20,00 см³ одержаного розчину витрачено 19,40 см³ розчину хлоридної кислоти ($K = 0,9765$ до 0,1000 моль/дм³). Обчислити масову частку (у %) калій гідроксиду у зразку.

В: 94,91 %.

10. Обчислити масову частку (у %) речовини динатрій тетраборат-вода(1/10) – Na₂B₄O₇·10H₂O у зразку бури, якщо на титрування наважки її 0,8750 г витрачається 20,40 см³ 0,2120 М розчину хлоридної кислоти.

В: 94,25 %.

11. У мірній колбі на 500,0 см³ розчинений дигідроген тетраоксосульфат – H₂SO₄. На титрування 25,00 см³ одержаного розчину витрачено 26,20 см³ розчину натрій гідроксиду з титром за гідроген хлоридом, рівним 0,003610 г/см³. Обчислити масу дигідроген тетраоксосульфату, яку розчинили в колбі?

В: 2,5415 г.

12. Наважку кальцинованої соди 0,1267 г розчинили у воді і відтитрували у присутності метилового оранжевого 22,65 см³ розчину хлоридної кислоти ($K = 1,002$ до 0,1000 моль/дм³). Обчислити масову частку (у %) натрій карбонату – Na₂CO₃ у зразку.

В: 94,95%.

13. Обчислити масу речовини оксалатна кислота-вода(1/2) – H₂C₂O₄·2H₂O у розчині, якщо на титрування її витрачено 27,60 см³ розчину натрій гідроксиду з титром його за дигідроген тетраоксосульфатом – $T(\text{NaOH}/\text{H}_2\text{SO}_4)$, рівним 0,004816 г/см³.

В: 0,1709 г.

14. Обчислити масу натрій карбонату у розчині, якщо на титрування його з метиловим оранжевим витрачалось 20,00 см³ 0,1000 М розчину хлоридної кислоти.

В: 0,1060 г.

15. Наважку свіжоперекристалізованої речовини оксалатна кислота-вода(1/2) – H₂C₂O₄·2H₂O 1,3455 г розчинили в мірній колбі місткістю 250,0 см³. На титрування 20,00 см³ 0,09768 М розчину натрій гідроксиду витрачається 22,88 см³ приготованого розчину. Доказати, що оксалатна кислота кристалізується з двома молекулами води.

16. З амонійної солі масою 0,1115 г відігнали амоніак у 50,00 см³ 0,09658 М розчину хлоридної кислоти. На титрування залишку хлоридної кислоти витрачено 25,60 см³ 0,1072 М розчину натрій гідроксиду. Обчислити масову частку (у %) амоніаку у солі.

В: 31,78%.

17. Нітроген, який міститься в навазці 0,4482 г добрива, перетворений в амоніак. Амоніак відігнали у 50,00 см³ 0,1875 М розчину сульфатної кислоти. На титрування залишку сульфатної кислоти витрачено 15,12 см³ 0,2400 М розчину натрій гідроксиду. Обчислити масову частку (у %) нітрогену у зразку.

В: 17,95%.

18. До розчину оксалатної кислоти, що містить наважку 0,7300 г речовини оксалатна кислота-вода(1/2) – H₂C₂O₄·2H₂O, додали 25,00 см³ розчину натрій гідроксиду, а потім залишок його відтитрували 4,50 см³ 0,1150 М розчину хлоридної кислоти. Обчислити молярну концентрацію речовини натрій гідроксиду у розчині.

В: 0,4839 моль/дм³.

19. Мармур масою 0,2834 г розчинили у 30,00 см³ 0,3933 М розчину хлоридної кислоти. На титрування залишку кислоти витрачено 14,10 см³ 0,4409 М розчину натрій гідроксиду. Обчислити масову частку (у %) домішок у зразку.

В: 1,41%.

20. До розчину амоній сульфату – (NH₄)₂SO₄ додали 50,00 см³ 0,2255 М розчину натрій гідроксиду і кип'ятінням з розчину видалили весь амоніак – NH₃. На титрування залишку натрій гідроксиду витрачено 12,60 см³ 0,2153 М розчину хлоридної кислоти. Обчислити вміст (у %) амоній сульфату в розчині.

В: 0,5658 г.

21. Наважку технічного натрій гідроксиду 0,6502 г розчинили в мірній колбі місткістю 200,0 см³. На титрування 25,00 см³ розчину з фенолфталеїном витрачено 18,40 см³ 0,1000 *M* розчину хлоридної кислоти, а, не доливаючи бюретку, з метиловим оранжевим – 18,80 см³ кислоти. Обчислити масову частку (у %) натрій гідроксиду в зразку.

В: 88,59%.

22. Наважку суміші натрій гідроксиду і натрій карбонату 1,8017 г розчинили в мірній колбі місткістю 500,0 см³. На титрування 25,00 см³ розчину в присутності фенолфталеїну витрачено 20,50 см³ 0,1035 *M* розчину хлоридної кислоти, а у присутності метилового оранжевого – 21,53 см³ цього ж розчину хлоридної кислоти. Обчислити масову частку (у %) натрій карбонату – Na₂CO₃ у зразку.

В: 12,54%.

23. У мірній колбі місткістю 250,0 см³ розчинили 6,25 г суміш хлоридної і фосфатної(V) кислот масою 6,2500 г. На титрування 25,00 см³ одержаного розчину з метиловим оранжевим витрачено 22,75 см³ 0,1012 *M* розчину натрій гідроксиду, а на титрування такої ж проби розчину з фенолфталеїном витрачено 43,37 см³ 0,1035 *M* розчину натрій гідроксиду. Знайти масу гідроген хлориду – HCl і тригідроген тетраоксофосфату – H₃PO₄, які містяться в 50 см³ розчину цієї суміші?

В: 0,6287 г HCl; 16,359 г H₃PO₄.

24. Наважку зразка їдкого натру масою 0,2304 г, частково перетвореного в соду, розчинили у воді і відтитрували 0,1807 *M* розчином хлоридної кислоти. На це у присутності фенолфталеїну витрачено 29,70 см³ розчину хлоридної кислоти. У розчин, що титрують, додали метиловий оранжевий. Не доливаючи бюретки, розчин дотитрували до зміни забарвлення. Відлік за бюреткою показав, що на це пішло 30,95 см³ розчину. Обчислити масову частку (у %) натрій гідроксиду – NaOH і натрій карбонату – Na₂CO₃ у зразку.

В: 89,25 %; 10,39%.

25. На титрування з фенолфталеїном наважки 0,2239 г, яка складається з натрій карбонату – Na₂CO₃, натрій гідрокарбонату – NaHCO₃ і натрій хлориду – NaCl, витрачено 9,40 см³ 0,1998 *M* розчину хлоридної кислоти. При титруванні з метиловим оранжевим на ту ж наважку витрачено 20,00 см³ 0,1998 *M* розчину хлоридної кислоти. Обчислити масову частку (у %) натрій карбонату і натрій гідрокарбонату в зразку.

В: 88,92%; 9,00%.

26. Наважку соди 1,2675 г, що містить домішки натрій гідрокарбонату, розчинили в мірній колбі місткістю 250,0 см³. На титрування 25,00 см³ розчину з фенолфталеїном витрачено 10,90 см³ 0,1004 *n*. розчину сульфатної кислоти – H₂SO₄, а на титрування 25,00 см³ того ж розчину з метиловим оранжевим витрачено 22,62 см³ 0,1004 *n*. розчину сульфатної кислоти. Обчислити масову частку (у %) натрій карбонату і натрій гідрокарбонату у зразку.

В: 91,52%; 5,46%.

27. Визначити рН розчину у точці еквівалентності при титруванні 0,2 *M* розчину ацетатної кислоти 0,2 *M* розчином натрій гідроксиду.

В: 8,88.

28. До 20 см³ 0,1 М розчину амоній гідроксиду додали 10 см³ 0,1 М розчину хлоридної кислоти. Визначити рН суміші.

В: 9,24.

29. До 20 см³ 0,2 М розчину амоній гідроксиду додали 15 см³ 0,2 М розчину хлоридної кислоти. Визначити рН суміші.

В: 8,76.

30. До 50,00 см³ 0,1 М розчину форміатної кислоти – НСООН додали 40 см³ 0,1 М розчину натрій гідроксиду. Визначити рН суміші.

В: 4,35.

31. 20,00 см³ 0,1 М розчину хлоридної кислоти титрують 0,1 М розчином калій гідроксиду. Визначити рН розчину, коли додані такі об'єми лугу: а) 10,00 см³; б) 18,00 см³.

В: а) 1,48; б) 2,28.

32. 25,00 см³ 0,1 М розчину ацетатної кислоти титрують 0,1 М розчином натрій гідроксиду. Розрахувати рН розчину при додаванні 5,00; 10,00; 12,50; 15,00 та 20,00 см³ лугу.

В: 4,16; 4,58; 4,76; 4,94; 5,36.

33. 20 см³ 0,2 М розчину хлоридної кислоти титрують 0,2 М розчином натрій гідроксиду. Розрахувати рН розчину при додаванні: а) 17,00 см³; б) 20,00 см³; в) 21,00 см³ розчину натрій гідроксиду.

В: а) 1,79; б) 7,0; в) 11,7.

34. 0,1 М розчин ацетатної кислоти при титруванні 0,1 М розчином натрій гідроксиду був нейтралізований на 80 %. Розрахувати рН одержаного розчину.

В: 5,36.

35. До 10,00 см³ 0,2 М розчину ацетатної кислоти додали 8,00 см³ 0,17 М розчину калій гідроксиду. Розрахувати рН розчину

В: 5,09.

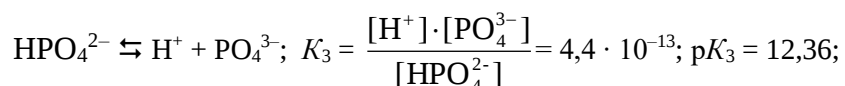
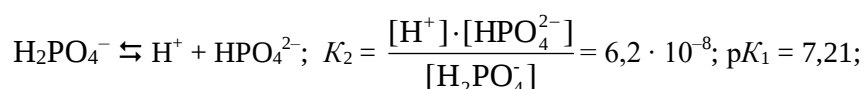
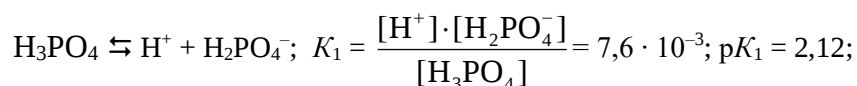
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА КОНТРОЛЬНА РОБОТА №1

Тема: „Визначення вмісту (г/дм³) тригідрогенфосфатної(V) кислоти”.

Мета: встановити вміст (г/дм³) тригідрогенфосфатної(V) кислоти в розчині трьома способами: прямим титруванням з індикатором метиловим оранжевим; прямим титруванням з індикатором фенолфталеїном; титруванням замісника. Порівняти результати аналізу.

I. Теоретичні основи визначення

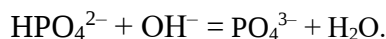
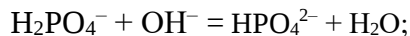
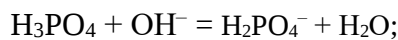
Трьохосновна фосфатна(V) кислота дисоціює постадійно:



Тому розчин фосфатної(V) кислоти можна уявити як суміш слабких кислот H_3PO_4 , H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} .

Визначення вмісту фосфатної(V) кислоти в розчині засноване на титруванні її стандартизованим розчином натрій гідроксиду.

При титруванні розчину фосфатної(V) кислоти натрій гідроксидом проходять реакції:



У відповідності з цим крива титрування фосфатної(V) кислоти, що зображена на рис. 1, має три точки еквівалентності.

У першій точці еквівалентності утворюється однозаміщена кисла сіль NaH_2PO_4 . Значення pH у першій точці еквівалентності обумовлене гідролізом кислої солі NaH_2PO_4 і розраховується за формулою:

$$\text{pH}_1 = \frac{pK_1 + pK_2}{2} = \frac{2,12 + 7,21}{2} = 4,66.$$

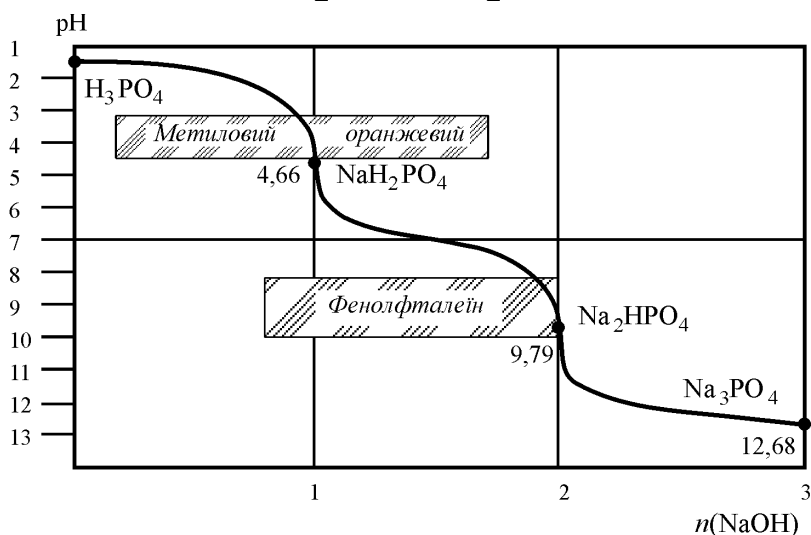


Рис. 1. Крива титрування 0,1 M розчину H_3PO_4 0,1 M розчином NaOH

Таким чином, перша точка еквівалентності знаходиться поблизу інтервалу переходу забарвлення метилового оранжевого ($\text{pH} = 3,1 \div 4,4$). Як відомо, правильність визначення при поетапному титруванні залежить не тільки від правильно обраного індикатора, але й від можливості відтитрування однієї кислоти із суміші, не займаючи іншої. Розрахунками показано, якщо відношення констант йонізації слабких кислот не менше 10^4 , то можливе їх окреме визначення. У нашому випадку

$$\frac{K_1(\text{H}_3\text{PO}_4)}{K_2(\text{H}_3\text{PO}_4)} = \frac{7,6 \cdot 10^{-3}}{6,2 \cdot 10^{-8}} = 1,2 \cdot 10^5,$$

тобто можливе визначення вмісту фосфатної(V) кислоти в розчині шляхом прямого титрування її з індикатором метиловим оранжевим до NaH_2PO_4 ; NaH_2PO_4 при цьому не титрується.

У другій точці еквівалентності утворюється двозаміщена кисла сіль Na_2HPO_4 . pH у другій точці еквівалентності обчислюється за формулою:

$$\text{pH}_2 = \frac{pK_2 + pK_3}{2} = \frac{7,21 + 13,36}{2} = 9,79.$$

Друга точка еквівалентності знаходиться в інтервалі зміни забарвлення фенолфталеїну ($pH = 8,2 \div 10,0$). Відношення констант йонізації фосфатної(V) кислоти за другим і третім ступенями рівне $1,4 \cdot 10^5$, тобто можливе визначення вмісту фосфатної(V) кислоти в розчині шляхом титрування її з фенолфталеїном; Na_2HPO_4 при цьому не титрується.

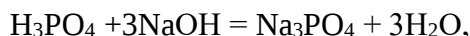
$$\frac{K_2}{K_3} = \frac{6,2 \cdot 10^{-8}}{4,4 \cdot 10^{-13}} = 1,4 \cdot 10^5.$$

Величину pH у третій точці еквівалентності можна обчислити за формулою (гідроліз солі слабкої кислоти і сильної основи):

$$pH_3 = 7 + 1/2pK_3(H_3PO_4) + 1/2lgc_{\text{солі}};$$

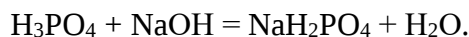
$$pH_3 = 7 + 12,36/2 + 1/2lg0,1 = 12,68.$$

Однак, фосфатну(V) кислоту, як трьохосновну, прямим титруванням згідно рівняння реакції:



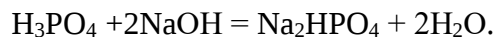
визначити не можна, тому що константа йонізації фосфатної(V) кислоти за третім ступенем дуже мала ($K_3 = 4,4 \cdot 10^{-13}$). У третій точці еквівалентності на кривій титрування фосфатної(V) кислоти відсутній стрибок титрування і, навіть, точка перегину виражена слабо.

Таким чином є три способи аналізу фосфатної(V) кислоти методом кислотно-основного титрування з різними індикаторами. При титруванні фосфатної(V) кислоти в присутності метилового оранжевого проходить реакція:



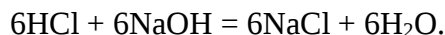
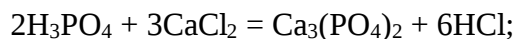
З рівняння реакції $f_{\text{екв.}}(H_3PO_4) = 1$; $M(H_3PO_4) = 98,00$ г/моль.

При титруванні фосфатної(V) кислоти в присутності фенолфталеїну проходить реакція:



З рівняння реакції $f_{\text{екв.}}(H_3PO_4) = 1/2$; $M(1/2H_3PO_4) = 49,00$ г/моль.

Визначення вмісту фосфатної(V) кислоти як трьохосновної можна провести методом заміщення. Для цього, діючи кальцій хлоридом, заміщують H_3PO_4 еквівалентною кількістю HCl . Хлоридну кислоту, яка виділяється, відтитровують стандартним розчином $NaOH$ з індикатором фенолфталеїном:



З рівняння реакцій $f_{\text{екв.}}(H_3PO_4) = 1/3$; $M(1/3H_3PO_4) = 32,67$ г/моль.

$$n(1/3H_3PO_4) = n(NaOH).$$

У відповідності до розглянутого вище, схема аналізу розчину фосфатної(V) кислоти методом кислотно-основного титрування з різними індикаторами виглядає так:



**Схема аналізу розчину фосфатної(V) кислоти
методом кислотно-основного титрування з різними індикаторами.**

II. Порядок виконання роботи

2.1. Підбір аліквоти.

Аліквоту досліджуваного розчину (орієнтовно $5,00 \text{ см}^3$) титрують стандартним розчином NaOH з метиловим оранжевим. Якщо на титрування витрачається більше $10,00 \text{ см}^3$ стандартного розчину NaOH, то досліджувану кислоту розводять у мірній колбі.

2.2. Аналіз фосфатної(V) кислоти прямим титруванням з індикатором метиловим оранжевим.

В бюретку: стандартний розчин натрій гідроксиду.

В колбу для титрування: аліквотний об'єм досліджуваної або розведеної кислоти;

$V^{\text{м}}(\text{H}_3\text{PO}_4) = 5,00 \text{ см}^3$.

1–2 краплі розчину метилового оранжевого.

Вказати зміну кольору індикатора при титруванні:

Результати титрування:

I титрування $V_1(\text{NaOH})$, см^3

II титрування....., см^3

III титрування....., см^3

$\bar{V}_1(\text{NaOH})$, см^3

Розрахунок вмісту (г/дм^3) H_3PO_4 у розчині (I спосіб).

У присутності метилового оранжевого фосфатна(V) кислота титрується за рівнянням:



$$n(\text{H}_3\text{PO}_4)_{\text{в аліквоті}} = n(\text{NaOH}).$$

$$n(\text{H}_3\text{PO}_4)_{\text{в аліквоті}} = \frac{c(\text{NaOH}) \cdot \bar{V}_1(\text{NaOH})}{1000} = \text{.....} = \text{.....} \text{ моль.}$$

$$m(\text{H}_3\text{PO}_4)_{\text{в аліквоті}} = n(\text{H}_3\text{PO}_4)_{\text{в аліквоті}} \cdot M(\text{H}_3\text{PO}_4).$$

$$m(\text{H}_3\text{PO}_4)_{\text{в аліквоті}} =$$

г.

$$m(\text{H}_3\text{PO}_4), \text{ г в } 1 \text{ дм}^3 = m(\text{H}_3\text{PO}_4)_{\text{в аліквоті}} \cdot \frac{1000}{V^a(\text{H}_3\text{PO}_4)} = \frac{c(\text{NaOH}) \cdot \bar{V}(\text{NaOH}) \cdot M(\text{H}_3\text{PO}_4)}{V^a(\text{H}_3\text{PO}_4)}.$$

$$m(\text{H}_3\text{PO}_4), \text{ г в } 1 \text{ дм}^3 =$$

Якщо H_3PO_4 попередньо розводили, то необхідно перерахувати результат аналізу ($m(\text{H}_3\text{PO}_4)$), враховуючи розведення. Це зауваження врахувати і в наступних способах.

Розрахунок вмісту H_3PO_4 у розчині можна провести по-іншому:

$$n(\text{H}_3\text{PO}_4) = n(\text{NaOH}).$$

$$\frac{c(\text{H}_3\text{PO}_4) \cdot V^a(\text{H}_3\text{PO}_4)}{1000} = \frac{c(\text{NaOH}) \cdot \bar{V}_1(\text{NaOH})}{1000}$$

$$c(\text{H}_3\text{PO}_4) = \frac{c(\text{NaOH}) \cdot \bar{V}_1(\text{NaOH})}{V^a(\text{H}_3\text{PO}_4)} = \text{-----} = \text{моль/дм}^3.$$

$$m(\text{H}_3\text{PO}_4) = c(\text{H}_3\text{PO}_4) \cdot M(\text{H}_3\text{PO}_4) = \frac{c(\text{NaOH}) \cdot \bar{V}_1(\text{NaOH}) \cdot M(\text{H}_3\text{PO}_4)}{V^a(\text{H}_3\text{PO}_4)}, \text{ г в } 1 \text{ дм}^3.$$

$$m(\text{H}_3\text{PO}_4) =$$

г.

2.3. Аналіз фосфатної(V) кислоти прямим титруванням з індикатором фенолфталеїном:

В бюретку: стандартний розчин натрій гідроксиду.

В колбу для титрування: аліквотний об'єм досліджуваної кислоти;

$$V^a(\text{H}_3\text{PO}_4) = 5,00 \text{ см}^3.$$

2 краплі розчину фенолфталеїну.

Вказати зміну кольору індикатора при титруванні:

Результати титрування:

I титрування $V_2(\text{NaOH})$, см^3

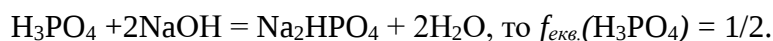
II титрування....., см^3

III титрування....., см^3

$$\bar{V}_2(\text{NaOH}) \text{}, \text{ см}^3$$

Розрахунок вмісту (г/дм³) H_3PO_4 у розчині

Оскільки в присутності фенолфталеїну фосфатна(V) кислота титрується за рівнянням:



$$n(1/2\text{H}_3\text{PO}_4) = n(\text{NaOH}).$$

$$c(1/2\text{H}_3\text{PO}_4) \cdot V^a(\text{H}_3\text{PO}_4 \text{ розч.}) = c(\text{NaOH}) \cdot \bar{V}(\text{NaOH}).$$

$$c(1/2\text{H}_3\text{PO}_4) = \text{-----} = \text{-----} = \text{моль/дм}^3.$$

$$m(\text{H}_3\text{PO}_4), \text{г в 1 дм}^3 = c(1/2\text{H}_3\text{PO}_4) \cdot M(1/2\text{H}_3\text{PO}_4) = \frac{c(\text{NaOH}) \cdot \bar{V}_2(\text{NaOH}) \cdot M(1/2\text{H}_3\text{PO}_4)}{V^a(\text{H}_3\text{PO}_4)}.$$

$$m(\text{H}_3\text{PO}_4), \text{г в 1 дм}^3 =$$

2.4. Аналіз розчину фосфатної(V) кислоти методом заміщення.

В бюретку: стандартний розчин натрій гідроксиду.

В колбу для титрування: аліквотний об'єм досліджуваної кислоти;

$$V^a(\text{H}_3\text{PO}_4) = 5,00 \text{ см}^3.$$

10,00 см³ 0,1 М розчину кальцій дихлориду (якщо для аналізу беруть 5,00 см³ ≈ 0,1 М розчину фосфатної кислоти).

2 краплі фенолфталеїну.

Титруємо до появи стійкого малинового забарвлення.

Результати титрування:

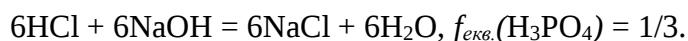
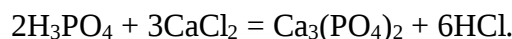
I титрування $V_3(\text{NaOH})$, см³

II титрування....., см³

III титрування....., см³

$$\bar{V}_3(\text{NaOH}) \text{....., см}^3$$

Розрахунок вмісту (г/дм³) H_3PO_4 у розчині.



$$n(1/3\text{H}_3\text{PO}_4) = n(\text{NaOH}).$$

$$c(1/3\text{H}_3\text{PO}_4) \cdot V^a(\text{H}_3\text{PO}_4 \text{ розч.}) = c(\text{NaOH}) \cdot \bar{V}_3(\text{NaOH}).$$

$$c(1/3\text{H}_3\text{PO}_4) = \text{-----} = \text{-----} = \text{моль/дм}^3.$$

$$m(\text{H}_3\text{PO}_4), \text{г в 1 дм}^3 = c(1/3\text{H}_3\text{PO}_4) \cdot M(1/3\text{H}_3\text{PO}_4) = \frac{c(\text{NaOH}) \cdot \bar{V}_2(\text{NaOH}) \cdot M(1/3\text{H}_3\text{PO}_4)}{V^a(\text{H}_3\text{PO}_4)}.$$

$$m(\text{H}_3\text{PO}_4), \text{г в 1 дм}^3 =$$

Висновок: порівнюємо результати аналізу H_3PO_4 , які були одержані різними способами (п. 2.2, 2.3, 2.4). Результати повинні бути майже однаковими.

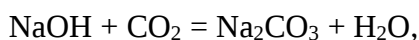
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА КОНТРОЛЬНА РОБОТА №2

Тема: „Визначення масової частки (%) натрій гідроксиду та динатрій карбонату при їх сумісній присутності методом фіксування двох точок еквівалентності”

Мета: визначити у зразку суміші вміст (%) натрій гідроксиду та динатрій карбонату шляхом прямого титрування розчину з двома індикаторами.

I. Теоретичні основи визначення

Тверді луги та їх розчини поглинають з повітря карбон(IV) оксид, перетворюючись у відповідні карбонати, наприклад:

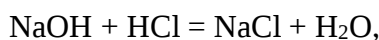


внаслідок цього розчини натрій гідроксиду завжди містять домішки динатрій карбонату. Окреме визначення вмісту натрій гідроксиду та динатрій карбонату в суміші можна проводити двома способами:

- 1) фіксуванням двох точок еквівалентності (метод Уордера);
- 2) титруванням двох аліквот досліджуваного розчину, в одній порції розчину карбонат-іони осаджують барій хлоридом (метод Вінклера).

Обидва методи засновані на аналізі кривих титрування натрій гідроксиду та динатрій карбонату розчином хлоридної кислоти.

Як видно з кривої титрування 0,1 M розчину натрій гідроксиду розчином хлоридної кислоти з молярною концентрацією речовини HCl 0,1 моль/дм³ (рис. 1), концентрацію лугу можна визначати, титруючи його або з фенолфталеїном, або з метиловим оранжевим. Титрування з будь-яким із названих індикаторів проходить за рівнянням реакції:



натрій гідроксид при цьому відтитровується повністю.

При титруванні розчину динатрій карбонату розчином хлоридної кислоти спостерігається два стрибка титрування (рис. 2). рН розчину динатрій карбонату до початку титрування розраховують за формулою (гідроліз солі, утвореної сильною основою і слабкою двохосновною кислотою):

$$\text{pH} = 7 + 1/2\text{p}K_2(\text{H}_2\text{CO}_3) + 1/2\lg c(\text{солі}) = 7 + 10,32/2 - 0,5 = 11,66.$$

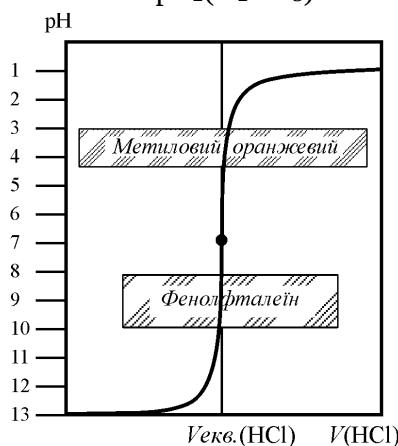


Рис. 1. Крива титрування 0,1 M розчину NaOH 0,1 M розчином HCl

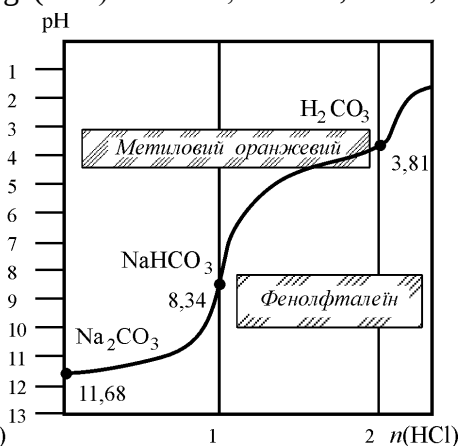
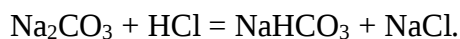


Рис. 2. Крива титрування 0,1 M розчину Na₂CO₃ 0,1 M розчином HCl

У першій точці еквівалентності (коли на 1 моль Na₂CO₃ витрачається 1 моль HCl) утворюється натрій гідрокарбонат:

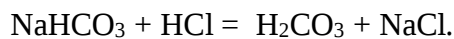


pH розчину розраховують за формулою (гідроліз кислій солей):

$$pH = \frac{pK_1(H_2CO_3) + pK_2(H_2CO_3)}{2} = \frac{6,35 + 10,32}{2} = 8,34.$$

Першу точку еквівалентності можна зафіксувати фенолфталеїном, який змінює забарвлення в інтервалі pH 8,2 ÷ 10,0.

У другій точці еквівалентності утворюється карбонатна кислота:



pH розчину визначається йонізацією слабкої кислоти H_2CO_3 :

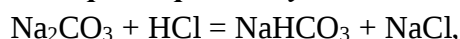
$$pH = 1/2pK_1(H_2CO_3) - 1/2lgc(\text{кисл.}).$$

Концентрація карбонатної кислоти в розчині обумовлена її розчинністю при даних умовах:

$$pH = 1/2 \cdot 6,35 - 1/2lg5 \cdot 10^{-2} = 3,17 + 0,65 = 3,82.$$

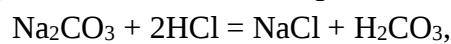
Другу точку еквівалентності можна зафіксувати за допомогою метилового оранжевого, який змінює забарвлення в інтервалі pH 3,1 ÷ 4,4. Таким чином, вміст натрій карбонату в розчині шляхом прямого титрування його стандартним розчином хлоридної кислоти можна визначати двома способами:

1) стандартним розчином хлоридної кислоти титрують динатрій карбонат до гідрокарбонату в присутності фенолфталеїну:



$$f_{\text{екв.}}(Na_2CO_3) = 1; M(Na_2CO_3) = 105,99 \text{ г/моль}.$$

2) стандартним розчином хлоридної кислоти титрують динатрій карбонат до карбонатної кислоти в присутності метилового оранжевого:



$$f_{\text{екв.}}(Na_2CO_3) = 1/2; M(1/2Na_2CO_3) = 53,00 \text{ г/моль}.$$

Таким чином, аналіз кривих титрування показує, що при титруванні суміші натрій гідроксиду і динатрій карбонату з двома індикаторами, з фенолфталеїном відтитровують весь натрій гідроксид, а динатрій карбонат титрується до натрій гідрокарбонату (тобто з фенолфталеїном відтитровується половина динатрій карбонату). Після додавання до цього ж розчину метилового оранжевого дотитровують натрій гідрокарбонат до карбонатної кислоти. Схема титрування однієї аліквоти суміші натрій гідроксиду і динатрій карбонату виглядає так:

NaOH	Na ₂ CO ₃
V ₁ (HCl)	
фенолфталеїн	
	V ₂ (HCl)
	м. о.

