

Тетяна Филипчук, Володимир Буркут

Техніка лабораторних досліджень в екології



Міністерство освіти і науки України
Чернівецький національний університет
імені Юрія Федьковича

Тетяна Филипчук, Володимир Буркут

Техніка лабораторних досліджень в екології

Навчальний посібник



Чернівці
Чернівецький національний університет
імені Юрія Федьковича
2024

УДК 57.08(076.5)
Ф 537

Друкується за ухвалою вченої ради
Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича
(Протокол №5 від 25 березня 2024 року)

Рецензенти: **Павличенко Артем Володимирович** – д.т.н., проф., перший проректор, професор кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища НТУ «Дніпровська політехніка»
Руденко Світлана Степанівна – д.б.н., професор кафедри ботаніки та екології Донецького національного університету імені Василя Стуса

Ф 537 **Филипчук Т, Буркут В. Техніка лабораторних досліджень в екології: навч. посібник. Чернівці : Чернівець. нац. ун-т ім. Ю. Федьковича, 2024. – 151 с.**

Мета видання – формування умінь обирати оптимальні методи та інструментальні засоби для проведення екологічних досліджень, збору та обробки даних, а також організації самостійної науково-дослідницької роботи студентів спеціальності 101 «Екологія» та інших спеціальностей, які бажають освоїти роботу в лабораторії.

Запропонований посібник містить повний навчально-методичний комплекс, зокрема теоретичні основи техніки лабораторних досліджень, лабораторний практикум, активізуючі питання для самоконтролю, список рекомендованих літературних джерел та довідкову інформацію для забезпечення виконання лабораторного практикуму. У виданні подано також порядок роботи з вимірювальними приладами, поради та рецепти, корисні студентам та працівникам екологічних лабораторій.

УДК 57.08(076.5)

© Т. Филипчук, В. Буркут, 2024
© Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, 2024

Зміст

I	Теоретичні основи техніки лабораторних досліджень	7
1	Розчини та концентрації	11
1.1	Молярна концентрація	11
1.2	Масова частка	13
1.3	Масова концентрація	15
1.4	Нормальна концентрація	16
1.5	Об'ємна частка	19
1.6	Титр	20
1.7	Молярна концентрація	21
1.8	Перехід між концентраціями	23
2	Фізико-хімічні методи аналізу	24
2.1	Фотоколориметрія	24
2.2	Кондуктометрія	30
2.3	Поляриметрія	39
2.4	Віскозиметрія	43
2.5	Титриметрія	48
2.6	Ебуліоскопія	51
2.7	Рефрактометрія	52
2.8	Ареометрія	53
2.9	Атомно-абсорбційний аналіз	56
II	Лабораторний практикум	61
3	Концентрації та методи в екологічній лабораторії	64
3.1	Техніка безпеки	64
3.2	Лабораторний посуд та обладнання	67
3.3	Лабораторна робота № 1.1	77
3.4	Лабораторна робота № 1.2	79

3.5	Лабораторна робота № 1.3	81
3.6	Лабораторна робота № 1.4	83
3.7	Лабораторна робота № 1.5	86
3.8	Лабораторна робота № 1.6	89
3.9	Лабораторна робота № 1.7	90
3.10	Лабораторна робота № 1.8	93
3.11	Лабораторна робота № 1.9	95
4	Екологічний аналіз об'єктів	98
4.1	Лабораторна робота № 2.1	98
4.2	Лабораторна робота № 2.2	101
4.3	Лабораторна робота № 2.3	104
4.4	Лабораторна робота № 2.4	106
4.5	Лабораторна робота № 2.5	108
4.6	Лабораторна робота № 2.6	110
4.7	Лабораторна робота № 2.7	113
4.8	Лабораторна робота № 2.8	114
4.9	Лабораторна робота № 2.9	116
III	Короткий довідник	120
5	Порядок роботи з приладами	121
5.1	Фотометр фотоелектричний КФК-3	121
5.2	Спектрофотометр СФ-16	124
5.3	Спектрофотометр СФ-26	127
5.4	Атомно-абсорбційний спектрофотометр	129
5.5	Круговий поляриметр WXG-4	130
5.6	Кондуктометр SX-713	133
5.7	Рефрактометр РЛ	135
5.8	Бутирометр	136
6	Поради та рецепти	137
7	Таблиці та константи	141
7.1	Періодична система	142
7.2	Психрометрична таблиця	143
7.3	Шкала електромагнітних хвиль	144
7.4	Таблиця $V_{\text{гіх}}$	145
7.5	Густина деяких розчинів	147
7.6	Деякі константи	149
7.7	Таблиця розчинності	150

*Теорія без практики та
практика без теорії – ніщо.*

Протагор

*У природничих науках
принципи мають
підтверджуватися
спостереженнями.*

К. Лінней

Від авторів

Як відомо, основа життя нашої планети – це вода. Всі процеси в живих організмах відбуваються в розчинах. Ґрунти, гірські породи, навіть повітря – все містить воду. Вона є універсальним розчинником, який забезпечує перенесення неорганічних та органічних хімічних речовин у живих клітинах тварин, рослин, комах, спричинює родючість ґрунтів, видозміни гірських порід, атмосферну вологість і взагалі погоду та клімат. Без води неможливе життя на Землі у тому вигляді, в якому ми звикли його сприймати.

Оскільки вода – основний розчинник, носій речовин у природі, то більшість хімічних і біохімічних перетворень відбуваються у водних розчинах.

Саме тому майбутній еколог, хімік, біолог повинен усвідомлювати всю важливість розуміння природи розчинів, вміти оперувати різними способами вираження та розрахунку концентрацій, володіти принципами, методами і приладами для визначення якісного та кількісного складу розчинів.