Схема титрування однієї аліквоти суміші NaOH і Na₂CO₃ розчином HCl з двома індикаторами: фенолфталеїном і метиловим оранжевим.

II. Порядок виконання роботи

1. Розрахунок наважки суміші для приготування 100,0 см³ розчину.

Розрахунок наважки проводять за тим компонентом, якого більше. Припустимо, що в суміші, яку аналізують, більше натрій гідроксиду.

$$m_{\text{суміші}} = \frac{c(\text{NaOH}) \cdot M(\text{NaOH}) \cdot 100,0}{1000} = \frac{0,1 \cdot 40,00 \cdot 100,0}{1000} = 0,4000 \text{ (г)}$$

2. Взяття наважки досліджуваної суміші на аналітичних терезах:

маса бюксу з речовиною, Г

маса пустого бюксу, Г

маса наважки, Г

3. Розчинення суміші.

Наважку суміші переносимо в мірну колбу на 100,0 см³, розчиняємо у невеликому об'ємі дистильованої води, доливаємо дистильованою водою до мітки, ретельно перемішуємо.

4. Титрування розчину суміші натрій гідроксиду та динатрій карбонату.

У бюретку: робочий розчин хлоридної кислоти, концентрацію якого визначили при стандартизації на занятті №5; $c(\text{HCl}) =$ моль/дм³.

У колбу для титрування: певний об'єм досліджуваного розчину (відміряємо аліквотною піпеткою);

$V^a(\text{суміші}) = 5,00 \text{ см}^3$.

2–3 краплі розчину фенолфталеїну.

Титруємо стандартним розчином хлоридної кислоти до зникнення малинового забарвлення. Записуємо об'єм розчину хлоридної кислоти, витрачений на титрування з фенолфталеїном (V_1).

Додаємо до розчину, що був відтитрований з фенолфталеїном, 1–2 краплі метилового оранжевого (при цьому розчин забарвлюється в жовтий колір) і титруємо до оранжевого забарвлення. Записуємо об'єм розчину хлоридної кислоти (V_2), який витрачено на титрування з метиловим оранжевим. Титрування проводимо три рази.

Результати титрування

	$V_1(\text{HCl}), \text{ см}^3$ з фенолфталеїном	$V_2(\text{HCl}), \text{ см}^3$ з метиловим оранжевим
Перше титрування		
Друге титрування		
Третє титрування		
Середнє значення	$\bar{V}_1(\text{HCl})_{\text{ф-ф}} =$, см ³	$\bar{V}_2(\text{HCl})_{\text{м-ор}} =$, см ³

5. Розрахунок масової частки (%) натрій гідроксиду в суміші.

Якщо на титрування суміші $\text{NaOH} + 1/2\text{Na}_2\text{CO}_3$ витрачено $V_1 \text{ см}^3 \text{ HCl}$, а на титрування $1/2\text{Na}_2\text{CO}_3$ використано $V_2 \text{ см}^3 \text{ HCl}$, то на титрування NaOH було витрачено $(V_1 - V_2) \text{ см}^3$ розчину HCl .

Розраховуємо масову частку NaOH у суміші:

$$n(\text{NaOH})_{\text{в аліквоті}} = n_1(\text{HCl}).$$

$$n(\text{NaOH})_{\text{в аліквоті}} = \frac{c(\text{HCl}) \cdot [V_1(\text{HCl}) - V_2(\text{HCl})]}{1000}.$$

$n(\text{NaOH})_{\text{в аліквоті}} =$ =

МОЛЬ.

$$n(\text{NaOH})_{\text{в наважці суміші}} = \frac{c(\text{HCl}) \cdot [V_1(\text{HCl}) - V_2(\text{HCl})] \cdot V_{\text{м.к.}}}{1000 \cdot V^a(\text{суміші})}.$$

$$n(\text{NaOH})_{\text{в наважці суміші}} = \text{-----} = \text{-----} \text{ МОЛЬ.}$$

$$m(\text{NaOH}) = n(\text{NaOH}) \cdot M(\text{NaOH}) = \frac{c(\text{HCl}) \cdot [V_1(\text{HCl}) - V_2(\text{HCl})] \cdot V_{\text{м.к.}} \cdot M(\text{NaOH})}{1000 \cdot V^a(\text{суміші})}.$$

$$m(\text{NaOH}) = \text{-----} \text{ Г.}$$

$$w(\%)(\text{NaOH}) = \frac{m(\text{NaOH}) \cdot 100}{m(\text{суміші})} = \frac{c(\text{HCl}) \cdot [V_1(\text{HCl}) - V_2(\text{HCl})] \cdot V_{\text{м.к.}} \cdot M(\text{NaOH}) \cdot 100}{1000 \cdot V^a(\text{суміші}) \cdot m(\text{суміші})}.$$

$$w(\%)(\text{NaOH}) = \text{-----} .$$

6. Розрахунок масової частки (%) динатрій карбонату в суміші:

$$n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = n_2(\text{HCl}).$$

$$n(\text{Na}_2\text{CO}_3)_{\text{в аліквоті}} = \frac{c(\text{HCl}) \cdot V_2(\text{HCl})}{1000}.$$

$$n(\text{Na}_2\text{CO}_3)_{\text{в аліквоті}} = \text{-----} = \text{-----} \text{ МОЛЬ.}$$

$$n(\text{Na}_2\text{CO}_3)_{\text{в наважці суміші}} = \frac{c(\text{HCl}) \cdot V_2(\text{HCl})}{1000} \cdot \frac{V_{\text{м.к.}}}{V^a(\text{суміші})}.$$

$$n(\text{Na}_2\text{CO}_3)_{\text{в наважці суміші}} = \text{-----} \cdot \text{-----} = \text{-----} \text{ МОЛЬ.}$$

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3)_{\text{в наважці суміші}} = n(\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot M(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{c(\text{HCl}) \cdot V_2(\text{HCl})}{1000} \cdot \frac{V_{\text{м.к.}} \cdot M(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{V^a(\text{суміші})}.$$

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3)_{\text{в наважці суміші}} = \text{-----} \text{ Г.}$$

$$w(\%)(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{m(\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot 100}{m(\text{суміші})} = \frac{c(\text{HCl}) \cdot V_2(\text{HCl})}{1000 \cdot m(\text{суміші})} \cdot \frac{V_{\text{м.к.}} \cdot M(\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot 100}{V^a(\text{суміші})}.$$

$$w(\%)(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \text{-----} .$$

Висновок:

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА КОНТРОЛЬНА РОБОТА №3

Тема: "Визначення масової частки(%) натрій гідрогенкарбонату та динатрій карбонату при їх сумісній присутності методом фіксування двох точок еквівалентності"

Мета: визначити у зразку суміші вміст(%) натрій гідрогенкарбонату та динатрій карбонату шляхом прямого титрування розчину з двома індикаторами.

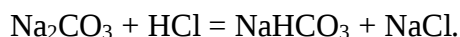
I. Теоретичні основи визначення

Метод заснований на аналізі кривих титрування динатрій карбонату і натрій гідрогенкарбонату розчином хлоридної кислоти.

Спочатку титрують суміш, яку аналізують, кислотою в присутності фенолфталеїну. При цьому відтитровується динатрій карбонат до натрій гідрогенкарбонату.

Потім розчин дотитровують кислотою в присутності метилового оранжевого. При цьому відтитровується натрій гідрогенкарбонат, що знаходився в початковій суміші, і утворений з динатрій карбонату ($1/2 \text{ Na}_2\text{CO}_3$).

Використовуючи два індикатори, вдається спостерігати дві точки еквівалентності. Першу спостерігаємо, коли динатрій карбонат відтитрований до натрій гідрогенкарбонату:

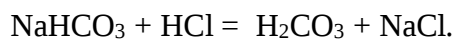


pH розчину розраховують за формулою (гідроліз кислої солі):

$$\text{pH} = \frac{pK_1(\text{H}_2\text{CO}_3) + pK_2(\text{H}_2\text{CO}_3)}{2} = \frac{6,35 + 10,32}{2} = 8,34.$$

Першу точку еквівалентності можна зафіксувати фенолфталеїном, який змінює забарвлення в інтервалі pH 8,2–10,0.

Другу точку еквівалентності спостерігаємо, коли відтитрований натрій гідрогенкарбонат, що знаходився у початковій суміші, і натрій гідроген карбонат, одержаний в результаті відтитрування динатрій карбонату:



pH розчину визначається йонізацією слабкої кислоти H_2CO_3 :

$$\text{pH} = 1/2 pK_1(\text{H}_2\text{CO}_3) - 1/2 \lg c(\text{кисл.}).$$

$$\text{pH} = 1/2 \cdot 6,35 - 1/2 \lg 5 \cdot 10^{-2} = 3,17 + 0,65 = 3,82.$$

Другу точку еквівалентності можна зафіксувати за допомогою метилового оранжевого, який змінює забарвлення в інтервалі pH = 3,1–4,4.

Таким чином, аналіз кривої титрування показує, що при титруванні суміші динатрій карбонату і натрій гідрогенкарбонату з двома індикаторами з фенолфталеїном відтитровується половина динатрій карбонату. Після додавання до цього ж розчину метилового оранжевого дотитровують до карбонатної кислоти початковий гідрогенкарбонат і той, що утворився з динатрій карбонату. Схема титрування динатрій карбонату і натрій гідрогенкарбонату виглядає так:

Na_2CO_3		NaHCO_3	
$V_1(\text{HCl})$		$V_2(\text{HCl})$	
фенолфталеїн		метилловий оранжевий	

Схема титрування однієї аліквоти суміші Na_2CO_3 і NaHCO_3 розчином HCl з двома індикаторами: фенолфталеїном і метиловим оранжевим.

II. Порядок виконання роботи

2.1. Розрахунок наважки суміші для приготування 100 см³ розчину.

Розрахунок наважки проводять за тим компонентом, якого більше. Припустимо, що в суміші, яку аналізують, більше натрій гідрокарбонату:

$$m_{\text{суміші}} = \frac{c(\text{NaHCO}_3) \cdot M(\text{NaHCO}_3) \cdot V_{\text{м.к.}}}{1000} = \frac{0,1 \cdot 84,01 \cdot 100,0}{1000} = 0,8401 \text{ (г)}.$$

2.2. Взяття наважки досліджуваної суміші на аналітичних терезах:

маса бюксу з речовиною , Г
 маса порожнього бюксу , Г
 маса наважки , Г

2.3. Розчинення суміші.

Наважку суміші переносимо в мірну колбу на 100,0 см³, розчиняємо в невеликому об'ємі дистильованої води, доводимо дистильованою водою до мітки, ретельно перемішуємо.

2.4. Титрування розчину суміші натрій гідрокарбонату та динатрій карбонату.

В бюретку: робочий розчин хлоридної кислоти, концентрацію якого визначили в роботі №1 на занятті №5; $c(\text{HCl}) =$ моль/дм³.

В колбу для титрування: певний об'єм досліджуваного розчину (відміряємо аліквотною піпеткою);

$$V^{\text{a}}(\text{суміші}) = 5,00 \text{ см}^3.$$

2–3 краплі розчину фенолфталеїну.

Титруємо стандартним розчином хлоридної кислоти до зникнення малинового забарвлення. Записуємо об'єм розчину хлоридної кислоти, витрачений на титрування з фенолфталеїном (V_1).

Додаємо до безбарвного розчину, що був відтитрований з фенолфталеїном, 1–2 краплі метилового оранжевого (при цьому розчин забарвлюється в жовтий колір) і титруємо до оранжевого забарвлення. Записуємо об'єм розчину хлоридної кислоти (V_2), який витрачений на титрування тільки з метиловим оранжевим, а не загальний об'єм.

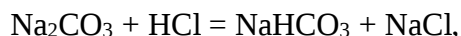
Титрування проводимо три рази і знаходимо середнє значення $\bar{V}_1$ та $\bar{V}_2$.

Результати титрування

	$V_1(\text{HCl}), \text{ см}^3$ з фенолфталеїном	$V_2(\text{HCl}), \text{ см}^3$ з метиловим оранжевим
Перше титрування		
Друге титрування		
Третє титрування		
Середнє значення	$\bar{V}_1(\text{HCl})_{\text{ф-ф}} =$, см ³	$\bar{V}_2(\text{HCl})_{\text{м-ор}} =$, см ³

2.5. Розрахунок масової частки(%) динатрій карбонату в суміші.

Якщо на титрування $1/2\text{Na}_2\text{CO}_3$ витрачено $V_1 \text{ см}^3$ розчину HCl , то на титрування всього Na_2CO_3 витрачено було б $2V_1 \text{ см}^3$ розчину HCl . Якщо на титрування NaHCO_3 , що був в суміші, і утвореного під час титрування Na_2CO_3 , витрачено $V_2 \text{ см}^3$ розчину HCl , тоді на титрування лише NaHCO_3 , що був в первинній суміші, використано $(V_2 - V_1) \text{ см}^3$ розчину HCl . Розраховуємо масову частку Na_2CO_3 в суміші:



$$f_{\text{екв.}}(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 1; M(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 105,99 \text{ г/моль}.$$

$$n(\text{Na}_2\text{CO}_3)_{\text{в аліквоті}} = n_1(\text{HCl}).$$

$$n(\text{Na}_2\text{CO}_3)_{\text{в аліквоті}} = \frac{c(\text{HCl}) \cdot V_1(\text{HCl})}{1000}.$$

$$n(\text{Na}_2\text{CO}_3)_{\text{в аліквоті}} = \text{_____} = \text{_____} \text{ МОЛЬ.}$$

$$n(\text{Na}_2\text{CO}_3)_{\text{в наважці суміші}} = \frac{c(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl})}{1000} \cdot \frac{V_{\text{м.к.}}}{V^a(\text{суміші})}.$$

$$n(\text{Na}_2\text{CO}_3)_{\text{в наважці суміші}} = \text{_____} \cdot \text{_____} = \text{_____} \text{ МОЛЬ.}$$

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = n(\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot M(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{c(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl})}{1000} \cdot \frac{V_{\text{м.к.}} \cdot M(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{V^a(\text{суміші})}.$$

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \text{_____} \text{ Г.}$$

$$w(\%)(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{m(\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot 100}{m(\text{суміші})} = \frac{c(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl})}{1000 \cdot m(\text{суміші})} \cdot \frac{V_{\text{м.к.}} \cdot M(\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot 100}{V^a(\text{суміші})}.$$

$$w(\%)(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \text{_____}.$$

2.6. Розрахунок масової частки (%) натрій гідрогенкарбонату в суміші.

$$n(\text{NaHCO}_3)_{\text{в аліквоті}} = n_2(\text{HCl}).$$

$$n(\text{NaHCO}_3)_{\text{в аліквоті}} = \frac{c(\text{HCl}) \cdot [V_2(\text{HCl}) - V_1(\text{HCl})]}{1000}.$$

$$n(\text{NaHCO}_3)_{\text{в аліквоті}} = \text{_____} = \text{_____} \text{ МОЛЬ.}$$

$$n(\text{NaHCO}_3)_{\text{в наважці суміші}} = \frac{c(\text{HCl}) \cdot [V_2(\text{HCl}) - V_1(\text{HCl})] \cdot V_{\text{м.к.}}}{1000 \cdot V^a(\text{суміші})}.$$

$$n(\text{NaHCO}_3)_{\text{в наважці суміші}} = \text{_____} = \text{_____} \text{ МОЛЬ.}$$

$$m(\text{NaHCO}_3) = n(\text{NaHCO}_3) \cdot M(\text{NaHCO}_3) = \frac{c(\text{HCl}) \cdot [V_2(\text{HCl}) - V_1(\text{HCl})] \cdot V_{\text{м.к.}} \cdot M(\text{NaHCO}_3)}{1000 \cdot V^a(\text{суміші})}.$$

$$m(\text{NaHCO}_3) = \text{_____} \text{ Г.}$$

$$w(\%)(\text{NaHCO}_3) = \frac{m(\text{NaHCO}_3) \cdot 100}{m(\text{суміші})} = \frac{c(\text{HCl}) \cdot [V_2(\text{HCl}) - V_1(\text{HCl})] \cdot V_{\text{м.к.}} \cdot M(\text{NaHCO}_3) \cdot 100}{1000 \cdot V^a(\text{суміші}) \cdot m(\text{суміші})}.$$

$$w(\%)(\text{NaHCO}_3) =$$

Висновок:

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА КОНТРОЛЬНА РОБОТА №4

Тема: „Визначення тимчасової (карбонатної) твердості води методом кислотно-основного титрування”

Мета: визначити тимчасову твердість питної води шляхом прямого титрування стандартним розчином хлоридної кислоти.

I. Теоретичні основи визначення

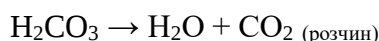
Твердість води обумовлена присутністю розчинних солей кальцію і магнію: $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, CaCl_2 , MgCl_2 , CaSO_4 , MgSO_4 .

Розрізняють два види твердості: карбонатну і некарбонатну. Карбонатна твердість обумовлена присутністю у воді кальцій- і магній гідрокарбонатів. Цю твердість можна усунути кип'ятінням:



тому карбонатна твердість називається тимчасовою. Карбонатна твердість визначається загальною кількістю мілімоль еквівалентів $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ і $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ в 1 дм³ води.

Визначення карбонатної твердості води проводять шляхом титрування стандартним розчином хлоридної кислоти аліквотного об'єму води, яку аналізують. При цьому відбувається реакція:



Крива титрування натрій гідрокарбонату представлена на рис. 1:

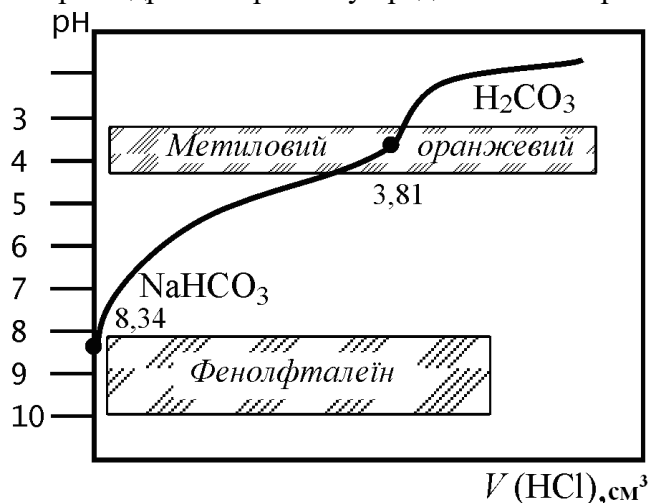


Рис. 1. Крива титрування 0,1 М розчину NaHCO_3 0,1 М розчином HCl .

pH у точці еквівалентності розраховуємо за формулою:

$$\text{pH} = 1/2\text{p}K_1(\text{H}_2\text{CO}_3) - 1/2\lg c(\text{кисл.}).$$
$$\text{pH} = 1/2 \cdot 6,35 - 1/2\lg 5 \cdot 10^{-2} = 3,17 + 0,65 = 3,82.$$

Значення pH у точці еквівалентності показує, що визначення карбонатної твердості води можна проводити шляхом титрування гідрогенкарбонат-іонів розчином хлоридної кислоти з метиловим оранжевим.

II. Порядок виконання роботи

2.1. Титрування проби води:

В бюретку: робочий розчин хлоридної кислоти, концентрацію якого визначили в роботі №1 на занятті №5; $c(\text{HCl}) =$ _____ моль/дм³.

В колбу для титрування: певний об'єм водопровідної води (відміряємо аліквотною піпеткою);

$$V^a(\text{суміші}) = 100,0 \text{ см}^3.$$

3 краплі розчину метилового оранжевого (зміна жовтого забарвлення на оранжеве).

Результати титрування:

I титрування $V(\text{HCl})$, см³

II титрування....., см³

III титрування....., см³

$$\bar{V}(\text{HCl}) \text{}, \text{ см}^3$$

2.2. Розрахунок тимчасової твердості води.

$$n(\text{HCO}_3^-) = n(\text{HCl}).$$

$$n(\text{HCO}_3^-)_{\text{в аліквоті}} = c(\text{HCl}) \cdot \bar{V}(\text{HCl}) = \text{.....} \text{ ммоль.}$$

$$n(\text{HCO}_3^-)_{\text{в 1 дм}^3} = \frac{c(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl}) \cdot 1000}{V^a(\text{H}_2\text{O})} = \text{.....} .$$

$$n(\text{HCO}_3^-) = n(1/2\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \text{ і } 1/2\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2).$$

$$H(\text{H}_2\text{O}) = \frac{c(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl}) \cdot 1000}{V^a(\text{H}_2\text{O})}, \text{ ммоль/дм}^3.$$

$$H(\text{H}_2\text{O}) = \text{.....} = \text{.....} \text{ ммоль/дм}^3.$$

Висновок: тимчасова твердість водопровідної води складає ммоль еквівалентів $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ і $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ в 1 дм³ води.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА КОНТРОЛЬНА РОБОТА №5

Тема: „Аналіз технічної тартратної (винної) кислоти методом окремих наважок”.

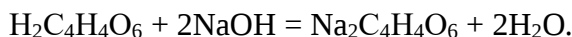
Мета: визначити вміст (%) тартратної кислоти у зразку.

I. Теоретичні основи визначення

Тартратна кислота двохосновна. Відношення констант йонізації менше, ніж 10^4 , тому поетапне титрування проводити не можна.

$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{1,04 \cdot 10^{-3}}{4,55 \cdot 10^{-5}} = 22,9 < 10^4.$$

Робочий розчин – натрій гідроксид або калій гідроксид. Тартратну кислоту, яка міститься в досліджуваному розчині, відтитровують повністю:



$$f_{\text{екв.}}(\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6) = 1/2; M(1/2\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6) = 75,04 \text{ г/моль}.$$

pH в точці еквівалентності розраховуємо за формулою (гідроліз солі):

$$\text{pH} = 7 + 1/2\text{p}K_2(\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6) + 1/2\lg c(\text{солі}) = 7 + 2,17 - 0,5 = 8,67.$$

Значення pH в точці еквівалентності показує, що титрування розчину тартратної кислоти можна проводити з індикатором фенолфталеїном (pT=9).

II. Порядок виконання роботи

2.1. Розрахунок наважки технічної тартратної кислоти.

При розрахунку наважки $\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6$ виходимо з того, що титрувати будемо розчином натрій гідроксиду з молярною концентрацією 0,1 моль/дм³. На титрування наважки $\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6$ повинно використовуватися не менше 5 см³ і не більше 25 см³ (об'єм бюретки) стандартного розчину NaOH.

$$\begin{aligned} n(1/2\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6) &= n(\text{NaOH}). \\ \frac{c(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH})}{1000} &= \frac{m(\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6)}{M(1/2\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6)}. \\ m(\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6) &= \frac{c(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH}) \cdot M(1/2\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6)}{1000} = \\ &= \frac{0,1000 \cdot 25,00 \cdot 75,04}{1000} = 0,1876 \text{ г}. \end{aligned}$$

2. Взяття наважки.

Для аналізу беремо три наважки тартратної кислоти:

- а) маса бюксу з речовиною, г
маса порожньої бюкси, г
наважка $m_1(\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6)$, г
- б) маса бюксу з речовиною, г
маса порожньої бюкси, г
наважка $m_2(\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6)$, г
- в) маса бюксу з речовиною, г
маса порожньої бюкси, г
наважка $m_3(\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6)$, г

2.3. Розчинення наважки і титрування.

Взяті наважки переносимо кількісно у три конічні колби для титрування і розчиняємо у довільному об'ємі води (25 см³). Додаємо 2–3 краплі фенолфталеїну і титруємо розчином натрій гідроксиду до малинового забарвлення, яке не зникає 30–40 секунд.

Результати титрування:

$m(\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6)$, г	$V(\text{NaOH})$, см ³
а)	
б)	
в)	

2.4. Розрахунок дійсного вмісту тартратної кислоти (г) у кожній наважці за формулою:

$$m(\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6) = \frac{c(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH}) \cdot M(1/2\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6)}{1000}.$$

$$m_1(\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6)_{\text{практ.}} = \text{-----} = \text{-----}, \text{ г.}$$

$$m_2(\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6)_{\text{практ.}} = \text{-----} = \text{-----}, \text{ г.}$$

$$m_3(\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6)_{\text{практ.}} = \text{-----} = \text{-----}, \text{ г.}$$

2.5. Розрахунок масової частки тартратної кислоти у кожному досліді за формулою:

$$w(\%)(\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6) = \frac{m_{\text{практ.}}}{m_{\text{техн.}}} \cdot 100.$$

$$w_1(\%)(\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6) = \text{-----} \cdot 100 = \text{-----}.$$

$$w_2(\%)(\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6) = \text{-----} \cdot 100 = \text{-----}.$$

$$w_3(\%)(\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6) = \text{-----} \cdot 100 = \text{-----}.$$

2.6. Знаходження середнього значення масової частки тартратної кислоти у зразку:

$$\bar{w}(\%)(\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6) = \frac{w_1 + w_2 + w_3}{3} = \text{-----} = \text{-----}.$$

Висновок: масова частка (%) тартратної кислоти у досліджуваному зразку складає

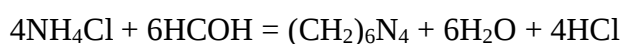
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА КОНТРОЛЬНА РОБОТА №6

Тема: „Визначення нітрогену в солях амонію формальдегідним методом”

Мета: встановити вміст (%) нітрогену в пробі амоній хлориду формальдегідним методом. Порівняти експериментальні результати з вмістом нітрогену в амоній хлориді, розрахованим теоретично.

I. Теоретичні основи визначення

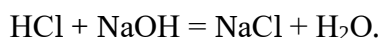
Формальдегідний метод є одним із найточніших методів визначення вмісту нітрогену в солях амонію. Він ґрунтується на тому, що при додаванні до розчину солі амонію надлишку формальдегіду відбувається реакція:



або в йонно-молекулярному вигляді:



в результаті якої виділяються гідроген-іони в кількості, яка еквівалентна кількості нітрогену в солі амонію. Гідроген-іони, які виділилися, відтитровують стандартним розчином натрій гідроксиду в присутності фенолфталеїну до появи рожевого забарвлення:



Цей індикатор необхідно застосовувати тому, що точка еквівалентності знаходиться в лужній області ($\text{pH} > 7$). pH в точці еквівалентності визначається слабкою основою – гексаметилентетраміном (уротропіном), pK якої дорівнює 5. Ця слабка основа залишається в розчині, у той час як гідроген-іони хлоридної кислоти відтитровуються натрій гідроксидом.

Рівняння матеріального балансу за кількістю речовин еквівалентів при титруванні замісника має вигляд:

$$n(\text{N}) = n(\text{NaOH}).$$

При виконанні аналізу способом піпеткування масу нітрогену в аліквотному об'ємі солі амонію розраховують за формулою:

$$m(\text{N}) = \frac{c(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH}) \cdot M(\text{N})}{1000} \cdot \frac{V_{\text{м.к.}}(\text{NH}_4\text{Cl})}{V^a(\text{NH}_4\text{Cl})}, \text{ г.}$$

$$m(\text{N}) = \text{-----} = \text{-----}, \text{ г.}$$

II. Порядок виконання роботи

2.1. Приготування 250,0 см³ $\approx 0,1\text{M}$ розчину натрій гідроксиду (NaOH).

а) Розрахунок наважки натрій гідроксиду для приготування 0,1M розчину натрій гідроксиду, об'ємом 250,0 см³:

$$m(\text{NaOH}) = \frac{c(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH}) \cdot M(\text{NaOH})}{1000} = \frac{0,1000 \cdot 40,00 \cdot 250,0}{1000} = 1,000 \text{ г.}$$

б) Взяття наважки натрій гідроксиду на аналітичних терезах:

маса бюксу з речовиною , Г
маса порожнього бюксу , Г
наважка $m(\text{NaOH})_{\text{факт.}}$, Г

в) Розчинення наважки натрій гідроксиду.

Наважку суміші переносимо в мірну колбу на 250,0 см³, розчиняємо у невеликому об'ємі дистильованої води, доливаємо дистильованою водою до мітки, ретельно перемішуємо.

2.2. Приготування 0,1000 M розчину хлоридної кислоти з фіксаналу.

2.3. Перевірка молярної концентрації розчину натрій гідроксиду за стандарт-титром хлоридної кислоти.

а) Титрування розчину натрій гідроксиду:

В бюретку: 0,1000 M стандартний розчин хлоридної кислоти, приготовлений з фіксаналу, з молярною концентрацією речовини 0,1000 моль/дм³.

В колбу для титрування: аліквотний об'єм розчину натрій гідроксиду,

$$V^a(\text{NaOH}) = \text{-----}, \text{ см}^3.$$

Індикатор фенолфталеїн, 2–3 краплі.

Фенолфталеїн змінює забарвлення з малинового до безбарвного

Результати титрування:

I титрування	$V(\text{HCl})$, см^3
II титрування	, см^3
III титрування	, см^3
	$\bar{V}(\text{HCl}) = \text{.....}, \text{см}^3$

б) Розрахунок молярної концентрації робочого розчину натрій гідроксиду ($c(\text{NaOH})$) із рівняння:

$$c(\text{HCl}) \cdot \bar{V}(\text{HCl}) = c(\text{NaOH}) \cdot V^a(\text{NaOH розч.}),$$

титру натрій гідроксиду ($T(\text{NaOH})$) та поправочного коефіцієнту ($K(\text{NaOH})$).

$$c(\text{NaOH}) = \frac{c(\text{HCl}) \cdot \bar{V}(\text{HCl})}{V^a(\text{NaOH})} = \text{.....}, \text{ моль/дм}^3.$$

$$T(\text{NaOH}) = \frac{c(\text{NaOH}) \cdot M(\text{NaOH})}{1000} = \text{.....}, \text{ г/см}^3.$$

$$K(\text{NaOH}) = \frac{c_{\text{практ.}}(\text{NaOH})}{c_{\text{теор.}}(\text{NaOH})} = \text{.....}.$$

2.4. Приготування 50,00 см^3 розчину формальдегіду з масовою часткою речовини 20% із наявного розчину в лабораторії.

У лабораторії наявний розчин формальдегіду з масовою часткою речовини 40% (заводський реактив).

Для приготування 50,00 см^3 розчину формальдегіду з масовою часткою речовини 20% в мірний стакан відміряємо 25 см^3 вихідного розчину мірним циліндром та додаємо 20 см^3 дистильованої води, доводимо розчин до об'єму 50 см^3 дистильованою водою і перемішуємо скляною паличкою.

2.5. Приготування розчину амоній хлориду.

а) Взяття наважки амоній хлориду на аналітичних терезах (≈ 1 г)

маса бюксу з речовиною, г

маса пустого бюксу, г

наважка $m(\text{NH}_4\text{Cl})_{\text{практ.}}$, г

б) Розчинення наважки.

Наважку солі амоній хлориду переносимо в мірну колбу на 100,0 см^3 , розчиняємо у невеликому об'ємі дистильованої води, доливаємо дистильованою водою до мітки, ретельно перемішуємо.

2.6. Аналіз розчину амоній хлориду.

а) Титрування розчину амоній хлориду.

В бюретку: робочий розчин натрій гідроксиду із встановленою молярною концентрацією $c(\text{NaOH}) = \text{.....}, \text{ моль/дм}^3$.

В колбу для титрування: 10,00 см^3 розчину амоній хлориду (відміряємо аліквотною піпеткою).

5,00 см³ розчину формальдегіду з масовою часткою речовини 20% (відміряємо мірною пробіркою).

2–3 краплі розчину фенолфталеїну. Отриманий розчин залишаємо на 1–2 хвилини.

Титруємо розчином натрій гідроксиду до появи блідо-рожевого забарвлення розчину, стійкого протягом 30 с. Титрування проводимо три рази.

Результати титрування:

I титрування	$V(\text{NaOH})$, см ³
II титрування	, см ³
III титрування	, см ³
	$\bar{V}_1(\text{NaOH}) = \text{....., см}^3$

У результати титрування потрібно ввести поправку на вміст в формальдегіді метанової (форміатної) кислоти. Величину поправки знаходимо із холостого дослідів.

Для цього:

В бюретку: робочий розчин натрій гідроксиду із встановленою молярною концентрацією $c(\text{NaOH}) = \text{....., моль/дм}^3$.

В колбу для титрування: 10,00 см³ розчину формальдегіду з масовою часткою речовини 20%.

2–3 краплі фенолфталеїну.

Титруємо розчином натрій гідроксиду до появи блідо-рожевого забарвлення розчину, стійкого протягом 30 с. Титрування проводимо три рази. Об'єм розчину натрій гідроксиду, який був витрачений на титрування, ділимо на 2 і віднімаємо від об'єму розчину натрій гідроксиду, що пішов на титрування досліджуваного розчину солі амоній хлориду.

Результати титрування:

I титрування	$V(\text{NaOH})$, см ³
II титрування	, см ³
III титрування	, см ³
	$\bar{V}_2(\text{NaOH}) = \text{....., см}^3$

$$\bar{V}_3(\text{NaOH}) = \bar{V}_2(\text{NaOH})/2 = \text{....., см}^3.$$

$$\bar{V}_4(\text{NaOH}) = \bar{V}_1(\text{NaOH}) - \bar{V}_3(\text{NaOH}) = \text{....., см}^3.$$

б) Розрахунок вмісту нітрогену в наважці амоній хлориду (маса практична):

$$m_{\text{прат.}}(\text{N}) = \frac{c(\text{NaOH}) \cdot \bar{V}_4(\text{NaOH}) \cdot M(\text{N})}{1000} \cdot \frac{V_{\text{м.к.}}(\text{NH}_4\text{Cl})}{V^a(\text{NH}_4\text{Cl})}, \text{ г.}$$

$$m_{\text{прат.}}(\text{N}) = \text{.....} \cdot \text{.....} = \text{....., г}$$

в) Розрахунок масової частки нітрогену в амоній хлориді:

$$w(\%)(\text{N}) = \frac{m(\text{N})}{m(\text{NH}_4\text{Cl})} \cdot 100.$$

$$w(\%)(\text{N}) = \text{.....} \cdot 100 = \text{.....}$$

г) Розрахунок теоретичного вмісту нітрогену в амоній хлориді:

	NH_4Cl	–	N
n	1 моль		1 моль
M	53,492 г/моль		14,007 г/моль
m	53,492 г		14,007 г
m	100 г		х г

$$x = w(\%)(\text{N}) = \frac{14,007 \cdot 100}{53,492} = 26,19.$$

Висновок:

Зразок завдань до модульної контрольної роботи із теми: „Методи кислотно-основного титрування”

I. Теоретичний матеріал.

1. Йонно-хромофорна теорія індикаторів кислотно-основного титрування. Інтервал переходу індикатора, показник титрування.
2. Визначення вмісту солей амонію зворотним титруванням та титруванням замісника.

II. Розв’язування вправ.

3. З розчину нітратної(V) кислоти об’ємом 50,00 см³, густина якого 1,4 г/см³, приготували розчин у мірній колбі об’ємом 1000,0 см³. На титрування аліквоти стандартного розчину калій гідроксиду об’ємом 20,00 см³ ($T(\text{KOH}/\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,04904$ г/см³) витрачено об’єм 26,88 см³ приготованого розчину нітратної(V) кислоти. Розрахувати масову частку (%) гідроген нітрату(V) у вихідному розчині. $M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98,08$ г/моль, $M(\text{HNO}_3) = 63,01$ г/моль.
4. Як визначити вміст дикалій карбонату і калій гідрогенкарбонату при спільній їх присутності (схема титрування, індикатори, рівняння матеріального балансу за кількістю речовин еквівалентів)?

МЕТОДИ ОКИСНО-ВІДНОВНОГО ТИТРУВАННЯ

Ключові слова і терміни: окисно-відновні реакції, розрахунок фактора еквівалентності в окисно-відновних реакціях, окисно-відновний потенціал, рівняння Нернста, константа рівноваги окисно-відновної реакції, швидкість окисно-відновних реакцій, методи окисно-відновного титрування (оксредметрія, редоксметрія), криві окисно-відновного титрування, індикатори окисно-відновного титрування, специфічні індикатори, редокс-індикатори, фенілантранілова кислота, дифеніламін, дифеніламінсульфокислота, фероїн, інтервал переходу редокс-індикатора, перманганатометрія, дихроматометрія, йодометрія, цериметрія, броматометрія, ванадатометрія, автокаталітичні реакції, спряжені реакції, актор, індуктор, акцептор, суміш Циммермана-Рейнгардта, редуктор Джонса.

Короткі теоретичні відомості

Загальна характеристика методів окисно-відновного титрування.

Теоретичні основи окисно-відновного титрування

Методи окисно-відновного титрування ґрунтуються на окисно-відновних реакціях, пов'язаних з перенесенням електронів від однієї реагуючої речовини (відновника) до іншої (окисника).

Методи окисно-відновного титрування класифікують за типом титранту, основними з яких є: перманганатометрія, йодометрія, дихроматометрія, цериметрія, броматометрія, ванадатометрія, титанометрія, ферометрія, аскорбінометрія.

Методи окисно-відновного титрування використовують у кількісному визначенні відновників, окисників та речовин, які не мають окисно-відновних властивостей, але взаємодіють з окисником чи відновником в еквівалентних співвідношеннях.

Реакції, що лежать в основі методів окисно-відновного титрування, повинні відповідати загальним вимогам до реакцій титриметричного аналізу. Однак, особливостями окисно-відновних реакцій є багатостадійність, вони часто проходять зі швидкістю, недостатньою для титриметричних визначень, значна кількість окисно-відновних реакцій є оборотними. Змінюючи умови проведення титрування (зміна концентрації гідроген-іонів як середовища, зміна концентрації відновника чи окисника застосуванням зворотного титрування або титрування замісника, зміна температури, використання каталізатора тощо) можна істотно зменшити недоліки окисно-відновних реакцій.

Визначення кінцевої точки титрування в редоксметрії здійснюють безіндикаторним методом (наприклад, в перманганатометрії), за допомогою специфічних індикаторів (крохмаль, амоній тіоціанат) або редокс-індикаторів (фероїн, фенілантранілова кислота, дифеніламін, дифеніламінсульфокислота тощо). *Редокс-індикатори – це індикатори, які помітно і оборотно змінюють свій колір у залежності від зміни окисно-відновного потенціалу системи.* Зміна кольору індикатора відповідає області, в якій відношення $[Ind_{ок.}]/[Ind_{відн.}]$ коливається від 1/10 до 10/1, тобто інтервал переходу забарвлення редокс-індикатора визначається за рівнянням:

$$E = E^0(Ind_{ок.}/Ind_{відн.}) \pm \frac{0,059}{n}.$$

Окисно-відновний потенціал, що відповідає показнику титрування (pT), дорівнює, як правило, E^0_{Ind} . Найважливіші редокс-індикатори наведені в таблиці 1.

Найважливіші редокс-індикатори, які застосовують у титриметричному аналізі

Індикатор	E^0 , В	Забарвлення	
		окисненої форми	відновленої форми
Фероїн (комплекс Fe^{2+} з 1,10-фенантроліном)	+1,06	блідо-блакитне	червоне
N-фенілантранілова кислота	+1,00	фіолетово-червоне	немає
Натрій дифеніламінсульфонат	+0,84	синє	немає
Дифеніламін	+0,76	фіолетове	немає

Вибір редокс-індикаторів здійснюють на основі кривих титрування, які моделюють процес окисно-відновного титрування. Теоретичні криві титрування будують у координатах: E системи, В – V (титранту), см^3 на основі розрахунків окисно-відновних потенціалів за рівнянням Нернста для різних моментів титрування.

Величина стрибка титрування залежить від різниці стандартних окисно-відновних потенціалів оксид-пар, які беруть участь у реакції, концентрації H^+ -іонів, температури, реагентів, здатних утворювати комплекси з окисненою або відновленою формою. Наприклад, при титруванні Fe^{2+} -іонів розчином калій дихромату в присутності ортофосфатної кислоти стрибок на кривій титрування збільшується, оскільки ортофосфатна кислота зв'язує Fe^{3+} -іони в комплекс $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{PO}_4)]^{2+}$, тим самим зменшуючи окисно-відновний потенціал пари $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ (рис. 1). Концентрації реагуючих речовин впливають на величину стрибка титрування, якщо стехіометричні коефіцієнти для окисненої та відновленої форм різні.

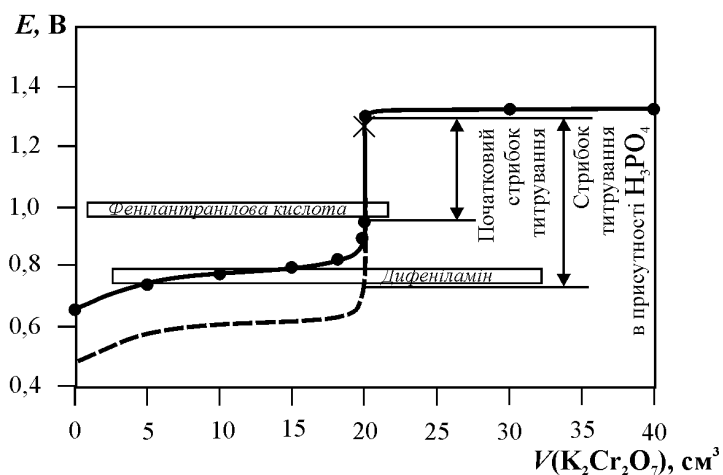


Рис. 1. Крива титрування Fe^{2+} -іонів розчином дикалій дихромату (пунктиром показано розширення стрибка титрування в присутності фосфатної кислоти).

Вибір редокс-індикаторів здійснюють таким чином, щоб показник титрування (pT) був якомога ближчим до значення окисно-відновного потенціалу системи в точці еквівалентності. Внаслідок розбіжності показника титрування індикатора зі значенням окисно-відновного потенціалу у точці еквівалентності виникає індикаторна похибка окисно-відновного титрування. Індикаторна похибка титрування вважається припустимою, якщо вона не перебільшує 0,2%. При цій умові інтервал переходу індикатора хоча б частково знаходиться в області стрибка титрування.

**Контрольні питання з тем
„Загальна характеристика методів окисно-відновного титрування”,
„Теоретичні основи окисно-відновного титрування”**

1. Назвіть основні методи окисно-відновного титрування. Вкажіть робочі розчини та їх роль в окисно-відновному процесі.
2. Як розраховується константа рівноваги окисно-відновної реакції? Як за величиною константи рівноваги визначити напрям окисно-відновної реакції?
3. Як залежить величина стрибка титрування в методах окисно-відновного титрування від:
а) концентрації вихідних розчинів; б) концентрації гідроген-іонів; в) різниці стандартних окисно-відновних потенціалів окисно-відновних пар? Відповідь обґрунтуйте.
6. Якими способами фіксується точка еквівалентності в редоксметрії? Наведіть конкретні приклади.
7. У чому полягає відмінність між редокс-індикаторами та специфічними індикаторами редоксметрії?
8. Як пов'язаний інтервал переходу редокс-індикатора з його стандартним окисно-відновним потенціалом?
9. Сформулюйте основні правила підбору редокс-індикаторів? Наведіть конкретні приклади.
10. Які недоліки окисно-відновних реакцій заважають їх використанню в титриметричному аналізі? Наведіть конкретні приклади. Як можна усунути ці недоліки?
11. Які реакції називаються автокаталітичними? Поясніть механізм автокаталізу на конкретному прикладі.
12. Які реакції називаються індукованими? Поясніть їх механізм на конкретному прикладі?

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ №7

Тема: „Загальна характеристика методів окисно-відновного титрування”,
„Теоретичні основи окисно-відновного титрування”.

Мета: засвоїти теоретичні основи методів окисно-відновного титрування.

План заняття

I. Перевірка знань теоретичного матеріалу:

- 1.1. Сутність і класифікація методів окисно-відновного титрування.
- 1.2. Константа рівноваги окисно-відновної реакції і напрям реакції.
- 1.3. Особливості реакцій окиснення-відновлення, які ускладнюють їх використання в титриметричному аналізі. Способи усунення цих недоліків.
- 1.4. Криві окисно-відновного титрування. Залежність стрибка титрування від різних факторів.
- 1.5. Способи фіксування точки еквівалентності в окисно-відновному титруванні.
- 1.6. Розв'язування впрв.

II. Тестовий контроль знань з тем: „Загальна характеристика методів окисно-відновного титрування”, „Теоретичні основи окисно-відновного титрування”.

Завдання для самостійної роботи:

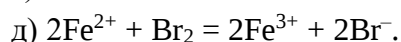
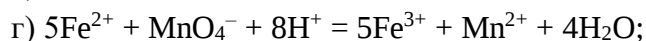
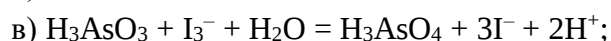
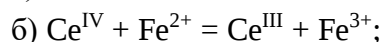
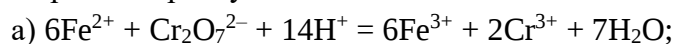
1. Опрацювати лекційний матеріал з тем „Загальна характеристика методів окисно-відновного титрування”, „Теоретичні основи окисно-відновного титрування” [6].
2. Робота з підручником: [2].

3. Дати відповіді на контрольні питання з тем: „Загальна характеристика методів окисно-відновного титрування”, „Теоретичні основи окисно-відновного титрування”.

4. Опрацювати тестові завдання з тем „Загальна характеристика методів окисно-відновного титрування”, „Теоретичні основи окисно-відновного титрування” [7].

**Зразок завдань до контрольної роботи з тем
„Загальна характеристика методів окисно-відновного титрування”,
„Теоретичні основи окисно-відновного титрування”**

1. Для яких реакцій, що наведені нижче, криві окисно-відновного титрування залежать від концентрації титранту?



2. У яких методах окисно-відновного титрування можливе безіндикаторне титрування?

а) перманганатометрія;

б) дихроматометрія;

в) йодометрія;

г) бромометрія;

д) цериметрія.

3. Які з наведених в групі А індикаторів є специфічними, а які – окисно-відновними? В групі Б вкажіть зміну забарвлення окисно-відновних індикаторів групи А при переході з відновленої форми в окиснену.

А

а) крохмаль;

б) фероїн;

в) натрій дифеніламінсульфонат;

г) калій тіоціанат;

д) N-фенілантранілова кислота;

е) дифеніламін.

Б

а) червоне – блідо-блакитне;

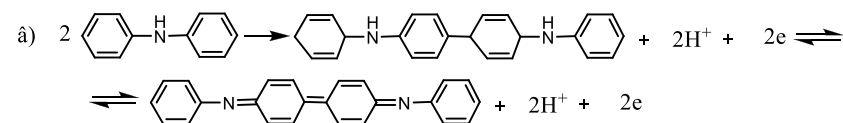
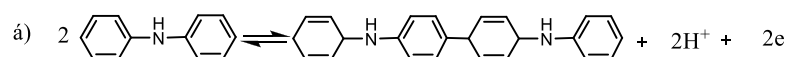
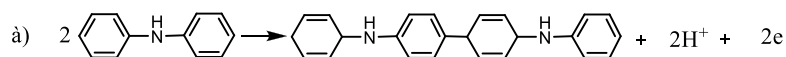
б) безбарвне – фіолетово-червоне;

в) безбарвне – синє;

г) блакитне – червоне;

д) безбарвне – фіолетове.

4. Який процес перетворення дифеніламіну має місце при обробці індикатора в кислих розчинах сильним окисником?



ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ №8

Тема: „Перманганатометрія”, „Дихроматометрія”.

Мета: засвоїти сутність методів перманганатометрії, дихроматометрії та їх застосування. Ознайомитися з перевагами і недоліками методу дихроматометрії в порівнянні з методом перманганатометрії.

План заняття

I. Перевірка знань теоретичного матеріалу:

1.1. Сутність методу, робочий розчин та первинні стандартні речовини в перманганатометрії, умови визначення методом перманганатометрії.

1.2. Область застосування перманганатометрії.

1.3. Методика приготування розчину калій перманганату та встановлення його молярної концентрації речовини еквівалента (нормальної концентрації) за оксалатною кислотою в сульфатнокислому середовищі.

1.4. Методика приготування водного розчину солі Мора.

1.5. Методика визначення вмісту (%) Fe^{2+} -іонів у солі Мора перманганатометричним методом.

1.6. Загальна характеристика дихроматометрії .

1.7. Крива титрування Fe^{2+} -іонів розчином дикалій дихромату. Вплив різних факторів на вид кривої.

1.8. Індикатори в дихроматометрії.

1.9. Застосування дихроматометрії.

1.10. Переваги і недоліки дихроматометрії у порівнянні з перманганатометрією.

1.11. Методика визначення вмісту (%) Fe^{2+} -іонів у солі Мора методом дихроматометрії.

II. Практична частина:

2.1. Робота №1: Стандартизація розчину калій тетраоксоманганату(VII) за розчином оксалатної кислоти з молярною концентрацією речовини еквівалента $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0,05000 моль/дм³, що виготовлений з фіксаналу (або за точною наважкою).

2.2. Робота №2: Визначення вмісту (%) Fe^{2+} -іонів у солі Мора методом перманганатометрії.

2.3. Робота №3: Визначення вмісту (%) Fe^{2+} -іонів у солі Мора методом дихроматометрії.

III. Тестовий контроль знань з тем: „Перманганатометрія”, „Дихроматометрія”.

Завдання для самостійної роботи:

1. Опрацювати лекційний матеріал з тем „Перманганатометрія”, „Дихроматометрія” [6].

2. Робота з підручником: [2, с. 243–263, 279–300].

3. Дати відповіді на контрольні питання з тем: „Перманганатометрія”, „Дихроматометрія”.

4. Опрацювати тестові завдання з тем: „Перманганатометрія”, „Дихроматометрія” [7].

5. Розв’язати задачі відповідно варіанту.

6. Оформити в робочому зошиті розрахунки для виконання практичних робіт №1 і №2, №3 (рівняння реакцій, розрахунки факторів еквівалентності і молярних мас речовин еквівалентів, розрахунки наважок речовин).

Контрольні питання з теми „Перманганометрія

1. Напишіть рівняння напівреакцій відновлення калій перманганату у кислому, нейтральному та лужному середовищах. Вкажіть фактор еквівалентності калій перманганату та молярну масу речовини еквівалента KMnO_4 .
2. При якій молярній концентрації речовини еквівалента робочого розчину калій перманганату рекомендується проводити титрування з використанням індикаторів?
3. Чи є потреба брати точну наважку калій перманганату для приготування його робочого розчину?
4. Чому стандартизацію розчину калій перманганату проводять через кілька днів після приготування розчину? Яким чином можна прискорити приготування робочого розчину калій перманганату?
5. Напишіть рівняння реакції розкладу калій перманганату у водному розчині. Що прискорює проходження реакції?
6. Назвіть 4-5 первинних стандартних речовин, які застосовують для стандартизації розчину калій перманганату.
7. Як треба обробляти динатрій оксалат і оксалатну кислоту, щоб використовувати їх як первинні стандартні речовини при стандартизації розчину калій перманганату?
8. Які умови (температура, кислотність середовища, швидкість додавання калій перманганату) необхідно виконувати при стандартизації розчину калій перманганату за оксалатною кислотою або динатрій оксалатом?
9. Чим пояснити той факт, що перші краплі розчину калій перманганату при титруванні оксалат-іонів знебарвлюються повільно, а у подальшому знебарвлення відбувається миттєво?
10. Напишіть рівняння реакцій, які проходять при стандартизації розчину калій перманганату за металічним залізом.
11. Напишіть рівняння реакцій, які відбуваються при стандартизації розчину калій перманганату за вторинним стандартним розчином динатрій тіосульфату титруванням замісника.
12. Наведіть приклади перманганометричних визначень прямим і зворотним титруванням.
13. Напишіть рівняння реакцій взаємодії калій перманганату в кислому середовищі з дигідроген пероксидом, арсенатною(III) кислотою, калій нітратом(III). Визначте молярні маси речовин еквівалентів відновників. Вкажіть умови визначення вмісту калій нітрату(III) методом перманганометрії.
14. При перманганометричному визначенні Fe^{2+} -іонів у хлориднокислому середовищі виділяється вільний хлор, внаслідок чого результати титрування дещо завищені. Вкажіть способи, які дозволяють одержати правильні результати.
15. Напишіть рівняння реакції та вкажіть умови визначення йонів мангану(II) прямим титруванням його розчином калій перманганату.
16. Запропонуйте спосіб визначення феруму(II) і феруму(III), а також загального вмісту феруму в суміші.

17. Які ускладнення можуть виникнути у тому випадку, коли при попередньому відновленні феруму(III) брати великий надлишок станум дихлориду?
18. Який спосіб титрування треба застосовувати при визначенні окиснюваності води або ґрунту методом перманганатометрії? Чому?
19. Запропонуйте схему визначення окисників методом перманганатометрії. Напишіть рівняння реакцій визначення манган діоксиду, калій хлорату(V), дикалій дихромату методом перманганатометрії. Визначте молярні маси речовин еквівалентів окисників.
20. Скласти рівняння реакцій перманганатометричного визначення Ca^{2+} -іонів зворотним титруванням і титруванням замісника. Чому у цих двох способах необхідно ретельно промивати осад кальцій оксалату?
21. Вкажіть переваги і недоліки перманганатометрії у порівнянні з іншими методами окисно-відновного титрування.

Контрольні питання з теми „Дихроматометрія”

1. Охарактеризуйте окисно-відновну здатність пари $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}/2\text{Cr}^{3+}$.
2. Як можна приготувати робочий розчин дикалій дихромату? Яка речовина є первинним стандартом в дихроматометрії?
3. В якому середовищі проводять дихроматометричне титрування?
4. У чому полягають переваги дихроматометрії у порівнянні з перманганатометрією? Які недоліки має дихроматометрія?
5. Якими способами фіксують точку еквівалентності в дихроматометрії?
6. Які окисно-відновні індикатори можна застосовувати при дихроматометричному титруванні?
7. Які фактори впливають на ширину стрибка титрування при дихроматометричному визначенні Fe^{2+} -іонів?
8. З якою метою у розчин, який титрують, додають фосфатну(V) кислоту при дихроматометричному титруванні Fe^{2+} -іонів з індикатором дифеніламіном?
9. Наведіть приклади визначення відновників методом дихроматометрії прямим і зворотним титруванням.
10. Які способи титрування застосовують при визначенні окисників методом дихроматометрії? Складіть схему визначення нітрат(V)-іонів.

Варіанти задач для самостійного розв'язування з теми: „Перманганатометрія”

№ варіанту	Лаб. практ. [10]	№ варіанту	Лаб. практ. [10]	№ варіанту	Лаб. практ. [10]
1	6, 19	6	11, 6	11	3, 16
2	7, 20	7	12, 5	12	4, 17
3	8, 21	8	13, 4	13	5, 18
4	9, 22	9	1, 14	14	6, 19
5	10, 7	10	2, 15	15	7, 20

Задачі для самостійного розв'язування

1. Обчислити масу речовини калій манганату(VII), яку необхідно взяти для приготування $500\text{ см}^3 \approx 0,1\text{ н. розчину}$ його при титруванні в кислому середовищі.

В: 1,58 г.

2. Обчислити масу речовини калій манганату(VII), яку необхідно взяти для приготування $2,5\text{ дм}^3$ розчину з титром калій манганату(VII) за ферумом – $T(\text{KMnO}_4)/\text{Fe}$, рівним $0,005585\text{ г/см}^3$.

В: 7,90 г.

3. Обчислити масу речовини калій манганату(VII), яку необхідно взяти для приготування $2,5\text{ дм}^3$ розчину з $T(\text{KMnO}_4)$, рівним $0,001616\text{ г/см}^3$?

В: 4,04 г.

4. Яка наважка кристалогідрату оксалатної кислоти – $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ необхідна для приготування $1,500\text{ дм}^3 0,2000\text{ н. розчину}$?

В: 18,91 г.

5. Для стандартизації розчину калій манганату(VII) необхідно приготувати $100,0\text{ см}^3 0,1\text{ н. розчину}$ динатрій оксалату – $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$. Яка наважка цієї солі необхідна?

В: 0,6700 г.

6. Для стандартизації розчину калій манганату(VII) взяли наважку речовини динатрій оксалату – $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 1,3444 г і помістили в мірну колбу місткістю $200,0\text{ см}^3$. На титрування $20,00\text{ см}^3$ цього розчину витрачено в середньому $20,04\text{ см}^3$ розчину KMnO_4 . Розрахувати: молярну концентрацію речовини еквівалента калій манганату(VII) у розчині, $T(\text{KMnO}_4)$, $T(\text{KMnO}_4/\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4)$ і поправочний коефіцієнт до молярної концентрації речовини еквівалента калій манганату(VII) у розчині $0,1000\text{ моль/дм}^3$.

В: $0,1001\text{ моль/дм}^3$; $0,003164\text{ г/см}^3$; $0,006707\text{ г/см}^3$; 1,001.

7. Наважку речовини оксалатна кислота-вода(1/2) – $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0,1518 г розчинили в довільному об'ємі води і відтитрували розчином калій манганату(VII), витративши на це $24,56\text{ см}^3$ розчину KMnO_4 . Розрахувати: титр розчину калій манганату(VII), молярну концентрацію речовини еквівалента калій манганату(VII) у розчині, поправочний коефіцієнт до молярної концентрації речовини еквівалента калій манганату(VII) у розчині $0,1000\text{ моль/дм}^3$.

В: $0,003099\text{ г/см}^3$; $0,09805\text{ моль/дм}^3$; 0,9805.

8. Для стандартизації розчину калій манганату(VII) взяли наважку речовини оксалатна кислота-вода(1/2) 1,5022 г і помістили в мірну колбу місткістю $200,0\text{ см}^3$. На титрування $20,00\text{ см}^3$ цього розчину витрачено в середньому $23,66\text{ см}^3$ розчину калій манганату(VII). Розрахувати: молярну концентрацію речовини еквівалента калій манганату(VII) у розчині, титр розчину калій манганату(VII), титр розчину калій манганату(VII) за гідроген пероксидом – $T(\text{KMnO}_4/\text{H}_2\text{O}_2)$ і поправочний коефіцієнт до молярної концентрації речовини еквівалента калій манганату(VII) у розчині $0,1000\text{ моль/дм}^3$.

В: $0,1007\text{ моль/дм}^3$; $0,003183\text{ г/см}^3$; $0,001712\text{ г/см}^3$; 1,007.

9. Для встановлення молярної концентрації речовини еквівалента калій манганату(VII) у розчині взяли дві наважки речовини діамоній оксалат-вода(1/1) – $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0,1600 г і 0,1802 г, розчинили кожну в довільному об'ємі води і відтитрували розчином калій манганату(VII). На титрування першої наважки витрачено $23,52\text{ см}^3$ розчину калій

манганату(VII), а на титрування другої – 25,22 см³. Визначити титр розчину і молярну концентрацію речовини еквівалента калій манганату(VII) у розчині, взявши середні дані з двох визначень.

В: 0,09814 моль/дм³; 0,003102 г/см³.

10. Обчислити наважку технічного натрій сульфату(IV) – Na₂SO₃ за такими даними: масова частка речовини натрій сульфату(IV) в зразку дорівнює 46,00 %, місткість мірної колби 250,0 см³, для титрування беруть 25,00 см³ його розчину і бюретку місткістю 50,00 см³ заповнюють 0,05200 н. розчином калій манганату(VII).

В: 1,781 г.

11. Розрахувати наважку залізної руди, яку необхідно взяти для аналізу на визначення вмісту феруму, якщо масова частка феруму в руді дорівнює близько 50 % і на титрування витрачається 20,00 см³ 0,1000 н. розчину калій манганату(VII).

В: 0,22 г.

12. Наважку залізної дротинки розчинили в сульфатній кислоті, а після відновили. На титрування всього розчину витрачено 42,33 см³ 0,05795 н. розчину калій манганату(VII). Обчислити масу феруму в розчині.

В: 0,1370 г.

13. Наважку залізної руди 0,2500 г розчинили в суміші кислот (H₂SO₄ і H₃PO₄) і відтитрували, витративши на це 28,05 см³ 0,09956 н. розчину калій манганату(VII). Обчислити масову частку (у %) ферум(III) оксиду – Fe₂O₃ у руді.

В: 89,21%.

14. Наважку сталі 0,2500 г, що містить 0,090% мангану, розчинили в суміші кислот (H₃PO₄, і H₂SO₄), додали розчин амоній оксопероксодисульфату – (NH₄)₂S₂O₈ і аргентум нітрату і прокип'ятили до припинення виділення газу. До цього розчину додали 25,00 см³ 0,1000 М розчину ферум(II) сульфату. Надлишок Fe²⁺-іонів відтитрували 0,08330 н. розчином калій манганату(VII). Який об'єм розчину калій манганату(VII) необхідний для титрування?

В: 29,91 см³.

15. У мірній колбі місткістю 200,0 см³ розчинили 7,1506 г технічного залізного купоросу. На титрування 20,00 см³ одержаного розчину витратили 19,62 см³ 0,09830 н. розчину калій манганату(VII). Обчислити масову частку (у %) FeSO₄·7H₂O у зразку.

В: 74,96%.

16. На титрування 25,00 см³ розчину, одержаного при розчиненні 3,6769 г технічного натрій сульфат(IV)-вода(1/7) – Na₂SO₃·7H₂O в мірній колбі місткістю 250,0 см³, витратили 24,00 см³ розчину калій манганату(VII) з титром розчину калій манганату(VII) за ферумом – T(KMnO₄/Fe) 0,005588 г/см³. Обчислити масову частку (у %) речовини Na₂SO₃·7H₂O.

В: 82,29 %.

17. Обчислити масову частку (у %) речовини гідроген пероксиду, який міститься в 5,0000 г пергідролу, якщо цю наважку розчинили в мірній колбі місткістю 500,0 см³ і 25,00 см³ одержаного розчину відтитрували 37,42 см³ 0,1142 н. розчину калій манганату(VII).

В: 29,07 %.