Дана дисципліна розроблена для підготовки бакалаврів спеціальності 101 – «Екологія» для набуття знань і навичок роботи в лабораторії, проведення досліджень, використання вимірювальних приладів, обробки й аналізу отриманих даних та самостійного вибору оптимальних методів. Матеріали дисципліни можуть бути корисні для студентів інших спеціальностей, які бажають освоїти роботу в лабораторії.

Посібник складається з трьох частин. Перша частина містить теоретичні відомості в достатньому об'ємі для засвоєння основних понять, концентрацій і методів екологічних досліджень. Структура посібника побудована так, що лабораторний практикум, наведений у другій частині видання, використовує набуті студентами у попередніх розділах знання та навички. Лабораторні роботи розраховані на засвоєння студентами базових понять, принципів роботи

приладів та їхньої експлуатації, техніки безпеки та правил поведіння в лабораторії, видів і призначення лабораторного посуду. Серія лабораторних робіт проводиться з використанням модельних розчинів, які найбільше годяться для обраних методів і знаходяться в робочих межах наявних приладів. Лабораторний практикум охоплює також лабораторні роботи, які дозволяють здійснити екологічний аналіз реальних об'єктів (ґрунту, води, рослин, продуктів рослинного і тваринного походження тощо). Окремо, у третій частині, додано стислі інструкції для роботи з приладами, корисні довідкові дані, таблиці та константи, поради та рецепти для студентів і працівників лабораторії. Автори намагались зробити цей посібник максимально прикладним та доступним для студентів і простою мовою витлумачити основні поняття та теорію.

Дисципліна розрахована на один семестр. Найбільша ефективність її засвоєння досягається, якщо перед початком виконання кожної лабораторної роботи виділяти час на пояснення та обговорення понять і способів вираження та розрахунку концентрацій; теоретичних основ будови та принципів роботи приладів, а також порядку їх експлуатації; специфічних моментів техніки безпеки.

Частина I

Теоретичні основи техніки лабораторних досліджень

Головне завдання студентів під час роботи в лабораторії – аналіз досліджуваних об'єктів на вміст різноманітних речовин. Найчастіше для проведення досліджень відібрана проба за методикою переводиться в розчин. Тому більша частина лабораторних дослідів зводиться до аналізу розчинів.

Відомо, що деякі хімічні речовини (наприклад, цукор або сіль) добре розчиняються у воді, а такі як пісок – не розчиняються зовсім. Проте існують речовини, які розчиняються у воді незначною мірою (наприклад, гіпс). Від чого ж залежить розчинність речовин? Насамперед, від природи речовини і розчинника, від температури та інших фізичних параметрів, від наявності домішок.

Розчини класифікують за фазами, в яких перебувають речовини, а саме: рідкі розчини, тверді та газоподібні. До прикладу: сплави металів, скло – тверді розчини, а суміші різних газів, повітря – газоподібні.

Розчинення – це процес взаємодії речовини з розчинником із переходом у йонну або колоїдну форму та утворенням гомогенних систем, нових сполук. Розчинення супроводжується руйнуванням взаємодій між молекулами речовин і утворенням міжмолекулярних зв'язків між компонентами розчину. Надалі термін «розчинник» замінимо на «воду». Під час розчинення руйнується структура речовини, тобто молекули води відривають від поверхні речовини молекули або йони речовини. Якщо ж у воді розчиняється рідина (спирт, гліцерин) – тоді її молекули утворюють з молекулами води зв'язки і нові структури. Деякі речовини в процесі розчинення розпадаються на йони, наприклад, $NaOH \rightleftharpoons Na^+ + OH^-$, інші – скажімо, глюкоза, зберігають у розчині цілі молекули.

Процес розчинення може супроводжуватись екзо- чи ендотермічними ефектами. Під час екзотермічного розчинення розчин нагрівається, а під час ендотермічного, навпаки, охолоджується. Приклад екзотермічного розчинення – розведення сульфатної кислоти. При цьому розчин може нагріватися до кипіння, тому необхідно наливати кислоту тонкою цівкою у воду, а не навпаки. Кислота має більшу густину і одразу переміщується до дна ємності з водою, не викликаючи сильного нагрівання. Приклад ендотермічного розчинення – розведення роданіду амонію або тіосульфату натрію у воді. Такі розчини можуть охолотитися настільки, що стінки склянки покриті росою. Також розчинення харчової соди, цукру викликає незначний ендотермічний ефект, розчинення прального порошку, оцтової кислоти – незначний екзотермічний.

Чи може речовина розчинятися у воді безмежно? Для твердих речовин це неможливо, а деякі рідини можуть змішуватися з водою у будь-яких співвідношеннях.

Кількість розчинених речовин у воді виражають за допомогою концентрацій. Концентрації бувають різних видів та мають різні одиниці вимірювання. Для чого існує така кількість різних концентрацій? Для зручності використання кожного виду у своїй специфічній області. До прикладу – набагато зручніше вимірювати концентрацію антисептичного засобу в басейні у г/м^3 , ніж у моль/л.

У межах першого розділу ознайомимося з видами концентрацій, навчимося розраховувати, готувати й аналізувати розчини. Даний посібник містить інформацію про такі основні концентрації:

- молярна концентрація;
- масова частка;
- масова концентрація;
- нормальна концентрація;
- об'ємна частка;
- титр;
- моляльна концентрація.

Як виявити компоненти розчинів та їх концентрації? Для цього потрібно обрати необхідний метод аналізу.