18. Наважку піролюзиту 0,4200 г розчинили в 50,00 см³ 0,2000 н. розчину діамоній оксалат-вода(1/2) – (NH₄)₂C₂O₄·H₂O (підкисленого сульфатною кислотою), надлишок якого

відтитрували 20,60 см³ 0,1200 н. розчину калій манганату(VII). Обчислити вміст (у %) манган діоксиду – MnO₂ в піролюзиті.

В: 77,90%.

19. Визначити масу речовини кальцій дихлориду у розчині, якщо відомо, що до 25,00 см³ розчину кальцій дихлориду – CaCl₂ додали 40,00 см³ 0,1005 н. розчину діамоній оксалат-вода(1/1) – (NH₄)₂C₂O₄ · H₂O, отриманий осад відфільтрували, промили льодяною водою, а фільтрат (залишок (NH₄)₂C₂O₄ · H₂O) відтитрували 15,00 см³ 0,02000 н. розчину калій манганату(VII).

В: 0,2065 г.

20. Для визначення титру розчину калій манганату(VII) за хромом взяли сталь масою 1,0000 г з масовою часткою хрому 2,12 %. Стальні стружки розчинили в суміші кислот, Хром окиснили амоній оксопероксодисульфатом – (NH₄)₂S₂O₈, нагріли до припинення виділення газу. Після охолодження додали 25,00 см³ розчину солі Мора – (NH₄)₂SO₄·FeSO₄·6H₂O. Залишок цієї солі відтитрували 10,12 см³ розчину калій манганату(VII). Співвідношення між об'ємами розчинів калій манганату(VII) і сіллю Мора дорівнює 24:25. Розрахувати титр розчину калій манганату(VII) за хромом – $T(\text{KMnO}_4/\text{Cr})$.

В: 0,001528 г/см³.

21. (957С) Наважку 0,1025 г солі калій хлорату(V) – KClO₃ з масовою часткою активного кисню 35,0 % обробили 0,1000 М розчином ферум(II) сульфату. На окиснення залишку ферум(II) сульфату витратили 5,06 см³ розчину калій манганату(VII), який має титр за киснем – $T(\text{KMnO}_4/\text{O})$, рівний 0,000812 г/см³. Обчислити об'єм розчину ферум(II) сульфату, який взяли для аналізу.

В: 50,00 см³.

22. Наважку піролюзиту 0,3266 г розчинили в суміші сульфатної(VI) кислоти і розчину речовини оксалатна кислота-вода(1/2) – H₂C₂O₄ · 2H₂O, що містить 3,0525 г кристалогідрату оксалатної кислоти. Потім цю суміш перенесли в мірну колбу місткістю 200,0 см³, довели об'єм водою до риски і перемішали. При титруванні 20,00 см³ приготовленого розчину витрачено 19,32 см³ 0,2242 н. розчину калій манганату(VII). Обчислити масову частку (у %) MnO₂ в зразку.

В: 67,94 %.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №1

Тема: “Стандартизація розчину калій тетраоксоманганату(VII) за розчином оксалатної кислоти з молярною концентрацією речовини еквівалента H₂C₂O₄·2H₂O 0,05000 моль/дм³, що виготовлений із фіксаналу (або за точною наважкою)”

Мета: навчитися стандартизувати робочий розчин калій тетраоксоманганату(VII) методом піпеткування.

Лабораторне обладнання і реактиви (для робіт №1, №2, №3): штатив Бунзена, бюретка з краником, аліквотна піпетка об'ємом 5,00; 10,00 або 15,00 см³, лійка, мірні колби об'ємом 100,0, 250,0 см³ і 2 дм³, циліндри об'ємом 25, 50, 100 см³, конічні колби для титрування (300,0 см³), банки для зливання, бюкс, промивалка, технічні й аналітичні терези, електроплитка, банки для зливання, розчин калій тетраоксоманганату(VII) ($c(1/5\text{KMnO}_4) \approx 0,05$ моль/дм³), оксалатна кислота марки „х.ч.” або фіксанал, сіль Мора, розчин сульфатної кислоти ($c(1/2\text{H}_2\text{SO}_4) = 2$ моль/дм³), кислотна суміш (фосфатної і

сульфатної (VI) кислот), 1% розчин дифеніламіну в сульфатній кислоті, фіксанал дикалій дихромату.

Порядок виконання роботи

I. Приготування стандартного розчину оксалатної кислоти об'ємом 100,0 см³ із молярною концентрацією речовини еквівалента $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0,05000 моль/дм³.

1.1. Складання рівняння реакції взаємодії оксалатної кислоти з калій перманганатом у кислому середовищі (H_2SO_4) йонно-електронним методом.

1.2. Визначення факторів еквівалентності речовин оксалатної кислоти і калій перманганату.

1.3. Визначення молярних мас речовин еквівалентів оксалатної кислоти і калій перманганату.

1.4. Розрахунок наважки оксалатної кислоти для приготування розчину об'ємом 100,0 см³.

$m(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = \text{_____} = \text{_____} = \text{_____}, \text{ г.}$

1.5. Взяття наважки оксалатної кислоти:

маса бюксу з речовиною , Г

маса порожнього бюксу , Г

наважка $m(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})_{\text{факт.}}$, Г

1.6. Приготування розчину оксалатної кислоти.

Наважку переносимо в мірну колбу об'ємом 100,0 см³, розчиняємо спочатку в невеликій кількості води, потім доводимо водою до риски. Перемішуємо.

1.7. Розрахунок характеристик стандартного розчину оксалатної кислоти.

$T(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = \text{_____} = \text{_____} = \text{_____}, \text{ г/см}^3.$

$c(1/2 \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})_{\text{факт.}} = \text{_____} = \text{_____} = \text{_____}, \text{ моль/дм}^3.$

$K(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = \text{_____} = \text{_____} = \text{_____}.$

II. Встановлення молярної концентрації речовини еквівалента калій тетраоксоманганату(VII), титру та поправочного коефіцієнту за стандартним розчином оксалатної кислоти методом піпеткування.

2.1. Титрування стандартного розчину оксалатної кислоти розчином калій тетраоксоманганату(VII).

У бюретку з краником: розчин калій тетраоксоманганату(VII).

У колбу для титрування: аліквотний об'єм оксалатної кислоти (відміряємо аліквотною піпеткою), $V^a(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = 5,00 \text{ см}^3$.

Розчин сульфатної кислоти, відміряний циліндром, $V(\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ розч.}) = 5 \text{ см}^3$.

Нагріваємо колбу з розчином на плитці до температури $\approx 70\text{--}80^\circ\text{C}$.

Результати титрування:

I титрування $V(\text{KMnO}_4)$, см^3

II титрування....., см^3

III титрування....., см^3

$\bar{V}(\text{KMnO}_4)$, см^3

2.2. Розрахунок характеристик стандартизованого розчину калій тетраоксоманганату(VII):

$c(1/5 \text{ KMnO}_4)_{\text{прат.}} = \text{-----} = \text{-----} = \text{-----}, \text{ моль/дм}^3$.

$T(\text{KMnO}_4) = \text{-----} = \text{-----} = \text{-----}, \text{ г/см}^3$.

$K(\text{KMnO}_4) = \text{-----} = \text{-----} = \text{-----}$.

Висновок:

Примітка: Кожен мірний посуд (бюретка, піпетка, мірна колба) має систематичну похибку, зумовлену неправильним градуванням приладів (інструментальну систематичну похибку), яка була допущена при градуванні мірного посуду під час його виготовлення. Систематичні похибки постійні за знаком і величиною в усіх вимірюваннях. Тому грамотний аналітик має свій набір мірного посуду, систематичні похибки якого оцінені заздалегідь, і вводить відповідні поправки на вимірювання об'ємів.

Якщо систематичні похибки невідомі, то можна поставити експеримент таким чином, щоб перевести систематичні похибки у випадкові. Величину випадкової похибки можна оцінити статистичною обробкою експериментальних даних.

Випадкова похибка результату хімічного аналізу не постійна за величиною і за знаком. Систематичні похибки, які обумовлені не зовсім правильними показами вимірювання об'єму бюретками і піпетками, переходять у випадкові, якщо проводити паралельні титрування за допомогою різних бюреток і вимірювати аліквотні об'єми різними піпетками. Прийом, який дозволяє перевести систематичні похибки у випадкові, називається *рандомізацією* систематичних похибок (англ. *random* – випадково). У нашому прикладі це буде двофакторна рандомізація (у випадкові похибки переводять систематичні похибки бюреток і піпеток). А

якщо титрування буде проводитися різними студентами, то систематична похибка кожного експериментатора на сприйняття зміни забарвлення розчину, який титрують, також набуде характеру випадкової і будемо мати трифакторну рандомізацію.

Тому стандартизацію розчину калій перманганату за оксалатною кислотою можна провести таким чином. Кожен студент проводить одне титрування, використовуючи свою бюретку і піпетку, розраховує нормальну концентрацію розчину KMnO_4 і результати, отримані всіма студентами, обробляються статистично.

Статистично можна обробляти як паралельно виміряні величини (значення маси, об'єму, показів приладу), так і кінцеві результати аналізу.

Під час обробки даних експерименту розраховують $\bar{x}$ (середнє значення $c(1/5 \text{ KMnO}_4)$)

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n},$$

де n – кількість титрувань,

і відтворюваність методу аналізу, яку характеризують стандартним відхиленням s

$$s = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n - 1}}.$$

Крім того, результати аналізу характеризують довірчим інтервалом для середнього значення $\pm \Delta \bar{x}$ ($\pm \Delta c(1/5 \text{ KMnO}_4)$), його можна вважати випадковою похибкою середнього значення:

$$\pm \Delta \bar{x} = \frac{t \cdot s}{\sqrt{n}},$$

де t - коефіцієнт Стюдента.

Значення t (коефіцієнта Стюдента) знаходять за таблицею додатку 7, величина його залежить як від заданої довірчої ймовірності P , так і від числа паралельних визначень n . У хімічному аналізі, як правило, задають довірчу ймовірність 0,95.

Далі розраховують інтервальні межі визначуваної величини. Вони обмежують область, якій при заданій довірчій ймовірності належить дійсне значення. Цей інтервал (цю область) можна розрахувати, користуючись формулою:

$$\bar{x} \pm \frac{t \cdot s}{\sqrt{n}}.$$

Результати статистичної обробки зводимо у табл. 1.

Таблиця 1

Експериментальні дані стандартизації розчину KMnO_4 за оксалатною кислотою та їх статистична обробка

x_i $c(1/5 \text{ KMnO}_4)$	n	$\bar{x}$	s	$\frac{t \cdot s}{\sqrt{n}}$	$\bar{x} \pm \frac{t \cdot s}{\sqrt{n}}$

ПРАКТИЧНА РОБОТА №2

Тема: „Визначення вмісту (%) Fe^{2+} -іонів у солі Мора методом перманганатометрії”

Мета: порівняти отриманий практичний результат масової частки Fe^{2+} -іонів у солі Мора з теоретичним.

Порядок виконання роботи

I. Приготування розчину солі Мора об'ємом 250,0 см³.

$(c(f_{\text{екв.}}(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) \approx 0,05 \text{ моль/дм}^3)$.

1.1. Складання рівняння реакції взаємодії перманганат-іону з Fe^{2+} -іоном у кислому середовищі йонно-електронним методом.

1.2. Визначення факторів еквівалентності речовин солі Мора і калій перманганату.

1.3. Визначення молярних мас речовин еквівалентів солі Мора і калій перманганату.

1.4. Розрахунок наважки солі Мора для приготування розчину об'ємом 250,0 см³
($c(f_{\text{екв.}}(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) \approx 0,05 \text{ моль/дм}^3$).

$m((\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O})) = \text{_____} =$

$= \text{_____} = \text{_____}, \text{ г.}$

1.5. Взяття наважки солі Мора:

маса бюксу з речовиною , г

маса порожньої бюкси , г

наважка $m((\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O})$, г

1.6. Розчинення наважки.

У мірну колбу об'ємом 250,0 см³ поміщаємо 75–100 см³ розчину сульфатної(VI) кислоти ($c(1/2\text{H}_2\text{SO}_4) = 2 \text{ моль/дм}^3$) (відміряємо циліндром), переносимо наважку солі Мора, доводимо водою до мітки, ретельно перемішуємо.

Вказати, для чого додається кислота?

II. Аналіз солі Мора.

2.1. Титрування розчину солі Мора.

У бюретку з краником: розчин калій тетраоксоманганату(VII).

У колбу для титрування: аліквотний об'єм солі Мора,

V^a (солі Мора) = 5,00 см³ (відміряємо аліквотною піпеткою).

Розчин сульфатної кислоти, відміряний циліндром, $V(\text{H}_2\text{SO}_4) = 5-7$ см³.

Результати титрування:

I титрування $V(\text{KMnO}_4)$, см³

II титрування....., см³

III титрування....., см³

$\bar{V}(\text{KMnO}_4)$, см³

2.2. Розрахунок масової частки Fe^{2+} -іонів у солі Мора за результатами титрування:

а) рівняння матеріального балансу за кількістю речовин еквівалентів:

$$n(\text{Fe}^{2+}) = n(1/5 \text{ KMnO}_4).$$

$$\frac{m(\text{Fe}^{2+})_{\text{в аліквоті}}}{M(\text{Fe}^{2+})} = \frac{c(1/5 \text{ KMnO}_4) \cdot V(\text{KMnO}_4)}{1000}.$$

$$m(\text{Fe}^{2+})_{\text{в аліквоті}} = \text{_____} = \text{_____}, \text{ г.}$$

$$\text{б) } m(\text{Fe}^{2+})_{\text{у наважці}} = m(\text{Fe}^{2+})_{\text{в аліквоті}} \cdot \frac{V_{\text{м.к.}}}{V^a(\text{солі Мора})}.$$

$$m(\text{Fe}^{2+})_{\text{у наважці}} = \text{_____}, \text{ г.}$$

$$\text{в) } w(\%)(\text{Fe}^{2+})_{\text{практ.}} = \text{_____} \cdot 100 = \text{_____} \cdot 100 = \text{_____}.$$

III. Розрахунок теоретичного вмісту (%) Fe^{2+} -іонів у солі Мора.

$$w(\%)(\text{Fe}^{2+})_{\text{теор.}} = \text{_____}.$$

Висновок: порівняти одержаний практичний результат масової частки Fe^{2+} -іонів у солі Мора з теоретичним і зробити висновок про якість препарату.

!!! Розчин солі Мора зберігати до роботи з теми „Дихроматометрія”.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №3

Тема: „Визначення масової частки (%) Fe^{2+} -іонів у солі Мора методом дихроматометрії”

Мета: встановити вміст (%) Fe^{2+} -іонів у солі Мора методом дихроматометрії, порівняти результати аналізу вмісту Fe^{2+} -іонів у солі Мора методом дихроматометрії та перманганатометрії.

Порядок виконання роботи

1. Для роботи використовуємо розчин солі Мора, який приготували в роботі 2.

$$m((\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) = \dots\dots\dots, \text{ г} \quad V_{\text{м.к.}} = \dots\dots\dots, \text{ см}^3.$$

2. Приготування розчину дикалій дихромату з фіксаналу з молярною концентрацією речовини еквівалента $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 0,05000 моль/дм³.

3. Складання рівняння реакції взаємодії Fe^{2+} -іону з $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ -іоном у кислому середовищі йонно-електронним методом.

4. Визначення факторів еквівалентності речовин солі Мора і дикалій дихромату.

5. Визначення молярних мас еквівалентів речовин солі Мора і дикалій дихромату.

6. Розрахунок титру стандартного розчину дикалій дихромату ($T(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)$) і титру стандартного розчину дикалій дихромату за Fe^{2+} -іоном ($T(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7/\text{Fe}^{2+})$).

$$T(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots, \text{ г/см}^3.$$

$$T(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7/\text{Fe}^{2+}) = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots, \text{ г/см}^3.$$

7. Титрування розчину солі Мора.

У бюретку: розчин дикалій дихромату, приготовлений із фіксаналу.

У колбу для титрування :

V^a (розчину солі Мора) = 5,00 см³ (відміряємо аліквотною піпеткою).

V (кислотної суміші $\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$) = 8 см³ (відміряємо циліндром).

1–2 краплі 1%-ного розчину дифеніламіну в сульфатній кислоті.

Зміна забарвлення розчину в процесі титрування – від зеленого до синьо-фіолетового. Зелене забарвлення розчину, який титрують, обумовлене накопиченням Cr^{3+} -іонів. Для послаблення зеленого забарвлення бажано розчин, що титрують, розбавляти водою.

Результати титрування:

I титрування $V(K_2Cr_2O_7)$, см³

II титрування, см³

III титрування, см³

$\bar{V}(K_2Cr_2O_7)$, см³.

8. Розрахунок масової частки (%) Fe^{2+} -іонів у солі Мора за результатами титрування:

$m(Fe^{2+})_{\text{в аліквоті}} = T(K_2Cr_2O_7/Fe^{2+}) \cdot V(K_2Cr_2O_7 \text{ розч.}) =$, г.

$m(Fe^{2+})_{\text{в мірній колбі}} =$, г.

$w(\%)(Fe^{2+})_{\text{прат.}} = \text{-----} \cdot 100 = \text{-----} \cdot 100 =$.

Висновок:

Порівняти результати перманганатометричного і дихроматометричного визначення вмісту Fe^{2+} -іонів у солі Мора.

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ №9

Тема: „Методи окисно-відновного титрування. Йодометрія”

Мета: ознайомитися з методом йодометрії та його практичним застосуванням. Закріпити знання про стандартизацію робочих розчинів у йодометрії та визначити вміст(%) купрум(II) сульфат-води(1/5) у зразку мідного купоросу.

План заняття

I. Перевірка знань теоретичного матеріалу:

1. Загальна характеристика йодометрії.
2. Робочі розчини в йодометрії та їх стандартизація.
3. Визначення окисників, відновників та кислот у йодометрії. Способи титрування.
4. Джерела помилок у йодометрії.
5. Приготування стандартного розчину йоду. Приготування розчину динатрій тіосульфат-вода (1/5) та встановлення його титру за дикалій дихроматом.
6. Методика визначення вмісту (%) купрум сульфат-вода(1/5) у зразку мідного купоросу марки „ч.” і порівняння з даними Держстандарту.
7. Розгляд вправ.

II. Практична частина:

2.1. Робота №1: „Приготування розчину динатрій тіосульфат-вода(1/5) із молярною концентрацією речовини еквівалента $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O} \approx 0,05$ моль/дм³ та його стандартизація за 0,05000 н. розчином дикалій дихромату, що виготовлений із фіксаналу”.

2.2. Робота №2: „Визначення вмісту (%) купрум сульфат-вода (1/5) у зразку мідного купоросу марки «ч.» і порівняння з даними Держстандарту”.

III. Контрольна робота з теми „Методи окисно-відновного титрування”.

Повторити матеріал лекцій із тем:

„Загальна характеристика методів окисно-відновного титрування”.

„Особливості реакцій окиснення-відновлення, які ускладнюють їх використання в титриметричному аналізі. Способи усунення цих недоліків”.

„Криві окисно-відновного титрування. Залежність стрибка титрування від різних факторів”.

„Способи фіксування точки еквівалентності в окисно-відновному титруванні”.

„Перманганатометрія”.

„Дихроматометрія”.

„Йодометрія”.

Завдання для самостійної роботи:

1. Опрацювати лекційний матеріал з теми „Йодометрія” [6].
2. Робота з підручником: [2, с. 279–300].
3. Дати відповіді на контрольні питання з теми: „Йодометрія”.
4. Опрацювати тестові завдання з теми: „Йодометрія” [7].
5. Розв’язати задачі відповідно варіанту.
6. Оформити в робочому зошиті розрахунки для виконання практичних робіт №1 і №2 (рівняння реакцій, розрахунки факторів еквівалентності і молярних мас речовин еквівалентів, розрахунки наважок речовин).

Варіанти задач для самостійного розв’язування з теми: „Йодометрія”

№ варіанту	Збірник задач		№ варіанту	Збірник задач	
	Лаб. практ. [10]			Лаб. практ. [10]	
1	1	11	8	8	18
2	2	12	9	9	19
3	3	13	10	10	20
4	4	14	11	2	21
5	5	15	12	1	22
6	6	16	13	5	23
7	7	17	14	6	11

Задачі для самостійного розв’язування

1. Наважку дикалій дихромату – $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 1,200 г розчинили в мірній колбі місткістю 250,0 см³. До 25,00 см³ цього розчину додали калій йодиду і хлоридну кислоту. На титрування утвореного йоду витрачено 22,86 см³ розчину динатрій тіосульфат-вода(1/5) – $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Обчислити молярну концентрацію речовини динатрій тіосульфат-вода(1/5) в розчині і його титр за йодом.

В: 0,1071 моль/дм³; 0,01360 г/см³.

2. До підкисленого розчину гідроген пероксиду – H_2O_2 додали надлишок розчину калій йодиду і кілька крапель розчину амоній молібдату(VI) (як каталізатора). На титрування утвореного йоду витратили 22,40 см³ 0,1012 М розчину динатрій тіосульфат-вода(1/5) – $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Яка маса гідроген пероксиду була в розчині?

В: 0,03855 г.

3. Наважку манганової руди 0,2060 г обробили концентрованою хлоридною кислотою. Хлор, який утворився за нагрівання під час реакції, поглинули розчином калій йодиду. На титрування виділеного йоду витратили 42,52 см³ 0,05200 М розчину динатрій тіосульфат-вода(1/5) – $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Обчислити масову частку (у %) манган(IV) оксиду – MnO_2 в досліджуваній руді.

В: 46,66%.

4. Який об'єм хлорної води з масовою часткою речовини активного хлору 2,00 % необхідно взяти, щоб на титрування її після додавання калій йодиду і хлоридної кислоти витратити 30,00 см³ розчину динатрій тіосульфат-вода(1/5) – $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ з титром – $T(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O})$ 0,02500 г/см³?

В: 5,36 см³.

5. Наважку сталі 2,0000 г спалили в електричній печі у струмені кисню. Утворений при цьому сульфур(IV) оксид – SO_2 поглинули водою і відтитрували 3,36 см³ 0,01126 н. розчину йоду. Визначити масову частку (у %) сульфуру у сталі.

В: 0,0303%.

6. Який об'єм гідроген пероксиду, одержаний шляхом розведення в 10 разів гідроген пероксиду з масовою часткою речовини H_2O_2 3,0% треба взяти, щоб на титрування його після додавання калій йодиду і сульфатної кислоти було витрачено 25,00 см³ 0,1500 М розчину динатрій тіосульфат-вода(1/5) – $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$?

В: 21,25 см³.

7. До 20,00 см³ підкисленого розчину гідроген сульфідної води додали 50 см³ 0,1200 н. розчину йоду. Залишок йоду відтитрували 30,00 см³ 0,1000 М розчину динатрій тіосульфат-вода(1/5) – $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, що має $K = 0,9522$. Визначити масову частку (у %) гідроген сульфід у розчині.

В: 0,266%.

8. Визначити масову частку (у %) натрій сульфід у зразку, якщо наважку 4,2000 г розчинили в мірній колбі місткістю 500,0 см³ і до 25,00 см³ його долили 50,00 см³ 0,2000 н. розчину йоду. Залишок йоду відтитрували 46,06 см³ 0,1000 М розчину динатрій тіосульфат-вода(1/5) – $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, що має $K = 1,234$.

В: 80,20%.

9. На титрування сульфур(IV) оксиду, одержаного спалюванням нормалі (зразок сталі з точно визначеним вмістом сульфуру) масою 1,0000 г і вмістом сульфуру в ній 0,030 % витрачено 17,00 см³ розчину йоду. Визначити масу сульфуру в аналізованому зразку сталі масою 0,9500 г, якщо на титрування витрачено 12,06 см³ розчину йоду.

В: 0,00024 г

10. Визначити титр розчину йоду за сульфуром, якщо на титрування витрачено 7,82 см³ розчину йоду; наважка нормалі зі вмістом сульфуру 0,020 % дорівнює 0,8530 г.

В: 0,00002182 г/см³.

11. Для аналізу зразку натрій тіосульфату на вміст основного продукту наважку 15,9800 г розчинили в мірній колбі місткістю 500,0 см³. На титрування 25,00 см³ одержаного розчину витрачено 30,60 см³ 0,1000 н. розчину йоду, що має $K = 0.9780$. Обчислити масову частку (у %) динатрій тіосульфат-вода(1/5) – $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ у зразку.

В: 92,96%.

12. Наважку натрій сульфідіду 0,9432 г розчинили в мірній колбі місткістю 200,0 см³. На титрування 20,00 см³ цього розчину витрачено 15,42 см³ 0,1000 н. розчину йоду ($K = 1,2040$). Обчислити масову частку (у %) натрій сульфідіду у зразку.

В: 76,82%.

13. Наважку натрій сульфату(IV) 7,3460 г розчинили в мірній колбі місткістю 1000 см³. Одержаним розчином відтитровано 20,00 см³ 0,05140 н. розчину йоду. На це витрачено 23,15 см³ аналізованого розчину натрій сульфату(IV). Обчислити масову частку (у %) натрій сульфату(IV) – Na_2SO_3 у зразку.

В: 38,10%.

14. Наважку натрій тіосульфату 1,4460 г розчинили в мірній колбі місткістю 500,0 см³. Отриманим розчином відтитрували 20,00 см³ 0,01000 н. розчину йоду, що має $K = 1,025$). На це витрачено 18.95 см³ розчину динатрій тіосульфат-вода(1/5) – $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Обчислити масову частку динатрій тіосульфат-вода(1/5) у зразку.

В: 92,84%.

15. Наважку ферум(III) хлориду – FeCl_3 4,8900 г розчинили в мірній колбі місткістю 250,0 см³. 25,00 см³ цього розчину обробили в кислому середовищі калій йодидом і відтитрували 32,10 см³ 0,1000 *M* розчину динатрій тіосульфат-вода(1/5) ($K = 0,9230$). Обчислити масову частку (у %) ферум(III) хлориду у зразку.

В: 98,29%.

16. Для аналізу йоду, що містить нерозчинні домішки, наважку його 1,6220 г розчинили в мірній колбі місткістю 250,0 см³. На титрування 25,00 см³ одержаного розчину витрачено 19,95 см³ 0,05000 *M* розчину динатрій тіосульфат-вода(1/5) ($K = 1,050$). Обчислити масову частку (у %) йоду у зразку.

В: 81,94%.

17. Наважка білильного вапна 3,3580 г розведена в мірній колбі місткістю 250,0 см³. На титрування 25,00 см³ одержаної суспензії після додавання до розчину хлоридної кислоти і калій йодиду витрачається 17,74 см³ 0,1000 *M* розчину динатрій тіосульфат-вода(1/5) ($K = 0,9882$). Обчислити масову частку (у %) активного хлору у зразку.

В: 18,51%.

18. Наважка білильного вапна 3,3590 г розведена в мірній колбі місткістю 250,0 см³. На титрування 25,00 см³ одержаної суспензії після додавання до розчину хлоридної кислоти і калій йодиду витрачається 18,29 см³ розчину динатрій тіосульфат-вода(1/5) з титром 0,02453 г/см³. Обчислити масову частку (у %) активного хлору у зразку.

В: 19,08%.

19. Наважку натрій сульфату(IV) 0,3595 г розчинили в довільному об'ємі води. Одержаний розчин відтитрували 28,65 см³ робочого розчину йоду з титром 0,01142 г/см³. Обчислити масову частку (у %) $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ у зразку.

В: 90,42%.

20. Наважку натрій сульфід $0,0902$ г розчинили в довільному об'ємі води. Одержаний розчин відтитрували $18,20$ см³ робочого розчину йоду з титром $0,01320$ г/см³. Обчислити масову частку (у %) натрій сульфід – Na_2S у зразку.

В: 81,90%.

21. Наважку білильного вапна $0,2608$ г після обробки хлоридною кислотою і калій йодидом відтитрували $25,95$ см³ $0,1000$ М розчину динатрій тіосульфат-вода(1/5) ($K = 1,0020$). Обчислити масову частку (у %) активного хлору у зразку.

В: 35,34%.

22. Наважку хром(VI) оксиду – CrO_3 масою $0,1254$ г розчинили в воді, додали хлоридну кислоту і калій йодид. Виділений йод відтитрували $24,85$ см³ $0,1000$ М розчину динатрій тіосульфат-вода(1/5) ($K = 0,9978$). Обчислити масову частку (у %) хром(VI) оксиду у зразку.

В: 65,90%.

23. На титрування йоду, що виділився з наважки $0,2110$ г натрій гіпохлориту – NaClO марки «Т», використано $19,50$ см³ розчину динатрій тіосульфат-вода(1/5) з титром за йодом – T ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}/\text{I}_2$), рівним $0,01273$ г/см³. Обчислити масову частку (у %) хлору у зразку.

В: 32,87%.

Контрольні питання з теми „Йодометрія”

1. Поясніть окисно-відновну здатність пари $\text{I}_2/2\text{I}^{1-}$.
2. Чому в перманганатометрії та дихроматометрії використовують лише окиснені форми окисно-відновних пар $\text{MnO}_4^{1-}/\text{Mn}^{2+}$, $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}/2\text{Cr}^{3+}$, а в йодометрії можливе двояке використання окисно-відновних властивостей пари $\text{I}_2/2\text{I}^{1-}$?
3. Виходячи з положення пари $\text{I}_2/2\text{I}^{1-}$ в таблиці стандартних окисно-відновних потенціалів, вкажіть, які відновники можна окиснити йодом і які окисники можна відновити йодид-іоном.
4. Які розчини застосовують у йодометрії як стандартні робочі розчини?
5. Чому розчин калій йодиду не використовують як робочий стандартний розчин у йодометрії?
6. На чому ґрунтується індикаторна дія крохмалю в йодометрії?
7. Чому при прямому титруванні відновників розчином йоду крохмаль можна додавати на початку титрування, а при йодометричному визначенні відновників зворотним титруванням, а також окисників титруванням замісника крохмаль треба додавати в кінці титрування?
8. Опишіть способи приготування і умови зберігання робочого розчину йоду. Чому для титриметричних цілей йод розчиняють в розчині калій йодиду, а не у воді і не в спирті?
9. З якою метою при очистці кристалічного йоду до нього додають калій йодид і кальцій оксид?
10. За якою формулою обчислюють наважку йоду для приготування стандартного розчину?
11. Який вторинний стандартний розчин використовують для встановлення концентрації розчину йоду, якщо його готували з технічного йоду?
12. Чому неможливо приготувати стандартний розчин динатрій тіосульфату за точною наважкою? Які процеси відбуваються у водних розчинах динатрій тіосульфату при зберіганні? Напишіть рівняння відповідних реакцій.
13. Які речовини рекомендується додавати в розчин динатрій тіосульфату для стабілізації розчину?