Аналіз може бути якісним і кількісним. Якісний аналіз дає змогу виявити певний компонент, хімічну речовину, йон у розчині, а кількісний – несе інформацію про кількість кожного з досліджуваних компонентів у розчині (їх концентрації). Для якісного та кількісного аналізу широко застосовують фізичні методи: рефрактометрія; поляриметрія; спектроскопія в УФ, видимій та ІЧ-ділянках спектра; спектроскопія ЯМР; мас-спектроскопія; різні види хроматографії; електрофорез тощо.

Методи аналізу можуть бути селективними або неселективними. Селективний метод виявляє конкретний компонент, на який він розрахований (певну речовину чи йон у розчині), а решта – на виявлення не впливають. Неселективний метод виявляє одночасно декілька компонентів, які можуть бути абсолютно різними за своєю природою, тому перед аналізом необхідно відокремити решту компонентів, які заважають визначенню.

Методи аналізу класифікують на хімічні, фізичні та фізико-хімічні (інструментальні). У хімічних методах використовують аналітичні реакції – перетворення досліджуваної речовини внаслідок взаємодії з аналітичним реагентом з утворенням продуктів із хара-

ктерними аналітичними ознаками — ефектами (утворення осадів, забарвлених сполук, розчинення осадів, виділення газів, утворення кристалів характерної форми, поява або гасіння люмінесценції, забарвлення полум'я газового пальника тощо). Фізико-хімічні або інструментальні методи – це комбінація хімічної підготовки проби та визначення фізичних параметрів за допомогою приладів. Абсолютна більшість методів базується на такому комплексному підході і передбачає використання як хімічного аналізу, так і складних фізичних приладів, які гарантують достатню точність вимірювань.

У межах другого розділу посібника розглядаються такі методи аналізу:

- фотоколориметрія;
- кондуктометрія;
- поляриметрія;
- віскозиметрія;
- титриметрія;
- ебуліоскопія;
- рефрактометрія;
- ареометрія;
- атомно-абсорбційний аналіз.

Розділ 1

Розчини та концентрації

1.1. Молярна концентрація

Молярна концентрація, або молярність розчину, – це кількість моль речовини, розчиненої в 1 л розчину. Молярність позначається « C_M » та розраховується за формулою:

$$C_M = \frac{\nu_{\text{р.р.}}}{V_{\text{р-ну}}}, \quad (1.1)$$

де $\nu_{\text{р.р.}}$ – кількість моль розчиненої речовини;
 $V_{\text{р-ну}}$ – об'єм розчину.

Молярність вимірюється в моль/л. Часто замість одиниць вимірювання пишуть «М». Тобто, записи «0,1 моль/л» і «0,1 М» – рівноцінні.

Моль – це така кількість речовини, яка містить $6,022 \cdot 10^{23} \approx 6,02 \cdot 10^{23}$ структурних одиниць, тобто атомів, йонів або молекул (залежно від того, з чого складається речовина). Це число називають сталою або числом Авогадро.

Якщо розчинена речовина є газом, то за законом Авогадро за нормальних умов ($t=20^\circ \text{C}$ і $P=1 \text{ Атм}$) її 1 моль займе об'єм 22,4 л.

Для приготування розчинів певної молярної концентрації необхідно відміряти необхідну кількість моль речовини. Це можна зробити, знаючи її молярну масу. Молярна маса – це маса одного моля речовини. Наприклад, якщо потрібно взяти 1 моль води – знаходимо її молярну масу, користуючись періодичною системою Д.І. Менделєєва: $M(\text{H}_2\text{O}) = 1 \cdot 2 + 16 = 18 \text{ г/моль}$. Отже, для того, щоб взяти

1 моль води, потрібно зважити її 18 г. Оскільки вода за нормальних умов має густину 1 г/мл, або 1 кг/л, то її 18 мл будуть важити 18 г. Це дозволяє відміряти необхідну кількість води, використовуючи мірний посуд.

Молярну концентрацію зручно застосовувати для приготування розчинів різних реагентів. При цьому в однакових об'ємах цих розчинів буде міститись однакова кількість молекул речовин, що дуже зручно для проведення різних хімічних реакцій (наприклад, реакції нейтралізації лугу кислотою).

Спробуємо розібратися з молярною концентрацією у таких прикладах.

Задача 1. Гідроксид натрію масою 10 г розчинили у воді та довели об'єм розчину до 2 л. Знайдіть молярну концентрацію розчину.

Дано:

$$m(\text{NaOH}) = 10 \text{ г}$$

$$V(\text{р-ну}) = 2 \text{ л}$$

$$C_M(\text{NaOH}) = ?$$

За визначенням молярної концентрації $C_M = \frac{\nu_{\text{р-р}}}{V_{\text{р-ну}}}$. З цієї формули є невідомою кількість речовини гідроксиду натрію – $\nu_{\text{р-р}}$. Її можна знайти за відношенням маси гідроксиду натрію до його молярної маси: $\nu = \frac{m}{M}$. Молярну масу NaOH знаходимо з періодичної системи Д.І. Менделєєва, додаючи атомні маси всіх атомів, які складають його молекулу: $M(\text{NaOH}) = 23 + 16 + 1 = 40 \text{ г/моль}$.

Знаходимо кількість речовини NaOH : $\nu(\text{NaOH}) = \frac{m(\text{NaOH})}{M(\text{NaOH})} = \frac{10 \text{ г}}{40 \text{ г/моль}} = 0,25 \text{ моль}$.

Далі знаходимо молярну концентрацію: $C_M(\text{NaOH}) = \frac{0,25 \text{ моль}}{2 \text{ л}} = 0,125 \text{ моль/л}$.

Відповідь: $C_M(\text{NaOH}) = 0,125 \text{ моль/л}$.

Задача 2. Розчин хлориду калію об'ємом 5 л має концентрацію 0,1 моль/л. Знайдіть масу хлориду калію.