14. Які первинні стандарти використовують при стандартизації розчину динатрій тіосульфату? Наведіть рівняння хімічних реакцій, вкажіть спосіб титрування та визначте молярні маси речовин еквівалентів окисників і відновника $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.
15. Наведіть графічні формули динатрій тіосульфату та динатрій тетрагідрогенфосфату.
16. Чому не можна стандартизувати розчин динатрій тіосульфату за дикалій дихроматом прямим титруванням?
17. Наведіть приклади визначення відновників методом йодометрії прямим і зворотним титруванням. Який спосіб титрування дає більш правильні результати? Визначте молярні маси речовин еквівалентів відновників.
18. Вкажіть умови визначення арсену(III) і арсену(V) методом йодометрії. Яке значення pH є оптимальним при визначенні арсену(V)? Як створюється необхідне значення pH?
19. Який спосіб визначення сульфат(IV)-іонів методом йодометрії дозволяє одержати надійні результати?
20. Який спосіб титрування застосовують при визначенні окисників методом йодометрії? Наведіть загальну схему йодометричного визначення окисників і рівняння матеріального балансу за кількістю речовин еквівалентів.
21. Який допоміжний розчин застосовують при визначенні окисників методом йодометрії?
22. Чому при визначенні окисників методом йодометрії необхідний надлишок калій йодиду? Чому великий надлишок кислоти при визначенні окисників у йодометрії шкідливий?
23. Наведіть приклади окисників, які визначають методом йодометрії. Напишіть рівняння реакцій і визначте молярні маси речовин еквівалентів окисників.
24. Чому визначення купрум(II)-іонів методом йодометрії проводять у слабкокислому середовищі? Чому дорівнює молярна маса речовини еквівалента купрум(II)-іону? Чому необхідний великий надлишок калій йодиду?
25. Як проводять аналіз білильного вапна на вміст активного хлору методом йодометрії? Що таке “активний хлор”?
26. Як проводять визначення вищих оксидів MnO_2 та PbO_2 методом йодометрії?
27. Приведіть рівняння реакцій, які лежать в основі йодометричного визначення Pb^{2+} -іону і визначте фактор еквівалентності Pb^{2+} -іону у цьому визначенні.
28. На чому ґрунтується визначення кислот у йодометрії? Чому дорівнює фактор еквівалентності одноосновної кислоти в цьому визначенні?
29. Назвіть джерела похибок в йодометрії.
30. Напишіть рівняння реакції диспропорціонування йоду при взаємодії з натрій гідроксидом або натрій карбонатом.
31. Визначення формальдегіду ґрунтується на окисненні його йодом у лужному середовищі:

$$\text{HCHO} + \text{I}_2 + 3\text{OH}^{1-} = \text{HCOO}^{1-} + 2\text{I}^{1-} + 2\text{H}_2\text{O}.$$

Чому залишок йоду відтитровують розчином динатрій тіосульфату вже у кислому середовищі?

Зразок завдань до контрольної роботи з теми: „Методи окисно-відновного титрування”

I. Теоретичний матеріал.

1. Особливості реакцій окиснення-відновлення, які ускладнюють їх використання в титриметричному аналізі. Способи усунення цих недоліків. Приклади.

2. Дихроматометрія. Загальна характеристика методу. Фіксування точки еквівалентності. Застосування методу.

II. Задача.

3. Для аналізу солі на вміст ферум(III) хлориду наважку солі масою 4,8900 г розчинили у воді в мірній колбі об'ємом 250,0 см³. 25,00 см³ цього розчину обробили в кислому середовищі калій йодидом. На титрування йоду, що виділився, витрачено стандартний розчин динатрій тіосульфат-вода(1/5) об'ємом 32,10 см³ із молярною концентрацією речовини еквівалента Na₂S₂O₃·5H₂O 0,1000 моль/дм³ ($K(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 0,9230$). Визначити масову частку (%) ферум(III) хлориду в зразку.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №1

Тема: “Приготування розчину динатрій тіосульфат-вода(1/5) із молярною концентрацією речовини еквівалента Na₂S₂O₃·5H₂O $\approx 0,05$ моль/дм³ та його стандартизація за 0,05000 н. розчином дикалій дихромату, що виготовлений із фіксаналу”

Мета: закріпити навички приготування розчинів заданої концентрації та їх стандартизації.

Лабораторне обладнання і реактиви (до практичних робіт №1 і №2): штатив Бунзена, бюретки, білий фон, конічні колби, мірна колба об'ємом 100,0 см³, піпетка, сушильна шафа, ексикатор, бюкс, технохімічні й аналітичні терези, банка для зливання, різноважки, 0,2% розчин крохмалю, розчин калій йодиду (10%), кристалічний динатрій тіосульфат-вода(1/5), розчин дикалій дихромату, що виготовлений із фіксаналу, зразок мідного купоросу, скляна пластинка.

Порядок виконання роботи

I. Приготування розчину динатрій тіосульфат-вода(1/5) із молярною концентрацією речовини еквівалента Na₂S₂O₃·5H₂O $\approx 0,05$ моль/дм³.

1.1. Складання рівняння реакції взаємодії тіосульфат-іону з йодом йонно-електронним методом.

1.2. Визначення факторів еквівалентності речовин динатрій тіосульфат-води(1/5) і йоду.

1.3. Визначення молярних мас речовин еквівалентів динатрій тіосульфат-води(1/5) і йоду.

1.4. Розрахунок наважки кристалогідрату динатрій тіосульфату для приготування розчину об'ємом 100,0 см³ із молярною концентрацією речовини еквівалента 0,05 моль/дм³.

$m(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = \text{-----} =$

$= \text{-----} =$, г.

1.5. Взяття наважки кристалогідрату динатрій тіосульфату.

маса бюксу з речовиною....., г

маса пустого бюксу....., г

наважка $m(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O})_{\text{практ.}}$, г

1.6. Розчинення наважки водою в мірній колбі об'ємом 100,0 см³.

II. Стандартизація розчину динатрій тіосульфат вода(1/5) за розчином дикалій дихромату, що виготовлений із фіксаналу, з молярною концентрацією речовини еквівалента 0,05000 моль/дм³, титруванням замісника.

2.1. Складання рівняння реакції взаємодії калій йодиду з дикалій дихроматом у кислому середовищі (H₂SO₄) йонно-електронним методом.

2.2. Визначення фактору еквівалентності речовини дикалій дихромату.

2.3. Визначення молярної маси речовини еквівалента дикалій дихромату.

2.4. Запис рівняння матеріального балансу для стандартизації розчину динатрій тіосульфат-вода(1/5) за розчином дикалій дихромату (титрування замісника).

2.5. Титрування.

У бюретку: стандартний розчин динатрій тіосульфат-вода(1/5). У колбу для титрування:

$V^a(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 5,00 \text{ см}^3$ (відміряємо аліквотною піпеткою).

$V(20\% \text{ H}_2\text{SO}_4) = 7 \text{ см}^3$ (відміряємо циліндром).

$V(10\% \text{ KI}) = 5 \text{ см}^3$ (відміряємо циліндром).

Закрити колбу склом і на 5–7 хвилин залишити в темному місці.

Йод, що виділився, відтитровуємо стандартним розчином динатрій тіосульфату до солом'яно-жовтого кольору, додаємо 3–5 крапель індикатора крохмалю і титруємо до зникнення синього забарвлення розчину. (Титрування можна проводити і без індикатора).

Результати титрування:

I титрування $V(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)$, см³

II титрування, см³

III титрування, см³

$$\bar{V}(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) \dots\dots\dots, \text{см}^3$$

2.6. Розрахунок характеристик робочого розчину динатрій тіосульфат-вода(1/5):

$$c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O})_{\text{практ.}} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots, \text{моль/дм}^3.$$

$$T(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots, \text{г/см}^3.$$

$$K(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots.$$

Висновок:

ПРАКТИЧНА РОБОТА №2

Тема: „Визначення вмісту (%) купрум(II) сульфат-вода(1/5) у мідному купоросі марки „ч.” і порівняння з даними Держстандарту.

Мета: встановити вміст(%) купрум(II) сульфату(1/5) у мідному купоросі марки „ч.” методом йодометрії.

Порядок виконання роботи

I. Приготування 100,0 см³ розчину купрум(II) сульфат-вода(1/5) із молярною концентрацією речовини еквіваленту 0,05 моль/дм³.

1.1. Складання рівняння реакції взаємодії купрум(II) сульфату з калій йодидом йонно-електронним методом.

1.2. Визначення фактору еквівалентності купрум(II) сульфат-вода(1/5).

1.3. Визначення молярної маси речовини еквівалента купрум(II) сульфат-вода(1/5).

1.4. Розрахунок наважки купрум(II) сульфат-вода(1/5) для приготування розчину об'ємом 100,0 см³ із молярною концентрацією речовини еквівалента 0,05 моль/дм³.

$$m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = \dots\dots\dots =$$

$$= \dots\dots\dots = \dots\dots\dots, \text{г.}$$

1.5. Взяття наважки мідного купоросу:

маса бюксу з речовиною....., г

маса порожнього бюксу....., г

наважка $m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})_{\text{практ.}}$, г

1.6. Приготування розчину:

У мірну колбу об'ємом 100,0 см³ переносимо наважку, розчиняємо в невеликій кількості води, доводимо до мітки водою, ретельно перемішуємо.

II. Визначення вмісту купрум(II) сульфат-вода(1/5) у зразку.

2.1. Титрування розчину купрум(II) сульфат-вода(1/5).

У бюретку: стандартний розчин динатрій тіосульфат-вода(1/5).

У колбу для титрування :

$V^a(\text{CuSO}_4 \text{ розч.}) = 5,00 \text{ см}^3$ (відміряємо аліквотною піпеткою).

$V(20\% \text{ H}_2\text{SO}_4) = 1,0 \text{ см}^3$ (відміряємо мірною пробіркою).

$V(10\% \text{ KI}) = 5,0 \text{ см}^3$ (відміряємо циліндром або мірною пробіркою).

Закрити колбу склом і на 5–7 хвилин залишити в темному місці.

Йод, що виділився, відтитровуємо стандартним розчином динатрій тіосульфату до солом'яно-жовтого кольору, додаємо 3–5 крапель індикатора крохмалю і титруємо до зникнення синього забарвлення розчину (титрування можна проводити і без індикатора).

Результати титрування:

I титрування $V(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)$, см³

II титрування, см³

III титрування, см³

$\bar{V}(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)$, см³

2.2. Розрахунок практично одержаної молярної концентрації купрум(II) сульфат-вода(1/5):

$$n(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = n(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}).$$

$$c(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) \cdot V(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ розч.}) = c(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})_{\text{прат.}} \cdot V^a(\text{CuSO}_4 \text{ розч.}).$$

$$c(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})_{\text{прат.}} = \frac{\quad}{\quad} = \frac{\quad}{\quad} = \quad, \text{ моль/дм}^3.$$

2.3. Розрахунок вмісту (%) купрум(II) сульфат-вода(1/5) в мідному купоросі марки „ч.” за результатами титрування.

$$m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})_{\text{прат.}} = \frac{\quad}{\quad} = \frac{\quad}{\quad} = \quad, \text{ г.}$$

$$w(\%)(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})_{\text{прат.}} = \frac{\quad}{\quad} \cdot 100 = \frac{\quad}{\quad} \cdot 100 = \quad.$$

Висновок: порівняти одержаний результат із даними Держстандарту. За Держстандартом препарат мідного купоросу марки „ч.” містить не менше 99 % основної речовини купрум(II) сульфат-води(1/5).

МЕТОДИ ОСАДЖУВАЛЬНОГО І КОМПЛЕКСОМЕТРИЧНОГО ТИТРУВАННЯ

МЕТОДИ ОСАДЖУВАЛЬНОГО ТИТРУВАННЯ

Ключові слова і терміни: добуток розчинності, осаджувальне титрування, криві осаджувального титрування, аргентометрія, метод рівномірного помутніння, метод титрування до точки просвітління, метод Мора, дикалій хромат, дробне осадження, пряме титрування, адсорбція, метод Фаянса-Ходакова, флуоресцеїн, дихлорфлуоресцеїн, еозин, тіоціанатометрія (метод Фольгарда), зворотне титрування, амонійнозалізні галуни, меркурометрія, дифенілкарбазон, ферум(III) тіоціанат.

Методи осаджувального титрування засновані на використанні при титруванні реакцій, в ході яких утворюються малорозчинні сполуки. Повнота зв'язування речовини титрантом визначається значенням величини добутку розчинності малорозчинної сполуки, яка утворюється при титруванні. Методів осаджувального титрування небагато, оскільки лише незначна кількість реакцій задовольняють вимогам до реакцій у титриметричному аналізі. Найчастіше використовуються такі методи:

1. *Аргентометрія* (робочим розчином є розчин аргентум нітрату).
2. *Тіоціанатометрія* (робочим розчином є розчин калій тіоціанату або амоній тіоціанату).
3. *Меркурометрія* (робочим розчином є розчин меркурій(I) нітрату).

Динаміку осаджувального титрування досліджують за допомогою кривих титрування, які дозволяють визначити можливість використання методу для аналізу та підібрати індикатор. При побудові кривих в осаджувальному титруванні по осі ординат відкладають концентрацію або фізико-хімічний параметр, пропорційний концентрації, а по осі абсцис – об'єм титранту (рис. 1). Розрахунок молярної концентрації при побудові кривих титрування виконують за тим принципом, що й при побудові кривих кислотно-основного титрування.

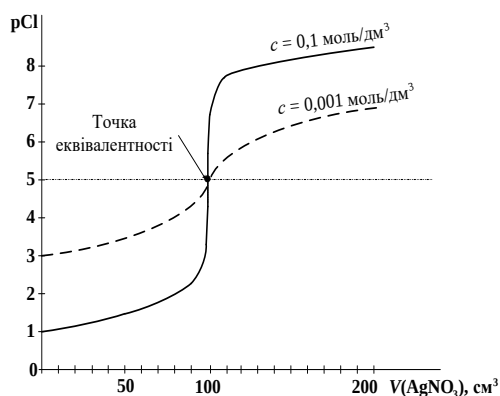


Рис. 1. Криві титрування розчину NaCl розчином AgNO₃

На стрибок титрування впливають *концентрації реагуючих речовин, розчинність осаду, температура.*

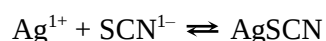
В осаджувальному титруванні використовують такі індикатори: дикалій хромат, флуоресцеїн, еозин, дихлорфлуоресцеїн, дифенілкарбазон, амонійнозалізні галуни (NH₄Fe(SO₄)₂·12H₂O), тіоціанатний комплекс феруму(III) [Fe(SCN)₃] тощо, що відрізняються за принципом дії.

В *аргентометрії* використовують як безіндикаторні методи фіксування кінцевої точки титрування (метод рівномірного помутніння і метод титрування до точки просвітління), так і

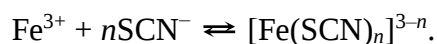
індикаторні методи (метод Мора, метод Фаянса-Ходакова). Як індикатор в методі Мора використовують розчин дикалій хромату(VI) (K_2CrO_4), застосування якого як індикатора засноване на *дробному осадженні*. Після осадження галогенід-іонів надлишкова крапля титранту (робочий розчин $AgNO_3$) реагує з індикатором K_2CrO_4 з утворенням *цегляно-червоного осаду* Ag_2CrO_4 . Метод Мора використовують для визначення хлорид- і бромід-іонів. Метод Фаянса-Ходакова заснований на прямому титруванні аніонів (*галогенід-, тіоціанат-іонів*) робочим розчином аргентум нітрату у присутності *адсорбційних індикаторів* (флуоресцеїн, еозин, дихлорфлуоресцеїн тощо). Осад, що утворюється при титруванні, адсорбує *аніони* деяких індикаторів-барвників, які при цьому забарвлюють осад. *Вважають, що електронна оболонка аніона барвника, адсорбованого на поверхні осаду, спотворюється, що призводить до зміни його забарвлення.*

Як індикатор в *тіоціанатометрії* (метод Фольгарда) використовують розчин *амонійнозалізних галунів* $NH_4[Fe(SO_4)_2] \cdot 12H_2O$, підкислений нітратною(V) кислотою для пригнічення гідролізу солі. Методом Фольгарда можна визначати Ag^{1+} , Hg^{2+} -іони – *прямим титруванням* робочим розчином $AgNO_3$ і аніони (Cl^{1-} , Br^{1-} , I^{1-} , SCN^{1-}) – *зворотним титруванням*. При зворотному титруванні використовують два титранта: *розчини аргентум нітрату й амоній тіоціанату (або калій тіоціанату).*

Механізм дії індикатора наступний: після осадження Ag^{1+} -іонів у вигляді білого осаду $AgSCN \downarrow$ за реакцією:



надлишкова крапля титранту (робочий розчин $AgNO_3$) реагує з індикатором – розчином *амонійнозалізних галунів* $NH_4[Fe(SO_4)_2] \cdot 12H_2O$ з утворенням розчинного червоного комплексу:



Меркурометричний метод аналізу заснований на утворенні малорозчинних солей *меркурію(I)* з хлорид-, бромід-, йодид-іонами. Титрантом в меркурометрії є розчин *меркурій(I) нітрат* $Hg_2(NO_3)_2$. Як індикатор використовують розчин *ферум(III) тіоціанату* або 1%-ний спиртовий розчин *дифенілкарбазону*.

Контрольні питання з теми „Методи осаджувального титрування”

1. Які вимоги повинні задовольняти реакції при їх використанні в осаджувальному титруванні? Навести приклади даних реакцій.
2. Які методи найчастіше використовуються в осаджувальному титруванні?
3. У яких координатах будують і за якими формулами розраховують криві титрування в осаджувальному титруванні? Розрахуйте криву титрування розчину натрій йодиду розчином аргентум нітрату, вкажіть стрибок титрування і точку еквівалентності на цій кривій.
4. Чи можна використовувати розчин дикалій хромату(VI) як індикатор при титруванні розчину натрій хлориду розчином аргентум нітрату? Підтвердити розрахунками.
5. Які фактори впливають на стрибок кривих осаджувального титрування? Охарактеризуйте їх.
6. Яким чином визначають індикаторні погрішності в осаджувальному титруванні? Від чого вони залежать?

7. Чи задовольняє речовина аргентум нітрат вимоги до стандартних речовин в титриметричному аналізі? Чому? Як готують стандартний розчин аргентум нітрату?
8. Поясніть суть безіндикаторних методів фіксування точки еквівалентності в аргентометрії, вкажіть їх переваги і недоліки.
9. Які індикаторні методи фіксування точки еквівалентності застосовують в аргентометрії?
10. На чому заснована дія індикаторів-реагентів та адсорбційних індикаторів? Назвіть приклади індикаторів-реагентів і адсорбційних індикаторів.
11. У чому полягає сутність методу Мора? Які умови титрування за методом Мора? Де він застосовується? Назвіть недоліки методу Мора.
12. У чому полягає сутність методу Фаянса-Ходакова? Які умови титрування за методом Фаянса-Ходакова? Де він використовується? Назвіть недоліки методу.
13. У чому полягає сутність тіоціанатометрії як методу осаджувального титрування? Які йони визначають за методом тіоціанатометрії і які способи титрування при цьому використовуються? Який принцип дії індикатора, що використовується в тіоціанатометрії?
14. Які робочі розчини використовують в тіоціанатометрії при прямому і зворотному титруванні?
15. Чи задовольняють речовини, з яких готують робочі розчини в тіоціанатометрії, вимоги до стандартних речовин? Як готують робочий розчин амоній тіоціанату?
16. Які особливості визначення йодид-, і хлорид-іонів в тіоціанатометрії? Назвіть переваги методу тіоціанатометрії порівняно з аргентометрією?
17. На чому засноване меркурометричне титрування? Які особливості приготування стандартного робочого розчину димеркурій нітрату?
18. Які індикатори використовують у меркурометрії? Які особливості їх використання?
19. Які умови титрування у меркурометрії? Назвіть основні переваги і недоліки цього методу?

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ №10

Тема: „Методи осаджувального титрування. Аргентометрія. Тіоціанатометрія”

Мета: ознайомитися із сутністю методів осаджувального титрування, їх класифікацією, особливостями та практичним застосуванням

План заняття

I. Перевірка знань теоретичного матеріалу:

1. Сутність і класифікація методів осаджувального титрування.
2. Аргентометрія. Робочий розчин та стандартні речовини в аргентометрії.
3. Способи фіксування точки еквівалентності в аргентометрії, їх переваги і недоліки.
4. Застосування аргентометрії.
5. Методика стандартизації робочого розчину аргентум нітрату за способом Мора.
6. Методика визначення вмісту хлорид-іонів у воді (мг/дм^3) за способом Мора.
7. Робочі розчини в тіоціанатометрії та їх стандартизація.
8. Індикатори в тіоціанатометрії.
9. Область застосування тіоціанатометрії.

10. Способи титрування.
11. Переваги тіоціанатометрії в порівнянні з аргентометрією.
12. Недоліки тіоціанатометрії та способи їх усунення.
13. Методика стандартизації робочого розчину амоній тіоціанату за аргентум нітратом.
14. Методика визначення вмісту (%) бромід-іонів у натрій броміді за способом Фольгарда.
15. Розгляд вправ.

II. Практична частина:

2.1. Робота №1: „Стандартизація розчину аргентум нітрату за натрій хлоридом з індикатором дикалій хроматом. ($c(\text{AgNO}_3) \approx 0,02$ моль/дм³)”.

2.2. Робота №2: „Визначення вмісту (мг/дм³) хлорид-іонів у водопровідній воді за способом Мора”.

2.3. Робота №3: „Приготування і стандартизація розчину амоній тіоціанату ($c(\text{NH}_4\text{SCN}) \approx 0,02$ моль/дм³) за аргентум нітратом”.

2.4. Робота №4: „Визначення вмісту (%) бромід-іонів у натрій броміді”.

Завдання для самостійної роботи:

1. Опрацювати лекційний матеріал з теми „Методи осаджувального титрування” [6].
2. Робота з підручником: [2].
3. Дати відповіді на контрольні питання з теми: „Методи осаджувального титрування”.
4. Опрацювати тестові завдання з теми: „Методи осаджувального титрування” [7].
5. Розв’язати задачі відповідно варіанту.
6. Оформити в робочому зошиті розрахунки для виконання практичних робіт №1, №2, №3, №4 (рівняння реакцій, розрахунки факторів еквівалентності і молярних мас речовин еквівалентів, розрахунки наважок речовин).

Варіанти задач для самостійного розв’язування з тем: „Аргентометрія”, „Тіоціанатометрія”

№ варі- анту	Збірник задач		№ варі- анту	Збірник задач	
	[10]	Сегеда А. С. [5]		[10]	Сегеда А. С. [5]
1	12	1185, 1222, 1266	8	5	1202, 1228, 1240
2	11	1186, 1224, 1264	9	4	1203, 1227, 1243
3	10	1193, 1226, 1263	10	3	1204, 1223, 1244
4	9	1219, 1230, 1261	11	2	1207, 1222, 1246
5	8	1200, 1231, 1259	12	1	1208, 1221, 1248 (2)
6	7	1198, 1233, 1236	13	6	1211, 1218, 1248 (3)
7	6	1201, 1229, 1237	14	12	1209, 1219, 1260

Задачі для самостійного розв’язування

1. Розрахувати наважку «х.ч.» натрій хлориду, необхідну для приготування 250,0 см³ 0,05000 М розчину для встановлення титру розчину аргентум нітрату.

В: 0,7306 г.

2. З наважки натрій хлориду у колбі місткістю 500,0 см³ приготували розчин. До 25,00 см³ одержаного розчину при титруванні прилили 50,00 см³ 0,1000 М розчину амоній тіоціанату. Яка була наважка натрій хлориду?

В: 5,8443 г.

3. Обчислити наважку аргентум нітрату, яку необхідно взяти для приготування 250,0 см³ 0,1 М розчину його.
В: 4,25 г.
4. Розрахувати наважку «х.ч.» натрій хлориду, необхідну для приготування 250,0 см³ 0,1000 М розчину NaCl.
В: 1,461 г.
5. Розрахувати наважку амоній тіоціанату, необхідну для приготування 250,0 см³ 0,1 М розчину?
В: 1,9 г.
6. Знайти об'єм 0,05000 М розчину аргентум нітрату, який піде на титрування 20,00 см³ розчину, одержаного розчиненням наважки 0,1052 «х.ч.» натрій хлориду у воді?
В: 36,03 см³.
7. 3 наважки натрій хлориду приготували розчин у мірній колбі місткістю 500,0 см³. До 25,00 см³ цього розчину прилили 50,00 см³ 0,1000 М розчину аргентум нітрату. На титрування залишку аргентум нітрату витратили 25,00 см³ 0,1000 М розчину амоній тіоціанату. Яка була наважка натрій хлориду?
В: ≈ 3 г.
8. При визначенні вмісту срібла в сплаві наважку сплаву 0,1900 г розчинили в нітратній кислоті і відтитрували 21,12 см³ 0,05000 М розчину амоній тіоціанату. Обчислити вміст (у %) срібла у сплаві.
В: 59,95 %.
9. Наважку натрій хлориду 1,4790 г розчинили в мірній колбі місткістю 250,0 см³. До 25,00 см³ одержаного розчину прилили 50,00 см³ 0,1000 М розчину аргентум нітрату ($K = 0,9580$). На титрування залишку аргентум нітрату витрачено 25,50 см³ 0,1000 М розчину амоній тіоціанату ($K = 1,120$) Обчислити вміст (у %) хлорид-іонів у натрій хлориді.
В: 46,38 %.
10. До розчину 0,2266 г речовини, що містить хлорид-іони, додали 30,00 см³ 0,1121 М розчину аргентум нітрату. На титрування залишку аргентум нітрату витрачено 0,50 см³ 0,1158 М розчину амоній тіоціанату – NH₄SCN. Обчислити вміст (у %) хлорид-іонів в аналізованій речовині.
В: 51,70%.
11. Наважку срібного сплаву 1,7450 г розчинили в нітратній(V) кислоті, розчин розвели водою в мірній колбі місткістю 200,0 см³. На титрування 10,00 см³ одержаного розчину витрачається 11,75 см³ 0,05000 М розчину амоній тіоціанату ($K = 0,9344$). Обчислити вміст (у %) срібла у сплаві.
В: 67,88%.
12. Наважку «х.ч.» натрій хлориду 2,9014 г розчинили в мірній колбі місткістю 1000,0 см³. На титрування 25,00 см³ цього розчину витрачається 25,80 см³ розчину аргентум нітрату. Визначити молярну концентрацію і титр розчину аргентум нітрату.
В: 0,04811 моль/дм³; 0,008172 г/см³.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №1

Тема: „Стандартизація розчину аргентум нітрату ($c(\text{AgNO}_3) \approx 0,02 \text{ моль/дм}^3$) за розчином натрій хлориду з індикатором дикалій хроматом методом піпеткування”

Мета: засвоїти метод Мора.

Лабораторне обладнання і реактиви: (до практичних робіт №1 і №2): штатив Бунзена, бюретка, білий фон, конічні колби, мірні колби, піпетки, бюкс, технікохімічні й аналітичні терези, різноважки, промивалка, кристалічний натрій хлорид марки „х. ч.”, розчин аргентум нітрату, концентрований розчин амоніаку, 5%-ний або насичений розчин дикалій хромату, банка для зливання, склянки для відходів сполук аргентуму.

Порядок виконання роботи

I. Приготування стандартного розчину натрій хлориду об'ємом $100,0 \text{ см}^3$ із молярною концентрацією речовини $0,02000 \text{ моль/дм}^3$.

1.1. Запис рівняння реакції взаємодії аргентум нітрату і натрій хлориду.

1.2. Визначення факторів еквівалентності аргентум нітрату і натрій хлориду.

1.3. Визначення молярних мас речовин еквівалента аргентум нітрату і натрій хлориду.

1.4. Розрахунок наважки натрій хлориду для приготування розчину об'ємом $100,0 \text{ см}^3$ із молярною концентрацією речовини $0,02000 \text{ моль/дм}^3$.

$m(\text{NaCl}) = \text{_____} = \text{_____} = \text{_____}, \text{ г.}$

1.5. Взяття наважки:

маса бюксу з речовиною , г

маса порожнього бюксу , г

наважка $m(\text{NaCl})_{\text{факт.}}$, г

1.6. Розчинення наважки натрій хлориду. Наважку натрій хлориду переносимо через лійку в мірну колбу на $100,0 \text{ см}^3$, розчиняємо у невеликому об'ємі води, потім доводимо до риски. Ретельно перемішуємо.

1.7. Розрахунок характеристик одержаного стандартного розчину натрій хлориду:

$T(\text{NaCl}) = \text{_____} = \text{_____} = \text{_____}, \text{ г/см}^3$.

$c(\text{NaCl}) = \text{_____} = \text{_____} = \text{_____}, \text{ моль/дм}^3$.

$K(\text{NaCl}) = \text{_____} = \text{_____} = \text{_____}$.

II. Встановлення молярної концентрації, титру та поправочного коефіцієнта розчину аргентум нітрату.

2.1. Титрування розчину натрій хлориду:

У бюретку: розчин аргентум нітрату.

У колбу для титрування:

$V^0(\text{NaCl}) = 5,00 \text{ см}^3$ (відміряємо аліквотною піпеткою).

$\approx 0,5 \text{ см}^3$ 5% розчину дикалій хромату (відміряємо мірною пробіркою).

Титруємо до появи рожевого забарвлення.

Результати титрування:

I титрування $V(\text{AgNO}_3)$, см^3

II титрування, см^3

III титрування, см^3

$\bar{V}(\text{AgNO}_3)$, см^3

2.2. Розрахунок характеристик робочого розчину аргентум нітрату:

$c(\text{AgNO}_3)_{\text{прат.}} = \text{_____} = \text{_____} =$, моль/дм³.

$T(\text{AgNO}_3) = \text{_____} = \text{_____} =$, г/см³.

$K(\text{AgNO}_3) = \text{_____} = \text{_____} =$.

Висновок:

ПРАКТИЧНА РОБОТА №2

Тема: „Визначення вмісту (мг/дм³) хлорид-іонів у водопровідній воді та порівняння одержаних результатів із даними Держстандарту”

Мета: навчитися застосовувати метод аргентометричного титрування під час аналізу конкретних об'єктів.

Порядок виконання роботи

1. Підбір аліквоти.

Аліквоту води для визначення вмісту хлорид-іонів підбирають таким чином, щоб на титрування використовувалось не менше $5,00 \text{ см}^3$ і не більше об'єму бюретки ($25,00 \text{ см}^3$) розчину аргентум нітрату.

2. Титрування:

У бюретку: робочий розчин аргентум нітрату.

У колбу для титрування:

$V^0(\text{H}_2\text{O}) = 100,0 \text{ см}^3$ (аліквотною піпеткою).

$\approx 0,5 \text{ см}^3$ 5% розчину дикалій хромату (мірною пробіркою).

Результати титрування:

I титрування $V(\text{AgNO}_3)$, см^3

II титрування, см^3

III титрування, см^3

$$\bar{V}(\text{AgNO}_3) \dots\dots\dots, \text{см}^3.$$

3. Розрахунок вмісту хлорид-іонів у воді, мг/дм³.

$$n(\text{Cl}^-) = n(\text{AgNO}_3)$$

$$n(\text{Cl}^-)_{\text{ммоль в аліквоті води}} = c(\text{AgNO}_3) \cdot \bar{V}(\text{AgNO}_3).$$

$$m(\text{Cl}^-)_{\text{мг в аліквоті води}} = c(\text{AgNO}_3) \cdot \bar{V}(\text{AgNO}_3) \cdot M(\text{Cl}^-).$$

$$m(\text{Cl}^-)_{\text{мг у 1 дм}^3 \text{ води}} =$$

$$= c(\text{AgNO}_3) \cdot V(\text{AgNO}_3 \text{ розч.}) \cdot M(\text{Cl}^-) \cdot \frac{1000}{V^a(\text{H}_2\text{O})}.$$

$$m(\text{Cl}^-) =$$

Висновок: порівнюємо одержані результати вмісту хлорид-іонів у воді з даними Державних санітарних правил і норм. Згідно ДСанПН–383-96, затвердженими Міністерством охорони здоров'я України, „Вода питна. Гігієнічні вимоги до якості води централізованого водопостачання” допустима концентрація хлорид-іонів у питній воді 250 мг/дм³.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №3

Тема: „Приготування і стандартизація розчину амоній тіоціанату ($c(\text{NH}_4\text{SCN}) \approx 0,02 \text{ моль/дм}^3$) за розчином аргентум нітрату”

Мета: закріпити навички стандартизації робочих розчинів, використовуючи вторинні стандартні розчини; встановити молярну концентрацію, титр і поправочний коефіцієнт робочого розчину амоній тіоціанату.

Лабораторне обладнання і реактиви (до робіт №3 і №4): штатив Бунзена, бюретка, промивалка, лійка, мірні колби (100,0 см³ і 250,0 см³), аліквотні піпетки (5,00; 10,00; 15,00 см³), бюкс, технохімічні й аналітичні терези, різноважки, банка для зливання відходів; кристалічний амоній тіоціанат, стандартизований розчин аргентум нітрату, концентрований розчин амоніаку, насичений розчин амонійнозалізного галууну ($\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$), кристалічний натрій бромід.

Порядок виконання роботи

І. Приготування розчину амоній тіоціанату об'ємом 100,0 см³ із молярною концентрацією речовини еквівалента $\approx 0,02000 \text{ моль/дм}^3$.

1.1. Запис рівняння реакції взаємодії аргентум нітрату з амоній тіоціанатом.

1.2. Визначення фактора еквівалентності амоній тіоціанату.

1.3. Визначення молярної маси речовини еквівалента амоній тіоціанату.

1.4. Розрахунок наважки амоній тіоціанату для приготування розчину об'ємом 100,0 см³ із молярною концентрацією NH_4SCN 0,02000 моль/дм³.

$$m(\text{NH}_4\text{SCN}) = \text{-----} = \text{-----} = \text{-----}, \text{г.}$$

1.5. Взяття наважки амоній тіоціанату:

маса бюксу з речовиною....., г
маса порожнього бюксу , г
наважка $m(\text{NH}_4\text{SCN})_{\text{практ.}}$, г

1.6. Розчинення наважки. Наважку переносимо через лійку в мірну колбу об'ємом **100,0 см³**, розчиняємо в невеликій кількості води, доливаємо дистильованою водою до риски і ретельно перемішуємо.

II. Встановлення молярної концентрації, титру та поправочного коефіцієнту розчину амоній тіоціанату.

2.1. Титрування розчину аргентум нітрату:

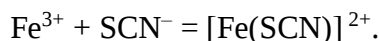
У бюретку: розчин амоній тіоціанату.

У колбу для титрування: розчин аргентум нітрату, попередньо стандартизований за натрій хлоридом, $c(\text{AgNO}_3)_{\text{практ.}} = \dots\dots\dots$, моль/дм³.

$V(\text{AgNO}_3) = 5,00 \text{ см}^3$ (відміряємо аліквотною піпеткою).

$V(\text{інд.}) = 0,5 \text{ см}^3$ (насичений розчин амонійнозалізного галуну).

Титрують до появи рожевого забарвлення внаслідок утворення комплексу Fe^{3+} -іону з тіоціанат-іоном:



Результати титрування:

I титрування $V(\text{NH}_4\text{SCN})\dots\dots\dots$, см³

II титрування , см³

III титрування , см³

$\bar{V}(\text{NH}_4\text{SCN})\dots\dots\dots$, см³

2.2. Розрахунок характеристик робочого розчину амоній тіоціанату:

$c(\text{NH}_4\text{SCN})_{\text{практ.}} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$, моль/дм³.

$T(\text{NH}_4\text{SCN}) = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$, г/см³.

$K(\text{NH}_4\text{SCN}) = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №4

Тема: „Визначення вмісту (%) бромід-іонів у натрій броміді за способом Фольгарда”

Мета: навчитися застосовувати метод тіоціанатометричного титрування при аналізі конкретних об'єктів; засвоїти спосіб оберненого титрування.

Порядок виконання роботи

I. Приготування розчину натрій броміду об'ємом 100,0 см³ із молярною концентрацією речовини еквівалента 0,02000 моль/дм³.

1.1. Запис рівняння реакції взаємодії натрій броміду з аргентум нітратом і амоній тіоціанату з аргентум нітратом.

1.2. Визначення факторів еквівалентності цих речовин.

1.3. Визначення молярних мас речовин еквівалента натрій броміду і бромід-іону.

1.4. Розрахунок наважки натрій броміду для приготування розчину об'ємом 100,0 см³ із молярною концентрацією речовин еквівалента $\approx 0,02000$ моль/дм³.

$$m(\text{NaBr}) = \text{-----} = \text{-----} = \text{-----}, \text{ г.}$$

1.5. Взяття наважки натрій броміду :

маса бюксу з речовиною....., г

маса порожньої бюкси , г

наважка $m(\text{NaBr})_{\text{прат.}}$, г

1.6. Розчинення наважки (так само як і в попередній роботі).

II. Встановлення вмісту (%) Br⁻-іонів у зразку натрій броміду.

2.1. Титрування натрій броміду. Для роботи використовують дві бюретки: одну заповнюють стандартним розчином аргентум нітрату ($c(\text{AgNO}_3) = \text{-----}$ моль/дм³, $K(\text{AgNO}_3) = \text{-----}$), другу – стандартним розчином амоній тіоціанату.

У колбу для титрування:

$V^a(\text{NaBr}) = 5,00$ см³ (відміряємо аліквотною піпеткою).

З першої бюретки додаємо в колбу для титрування стандартний розчин аргентум нітрату. Об'єм розчину аргентум нітрату приблизно вдвічі більший за об'єм аліквоти розчину натрій броміду.

Не відфільтровуючи осад, додаємо індикатор – насичений розчин амонійнозалізного галуни ($\approx 0,5\text{--}1$ см³).

Титруємо стандартним розчином амоній тіоціанату до появи рожевого кольору.

Результати титрування:

I титрування $V(\text{NH}_4\text{SCN})$, см³

II титрування , см³

III титрування , см³

$\bar{V}(\text{NH}_4\text{SCN})$, см³

2.2. Розрахунок масової частки бромід-іонів у натрій броміді за результатами титрування:

$$n(\text{Br}^-) = n(\text{NaBr}) = n(\text{AgNO}_3)_{\text{заг.}} - n(\text{NH}_4\text{SCN}).$$

$$n(\text{Br}^-)_{\text{в аліквоті}} = \frac{c(\text{AgNO}_3)_{\text{прат.}} \cdot V(\text{AgNO}_3)_{\text{розч.}} - c(\text{NH}_4\text{SCN})_{\text{прат.}} \cdot V(\text{NH}_4\text{SCN})_{\text{розч.}}}{1000}.$$

$$n(\text{Br}^-)_{\text{в аліквоті}} =$$

Вміст Br^- -іонів у наважці:

$$m(\text{Br}^-)_{\text{у наважці}} = \frac{n(\text{NaBr})_{\text{в аліквоті}} \cdot M(\text{Br}^-) \cdot V_{\text{м.к.}}}{V^a(\text{NaBr})}.$$

$$m(\text{Br}^-)_{\text{у наважці}} =$$

$$w(\%)(\text{Br}^-)_{\text{практ.}} = \text{-----} \cdot 100 = \text{-----} \cdot 100 = \text{-----}.$$

III. Розрахунок теоретичної масової частки Br^- -іонів у натрій броміді.

$$w(\%)(\text{Br}^-)_{\text{теор.}} = \text{-----}.$$

Висновок: (порівнюємо одержаний із досліду результат масової частки Br^- -іонів у натрій броміді з теоретичним).

КОМПЛЕКСОМЕТРИЧНЕ ТИТРУВАННЯ.

Ключові слова і терміни: *комплексні сполуки, комплексоутворювач, константа нестійкості, константа стійкості, хелати, внутрішньокомплексні сполуки, дентатність ліганду, комплексометричне титрування, метод Лібіха, меркуриметрія, натрій нітропруссид, дифенілкарбазон, дифенілкарбазид, флуоридометрія, комплекси, нітрилтриацетатна кислота, етилендіамінтетраацетатна кислота, ЕДТА, металохромні індикатори, мурексид, еріохромовий чорний Т, пряме титрування, зворотне титрування, титрування замісника, загальна твердість води.*

Комплексометрія (або комплексіметрія) заснована на реакціях, які супроводжуються утворенням розчинних комплексних сполук йонів металів з неорганічними і органічними лігандами.

Методи комплексометричного титрування, які засновані на утворенні комплексних сполук з *неорганічними лігандами*, використовують для кількісного визначення сполук, до складу яких входять галогенід- і псевдогалогенід-іони (Cl^{1-} , Br^{1-} , I^{1-} , CN^{1-} , SCN^{1-}), а також йонів металів, які будуть виконувати функцію комплексоутворювача.

З методів, які засновані на утворенні комплексних сполук з неорганічними лігандами, частіше використовують *меркуриметрію, флуоридометрію й аргентометричне визначення ціанід-іонів за методом Лібіха.*

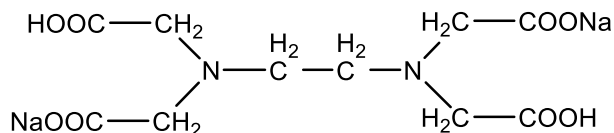
В основі меркуриметричного методу аналізу лежить взаємодія катіонів **меркурію(II)** з хлорид-, бромід-, йодид-, ціанід-, тіоціанат-іонами, що супроводжується утворенням малодисоційованих комплексних сполук. Робочим розчином у меркуриметрії є *розчин меркурій(II) нітрату*, індикатори *натрій нітропруссид* $\text{Na}_2[\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}]$, *дифенілкарбазид, дифенілкарбазон.*

Флуоридометрія заснована на здатності йонів алюмінію, цирконію(IV), торію(IV) утворювати міцні флуоридні комплекси.

Більш широко застосовують методи, в основі яких лежать реакції комплексоутворення з *органічними лігандами*. Їх використовують для визначення загальної твердості води, багатьох сполук, які містять катіони лужно-земельних і важких металів, а також для визначення аніонів (наприклад, сульфід-, сульфат-, ортофосфат-аніонів).

Реакції, які використовують в комплексометрії, повинні відповідати загальним вимогам до реакцій у титриметричному аналізі: необоротність, **стехіометричність реакцій**, досить велика швидкість реакцій, зручний спосіб фіксування точки еквівалентності.

Метод титриметричного аналізу, заснований на реакціях взаємодії визначуваних йонів металів з *полідентатними хелатоутворюючими органічними реагентами*, які містять імінодіацетатні фрагменти $-N(CH_2COOH)_2$ називається *комплексометриєю*. Ці органічні реагенти належать до класу α -амінополікарбонових кислот або є їх похідними і називаються *комплексонами*. У комплексометрії частіше використовують двозаміщену натрієву сіль етилендіамінтетраацетатної кислоти ($Na_2H_2Y \cdot 2H_2O$, ЕДТА), бо вона краще розчиняється у воді.



ЕДТА

Двозаміщена натрієва сіль етилендіамінтетраацетатної кислоти гігроскопічна, тому з неї готують розчин приблизної концентрації, а потім визначають його точну концентрацію за стандартними речовинами (Zn , ZnO , $CaCO_3$, $ZnSO_4$ або $MgSO_4 \cdot 7H_2O$).

Йони металів (Ca^{2+} , Ba^{2+} , Sr^{2+} , Mg^{2+} , Co^{2+} , Cu^{2+} , Bi^{3+} , Al^{3+} , Zn^{2+} , Fe^{3+} , Ni^{2+} тощо) і ЕДТА взаємодіють в основному у **стехіометричному співвідношенні 1:1** з утворенням безбарвних міцних внутрішньокмплесних сполук, добре розчинних у воді. *Катіон металу-комплексоутворювача заміщує активні атоми Гідрогену карбоксильних груп $COOH$, утворюючи валентні зв'язки, а також з атомами Нітрогену утворює координаційні (донорно-акцепторні) зв'язки. Незалежно від величини заряду катіонів, фактор еквівалентності для ЕДТА і катіонів металу дорівнює одиниці.*

Можливості титрування різних йонів металів розчином ЕДТА краще за все виявляються при розгляді кривих титрування. Криві комплексометричного титрування будують за аналогією з кривими кислотно-основного і осаджувального титрування. Вони являють собою залежності pM (від'ємний логарифм концентрації йонів металу в розчині) від об'єму титранту (в cm^3) або частки (P) відтитрованих йонів металу.

Поява стрибка на кривій титрування дозволяє застосувати індикатор для визначення точки еквівалентності.

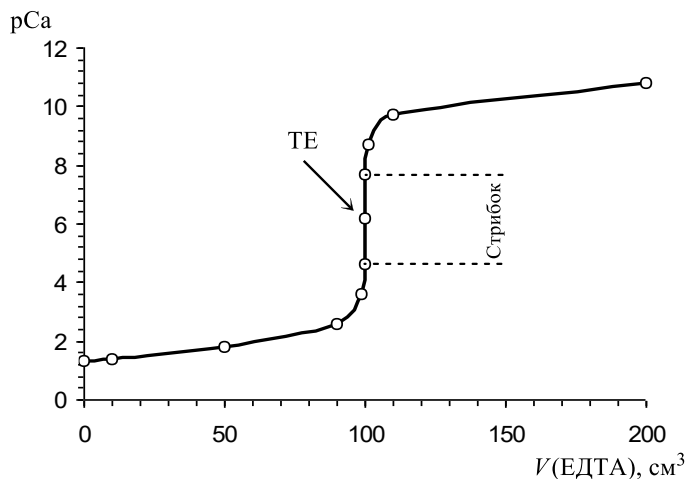


Рис. 1. Крива титрування 100 cm^3 $0,05\text{ M}$ розчину $CaCl_2$ $0,05\text{ M}$ розчином ЕДТА

При комплексонометричному титруванні використовують частіше металохромні індикатори (еріохромовий чорний Т, мурексид, ксиленоловий оранжевий тощо). Це органічні барвники, що утворюють з досліджуваними йонами металів розчинні у воді, забарвлені внутрішньокмплесні сполуки, менш стійкі, ніж комплекси катіона металу з ЕДТА. При цьому комплекс катіона з індикатором і вільний індикатор мають різне забарвлення. *Кінцеву точку титрування визначають за власним забарвленням аніонів індикатору.* Наприклад, еріохромовий чорний Т з багатьма катіонами металів (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} тощо) утворює комплексні сполуки *винно-червоного кольору*, а аніони цього барвника HInd^{2-} при $\text{pH} = 7\text{--}11$ мають *синє забарвлення*.

На сьогодні синтезовані також комплекси, що містять різні функціональні групи, які здатні до комплексоутворення ($-\text{SO}_3\text{H}$, $-\text{COOH}$, $-\text{SH}$, $-\text{OH}$); комплекси, що містять системи спряжених подвійних зв'язків тощо.

У залежності від стійкості координаційних сполук з титрантом і з індикатором, а також від інших особливостей системи застосовують різні способи титрування. пряме, зворотне титрування або титрування замісника.

У наш час методики комплексонометричного визначення розроблені для аналізу дуже багатьох об'єктів. Для визначення одного і того ж елемента запропоновані десятки методик, які відрізняються способом титрування визначуваного елемента або маскування йонів, які заважають. Титруванням ЕДТА визначають: *загальну твердість води, практично всі катіони лужноземельних і важких металів, аніони.* Визначення багатьох аніонів засновано на осадженні їх малорозчинних сполук стандартним розчином певного катіону, надлишок якого потім відтитровують розчином ЕДТА.

Селективність комплексонометричного титрування збільшують шляхом розділення або маскування тих компонентів, які заважають. Найбільш простий спосіб маскування складається з встановлення відповідної кислотності розчину.

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ №10 (продовження)

Тема: „Методи комплексонометричного титрування. Комплексонометрія”

Мета: засвоїти сутність комплексонометрії та її застосування. Перевірити знання теоретичного матеріалу з теми „Методи осаджувального і комплексонометричного титрування” та вміння застосовувати ці методи при аналізі конкретних об'єктів.

План заняття

I. Перевірка знань теоретичного матеріалу:

1. Класифікація методів комплексонометричного титрування.
2. Комплекси та їх застосування в кількісному аналізі. Сутність комплексонометрії.
3. Робочі розчини в комплексонометрії, їх приготування і стандартизація.
4. Способи фіксування точки еквівалентності в комплексонометрії. Металохромні індикатори і принцип їх дії.
5. Способи комплексонометричного титрування.
6. Умови комплексонометричного титрування.
7. Твердість води та способи її усунення.
8. Методика визначення загальної твердості води.
9. Методика комплексонометричного визначення вмісту кальцій- і магній-іонів у їх суміші.

10. Розгляд вправ.

II. Практична частина:

1. Робота №1: „Приготування розчину динатрій етилендіамінтетраацетат-вода (1/2) ($\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; ЕДТА; комплексон III) з молярною концентрацією речовини еквівалента $0,05000 \text{ моль/дм}^3$ за точною наважкою або з фіксаналу”.

2. Робота №2: „Визначення загальної твердості водопровідної води комплексонометричним методом”.

3. Робота №3: „Окреме визначення вмісту кальцій- і магній-іонів при спільній їх присутності”.

Завдання для самостійної роботи:

1. Опрацювати лекційний матеріал з тем „Методи комплексонометричного титрування”, „Комплексонометрія” [2].

2. Робота з підручником: [2, с. 338–354].

3. Дати відповіді на контрольні питання з тем: „Методи комплексонометричного титрування”, „Комплексонометрія”

4. Опрацювати тестові завдання з теми: „Методи комплексонометричного титрування” [7].

5. Розв’язати задачі відповідно варіанту.

6. Оформити в робочому зошиті розрахунки для виконання практичних робіт №1 і №2 (рівняння реакцій, розрахунки факторів еквівалентності і молярних мас речовин еквівалентів, розрахунки наважок речовин).

Контрольні питання з теми „Комплексонометричне титрування”

1. Назвіть методи комплексонометричного титрування.
2. Яким вимогам повинні відповідати реакції в комплексонометричному титруванні?
3. У чому полягає сутність комплексонометричного визначення ціанід-іонів за методом Лібіха?
4. Який розчин використовують у меркуриметрії як титрант?
5. Які індикатори використовують у меркуриметрії?
6. Які речовини можна визначати методом меркуриметрії?
7. Які особливості визначення йодидів і тіоціанатів за методом меркуриметрії?
8. Назвіть основний недолік меркуриметрії.
9. На чому заснована флюоридометрія?
10. Які речовини можна визначати за методом флюоридометрії?
11. Які індикатори можна використовувати в методі флюоридометрії?
12. Які з органічних полідентатних лігандів найчастіше використовують при титруванні іонів металів?
13. Які речовини використовують як первинні стандарти в комплексонометрії при стандартизації розчину ЕДТА?
14. Яка стехіометрія взаємодії йону металу з ЕДТА?
15. Напишіть структурні формули ЕДТА та її комплексів з дво- і тризарядними йонами металів.
16. За якими формулами розраховують криві комплексонометричного титрування до точки еквівалентності, в точці еквівалентності і після точки еквівалентності?

17. Навести формули для обчислення pCa при титруванні йонів Ca^{2+} розчином ЕДТА, якщо речовина, що аналізують, відтитрована при pH 10,0 на 99,9 % (початок стрибка титрування) і 100,1 % (кінець стрибка титрування).
18. Як за допомогою умовних констант стійкості враховують pH при розрахунку кривої титрування розчином ЕДТА?
19. Як за допомогою умовних констант стійкості враховують присутність додаткового ліганду при розрахунку кривої титрування розчином ЕДТА?
20. Як залежить величина стрибка титрування від константи нестійкості комплексної сполуки, температури, концентрації титранту і розчину, який титрують, pH середовища?
21. Назвіть способи визначення кінцевої точки титрування в комплексонометрії.
22. Наведіть приклади використання специфічних індикаторів в комплексонометрії.
23. За яких умов (pH , температура) необхідно проводити пряме титрування розчином ЕДТА при визначенні Fe^{3+} -іонів з сульфосаліцилатною кислотою?
24. Як класифікують металохромні індикатори?
25. Яким вимогам повинні відповідати металохромні індикатори? Напишіть рівноваги в розчині металохромного індикатора еріохромового чорного Т.
26. За яких умов необхідно проводити пряме титрування йонів Ca^{2+} розчином ЕДТА з індикатором мулексидом?
27. За яких умов необхідно проводити комплексонометричне визначення Ba^{2+} -іонів титруванням замісника?
28. Наведіть приклади комплексонометричного визначення вмісту аніонів за методом оберненого титрування.
29. Вкажіть умови комплексонометричного визначення загальної твердості води.
30. Як можна визначити масову частку кальцію і магнію у досліджуваному зразку?

**Варіанти задач для самостійного розв'язування з теми:
„Комплексонометрія”**

№ варіанту	Збірник задач		№ варіанту	Збірник задач	
	[10]	Сегеда А.С. [5]		[10]	Сегеда А.С. [5]
1	1	1282	8	1	1296
2	2	1283	9	3	1297
3	3	1285	10	4	1298
4	4	1286	11	6	1299
5	5	1287	12	2	1300
6	6	1288	13	4	1301
7	5	1295	14	5	1302

Задачі для самостійного розв'язування

1. Обчислити наважку динатрій етилендіамінтетраацетат-вода(1/2) – $Na_2H_2Y \cdot 2H_2O$, яку необхідно для приготування 250,0 см³ 0,05 М розчину.

В: 4,6526 г.

2. Яка маса речовини динатрій етилендіамінтетраацетат-вода(1/2) – $Na_2H_2Y \cdot 2H_2O$ необхідна для приготування 2,5 дм³ близько 0,1 М розчину?

В: $\approx$ 93,04 г.

3. Для встановлення титру робочого розчину $\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ наважку 1,3250 г висушеного кальцій карбонату розчинили в мірній колбі місткістю 250,0 cm^3 . На титрування 25,00 cm^3 цього розчину витратили 26,47 cm^3 розчину $\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Визначити титр розчину $\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ за кальцієм і молярну концентрацію речовини $\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ у розчині.

В: 0,002004 г/ cm^3 ; 0,05001 моль/ dm^3 .

4. Розрахувати молярну концентрацію речовини еквівалента цирконію в розчині, якщо на титрування 20,00 cm^3 цього розчину з хромогеновим чорним до синього забарвлення витрачено 10,15 cm^3 0,1000 М розчину речовини $\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

В: 0,05075 моль/ dm^3 .

5. Для визначення кальцію та магнію взяли наважку 2,0850 г мінералу і розчинили в мірній колбі місткістю 250,0 cm^3 . На титрування 25,00 cm^3 цього розчину витрачено 11,20 cm^3 0,05240 М робочого розчину речовини динатрій етилендіамінтетраацетат-вода(1/2) – $\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$, а на титрування 100,0 cm^3 (після відокремлення Ca^{2+} -іонів) витрачено 21,65 cm^3 цього ж розчину. Обчислити масові частки (у %) кальцію і магнію у зразку мінералу.

В: 5,82% Ca; 3,30% Mg.

6. Розрахувати молярну концентрацію речовини еквівалента магній(2+)-іонів у воді, якщо на титрування 100,0 cm^3 води розчином речовини динатрій етилендіамінтетраацетат-вода(1/2) – $\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ з хромогеновим чорним витрачено 19,20 cm^3 0,1012 М розчину $\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

В: 0,01943 моль/ dm^3 .

ПРАКТИЧНА РОБОТА №1

Тема: „Приготування розчину ЕДТА з молярною концентрацією речовини еквівалента 0,05000 моль/ dm^3 за точною наважкою або з фіксаналу”

Мета: навчитися готувати робочі розчини, використовуючи первинні стандартні речовини і стандарт-титри.

Лабораторне обладнання та реактиви до практичних робіт №1–3: штативи Бунзена, бюретка, промивалка, лійка, конічні колби, аліквотні піпетки (5,00; 10,00; 50,00; 100,0 cm^3), бюкс, технохімічні й аналітичні терези, різноважки, банка для зливання, кристалічний динатрій етилендіамінтетраацетат-вода (1/2), водопровідна вода, амоніачний буфер, фіксанал кальцій дихлориду (або магній сульфату); індикатори (хромоген чорний і мурексид), 20 % розчин натрій гідроксиду.

Порядок виконання роботи

1. Запис рівняння реакції взаємодії $\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (ЕДТА) з кальцій-іонами (або магній-іонами).

2. Визначення факторів еквівалентності $\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (ЕДТА), кальцій-іонів (або магній-іонів).

3. Визначення молярних мас речовин еквівалента $\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (ЕДТА), кальцій-іонів (або магній-іонів).

4. Розрахунок наважки ЕДТА для приготування розчину об'ємом $100,0 \text{ см}^3$ із молярною концентрацією речовини еквівалента $0,05000 \text{ моль/дм}^3$.

$$m(\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y} \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = \text{_____} = \text{_____}, \text{ Г.}$$

5. Взяття наважки $\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$:

маса бюксу з речовиною, Г

маса пустого бюксу, Г

наважка $m(\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y} \cdot 2\text{H}_2\text{O})_{\text{практ.}}$, Г

6. Розчинення наважки (так само як і у попередній роботі).

7. Розрахунок характеристик стандартного розчину ЕДТА:

$$T(\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y} \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = \text{_____} = \text{_____} = \text{_____}, \text{ Г/см}^3.$$

$$c(\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y} \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = \text{_____} = \text{_____} = \text{_____}, \text{ моль/дм}^3.$$

$$K(\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y} \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = \text{_____} = \text{_____} = \text{_____}.$$

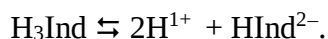
ПРАКТИЧНА РОБОТА №2

Тема: „Визначення загальної твердості водопровідної води комплексонометричним методом”

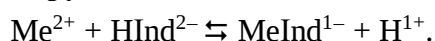
Мета: навчитися визначати загальну твердість води комплексонометричним титруванням

I. Теоретичні основи визначення

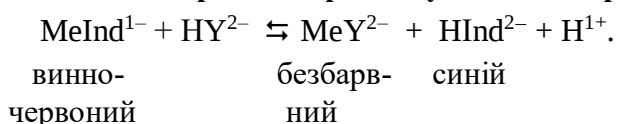
При рН 7–11 індикатор хромоген чорний (слабка трьохосновна кислота) йонізує з утворенням аніонів HInd^{2-} синього кольору:



У присутності Ca^{2+} - і Mg^{2+} -іонів з аніонами індикатора утворюються **комплекси MeInd^{1-} винно-червоного кольору:**



При титруванні розчином ЕДТА комплекс MeInd^{1-} руйнується й утворюється безбарвний комплекс MeY^{2-} , аніони HInd^{2-} синього кольору накопичуються у розчині. При цьому спостерігається зміна забарвлення розчину з винно-червоного на синє.



Присутність Cu^{2+} , Mn^{2+} і Zn^{2+} -іонів у воді заважає аналізу, обумовлюючи нечітке забарвлення. Заважаючу дію їх усувають додаванням 1–2 cm^3 розчину натрій сульфід, після чого ведуть аналіз.

II. Порядок виконання роботи

1.1. Підбір аліквоти досліджуваної води і титрування.

У бюретку: стандартний розчин ЕДТА.

У колбу для титрування: аліквотний об'єм досліджуваної води,

$$V^a(\text{H}_2\text{O}) = 100,0 \text{ cm}^3.$$

3 cm^3 амоніачної буферної суміші до $\text{pH}=10$.

Індикатор – хромоген чорний (20–30 мг сухої суміші його з натрій хлоридом або калій хлоридом).

Досліджуваний розчин перемішуємо до розчинення індикатора.

Аліквоту води підбирають таким чином, щоб на титрування використовувалось не менше 5,00 cm^3 стандартного розчину ЕДТА.

Титруємо до переходу винно-червоного кольору в синій.

Результати титрування:

I титрування $V(\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ розч.), cm^3

II титрування, cm^3

III титрування, cm^3

$$V(\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y} \cdot 2\text{H}_2\text{O} \text{ розч.}) \dots\dots\dots, \text{cm}^3$$

1.2. Розрахунок загальної твердості води.

$$f_{\text{екв.}}(\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y} \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = 1; \quad f_{\text{екв.}}(\text{Ca}^{2+}) = 1; \quad f_{\text{екв.}}(\text{Mg}^{2+}) = 1.$$

$$H_{(\text{заг.})} = n(\text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}) = \frac{c(\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y} \cdot 2\text{H}_2\text{O}) \cdot V(\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y} \text{ розч.}) \cdot 1000}{V^a(\text{H}_2\text{O})}.$$

$$H_{(\text{заг.})} = n(\text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}) = \text{-----} = \text{-----}, \text{ ммоль в } 1 \text{ дм}^3 \text{ H}_2\text{O}.$$

1.3. Визначення рівня твердості води.

$H_{(\text{заг.})}$ до 2,5 ммоль/ дм^3 – вода з незначною твердістю;

2,5–10 ммоль/ дм^3 – вода із середньою твердістю;

більше 10 ммоль/ дм^3 – вода з високою твердістю.

За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (1994 р.) оптимальний діапазон твердості для питних вод дорівнює 3–4 ммоль/ дм^3 .

Висновок: порівнюємо одержаний результат твердості питної води з даними Всесвітньої організації охорони здоров'я.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №3

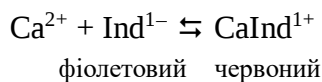
Тема: „Визначення вмісту (мг/дм^3) кальцій- і магній-іонів у воді при їх сумісній присутності

Мета: навчитися комплексометричним методом визначати вміст кальцій- і магній-іонів у їх суміші.

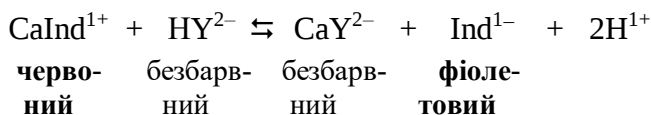
I. Теоретичні основи визначення

Визначення окремого вмісту кальцій- і магній-іонів у їх суміші засноване на попередньому визначенні загального вмісту Ca^{2+} - і Mg^{2+} -іонів титруванням аліквотного об'єму досліджуваного розчину стандартним розчином ЕДТА з індикатором хромогеном чорним (робота №2) і наступним визначенням у аліквотному об'ємі вмісту Ca^{2+} -іонів титруванням розчином ЕДТА в лужному середовищі ($\text{pH} > 12$) з індикатором мурексидом. У лужному середовищі Mg^{2+} -іони осаджуються у вигляді магній дигідроксиду і не взаємодіють з ЕДТА. Вміст Mg^{2+} -іонів розраховують за різницею загальної твердості води та кількості речовини еквівалента Ca^{2+} -іонів.

Мурексид ($\text{C}_8\text{H}_8\text{N}_6\text{O}_6$) (амонійна сіль пурпурної кислоти) при $\text{pH} > 11$ присутній у розчині у вигляді аніонів фіолетового кольору. З Ca^{2+} -іонами він утворює комплекси яскраво-червоного кольору.



При титруванні розчином ЕДТА яскраво-червоний комплекс CaInd^{1+} руйнується і утворюється безбарвний комплекс CaY^{2-} , при цьому спостерігається зміна забарвлення з яскраво-червоного на фіолетове, (забарвлення аніонів індикатора).