Дано:
 $V(\text{р-ну}) = 5 \text{ л}$
 $C_M(KCl) = 0,1 \text{ моль/л}$

 $m(KCl) = ?$

За визначенням молярної концентрації $C_M = \frac{\nu_{\text{р.р.}}}{V_{\text{р-ну}}}$. З цієї формули знаходимо кількість речовини хлориду калію: $\nu_{\text{р.р.}} = C_M \cdot V_{\text{р-ну}}$. Знаючи кількість речовини, обчислюємо масу: $m = \nu \cdot M$.

Визначаємо кількість речовини хлориду калію: $\nu(KCl) = 0,1 \text{ моль/л} \cdot 5 \text{ л} = 0,5 \text{ моль}$.

Далі знаходимо молярну масу хлориду калію: $M(KCl) = 39 + 35 = 74 \text{ г/моль}$.

Остання дія – обчислюємо масу хлориду калію: $m(KCl) = \nu \cdot M = 0,5 \text{ моль} \cdot 74 \text{ г/моль} = 37 \text{ г}$.

Відповідь: $m(KCl) = 37 \text{ г}$.

Як бачимо, молярна концентрація розраховується просто, а для розрахунків можуть знадобитись додаткові дані – атомні маси хімічних елементів.

1.2. Масова частка

Масова частка – проста і дуже поширена міра концентрації. Багато хто не задумуючись використовує її у повсякденному житті. Масова частка позначається « $\omega\%$ » та розраховується за формулою:

$$\omega\% = \frac{m_{\text{р.р.}}}{m_{\text{р-ну}}} \cdot 100\%, \quad (1.2)$$

де $m_{\text{р.р.}}$ – маса розчиненої речовини;

$m_{\text{р-ну}}$ – маса розчину.

Масова частка вимірюється у $\%$.

Існує ще одна формула для розрахунку масової частки:

$$\omega = \frac{m_{\text{р.р.}}}{m_{\text{р-ну}}} \quad (1.3)$$

при цьому масова частка виражається у частках одиниці, тобто 0,1 за формулою 1.3 означає 10 $\%$ за формулою 1.2.

Найчастіше використовується формула 1.2, тому надалі під масовою часткою матимемо на увазі саме вираз із відсотками.

Розберемо масову частку на прикладах.

Задача 1. Цукор масою 10 г розчинили в 2 л води. Знайдіть масову частку розчину.

Дано:

$$m(\text{цукру}) = 10 \text{ г}$$

$$V(\text{H}_2\text{O}) = 2 \text{ л}$$

$$\omega\%(\text{цукру}) = ?$$

За визначенням масової частки:

$$\omega\% = \frac{m_{\text{р.р.}}}{m_{\text{р-ну}}} \cdot 100 \%$$

Невідомою є маса розчину, яка обчислюється як сума мас розчиненої речовини і розчинника. Масу води знаходимо, знаючи її об'єм та густину ($\rho = 1 \text{ кг/л}$). Відповідно, маса 2 л води становить 2 кг або 2000 г. Маса розчину складе: $m(\text{р-ну}) = m(\text{р-ка}) + m(\text{р.р.}) = 2000 \text{ г} + 10 \text{ г} = 2010 \text{ г}$.

Визначимо масову частку: $\omega\%(\text{цукру}) = \frac{m_{\text{цукру}}}{m_{\text{р-ну}}} \cdot 100 \% = \frac{10 \text{ г}}{2010 \text{ г}} \cdot 100 \% = 0,497 \% \approx 0,5 \%$.

Відповідь: $\omega\%(\text{цукру}) = 0,5 \%$.

Задача 2. Фізрозчин (ізотонічний розчин) – це розчин хлориду натрію у дистильованій воді з масовою часткою 0,9 %. Знайдіть маси хлориду натрію та води, необхідні для приготування 1 кг фізрозчину.

Дано:

$$\omega\%(\text{NaCl}) = 0,9 \%$$

$$m(\text{р-ну}) = 1 \text{ кг}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = ?$$

$$m(\text{NaCl}) = ?$$

За визначенням масової частки:

$$\omega\% = \frac{m_{\text{р.р.}}}{m_{\text{р-ну}}} \cdot 100 \%$$

З цієї формули $m_{\text{р.р.}} = \frac{\omega\% \cdot m_{\text{р-ну}}}{100 \%}$. Тепер можна обчислити масу хлориду натрію: $m(\text{NaCl}) = \frac{0,9 \% \cdot 1000 \text{ г}}{100 \%} = 9 \text{ г}$. Маса води можна розрахувати за різницею між масами розчину та хлориду натрію: $m(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{р-ну}) - m(\text{NaCl}) = 1000 \text{ г} - 9 \text{ г} = 991 \text{ г}$.

Відповідь: $m(\text{NaCl}) = 9 \text{ г}$, $m(\text{H}_2\text{O}) = 991 \text{ г}$.

Масова частка легко розраховується, якщо відомі маси розчину, розчиненої речовини або розчинника. Але не варто забувати, що якщо ми маємо об'єм розчину, то для визначення його маси можуть знадобитися додаткові дані, такі як густина і температура (одні розчини легші за воду, інші – важчі). Ці дані можна знайти у відповідних довідниках.

1.3. Масова концентрація

Масовою концентрацією зручно користуватись, якщо потрібно контролювати масу якогось компонента в певному об'ємі розчину. Наприклад, для позначення хімічного складу мінеральних вод часто використовують саме масову концентрацію.

Масова концентрація – це маса розчиненої речовини, наявної в об'ємі розчину. Скажімо, кількість міліграм речовини в 1 літрі розчину. Масова концентрація позначається « C » та розраховується за формулою:

$$C = \frac{m_{\text{р.р.}}}{V_{\text{р-ну}}}, \quad (1.4)$$

де $m_{\text{р.р.}}$ – маса розчиненої речовини;
 $V_{\text{р-ну}}$ – об'єм розчину.

Масова концентрація може мати розмірність у вигляді відношення будь-яких одиниць маси до будь-яких одиниць об'єму: [мг/л], [г/дм³], [кг/м³] тощо.

Розглянемо масову концентрацію на прикладах.

Задача 1. Чайна ложка цукру важить близько 5 г. Об'єм чашки чаю становить близько 200 мл. Знайдіть масову концентрацію цукру в повній чашці чаю, якщо в чай поклали 2 ложки цукру.

Дано: $V(\text{р-ну}) = 200 \text{ мл}$ $m(\text{цукру}) = 10 \text{ г}$ <hr style="width: 50%; margin: 5px 0;"/> $C(\text{цукру}) = ?$	За визначенням масової концентрації: $C = \frac{m_{\text{р.р.}}}{V_{\text{р-ну}}}$. Маємо всі дані для того, щоб знайти відповідь. $C(\text{цукру}) = \frac{10 \text{ г}}{200 \text{ мл}} = 0,05 \text{ г/мл}$ або 50 мг/мл . Відповідь: $C(\text{цукру}) = 0,05 \text{ г/мл}$.
--	--

Задача 2. Деяка мінеральна вода містить йони кальцію Ca^{2+}

з масовою концентрацією 200 мг/л. Яку добову дозу кальцію отримає людина, якщо питиме щодня 2 л цієї води?

$$\begin{array}{l} \text{Дано:} \\ C(\text{Ca}^{2+}) = 200 \text{ мг/л} \\ V(\text{р-ну}) = 2 \text{ л} \\ \hline m(\text{Ca}^{2+}) = ? \end{array}$$

За визначенням масової концентрації: $C = \frac{m_{\text{р.р.}}}{V_{\text{р-ну}}}$. З цієї формули маса розчиненої речовини: $m_{\text{р.р.}} = C \cdot V_{\text{р-ну}}$. Маючи всі дані, можемо розрахувати результат: $m(\text{Ca}^{2+}) = 200 \text{ мг/л} \cdot 2 \text{ л} = 400 \text{ мг}$.

Відповідь: Добова доза кальцію, або $m(\text{Ca}^{2+}) = 400 \text{ мг}$.

1.4. Нормальна концентрація

Нормальна концентрація, або нормальність розчину – це кількість моль-еквівалентів речовини, розчиненої в 1 л розчину. Нормальність позначається « $C_{\text{н}}$ » та розраховується за формулою:

$$C_{\text{н}} = \frac{\nu_{\epsilon}(\text{р.р.})}{V_{\text{р-ну}}}, \quad (1.5)$$

де $\nu_{\epsilon}(\text{р.р.})$ – кількість моль-еквівалентів розчиненої речовини; $V_{\text{р-ну}}$ – об'єм розчину.

Нормальність вимірюється в моль-екв/л. Часто нормальність позначають як «н», тобто записи «0,1 моль-екв/л» і «0,1 н» – рівнозначні.

Моль-еквівалент – це кількість речовини, еквівалентна в хімічних реакціях 1 молу атомів водню.

Еквівалентом називається умовна чи реальна частинка речовини, яка в даній хімічній реакції реагує з одним йоном гідрогену H^+ чи гідроксилу OH^- . Наприклад, еквівалентом нітратної (азотної) кислоти є реальна частинка – молекула HNO_3 , яка містить один йон H^+ ; еквівалентом ортофосфатної (фосфорної кислоти) – умовна частинка, яка відповідає 1/3 молекули H_3PO_4 , до складу якої входять три йони H^+ .

Проте еквіваленти одного елемента можуть бути різними залежно від валентності, яка проявляється в конкретній хімічній сполуці. Так само складна сполука може мати різні еквіваленти, що зумовлюється характером її хімічної взаємодії. Наприклад, в реакції нейтралізації ортофосфатної кислоти гідроксидом калію лише

два атоми гідрогену кислоти заміщуються атомами калію, тобто кислота виявляє основність 2: $H_3PO_4 + 2KOH = K_2HPO_4 + 2H_2O$.

У цьому випадку еквівалентом ортофосфатної кислоти буде умовна частинка, яка складає $1/2 H_3PO_4$, оскільки на один заміщений атом гідрогену припадає половина молекули H_3PO_4 .

Число, яке показує, яка частина молекули чи іншої частинки речовини відповідає еквіваленту, називається фактором еквівалентності.

Оскільки еквіваленти елемента і складної сполуки можуть бути різними, то для розрахунку фактора еквівалентності існують прості формули:

$$\begin{array}{ll} \text{для металів та неметалів:} & f = \frac{1}{\text{валентність}} \\ \text{для простих сполук:} & f = \frac{1}{\text{валентність елемента} \times \text{індекс}} \\ \text{для солей:} & f = \frac{1}{\text{валентність металу} \times \text{індекс}} \\ \text{для кислот:} & f = \frac{1}{\text{основність кислоти}} \\ \text{для основ:} & f = \frac{1}{\text{кислотність основи}} \end{array}$$

Наприклад, розрахуємо фактор еквівалентності для деяких сполук: кальцій (Ca), $f = \frac{1}{2} = 0,5$; фосфор в оксиді (P_2O_5), $f = \frac{1}{5} = 0,2$; кисень (O_2), $f = \frac{1}{4} = 0,25$; водень (H_2), $f = \frac{1}{2} = 0,5$; гідроксид натрію ($NaOH$), $f = \frac{1}{1} = 1$; карбонат натрію (Na_2CO_3), $f = \frac{1}{2} = 0,5$; сульфатна кислота (H_2SO_4), $f = \frac{1}{2} = 0,5$; фосфорна кислота (H_3PO_4), $f = \frac{1}{3} = 0,33$.