II. Порядок виконання роботи

1.1. Титрування.

У бюретку: стандартний розчин ЕДТА.

У колбу для титрування: аліквотний об'єм досліджуваної води,

$V^{\text{a}}(\text{H}_2\text{O}) = 100,0 \text{ см}^3$ (відміряємо аліквотною піпеткою).

1,5 см^3 20 % розчину натрій гідроксиду (відміряємо мірною пробіркою).

20-30 мг сухої суміші мурексиду з натрій хлоридом.

Розчин, який аналізують, перемішуємо до розчинення індикатора. Розчин повинен мати яскраво-червоний колір.

Титруємо розчином ЕДТА до фіолетового кольору.

Результати титрування:

I титрування $V(\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y} \cdot 2\text{H}_2\text{O} \text{ розч.})$, см^3

II титрування, см^3

III титрування, см^3

$\bar{V}(\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y} \cdot 2\text{H}_2\text{O})$, см^3

1.2. Розрахунок вмісту Ca^{2+} -іонів у ммоль/дм^3 і в мг/дм^3 .

$n(\text{Ca}^{2+}) =$, ммоль;

$m(\text{Ca}^{2+}) =$, мг .

1.3. Розрахунок вмісту Mg^{2+} -іонів у ммоль/дм³ і в мг/дм³.

$n(\text{Mg}^{2+}) = N_{\text{заг.}} - n(\text{Ca}^{2+}) =$, ммоль;

$m(\text{Mg}^{2+}) =$, мг .

Висновок: порівнюємо вміст Ca^{2+} -іонів зі вмістом Mg^{2+} -іонів у воді.

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ №11

Тема: „Застосування методів окисно-відновного, осаджувального і комплексонометричного титрування”

Мета: перевірити знання кількісного аналізу різних об'єктів методами окисно-відновного, осаджувального та комплексонометричного титрування.

План заняття

I. Перевірка готовності студентів до виконання контрольної експериментальної роботи (наявності теоретичного обґрунтування роботи, методики виконання експериментальної роботи, переліку необхідного обладнання і реактивів, вміння проводити необхідні розрахунки, протоколу визначення).

II. Виконання контрольної експериментальної роботи із такого переліку:

- 2.1. Йодометричне визначення вмісту (%) сульфат(IV)-іонів у технічному зразку.
- 2.2. Перманганатометричне визначення вмісту (%) дигідроген пероксиду в розчині.
- 2.3. Перманганатометричне визначення вмісту (%) натрій нітрату(III) в технічному зразку.
- 2.4. Комплексонометричне визначення вмісту кальцій- і магній-іонів (мг/100 г ґрунту в повітряно-сухому стані) у водній витяжці з ґрунту.
- 2.5. Йодометричне визначення вмісту (%) активного хлору в хлорному вапні.

Завдання для самостійної роботи:

1. Самостійно скласти план виконання контрольної експериментальної роботи згідно з вимогами (див. методорозробки робіт із заняття „Застосування методів кислотно-основного титрування”).
2. Повторити матеріал лекцій з титриметричного аналізу з тем: «Методи окисно-відновного, осаджувального та комплексонометричного титрування».

Модульна контрольна робота з теми: „Титриметричний аналіз”

Мета: перевірити засвоєння теоретичних основ та області застосування методів титриметричного аналізу.

Завдання для самостійної роботи:

1. Повторити матеріал лекцій з тем: „Методи кислотно-основного титрування”, „Методи окисно-відновного титрування”, „Методи осаджувального титрування”, „Методи комплексометричного титрування”[6].
2. Повторити зразки розв'язування задач з тем: „Методи кислотно-основного титрування”, „Методи окисно-відновного титрування”, „Методи осаджувального титрування”, „Методи комплексометричного титрування”[4].

Зразок завдань до модульної контрольної роботи з теми: „Титриметричний аналіз”

I. Теоретичний матеріал.

- 1.1. Розрахунок кривих окисно-відновного титрування. Фактори, які впливають на ширину стрибка титрування. Вибір індикатора.
- 1.2. Аналіз суміші динатрій карбонату і натрій гідрокарбонату. Теоретичні основи визначення. Рівняння реакцій, вибір індикаторів, обчислення результатів аналізу.

II. Розв'язування задачі .

Для стандартизації розчину сульфатної(VI) кислоти з наважки динатрій тетраборат-вода(1/10) масою 2,4000 г приготували стандартний розчин у мірній колбі об'ємом 200,0 см³. На титрування аліквоти розчину сульфатної(VI) кислоти об'ємом 10,00 см³ витрачено стандартний розчин динатрій тетраборат-вода(1/10) об'ємом 16,93 см³. Обчислити молярну концентрацію речовини еквівалента дигідроген сульфату(VI) у розчині; титр розчину дигідроген сульфату(VI), титр розчину дигідроген сульфату(VI) за динатрій оксидом; поправочний коефіцієнт розчину сульфатної(VI) кислоти.

ДОДАТКИ

Додаток 1

Зважування на електронних вагах

Нині в аналітичній практиці широко використовуються електронні ваги. Загальний вигляд аналітичних електронних ваг серії AS фірми RADWAG (точність зважування до десятитисячної частки грама) подано на рис. Д. 1.



Рис. Д. 1. Загальний вигляд аналітичних електронних ваг серії AS фірми RADWAG.

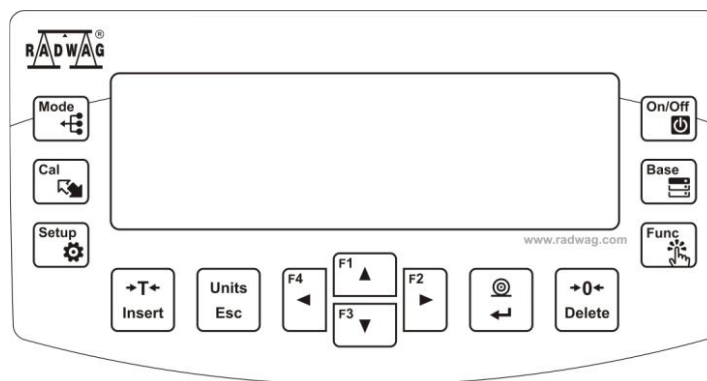


Рис. Д. 2. Клавіатура ваг серії AS фірми RADWAG.

Правила зважування на аналітичних електронних вагах серії AS фірми RADWAG

1. Увімкнути аналітичні ваги в електромережу 220 В. Вмикати ваги необхідно при ненавантаженій тарілці. Після підключення ваг до мережі живлення впродовж декількох хвилин на індикаторі висвітлюються нульові покази і символ стабілізації .

2. Для визначення маси тари необхідно встановити тару на тарілку. Тарілку необхідно навантажувати спокійно без ударів, тару розміщувати в центрі тарілки. Після стабілізації

показів ваг натиснути кнопку  оранжевого кольору. На індикаторі з'являються нульові покази і символи *Net* і .

Увага! Для уникнення забруднення ваг, необхідно зняти тару (бюкс) з тарілки і помістити в бюкс об'єкт зважування.

Після зняття тари на індикаторі висвітлюються покази, які дорівнюють масі тари із знаком мінус.

3. Покласти тару (бюкс) з об'єктом зважування на тарілку. Записати покази індикатора (маса наважки без маси тари).

4. Для обнулення показів ваг необхідно натиснути кнопку . На індикаторі з'являються нульові покази і символ .

5. У перервах між вимірюваннями не рекомендується вимикати ваги з мережі живлення.

Достатньо вимкнути свічення індикатора кнопкою ON/OFF . При повторному натисканні кнопки ON/OFF, ваги є готовими до наступних зважувань.

6. Після закінчення роботи вимкнути ваги з електромережі.

Константи йонізації найважливіших кислот і основ

Назва кислоти	Формула	Константи йонізації, K_a	pK_a
Ацетатна (етанова)	CH ₃ COOH	K 1,74·10 ⁻⁵	4,76
Етилендіамінтетраацетатна	H ₄ Y (ЕДТА)	K_1 1,0·10 ⁻²	2,00
		K_2 2,1·10 ⁻³	2,67
		K_3 6,9·10 ⁻⁷	6,16
		K_4 5,5·10 ⁻¹¹	10,26
Карбонатна	H ₂ CO ₃	K_1 4,5·10 ⁻⁷	6,35
		K_2 4,8·10 ⁻¹¹	10,32
Нітритна (нітратна(III))	HNO ₂	K 5,1·10 ⁻⁴	3,29
Оксалатна (щавлева)	H ₂ C ₂ O ₄	K_1 5,6·10 ⁻²	1,25
		K_2 5,4·10 ⁻⁵	4,27
Сульфатна(IV) (сульфітна)	H ₂ SO ₃	K_1 1,4·10 ⁻²	1,85
		K_2 6,2·10 ⁻⁸	7,20
Сульфатна(VI)	H ₂ SO ₄	K_2 1,15·10 ⁻²	1,94
Сульфідна	H ₂ S	K_1 1,0·10 ⁻⁷	7,00
		K_2 2,5·10 ⁻¹³	12,60
Тартратна (винна)	H ₂ C ₄ H ₄ O ₆	K_1 9,1·10 ⁻⁴	3,04
		K_2 4,3·10 ⁻⁵	4,37
Тетраборатна	H ₂ B ₄ O ₇	K_1 1,8·10 ⁻⁴	3,74
		K_2 2,0·10 ⁻⁸	7,70
Флуоридна	HF	K 6,2·10 ⁻⁴	3,21
Форміатна (метанова)	HCOOH	K 1,8·10 ⁻⁴	3,75
Фосфатна(V)	H ₃ PO ₄	K_1 7,1·10 ⁻³	2,15
		K_2 6,2·10 ⁻⁸	7,21
		K_3 5,0·10 ⁻¹³	12,30
Ціанідна	HCN	K 5,0·10 ⁻¹⁰	9,30
Бурштинова	H ₂ C ₄ H ₄ O ₄	K_1 1,6·10 ⁻⁵	4,21
		K_2 2,3·10 ⁻⁶	5,63
Назва основи	Формула	Константи йонізації, K_b	pK_b
Амоній гідроксид	NH ₃ □H ₂ O	K 1,76·10 ⁻⁵	4,755
Аргентум(І) гідроксид	AgOH	K 5,0·10 ⁻³	2,30
Барій дигідроксид	Ba(OH) ₂	K_2 2,3·10 ⁻¹	0,64
Кальцій дигідроксид	Ca(OH) ₂	K_2 4,0·10 ⁻²	1,40

Стандартні електродні потенціали деяких систем у водних розчинах

Рівняння процесу	E° , В
1	2
АРГЕНТУМ	
$\text{Ag}^{2+} + e = \text{Ag}^{1+}$	2,00
АЛЮМІНІЙ	
$\text{Al}^{3+} + 3e = \text{Al}$	-1,66
АРСЕН	
$\text{AsO}_4^{3-} + 2\text{H}_2\text{O} + 2e = \text{AsO}_2^{1-} + 4\text{OH}^{1-}$	-0,710
$\text{H}_3\text{AsO}_4 + 2\text{H}^{1+} + 2e = \text{HAsO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	0,560
АУРУМ	
$\text{Au}^{3+} + 2e = \text{Au}^{1+}$	1,410
$\text{Au}^{3+} + 3e = \text{Au}$	1,500
$\text{Au}^{1+} + e = \text{Au}$	1,680
БІСМУТ	
$\text{NaBiO}_3 + 4\text{H}^{1+} + 2e = \text{BiO}^{1+} + \text{Na}^{1+} + 2\text{H}_2\text{O}$	1,800
БРОМ	
$2\text{BrO}^{1-} + 2\text{H}_2\text{O} + 2e = \text{Br}_2 + 4\text{OH}^{1-}$	0,450
$2\text{BrO}_3^{1-} + 6\text{H}_2\text{O} + 10e = \text{Br}_2 + 12\text{OH}^{1-}$	0,500
$\text{CrO}_3^{1-} + 3\text{H}_2\text{O} + 6e = \text{Br}^{1-} + 6\text{OH}^{1-}$	0,610
$\text{BrO}^{1-} + \text{H}_2\text{O} + 2e = \text{Br}^{1-} + 2\text{OH}^{1-}$	0,760
$\text{Br}_2 + 2e = 2\text{Br}^{1-}$	1,087
$\text{BrO}_3^{1-} + 6\text{H}^{1+} + 6e = \text{Br}^{1-} + 3\text{H}_2\text{O}$	1,450
$2\text{BrO}_3^{1-} + 12\text{H}^{1+} + 10e = \text{Br}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$	1,520
$2\text{HBrO} + 2\text{H}^{1+} + 2e = \text{Br}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	1,600
КАРБОН	
$2\text{CO}_2 + 2\text{H}^{1+} + 2e = \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$	-0,490
$\text{CO}_2 + 2\text{H}^{1+} + 2e = \text{HCOOH}$	-0,200
$\text{CO}_2 + 2\text{H}^{1+} + 2e = \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$	-0,120
$\text{CO}_3^{2-} + 6\text{H}^{1+} + 4e = \text{C} + 3\text{H}_2\text{O}$	0,475
КАЛЬЦІЙ	
$\text{Ca}^{2+} + 2e = \text{Ca}$	-2,866
КАДМІЙ	
$\text{Cd}^{2+} + 2e = \text{Cd}$	-0,403
КОБАЛЬТ	
$\text{Co}^{3+} + 3e = \text{Co}$	0,460
$\text{Co}^{3+} + e = \text{Co}^{2+}$	1,950
ХЛОР	
$2\text{ClO}^{1-} + 2\text{H}_2\text{O} + 2e = \text{Cl}_2 + 4\text{OH}^{1-}$	0,400

$\text{ClO}_3^{1-} + 3\text{H}_2\text{O} + 6\text{e} = \text{Cl}^{1-} + 6\text{OH}^-$	0,630
$\text{ClO}^{1-} + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e} = \text{Cl}^{1-} + 2\text{OH}^-$	0,880
$\text{ClO}_4^{1-} + 2\text{H}^{1+} + 2\text{e} = \text{ClO}_3^{1-} + \text{H}_2\text{O}$	1,190
$\text{Cl}_2 + 2\text{e} = 2\text{Cl}^{1-}$	1,359
$\text{ClO}_4^{1-} + 8\text{H}^{1+} + 8\text{e} = \text{Cl}^{1-} + 4\text{H}_2\text{O}$	1,380
$\text{ClO}_3^{1-} + 6\text{H}^{1+} + 6\text{e} = \text{Cl}^{1-} + 3\text{H}_2\text{O}$	1,450
ХРОМ	
$\text{Cr}^{3+} + 3\text{e} = \text{Cr}$	-0,740
$\text{CrO}_4^{2-} + 4\text{H}_2\text{O} + 3\text{e} = \text{Cr}(\text{OH})_3 + 5\text{OH}^{1-}$	-0,130
$\text{CrO}_4^{2-} + 4\text{H}^{1+} + 3\text{e} = \text{CrO}_2^- + 2\text{H}_2\text{O}$	0,945
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^{1+} + 6\text{e} = 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$	1,333
$\text{CrO}_4^{2-} + 8\text{H}^{1+} + 3\text{e} = \text{Cr}^{3+} + 4\text{H}_2\text{O}$	1,477
КУПРУМ	
$\text{Cu}^{2+} + \text{e} = \text{Cu}^{1+}$	0,159
$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e} = \text{Cu}$	0,640
$\text{Cu}^{2+} + \text{I}^- + \text{e} = \text{CuI}$	0,860
ФЛЮОР	
$\text{F}_2 + 2\text{e} = 2\text{F}^{1-}$	2,870
ФЕРУМ	
$\text{Fe}^{2+} + 2\text{e} = \text{Fe}$	-0,473
$\text{Fe}^{3+} + 3\text{e} = \text{Fe}$	-0,058
$\text{Fe}^{3+} + \text{e} = \text{Fe}^{2+}$	0,771
ГІДРОГЕН	
$\text{H}_2 + 2\text{e} = 2\text{H}^{1-}$	-2,250
$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e} = \text{H}_2 + 2\text{OH}^{1-}$	-0,828
$2\text{H}^{1+} (10^{-7} M) + 2\text{e} = \text{H}_2$	-0,414
$2\text{H}^{1+} + 2\text{e} = \text{H}_2$	0,000
$\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^{1+} + 2\text{e} = 2\text{H}_2\text{O}$	1,770
МЕРКУРІЙ	
$\text{Hg}_2^{2+} + 2\text{e} = 2\text{Hg}$	0,792
$\text{Hg}^{2+} + 2\text{e} = \text{Hg}$	0,850
$2\text{Hg}^{2+} + 2\text{e} = \text{Hg}_2^{2+}$	0,907
ЙОД	
$\text{I}_2 + 2\text{e} = 2\text{I}^{1-}$	0,536
$\text{I}_3^{1-} + 2\text{e} = 3\text{I}^{1-}$	0,545
$\text{IO}_3^{1-} + 6\text{H}^+ + 6\text{e} = \text{I}^{1-} + 3\text{H}_2\text{O}$	1,080
$2\text{IO}_3^{1-} + 12\text{H}^+ + 10\text{e} = \text{I}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$	1,190
$2\text{IO}_3^{1-} + 6\text{H}_2\text{O} + 10\text{e} = \text{I}_2 + 12\text{OH}^{1-}$	0,210
$\text{IO}_3^{1-} + 3\text{H}_2\text{O} + 6\text{e} = \text{I}^{1-} + 6\text{OH}^{1-}$	0,260
МАГНІЙ	
$\text{Mg}^{2+} + 2\text{e} = \text{Mg}$	-2,370

МАНГАН	
$\text{Mn(OH)}_2 + 2\text{e} = \text{Mn} + 2\text{OH}^{1-}$	-1,550
$\text{Mn}^{2+} + 2\text{e} = \text{Mn}$	-1,170
$\text{MnO}_4^{1-} + \text{e} = \text{MnO}_4^{2-}$	0,558
$\text{MnO}_4^{1-} + 2\text{H}_2\text{O} + 3\text{e} = \text{MnO}_2 + 4\text{OH}^{1-}$	0,600
$\text{MnO}_2 + 4\text{H}^{1+} + 2\text{e} = \text{Mn}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	1,230
$\text{MnO}_4^{1-} + 8\text{H}^{1+} + 5\text{e} = \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$	1,510
$\text{Mn}^{3+} + \text{e} = \text{Mn}^{2+}$	1,510
$\text{MnO}_4^{1-} + 4\text{H}^{1+} + 3\text{e} = \text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	1,690
$\text{MnO}_4^{2-} + 4\text{H}^{1+} + 2\text{e} = \text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	2,257
НИТРОГЕН	
$\text{NO}_2^{1-} + \text{H}_2\text{O} + \text{e} = \text{NO} + 2\text{OH}^{1-}$	-0,460
$\text{NO}_3^{1-} + 2\text{H}_2\text{O} + 3\text{e} = \text{NO} + 4\text{OH}^{1-}$	-0,140
$\text{NO}_3^{1-} + 7\text{H}_2\text{O} + 8\text{e} = \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + 9\text{OH}^{1-}$	-0,120
$\text{NO}_3^{1-} + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e} = \text{NO}_2^{1-} + 2\text{OH}^{1-}$	0,010
$2\text{NO}_2^{1-} + 4\text{H}_2\text{O} + 6\text{e} = \text{N}_2 + 8\text{OH}^{1-}$	0,410
$\text{NO}_3^{1-} + 2\text{H}^{1+} + \text{e} = \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	0,800
$\text{NO}_3^{1-} + 10\text{H}^{1+} + 8\text{e} = \text{NH}_4^+ + 3\text{H}_2\text{O}$	0,870
$\text{NO}_3^{1-} + 4\text{H}^{1+} + 3\text{e} = \text{NO} + 2\text{H}_2\text{O}$	0,960
$\text{HNO}_2 + \text{H}^{1+} + \text{e} = \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$	0,980
$2\text{HNO}_2 + 4\text{H}^{1+} + 4\text{e} = \text{N}_2\text{O} + 3\text{H}_2\text{O}$	1,290
$2\text{HNO}_2 + 6\text{H}^{1+} + 6\text{e} = \text{N}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$	1,440
$2\text{NO} + 4\text{H}^{1+} + 4\text{e} = \text{N}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	1,680
$\text{N}_2\text{O} + 2\text{H}^{1+} + 2\text{e} = \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O}$	1,770
НИКЕЛЬ	
$\text{Ni}^{2+} + 2\text{e} = \text{Ni}$	-0,228
ОКСИГЕН	
$\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e} = \text{O}_2 + 2\text{OH}^{1-}$	0,020
$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e} = 4\text{OH}^{1-}$	0,401
$\text{O}_2 + 2\text{H}^{1+} + 2\text{e} = \text{H}_2\text{O}_2$	0,682
$\text{O}_2 + 4\text{H}^{1+} + 4\text{e} = 2\text{H}_2\text{O}$	1,229
$\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^{1+} + 2\text{e} = 2\text{H}_2\text{O}$	1,770
$\text{O}_3 + 2\text{H}^{1+} + 2\text{e} = \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$	2,070
ПЛЮМБУМ	
$\text{Pb}^{2+} + 2\text{e} = \text{Pb}$	-0,126
$\text{PbO}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e} = \text{PbO} + 2\text{OH}^{1-}$	0,280
$\text{Pb}^{4+} + 4\text{e} = \text{Pb}$	0,770
$\text{PbO}_2 + 4\text{H}^{1+} + 2\text{e} = \text{Pb}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	1,455
$\text{PbO}_2 + \text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^{1+} + 2\text{e} = \text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$	1,690
$\text{Pb}^{4+} + 2\text{e} = \text{Pb}^{2+}$	1,694

СУЛЬФУР	
$\text{SO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e} = \text{SO}_3^{2-} + 2\text{OH}^{1-}$	–0,930
$2\text{SO}_4^{2-} + 5\text{H}_2\text{O} + 8\text{e} = \text{S}_2\text{O}_3^{2-} + 10\text{OH}^{1-}$	–0,760
$\text{SO}_3^{2-} + 3\text{H}_2\text{O} + 4\text{e} = \text{S} + 6\text{OH}^{1-}$	–0,660
$2\text{SO}_3^{2-} + 3\text{H}_2\text{O} + 4\text{e} = \text{S}_2\text{O}_3^{2-} + 6\text{OH}^{1-}$	–0,580
$\text{S} + 2\text{e} = \text{S}^{2-}$	–0,480
$\text{S}_4\text{O}_6^{2-} + 2\text{e} = 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$	0,090
$\text{S} + 2\text{H}^{1+} + 2\text{e} = \text{H}_2\text{S}$	0,171
$\text{SO}_4^{2-} + 10\text{H}^{1+} + 8\text{e} = \text{H}_2\text{S} + 4\text{H}_2\text{O}$	0,310
$\text{SO}_4^{2-} + 8\text{H}^{1+} + 6\text{e} = \text{S} + 4\text{H}_2\text{O}$	0,360
$\text{H}_2\text{SO}_3 + 4\text{H}^{1+} + 4\text{e} = \text{S} + 3\text{H}_2\text{O}$	0,450
$\text{S}_2\text{O}_3^{2-} + 6\text{H}^{1+} + 4\text{e} = 2\text{S} + 3\text{H}_2\text{O}$	0,500
$\text{S}_2\text{O}_8^{2-} + 2\text{e} = 2\text{SO}_4^{2-}$	2,010
СТИБІЙ	
$\text{Sb} + 3\text{H}^{1+} + 3\text{e} = \text{SbH}_3$	–0,510
$\text{SbO}_3^{1-} + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e} = \text{SbO}_2^{1-} + 2\text{OH}^{1-}$	–0,430
$\text{Sb}^{3+} + 3\text{e} = \text{Sb}$	0,200
$\text{SbO}_2^{1-} + 4\text{H}^{1+} + 3\text{e} = \text{Sb} + 2\text{H}_2\text{O}$	0,446
СТАНУМ	
$\text{Sn}(\text{OH})_6^{2-} + 2\text{e} = \text{HSnO}_2^{1-} + 3\text{OH}^{1-} + \text{H}_2\text{O}$	–0,930
$\text{SnCl}_4^{2-} + 2\text{e} = \text{Sn} + 4\text{Cl}^{1-}$	–0,190
$\text{Sn}^{2+} + 2\text{e} = \text{Sn}$	–0,140
$\text{SnO}_2 + 4\text{H}^{1+} + 4\text{e} = \text{Sn} + 2\text{H}_2\text{O}$	–0,106
$\text{Sn}^{4+} + 4\text{e} = \text{Sn}$	0,010
$\text{Sn}^{4+} + 2\text{e} = \text{Sn}^{2+}$	0,150
ЦИНК	
$\text{Zn}^{2+} + 2\text{e} = \text{Zn}$	–0,764

Молярні маси речовин та молярні маси речовин еквівалента

Речовина	Моляр- на маса M , г/моль	Речовина	Моляр- на маса M , г/моль
1	2	1	2
Ag	107,87	CO	28,01
AgBr	187,78	CO ₂	44,01
AgSCN	165,96	1/2CO ₂	22,01
AgCl	143,32	Ca	40,08
Ag ₂ CrO ₄	331,73	1/2Ca	20,04
Ag ₂ CO ₃	275,75	CaCO ₃	100,09
AgI	234,77	1/2CaCO ₃	50,05
AgNO ₃	169,88	CaC ₂ O ₄	128,10
Ag ₂ O	231,74	CaC ₂ O ₄ ·H ₂ O	146,12
Ag ₂ S	247,80	CaF ₂	78,08
Al	26,98	CaCl ₂	110,99
1/3Al	8,99	CaCl ₂ ·6H ₂ O	219,08
2Al	53,96	Ca ₃ (PO ₄) ₂	310,18
Al(C ₉ H ₆ ON) ₃ (оксіхінолінат)	459,44	Ca(H ₂ PO ₄) ₂	234,04
		CaO	56,08
Al ₂ O ₃	101,96	1/2CaO	28,04
1/6Al ₂ O ₃	16,99	Ca(OH) ₂	74,10
Al(OH) ₃	78,00	1/2Ca(OH) ₂	37,05
Al ₂ (SO ₄) ₃	342,15	Ca(NO ₃) ₂	164,09
Al ₂ (SO ₄) ₃ ·18H ₂ O	666,42	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ ·H ₂ O	252,06
As	74,92	CaSO ₄	136,14
As ₂ O ₃	197,84	CaSO ₄ ·2H ₂ O	172,17
As ₂ S ₃	246,04	Cd ₂ P ₂ O ₇	398,74
1/4As ₂ O ₃	49,46	Cl	35,45
As ₂ O ₅	229,84	2Cl	70,90
Ba	137,34	C ₆ H ₅ OH	94,11
1/2Ba	68,67	Cr ₂ O ₃	151,99
BaBr ₂	297,16	1/2Cr ₂ O ₃	76,01
BaCO ₃	197,35	CrO ₃	100,00
BaCl ₂	208,25	1/3CrO ₃	33,33
BaCl ₂ ·2H ₂ O	244,28	Cr(OH) ₃	103,02
BaCrO ₄	253,33	Cu	63,55
Ba(OH) ₂	171,36	CuSCN	121,62
BaSO ₄	233,40	Cu ₂ O	143,08
BaSO ₃	217,40	CuO	79,54
B ₂ O ₃	69,62	1/2CuO	39,77
Br	79,91	CuSO ₄	159,60
C	12,01	CuSO ₄ ·5H ₂ O	249,68

1	2	1	2
Fe	55,85	Hg	200,59
2Fe	111,70	Hg ₂ Cl ₂	472,09
FeCO ₃	115,86	HgCl ₂	271,50
FeCl ₂	126,75	HgO	216,59
FeCl ₃	162,21	I	126,90
FeO	71,85	K	39,10
Fe ₂ O ₃	159,69	KAl(SO ₄) ₂ ·12H ₂ O	474,39
Fe(OH) ₃	106,87	KBr	119,01
1/2Fe ₂ O ₃	79,85	KBrO ₃	167,00
Fe ₃ O ₄	231,54	1/6KBrO ₃	27,83
2Fe(OH) ₃	213,74	KHCO ₃	100,11
FeS	87,91	K ₂ CO ₃	138,21
FeSO ₄	151,91	1/2K ₂ CO ₃	69,11
FeSO ₄ ·7H ₂ O	278,02	KCl	74,56
Fe ₂ (SO ₄) ₃	399,88	KClO ₃	122,55
H	1,008	1/6KClO ₃	20,43
H ₂	2,016	K ₂ CrO ₄	194,20
H ₂ O	18,015	K ₂ Cr ₂ O ₇	294,19
1/2H ₂ O	9,008	1/6K ₂ Cr ₂ O ₇	49,03
2H ₂ O	36,030	K ₃ [Fe(CN) ₆]	329,23
3H ₂ O	54,045	K ₄ Fe(CN) ₆]	368,33
H ₂ O ₂	34,01	KI	166,01
H ₃ BO ₃	61,83	KIO ₃	214,00
HCOOH	46,03	1/6KIO ₃	35,67
CH ₃ COOH	60,05	KMnO ₄	158,04
CH ₃ COO ⁻	59,04	1/5KMnO ₄	31,61
H ₂ C ₂ O ₄	90,04	1/3KMnO ₄	52,68
1/2H ₂ C ₂ O ₄	45,02	K ₂ O	94,20
H ₂ C ₂ O ₄ ·2H ₂ O	126,07	1/2K ₂ O	47,10
1/2H ₂ C ₂ O ₄ ·2H ₂ O	63,04	K ₂ PtCl ₆	486,01
1/2H ₂ C ₄ H ₄ O ₄ (янтарна(бурштинова кислота)	59,05	KOH	56,11
		K ₂ SO ₄	174,27
		Mg	24,31
C ₆ H ₅ COOH (бензойна кислота)	122,13	MgCO ₃	84,32
		Mg(NH ₄)PO ₄ ·6H ₂ O	245,43
HCl	36,46	MgO	40,31
2HCl	72,92	Mg(OH) ₂	58,33
HNO ₃	63,01	MgC ₂ O ₄	112,33
H ₃ PO ₄	98,00	MgCl ₂ ·KCl·6H ₂ O	277,86
H ₂ S	34,08	Mg ₂ P ₂ O ₇	222,56
H ₂ SO ₄	98,08	MgSO ₄	120,37
1/2H ₂ SO ₄	49,04	MgSO ₄ ·7H ₂ O	246,48