За допомогою фактора еквівалентності можна розрахувати кількість моль-еквівалентів для певної речовини, а отже, і її нормальну концентрацію. Іншими словами, фактор еквівалентності показує у скільки разів кількість моль-еквівалентів речовини більша за кількість моль. Наприклад, 1 моль H_3PO_4 становить 3 моль-еквіваленти цієї кислоти. А 1 моль-еквівалент ортофосфорної кислоти – це $1/3$ її моля.

Розглянемо нормальну концентрацію на прикладах.

Задача 1. Сульфатну кислоту масою 14,7 г розчинили у воді та довели об'єм розчину до 3 л. Знайдіть нормальну концентрацію отриманого розчину.

Дано:

$$V(\text{р-ну}) = 3 \text{ л}$$

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 14,7 \text{ г}$$

$$C_{\text{н}}(\text{H}_2\text{SO}_4) = ?$$

За визначенням: $C_{\text{н}} = \frac{\nu_e(\text{р.р.})}{V_{\text{р-ну}}}$ Видно, що відсутня кількість моль-еквівалентів сульфатної кислоти. Для того, щоб її розрахувати, спочатку знайдемо кількість моль H_2SO_4 . Молярна маса $\text{H}_2\text{SO}_4 = 2 + 32 + 4 \cdot 16 = 98 \text{ г/моль}$. Тож $\nu(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{14,7 \text{ г}}{98 \text{ г/моль}} = 0,15 \text{ моль}$. Знаходимо кількість моль-еквівалентів сульфатної кислоти. Оскільки фактор еквівалентності для сульфатної кислоти складає $f(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1/2$, то $\nu_e(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{\nu(\text{H}_2\text{SO}_4)}{f} = \frac{0,15 \text{ моль}}{1/2} = 0,15 \text{ моль} \cdot 2 = 0,3 \text{ моль-екв.}$

Розраховуємо нормальність розчину: $C_{\text{н}}(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{0,3 \text{ моль-екв}}{3 \text{ л}} = 0,1 \text{ моль-екв/л.}$

Відповідь: $C_{\text{н}}(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,1 \text{ моль-екв/л.}$

Задача 2. Потрібно приготувати 1 л розчину гідроксиду кальцію з концентрацією 0,1 н. Розрахуйте масу гідроксиду, необхідну для цього.

Дано:

$$C_{\text{н}}(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 0,1 \text{ н}$$

$$V(\text{р-ну}) = 1 \text{ л}$$

$$m(\text{Ca}(\text{OH})_2) = ?$$

За визначенням: $C_{\text{н}} = \frac{\nu_e(\text{р.р.})}{V_{\text{р-ну}}}$ З цієї формули знайдемо кількість моль-еквівалентів гідроксиду кальцію: $\nu_e(\text{Ca}(\text{OH})_2) = C_{\text{н}} \cdot V(\text{р-ну}) = 0,1 \text{ моль-екв/л} \cdot 1 \text{ л} = 0,1 \text{ моль-екв.}$

Далі розраховуємо кількість моль гідроксиду. $\nu(\text{Ca}(\text{OH})_2) = \nu_e(\text{Ca}(\text{OH})_2) \cdot f$ Оскільки фактор еквівалентності для $\text{Ca}(\text{OH})_2$ становить $1/2$, то $\nu(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 0,1 \text{ моль-екв} \cdot 1/2 = 0,05 \text{ моль.}$

Знаходимо масу гідроксиду. Для цього потрібна молярна маса $M(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 40 + (16 + 1) \cdot 2 = 74 \text{ г/моль}$, тож $m(\text{Ca}(\text{OH})_2) = \nu \cdot M = 0,05 \text{ моль} \cdot 74 \text{ г/моль} = 3,7 \text{ г.}$

Відповідь: $m(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 3,7 \text{ г.}$

1.5. Об'ємна частка

Об'ємна частка, як і масова частка – досить розповсюджена міра концентрації, зокрема і в побуті. Вона використовується для розчинів, у яких розчинена речовина є рідкою. Наприклад, концентрації розчину оцтової кислоти (оцту), розчину етилового спирту (горілки) – вимірюються в одиницях об'ємної частки. Об'ємна частка позначається « φ » та розраховується за формулою:

$$\varphi = \frac{V_{\text{р.р.}}}{V_{\text{р-ну}}} \cdot 100 \% \text{ об.}, \quad (1.6)$$

де $V_{\text{р.р.}}$ – об'єм розчиненої речовини;

$V_{\text{р-ну}}$ – об'єм розчину.

Об'ємна частка вимірюється у % об. (об'ємні відсотки).

Як бачимо, об'ємна частка є співвідношенням об'ємів, як і масова – співвідношенням мас.

Розглянемо об'ємну частку на прикладах.

Задача 1. *Столовий оцет має концентрацію 9 % об. Скільки потрібно змішати води та оцтової кислоти, щоб приготувати 1 л оцту?*

Дано:

$$V(\text{оцту}) = 1 \text{ л}$$

$$\varphi(\text{оцту}) = 9 \% \text{ об.}$$

$$V(\text{H}_2\text{O}) = ?$$

$$V(\text{CH}_3\text{COOH}) = ?$$

За визначенням об'ємної частки:

$$\varphi = \frac{V_{\text{р.р.}}}{V_{\text{р-ну}}} \cdot 100 \% \text{ об.}$$

З цієї формули $V_{\text{р.р.}} = \frac{V_{\text{р-ну}} \cdot \varphi}{100 \% \text{ об.}}$, тобто

$$V(\text{CH}_3\text{COOH}) = \frac{1 \text{ л} \cdot 9 \%}{100 \% \text{ об.}} = 0,09 \text{ л}$$

Об'єм води можна знайти, віднявши від об'єму розчину об'єм оцтової кислоти.

$$V(\text{H}_2\text{O}) = V(\text{оцту}) - V(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1 \text{ л} - 0,09 \text{ л} = 0,91 \text{ л}$$

Відповідь: $V(\text{H}_2\text{O}) = 0,91 \text{ л}$,
 $V(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,09 \text{ л}$.