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>2</i>
MnCO ₃	114,95	NaMg(UO ₂) ₃ ·(CH ₃ COO) ₉	1388,94
MnO ₂	86,94	NaCl	58,44
1/2MnO ₂	43,47	Na ₂ CrO ₄	161,98
N	14,007	NaHCO ₃	84,01
NH ₃	17,03	Na ₂ HPO ₄ ·12H ₂ O	358,14
2NH ₃	34,06	NaPO ₃	101,96
NH ₄ ⁺	18,04	NaI	149,89
(NH ₄) ₂ Al ₂ (SO ₄) ₄ ·24H ₂ O	906,66	NaNO ₂	69,00
(NH ₄) ₃ PO ₄ ·12MoO ₃	1876,40	NaNO ₃	85,00
NH ₄ Br	97,95	Na ₂ O	61,98
NH ₄ SCN	76,12	1/2Na ₂ O	30,99
(NH ₄) ₂ C ₂ O ₄ ·H ₂ O	142,11	Na ₂ O ₂	77,98
1/2(NH ₄) ₂ C ₂ O ₄ ·H ₂ O	71,06	NaOH	40,00
NH ₄ Cl	53,49	Na ₂ S	78,04
NH ₄ Fe(SO ₄) ₂ ·12H ₂ O	482,19	1/2Na ₂ S	39,02
(NH ₄) ₂ Fe(SO ₄) ₂ ·6H ₂ O	392,14	Na ₂ S ₂ O ₃	158,11
NH ₄ H ₂ PO ₄	115,03	Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O	248,18
(NH ₄) ₂ HPO ₄	132,06	Na ₂ SO ₃	126,04
NH ₄ I	144,94	1/2Na ₂ SO ₃	63,02
NH ₄ NO ₃	80,00	Na ₂ SO ₃ ·7H ₂ O	252,15
NH ₄ OH	35,046	1/2Na ₂ SO ₃ ·7H ₂ O	126,08
(NH ₄) ₂ PtCl ₆	443,88	Na ₂ SO ₄	142,04
(NH ₄) ₂ SO ₄	132,14	Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O	322,19
N ₂ O ₅	108,01	Ni	58,71
Na	22,99	NiO	74,71
Na ₂ B ₄ O ₇	201,22	Ni(C ₄ N ₂ O ₂ H ₇) ₂	288,94
Na ₂ B ₄ O ₇ ·10H ₂ O	381,37	NiSO ₄ ·7H ₂ O	280,88
1/2Na ₂ B ₄ O ₇ ·10H ₂ O	190,69	O	15,999
NaBr	102,90	OH ⁻	17,01
Na ₂ CO ₃	105,99	P	30,97
NaHCO ₃	84,01	P ₂ O ₅	141,98
1/2Na ₂ CO ₃	53,00	P ₂ O ₅ ·24MoO ₃	3596,50
Na ₂ CO ₃ ·10H ₂ O	286,14	Pb	207,19
1/2Na ₂ CO ₃ ·10H ₂ O	143,07	PbBr ₂	368,01
Na ₂ C ₂ O ₄	134,00	Pb(CH ₃ COO) ₂ ·3H ₂ O	379,33
1/2Na ₂ C ₂ O ₄	67,00	PbCO ₃	267,20
Na ₃ AlF ₆	209,94	PbCl ₂	278,10
NaCH ₃ COO	82,03	PbCrO ₄	323,18
Na ₂ Cr ₂ O ₇	261,97	PbI ₂	461,00
1/6Na ₂ Cr ₂ O ₇	43,66	PbO	223,19

1	2	1	2
Pb ₃ O ₄	685,57	SnO	134,69
PbO ₂	239,19	SnO ₂	150,69
PbS	239,25	Sr	87,62
PbSO ₄	303,25	SrCO ₃	147,63
Pt	195,09	Sr(OH) ₂ ·8H ₂ O	265,76
S	32,06	Sr(NO ₃) ₂	211,63
SO ₂	64,06	SrSO ₄	183,68
SO ₃	80,06	Zn	65,37
SO ₄ ²⁻	96,06	ZnCO ₃	125,38
Sb	121,75	ZnCl ₂	136,28
Sb ₂ O ₃	291,50	ZnNH ₄ PO ₄	178,40
Si	28,09	ZnO	81,37
SiF ₄	104,08	Zn(OH) ₂	99,39
SiO ₂	60,09	Zn ₂ P ₂ O ₇	304,68
Sn	118,69	ZnSO ₄ ·7H ₂ O	287,54
SnCl ₂	189,60	ZnS	97,43
SnCl ₂ ·2H ₂ O	225,63		

Додаток 5

**Допустимі відхилення від номінальної ємності
градуйованого посуду технічного класу при 20 °С**

Аліквотні піпетки

Ємність, см ³	Клас 1		Клас 2	
	Допустиме відхилення, см ³	Час витікання, с.	Допустиме відхилення, см ³	Час витікання, с.
200	±0,10	45–50	±0,20	40–50
100	±0,08	35–40	±0,16	30–40
50	±0,05	35–40	±0,10	30–40
25	±0,04	25–30	±0,08	15–25
20	±0,03	25–30	±0,06	15–25
15	±0,03	25–35	±0,06	15–25
10	±0,02	25–35	±0,04	15–25
5	±0,01	15–20	±0,020	10–20
2	±0,005	15–25	±0,010	10–20
1	±0,005	15–25	±0,010	10–20
0,5	±0,005	15–25	±0,010	10–20

Градуйовані піпетки

Ємність, см ³	Клас 1		Клас 2	
	Допустиме відхилення, см ³	Час витікання , с.	Допустиме відхилення, см ³	Час витікання, с.
200	—	—	—	—
100	±0,10	—	±0,20	—
50	±0,08	—	±0,16	—
25	±0,05	30–40	±0,10	10–35
20	±0,05	30–40	±0,10	10–35
15	±0,05	30–40	±0,10	10–35
10	±0,05	30–40	±0,10	10–35
5	±0,025	15–25	±0,050	5–25
2	±0,010	15–25	±0,020	3–20
1	±0,005	15–25	±0,010	3–20
0,5	±0,005	15–25	±0,010	3–20

Мірні колби

Ємність, см ³	Допустиме відхилення від номінальної ємності, см ³		Ємність, см ³	Допустиме відхилення від номінальної ємності, см ³	
	Клас 1	Клас 2		Клас 1	Клас 2
2000	±0,50	±1,00	100	±0,10	±0,20
1000	±0,30	±0,60	50	±0,05	±0,10
500	±0,15	±0,30	25	±0,03	±0,06
250	±0,10	±0,20	10	±0,02	±0,04
200	±0,10	±0,20	5	±0,01	±0,02

Бюретки

Ємність, см ³	Допустиме відхилення, см ³	
	Клас 1	Клас 2
100	±0,10	±0,20
50	±0,05	±0,10
25	±0,05	±0,10
10	±0,025	±0,050

Значення загальних констант нестійкості комплексних йонів (20–25 °C)

Комплексо- утворювачі	Йонізація комплексів	Константа нестійкості, K_H
Ag^{1+}	$[Ag(NH_3)_2]^{1+} \rightleftharpoons Ag^{1+} + 2NH_3$	$5,75 \cdot 10^{-8}$
	$[AgCl_2]^{1-} \rightleftharpoons Ag^{1+} + 2Cl^{1-}$	$9,12 \cdot 10^{-6}$
	$[AgI_2]^{1-} \rightleftharpoons Ag^{1+} + 2I^{1-}$	$5,50 \cdot 10^{-12}$
	$[Ag(S_2O_3)_2]^{1-} \rightleftharpoons Ag^{1+} + 2S_2O_3^{2-}$	$3,47 \cdot 10^{-14}$
	$[Ag(S_2O_3)]^{1-} \rightleftharpoons Ag^{1+} + S_2O_3^{2-}$	$1,00 \cdot 10^{-13}$
	$[Ag(CN)_2]^{1-} \rightleftharpoons Ag^{1+} + 2CN^{1-}$	$1,41 \cdot 10^{-20}$
	$[Ag(SCN)_2]^{1-} \rightleftharpoons Ag^{1+} + 2SCN^{1-}$	$5,88 \cdot 10^{-9}$
	$[Ag(NO_2)_2]^{1-} \rightleftharpoons Ag^{1+} + 2NO_2^{1-}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$
Al^{3+}	$[Al(OH)_4]^{1-} \rightleftharpoons Al^{3+} + 4OH^{1-}$	$1,0 \cdot 10^{-33}$
	$[Al(F_6)]^{3-} \rightleftharpoons Al^{3+} + 6F^{1-}$	$2,14 \cdot 10^{-21}$
	$[Al(SO_4)_2]^{1-} \rightleftharpoons Al^{3+} + 2SO_4^{2-}$	$1,26 \cdot 10^{-6}$
	$[Al(C_2O_4)_3]^{3-} \rightleftharpoons Al^{3+} + 3C_2O_4^{2-}$	$5,00 \cdot 10^{-17}$
	$[AlEDTA]^{1-} \rightleftharpoons Al^{3+} + EDTA^{4-}$	$7,41 \cdot 10^{-1}$
Cd^{2+}	$[Cd(NH_3)_4]^{2+} \rightleftharpoons Cd^{2+} + 4NH_3$	$2,75 \cdot 10^{-7}$
	$[Cd(CN)_4]^{2-} \rightleftharpoons Cd^{2+} + 4CN^{1-}$	$1,76 \cdot 10^{-18}$
	$[CdI_4]^{2-} \rightleftharpoons Cd^{2+} + 4I^{1-}$	$7,94 \cdot 10^{-7}$
	$[Cd(S_2O_3)_2]^{2-} \rightleftharpoons Cd^{2+} + 2S_2O_3^{2-}$	$3,31 \cdot 10^{-7}$
Co^{2+} Co^{3+}	$[Co(NH_3)_6]^{2+} \rightleftharpoons Co^{2+} + 6NH_3$	$7,80 \cdot 10^{-6}$
	$[Co(NH_3)_6]^{3+} \rightleftharpoons Co^{3+} + 6NH_3$	$6,16 \cdot 10^{-36}$
	$[Co(CN)_6]^{4-} \rightleftharpoons Co^{2+} + 6CN^{1-}$	$8,13 \cdot 10^{-20}$
	$[Co(CN)_6]^{3-} \rightleftharpoons Co^{3+} + 6CN^{1-}$	$1,00 \cdot 10^{-64}$
	$[CoEDTA]^{2-} \rightleftharpoons Co^{2+} + EDTA^{4-}$	$1,00 \cdot 10^{-17}$
	$[CoEDTA]^{1-} \rightleftharpoons Co^{3+} + EDTA^{4-}$	$1,00 \cdot 10^{-36}$
Cu^{1+}	$[Cu(NH_3)_2]^{1+} \rightleftharpoons Cu^{1+} + 2NH_3$	$1,36 \cdot 10^{-11}$
	$[Cu(CN)_4]^{3-} \rightleftharpoons Cu^{1+} + 4CN^{1-}$	$5,00 \cdot 10^{-31}$
Cu^{2+}	$[Cu(NH_3)_4]^{2+} \rightleftharpoons Cu^{2+} + 4NH_3$	$9,33 \cdot 10^{-13}$
	$[Cu(C_2O_4)_2]^{2-} \rightleftharpoons Cu^{2+} + 2C_2O_4^{2-}$	$5,00 \cdot 10^{-11}$
	$[CuCl_4]^{2-} \rightleftharpoons Cu^{2+} + 4Cl^{1-}$	$2,40 \cdot 10^{-6}$
	$[CuEDTA]^{2-} \rightleftharpoons Cu^{2+} + EDTA^{4-}$	$1,58 \cdot 10^{-19}$

Значення коефіцієнтів Стьюдента t

n	f	Значення t при ймовірності P , що дорівнює		
		0,95	0,99	0,999
2	1	12,7	63,6	636
3	2	4,30	9,93	31,6
4	3	3,18	5,84	12,9
5	4	2,78	4,60	8,61
6	5	2,57	4,03	6,86
7	6	2,45	3,71	5,96
8	7	2,37	3,50	5,41
9	8	2,31	3,36	5,04
10	9	2,26	3,25	4,78
11	10	2,23	3,17	4,59
12	11	2,20	3,11	4,44
13	12	2,18	3,06	4,32
14	13	2,16	3,01	4,32
15	14	2,15	2,98	4,14
16	15	2,13	2,95	4,07
17	16	2,13	2,92	4,02
18	17	2,11	2,90	3,97
19	18	2,10	2,88	3,92
20	19	2,09	2,86	3,88
21	20	2,09	2,85	3,85
22	21	2,08	2,83	3,82
23	22	2,07	2,82	3,79
24	23	2,07	2,81	3,77
25	24	2,06	2,80	3,75
26	25	2,06	2,79	3,73
27	26	2,06	2,78	3,71
28	27	2,05	2,77	3,69
29	28	2,05	2,76	3,67
30	29	2,04	2,76	3,66
31	30	2,04	2,75	3,65
∞	∞	1,96	2,58	3,29

Відомості про шкідливість та безпеку при роботі з деякими хімічними реактивами**Неорганічні речовини**

Нітратна кислота. Подразнює шкіру, очі, дихальні шляхи, токсична і вибухова. Пожежау, яка сталася від дії нітратної кислоти, гасять розпилюванням води. Зберігають окремо, захищають від механічних пошкоджень.

Бром. Температура кипіння 58,8 °С. Подразнює шкіру, очі, дихальні шляхи, токсичний. Під час пожежі гасять водою. Зберігають окремо, оберігають від механічних ушкоджень і вологи.

Калій та натрій гідроксиди. Подразнюють шкіру, очі, дихальні шляхи, токсичні. При пожежі гасять водою. Зберігають в ізольованих приміщеннях, оберігають від механічних ушкоджень та вологи.

Калій та амоній нітрати. Подразнюють шкіру, очі, дихальні шляхи, токсичні. При пожежі гасять водою. Зберігають в окремих приміщеннях, оберігають від механічних ушкоджень та вологи.

Пероксид водню (30 %-ний розчин). Подразнює шкіру, очі, верхні дихальні шляхи, токсичний, вибухонебезпечний. При пожежі гасять водою. Зберігають в ізольованих приміщеннях, оберігають від механічних ушкоджень.

Натрій пероксид. Дивись **гідроген пероксид**.

Сульфатна кислота. Подразнює шкіру, очі, верхні дихальні шляхи. При пожежі гасять сухими порошками, зберігають в окремих приміщеннях, оберігають від механічних ушкоджень і вологи.

Хлоридна кислота. Подразнює шкіру, очі, дихальні шляхи, токсична, вибухонебезпечна. При пожежі гасять водою і спеціальними порошками. Зберігають в окремих приміщеннях, оберігають від механічних ушкоджень.

Флюоридна кислота. Температура кипіння 12,4 °С. Роз'їдає шкіру, подразнює очі, дихальні шляхи, токсична, вибухонебезпечна. При пожежі гасять водою. Зберігають в окремих приміщеннях, оберігають від механічних ушкоджень.

Хлоратна кислота. Подразнює очі, шкіру, дихальні шляхи, токсична, вибухонебезпечна. При пожежі гасять розпилюванням води. Зберігають в окремих приміщеннях, оберігають від механічних ушкоджень.

Органічні речовини

Ацетон. Температура самоспалахування 538 °С, температура кипіння 56,2 °С. Подразнює шкіру, очі, дихальні шляхи, токсичний, у високій мірі вибухонебезпечний. При горінні гасять порошковими сумішами, вуглекислим газом, розпиленням води. Зберігають окремо, захищають від механічних пошкоджень.

Ацетатна кислота (оцтова, льодяна). Температура самоспалахування 428 °С, температура кипіння 118 °С. Подразнює шкіру, очі, дихальні шляхи, токсична, у високій степені вибухонебезпечна. Під час пожежі гасять розпилюванням води, вуглекислим газом, сухими порошками. Зберігають в окремих приміщеннях, оберігають від механічних ушкоджень.

Бензен. Температура самоспалахування 562 °С, температура кипіння 80,1 °С. Подразнює шкіру, очі, дихальні шляхи, токсичний (особливо для жінок), у високій мірі вибухонебезпечний. Під час пожежі гасять вуглекислим газом, розпиленням води, піною, сухими порошками. При зберіганні ретельно ізолюють і оберігають від механічних ушкоджень.

Бутиловий спирт (первинний). Температура самоспалахування 363 °С, температура кипіння 117,5 °С. Подразнює шкіру, очі, дихальні шляхи, токсичний, у високій мірі вибухонебезпечний. Під час пожежі гасять пінними засобами, вуглекислим газом. Зберігають у звичайному складі, оберігають від механічних ушкоджень.

Діетиловий етер. Температура самоспалахування 186 °С, температура кипіння 34,5 °С. Подразнює дихальні шляхи, токсичний, вибухонебезпечний. При пожежі гасять вуглекислим газом, сухими порошками. Не можна гасити водою. Зберігають в ізольованих приміщеннях, оберігають від механічних ушкоджень, нагрівання та іскри.

Гексан (нормальний). Температура самоспалахування 261 °С, температура кипіння 69 °С. Подразнює очі, токсичний, у високій мірі вибухонебезпечний. Під час пожежі гасять пінами, вуглекислим газом, сухими порошками. Зберігають у звичайному складі, оберігають від механічних ушкоджень, нагрівання та іскри.

Метиловий спирт. Температура самоспалахування 464 °С, температура кипіння 64,5 °С. Подразнює дихальні шляхи, дуже токсичний і вибухонебезпечний. Під час пожежі гасять водою, вуглекислим газом, сухими порошками, зберігають у спеціальних ізольованих приміщеннях, оберігають від механічних ушкоджень та іскри.

Толуол. Температура самоспалахування 536 °С, температура кипіння 110,6 °С. Подразнює очі, дихальні шляхи, токсичний, вибухонебезпечний. При пожежі гасять розпилюванням води, піною, вуглекислим газом, сухими порошками. Зберігають в окремих приміщеннях, оберігають від механічних ушкоджень, нагрівання та іскри.

Правила техніки безпеки при роботі в лабораторії аналітичної хімії

Забороняється працювати одному в лабораторії, оскільки в разі нещасного випадку некому надати допомогу потерпілому і ліквідувати наслідки.

Під час роботи в лабораторії слід дотримуватися чистоти, тиші, порядку та правил техніки безпеки. Поспішність та неохайність призводять до тяжких наслідків.

Кожний працівник повинен знати, де знаходяться в лабораторії засоби протипожежного захисту та аптечка, яка містить все необхідне для надання першої допомоги (калій перманганат, борна кислота, питна сода, спиртовий розчин йоду, вата, бинт, пластир, мазь від опіків).

Категорично забороняється в лабораторії їсти, пити воду, палити.

Не можна приступати до виконання лабораторної роботи, доки не засвоєна техніка її виконання.

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

Під час роботи необхідно слідкувати за тим, щоб речовини не потрапляли на руки та обличчя, тому що деякі з них (кислоти, луги тощо) викликають пошкодження шкіри та слизових оболонок.

Категорично забороняється брати речовини руками і пробувати їх на смак. Нюхати речовини можна лише обережно, направляючи на себе газу чи пару легкими рухами рук. Не нахилятися над посудом і не вдихати на повні груди!

Банки, склянки та інший посуд для зберігання реактивів повинен мати етикетки з назвою речовини.

Після закінчення роботи потрібно закрити крани з водою і вимкнути електроприлади.

Відходи виливають у банки для зливання, а реактиви, що дорого коштують, – у спеціально призначений посуд.

У лабораторії повинні бути засоби протипожежного захисту: ящик із просіяним піском, совок для нього, протипожежна ковдра, заряджений вогнегасник.

Додаток 10

Правила роботи з небезпечними, токсичними і вогнебезпечними речовинами

Всі роботи з небезпечними і токсичними речовинами (наприклад, бромом, йодом, оксидами нітрогену тощо) необхідно проводити лише у витяжній шафі.

Досліді з вогнебезпечними речовинами (наприклад, ефіром, ацетоном, бенzenом тощо) виконувати якомога далі від вогню та увімкнутих електроплиток, нагрівати легкозаймисті речовини можна лише у спеціальному посуді на попередньо нагрітій водяній бані.

Перша допомога при нещасних випадках

При всіх нещасних випадках слід негайно викликати лікаря. Все описане нижче треба розглядати тільки як надання першої допомоги.

1. Опіки (термічні) першого ступеня – почервоніння шкіри. На обпечену ділянку покласти вату, змочену 90–96%-ним етиловим спиртом, продовжувати зволожувати вату спиртом. Опіки другого ступеня – пухирі. Шкіру обробляють спиртом, як вказано вище, або 3–5%-ним розчином калій перманганату, або 5%-ним свіжо приготовленим розчином таніна, поки шкіра не стане коричневою. Опіки третього ступеня – руйнування тканин. Рану покривають стерильною пов'язкою і викликають лікаря.

2. Великі порізи. Не промивати водою! Кров сама очищує рану. Інородні тіла, що знаходяться глибоко в рані, наприклад, скло, не можна видаляти без лікаря. На рану накласти стерильну пов'язку. Не використовувати вату! При сильній кровотечі накласти жгут вище рани.

3. Опіки шкіри кислотами, лугами, бромом, фосфором. Промивають обпечену ділянку шкіри сильним потоком води з водопроводу. Після цього промивають 1%-ним розчином ацетатної (оцтової кислоти) при опіках лугом або 1%-ним розчином натрій гідрогенкарбонату при опіках кислотою. При опіках бромом шкіру ретельно промивають бенzenом. При опіках фосфором багаторазово занурюють обпечене місце у ванночку з 1%-ним розчином купрум(II) сульфату або ж накладають марлю, змочену розчином купрум(II) сульфату, і багато разів змінюють її.

4. Опіки очей. Очі промивають великою кількістю води з водопроводу, намагаючись тримати очі весь час відкритими. Негайно викликати лікаря. У випадку опіку очей лугом необхідно промити 2%-ним розчином борної кислоти, а при опіці кислотою – 3%-ним розчином натрій гідрогенкарбонату.

5. Опіки рота і губ лугом, кислотою та розчинами важких металів. Прийняти протиотруту, наприклад, молоко, білок, вівсяний відвар. При опіках кислотами полоскати порожнину рота водними суспензіями крейди або магній оксиду, а при опіках лугами полоскати 1%-ним розчином ацетатної кислоти або водним розчином лимонного соку.

6. Отруєння газами, які подразнюють дихальні шляхи (хлором, бромом, гідроген хлоридом, оксидами нітрогену). Повний спокій і свіже повітря! При сильному отруєнні потерпілого виносять на свіже повітря. Необхідні інгаляції водними парами або розчином натрій гідрогенкарбонату. Бажано вдихання кисню та його суміші з карбон (IV) оксидом (6%! --CO_2). Під час зупинки дихання зробити потерпілому штучне дихання.

7. Отруєння сірководнем (H_2S), чадним газом (CO) (карбон(II) оксидом), ціанідною кислотою (HCN), арсином (AsH_3), фосфіном (PH_3). Винести на свіже повітря, надати спокій! У важких випадках застосовувати штучне дихання (бажано з киснем). При отруєнні ціанідною кислотою випити розчину, який приготуваний розчиненням у 50 см³ води 2 г натрій тіосульфату та 0,5 г натрій нітрату(V).

8. Отруєння амоніаком. Дати випити велику кількість води з додаванням оцту чи лимонного соку. Викликати блювання. Випити рослинної олії, молока чи яєчного білка. При отруєнні парами амоніаку винести потерпілого на свіже повітря і надати йому спокій.

НАВЧАЛЬНА ЛІТЕРАТУРА

Основна

1. Сегеда А. С. Аналітична хімія. Якісний аналіз. Навчально-методичний посібник. К. : ЦУЛ, 2002. 524 с.
2. Сегеда А. С. Аналітична хімія. Кількісний аналіз. К. : Фітосоціоцентр, 2006. 544 с.
3. Загальні теоретичні основи аналітичної хімії (курс лекцій та матеріали для самостійного опрацювання) : навч. посібник / укладачі : Ю. А. Шафорост, В. О. Мінаєва. Черкаси, 2025. 216 с. : табл.
4. Загальні теоретичні основи аналітичної хімії (задачі та алгоритми розв'язання) [Електронне видання] : навч.-метод. посібник / укладачі : В. О. Мінаєва, Ю. А. Шафорост. Черкаси, 2025. 321 с.
5. Сегеда А. С. Збірник задач і вправ з аналітичної хімії. Кількісний аналіз. Київ : Фітосоціоцентр, 2005. 491 с.
6. Аналітична хімія. Кількісний хімічний аналіз : навч. посібник / укладачі : В. О. Мінаєва, Ю. А. Шафорост, Т. С. Нінова. Черкаси, 2025. 514 с. : табл.; іл.
7. Аналітична хімія : тестові завдання [Електронний ресурс] / укладачі : В. О. Мінаєва, Ю. А. Шафорост. Черкаси, 2025. 223 с.
8. Сегеда А. С., Галаган Р. Л. Збірник задач і вправ з аналітичної хімії. Якісний аналіз. К. : ЦУЛ. Фітосоціоцентр, 2002. 429 с.
9. Робочий зошит з аналітичної хімії. Якісний аналіз : навч.-метод. посібник / укладачі : Ю. А. Шафорост, В. О. Мінаєва. Черкаси, 2025. 150 с.
10. Робочий зошит з аналітичної хімії. Кількісний аналіз : навч.-метод. посібник / укладачі : Ю. А. Шафорост, В. О. Мінаєва. Черкаси, 2025. 156 с. : табл. ; іл.
11. ДСТУ 2439:2018. Хімічні елементи та прості речовини. Терміни та визначення основних понять, назви й символи. [Чинний від 2019-10-01]. К. ДП «УкрНДНЦ», 2019. 12 с
12. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. [Чинний від 1 липня 2016 р.]. Розробник : Державна наукова установа “Книжкова палата України імені Івана Федорова”. 37 с.
13. D. Skoog, D. West, F. Holler, S. Crouch, Fundamentals of Analytical chemistry, 9th ed, Cengage Learning, 2013. 1072 с.

Допоміжна

14. Алемасова А. С., Зайцев В. М., Єнальєва Л. Я., Щепіна Н. Д., Гождзінський С. М. Аналітична хімія. Підручник для вищих навчальних закладів / Під ред. В. М. Зайцева. Донецьк : ДонНУ, 2009. 415 с.
15. Аналітична хімія. Загальні положення. Рівноваги. Якісний та кількісний аналіз : навч. посібник [для студ. вищ. навч. закл.] / [Юрченко О. І. , Бугаєвський О. А., Дрозд А. В. та інші; за ред. Юрченко О. І]. – Х. : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2012. 418 с.
16. Бугаєвський О. А., Дрозд А. В., Логінова Л. П. та інші. Теоретичні основи та способи розв'язання задач з аналітичної хімії: Навчальний посібник. / О. А. Бугаєвський, А. В.

- Дрозд, Л. П. Логінова, О. О. Решетняк, О. І. Юрченко; Заг. ред. О. А. Бугаєвський. Х.: ХНУ, 2003. 320 с.
17. Болотов В. В., Свечнікова О. М., Голік М. Ю. та ін. Аналітична хімія : Якісний та кількісний аналіз. Навчальний конспект лекцій. За ред. проф. В. В. Болотова. Вінниця : Нова Книга, 2011. 424 с.
 18. Жаровський Ф. Г., Пилипенко А. Т., П'ятницький І. В. Аналітична хімія 2-е изд., перераб. и доп. Киев : Вища школа. Головное изд-во, 1982. 544 с.
 19. Мінаєва В. О. Бочарнікова В. М., Григоренко Т. А. Математична обробка даних хімічного експерименту : [навч. посібн.]. Черкаси : Вид. від. ЧНУ ім. Б. Хмельницького, 2003. 208 с.
 20. Бабко А. К. Кількісний аналіз. К. : Вища шк., 1974. 351 с.
 21. Корнілов М. Ю., Білодід О. І., Голуб О. А. Термінологічний посібник з хімії: Для викладачів і вчителів хімії та учнів середніх навчальних закладів. Київ. : ІЗМН, 1996. 254 с.
 22. Більченко М. М. Лабораторний практикум з аналітичної хімії. Кількісний аналіз : навчальний посібник / М. М. Більченко. Суми : Університетська книга, Стереотип. вид., 2025. 142 с.
 23. Чеботарьов О. М. Аналітична хімія. Якісний аналіз : практикум для студентів фту хімії та фармації першого (бакалаврського) рівня освіти / О. М. Чеботарьов, С. В. Топоров, О. М. Гузенко, Р. Є. Хома. Одеса : Одес. нац. ун-т ім. І. І. Мечникова, 2020. 118 с.
 24. Аналітична хімія: навчальний посібник / О. М. Гайдукевич, В. В. Болотов, Ю. В. Сич та інші. Х.: Основа, Вид-во НФАУ, 2000. 432 с.
 25. D.C. Harris, Quantitative Chemical Analysis. Seventh edition W. H. Freeman and Co, NY, 2007. 828 с.
 26. Основи аналітичної хімії. Якісний аналіз катіонів і аніонів. Завдання для самоконтролю. Навчальний посібник (для студентів хімічного факультету) / О.А. Запорожець, Т.Є. Кеда, Н.І. Смик – К., 2017. – 64 с.
 27. Analytical chemistry. -- Seventh edition / Gary D. Christian, Purnendu K. (Sandy) Dasgupta, Kevin A. Schug, John Wiley & Sons, 2014. 850 с.
 28. Analytical Chemistry 1st Ed. by Robert Kellner (Editor), Matthias Otto (Editor), H. Michael Widmer (Editor), Wiley-VCH; 1st edition (March 9, 1998), 942 p.
 29. Аналітична хімія : навч.-довідк. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / В. В. Болотов, О. А. Євтіфєєва, Т. В. Жукова, Л. Ю. Клименко, О. Є. Микитенко, В. П. Мороз, І. Ю. Петухова.- Харків : НФаУ ; Оригі- нал, 2012. 320 с.
 30. Практичний курс аналітичної хімії / Я.Р. Базель, О.Г. Воронич, Ж.О. Кормош. Луцьк: Ред.-вид. відд. «Вежа» Волин. Держ. Ун-ту ім. Лесі Українки, 2004. Ч.1. 260 с.
 31. Бохан Ю.В. (у співавторстві) Хімічні методи аналізу. Теорія та практика (навчальний посібник з грифом МОН). Вид.ДНУ - Кіровоград, 2013. - 312 с.
 32. Кузьма Ю., Ломницька Я., Чабан Н. Аналітична хімія. Львів.: Видавн. центр ЛНУ ім. І. Франка, 2001. 298 с.
 33. Зінчук В.К., Гута О.М. Хімічні методи якісного аналізу. Львів.: Видавн. центр ЛНУ ім. І. Франка, 2006.151 с.

34. Циганок Л.П. Аналітична хімія. Хімічні методи аналізу: навчальний посібник / Л.П.Циганок, Т.О.Бубель, А.Б.Вишнікін, О.Ю.Вашкевич; за ред. проф. Л.П.Циганок . Дніпропетровськ: ДНУ ім. О.Гончара, 2014. 252 с.
http://library.dnu.dp.ua/Metodichki/analit_chimija.pdf
35. Аналітична хімія: Якісний та кількісний аналіз, Навчальний конспект лекцій /В.В. Болотов, О. М. Свечнікова, М. Ю. Голік та ін; за ред. проф. В. В. Болотова. Вінниця: Нова Книга, 2011. - 424 с.
36. Мінаєва В. О. Аналітична хімія. Титриметричний аналіз: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів / В. О. Мінаєва, Т. С. Нінова, Ю. А. Шафорост. Черкаси : Вид. від. ЧНУ імені Богдана Хмельницького, 2010. 456 с.
37. Семенишин Д. І. Аналітична хімія та інструментальні методи аналізу: навч. посібн. / Д. І. Семенишин, М. М. Ларук; Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2015. 148с

Навчально-методичне електронне видання

Юлія Анатоліївна Шафорост
Валентина Олександрівна Мінаєва

Робочий зошит з аналітичної хімії.
Кількісний аналіз

Навчально-методичний посібник

Формат 60x84/8. Ум. друк. арк. 10.

Підписано у світ 22.12.2025
ФОП Цибульська В.О.

Свідectво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготовлювачів
і розповсюджувачів видавничої продукції
ДК №6562 від 03.01.2019

ISBN 978-617-8324-64-3