Задача 2. *Скільки спирту знаходиться в 0,5 л горілки?*

Дано:

$$V(\text{горілки}) = 0,5 \text{ л}$$

$$\varphi = 40 \% \text{ об.}$$

$$V(C_2H_5OH) = ?$$

За визначенням об'ємної частки:

$$\varphi = \frac{V_{\text{р.р.}}}{V_{\text{р-ну}}} \cdot 100 \% \text{ об.}$$

З цієї формули $V_{\text{р.р.}} = \frac{V_{\text{р-ну}} \cdot \varphi}{100 \% \text{ об.}}$, тобто:
 $V(C_2H_5OH) = \frac{0,5 \text{ л} \cdot 40 \% \text{ об.}}{100 \% \text{ об.}} = 0,2 \text{ л}$

Відповідь: $V(C_2H_5OH) = 0,2 \text{ л.}$

1.6. Титр

Титр – це частковий випадок масової концентрації, який визначається відношенням маси розчиненої речовини до об'єму розчину. Титр позначається буквою «Т» і розраховується за формулою:

$$T = \frac{m_{\text{р.р.}}}{V_{\text{р-ну}}}, \quad (1.7)$$

де $m_{\text{р.р.}}$ – маса розчиненої речовини;

$V_{\text{р-ну}}$ – об'єм розчину.

На відміну від масової концентрації титр вимірюється лише г/мл.

Описана концентрація також називається «простий титр». Простий титр (за розчиною речовиною) показує масу речовини у грамах в одному мілілітрі розчину.

Існує також титр (за визначуваною речовиною), який показує масу речовини у грамах, яка титрується одним мілілітром титранту.

Розглянемо масову концентрацію на прикладах.

Задача 1. Вирахуйте масу гідроксиду калію, необхідну для приготування 500 мл розчину з титром 0,1 г/мл.

Дано:

$$V(\text{р-ну}) = 500 \text{ мл}$$

$$T = 0,1 \text{ г/мл}$$

$$m(\text{KOH}) = ?$$

За визначенням титру:

$$T = \frac{m_{\text{р.р.}}}{V_{\text{р-ну}}}$$

З цієї формули $m_{\text{р.р.}} = T \cdot V_{\text{р-ну}}$, тобто:
 $m(\text{KOH}) = 0,1 \text{ г/мл} \cdot 500 \text{ мл} = 50 \text{ г}$

Відповідь: $m(\text{KOH}) = 50 \text{ г.}$

Задача 2. Для приготування розчину з титром 0,2 г/мл використали 10 г карбонату натрію. Який вийшов об'єм розчину?

Дано:
 $m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 10 \text{ г}$
 $T = 0,2 \text{ г/мл}$

$V(\text{р-ну}) = ?$

За визначенням титру:

$$T = \frac{m_{\text{р.р.}}}{V_{\text{р-ну}}}$$

З цієї формули $V_{\text{р-ну}} = \frac{m_{\text{р.р.}}}{T} = \frac{10 \text{ г}}{0,2 \text{ г/мл}} = 50 \text{ мл}$

Відповідь: $V(\text{р-ну}) = 50 \text{ мл}$.

1.7. Моляльна концентрація

У деяких випадках під час приготування розчинів потрібно контролювати не масу готового розчину, а масу розчинника. Наприклад, потрібно приготувати розчини, використавши рівно 10 кг хлороформу. При цьому дуже зручно користуватись так званою *моляльною* концентрацією.

З іншого боку, моляльна концентрація схожа на молярну, оскільки в ній фігурує кількість речовини, виражена в молях.

Моляльна концентрація, або моляльність – це кількість моль речовини, яку розчинили в 1 кг розчинника. Моляльність позначають « \bar{m} » і розраховують за формулою:

$$\bar{m} = \frac{\nu_{\text{р.р.}}}{m_{\text{р-ка}}}, \quad (1.8)$$

де $\nu_{\text{р.р.}}$ – кількість моль розчиненої речовини;

$m_{\text{р-ка}}$ – маса розчинника.

Моляльна концентрація вимірюється в моль/кг. Для позначення моляльності використовують маленьку латинську букву m з рискою зверху. Це зроблено для того, щоб не плутати цю величину з масою.

Зверніть увагу, що це єдина з розглянутих концентрацій, у якій фігурує маса розчинника, а не розчину!

Розглянемо моляльну концентрацію на прикладах.

Задача 1. Знайдіть моляльність розчину хлориду амонію, якщо 26,5 г цієї солі змішали з 2 л води.

Дано:

$$V(H_2O) = 2 \text{ л}$$

$$m(NH_4Cl) = 26,5 \text{ г}$$

$$\bar{m} = ?$$

За визначенням моляльної концентрації:

$$\bar{m} = \frac{\nu_{\text{р.р.}}}{m_{\text{р-ка}}}$$

Невідомою є кількість речовини хлориду амонію. Знайдемо її. $M(NH_4Cl) = 14 + 4 \cdot 1 + 35 = 53 \text{ г/моль}$. $\nu(NH_4Cl) = \frac{m}{M} = \frac{26,5 \text{ г}}{53 \text{ г/моль}} = 0,5 \text{ моль}$.

Маса розчинника (води) також невідома. Її можна розрахувати, знаючи, що густина води $\rho(H_2O) = 1 \text{ кг/л}$. Тоді $m = \rho \cdot V = 1 \text{ кг/л} \cdot 2 \text{ л} = 2 \text{ кг}$.

Знаходимо моляльність: $\bar{m} = \frac{0,5 \text{ моль}}{2 \text{ кг}} = 0,25 \text{ моль/кг}$.

Відповідь: $\bar{m}(NH_4Cl) = 0,25 \text{ моль/кг}$.

Задача 2. Розчин гідроксиду натрію з моляльністю 2 моль/кг приготували, витративши 0,5 л води. Знайдіть масу цього розчину.

Дано:

$$V(H_2O) = 0,5 \text{ л}$$

$$\bar{m}(NaOH) = 2 \text{ моль/кг}$$

$$m_{\text{р-ну}} = ?$$

За визначенням:

$$\bar{m} = \frac{\nu_{\text{р.р.}}}{m_{\text{р-ка}}}$$

З формули відома лише моляльність. Маса розчинника (води) невідома. Її можна розрахувати, знаючи, що густина води $\rho(H_2O) = 1 \text{ кг/л}$. Тоді $m = \rho \cdot V = 1 \text{ кг/л} \cdot 0,5 \text{ л} = 0,5 \text{ кг}$. Виведемо кількість моль розчиненої речовини: $\nu_{\text{р.р.}} = \bar{m} \cdot m_{\text{р-ка}}$. Знайдемо її: $\nu(NaOH) = 2 \text{ моль/кг} \cdot 0,5 \text{ кг} = 1 \text{ моль}$. Знаходимо масу гідроксиду натрію: $m = \nu \cdot M$, $m(NaOH) = 1 \text{ моль} \cdot 40 \text{ г/моль} = 40 \text{ г}$.

Обчислимо загальну масу розчину. $m_{\text{р-ну}} = m_{\text{р-ка}} + m_{\text{р.р.}} = 500 \text{ г} + 40 \text{ г} = 540 \text{ г}$.

Відповідь: $m_{\text{р-ну}} = 540 \text{ г}$.

1.8. Перехід між концентраціями

У процесі роботи в лабораторії досить часто трапляються задачі, які потребують перерахунку концентрацій з одних одиниць вимірювання на інші. Наприклад, потрібно розрахувати масову частку 0,1 М розчину лугу або перейти від нормальної до молярної концентрації. Майже завжди при цьому буде потрібна додаткова інформація, яку можна знайти в довідниках або періодичній системі.

Коротко розглянемо деякі основні формули для переходу між концентраціями.

Молярність \rightarrow Нормальність	$C_n = \frac{C_M}{f}$
Нормальність \rightarrow Молярність	$C_M = C_n \cdot f$
Масова частка \rightarrow Молярність	$C_M = \frac{\rho \cdot \omega\%}{M}$
Масова частка \rightarrow Титр	$T = \rho \cdot \omega\%$
Молярність \rightarrow Титр	$T = C_M \cdot M$

У наведених формулах ρ – це густина розчину, M – молярна маса розчиненої речовини, а f – фактор еквівалентності.

Розділ 2

Фізико-хімічні методи аналізу

2.1. Фотоколориметрія

Колориметрія – метод визначення концентрації речовин, здатних поглинати світло, тобто забарвлених. За використання електронного фотоколориметра метод називають фотоколориметрією. Для фотоколориметрії використовують також спектрофотометр, що дає більшу точність та вибірковість аналізу.

Згадаємо фізичну природу світла. Світловий потік складається з елементарних частинок – фотонів, які розповсюджуються зі швидкістю світла, описуючи електромагнітну хвилю де Бройля. Світлові електромагнітні хвилі поперечні, тобто розповсюджуються у просторі подібно до хвиль на воді або шнурі (напрямок коливань перпендикулярний до напрямку розповсюдження хвилі, рис. 2.1). Електромагнітні хвилі, дія яких на сітківку ока людини створює зорові відчуття, називається видимим світлом, або фотосинтетично-активною радіацією (ФАР). Видиме світло характеризується дуже вузьким діапазоном – від 380 до 780 нм. Довжина хвилі визначає колір світла:

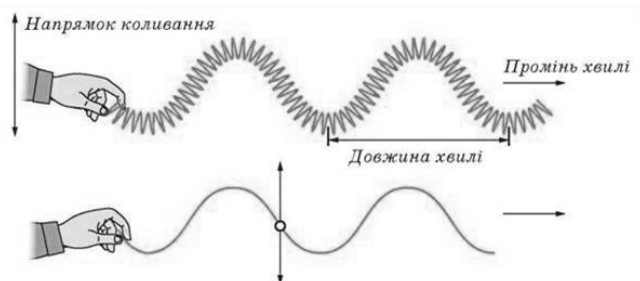


Рис. 2.1. Поперечні хвилі

червоний	–	760–620 нм;
оранжевий	–	620–590 нм;
жовтий	–	590–560 нм;
зелений	–	560–500 нм;
блакитний	–	500–480 нм;
синій	–	480–450 нм;
фіолетовий	–	450–380 нм.

Біле світло – суміш усіх довжин хвиль, тобто кольорів, видимого світла однакової інтенсивності.

Розчин із забарвленою розчиною речовиною має здатність поглинати світло певних довжин хвиль.

При цьому ми бачимо саме ту частину світла, яка не поглинулася розчином, а пройшла крізь нього. Тому, наприклад, якщо розчин поглинає синій колір, то, ймовірно, він матиме червоне забарвлення. Чому так? Тому, що біле світло, яке пройшло крізь розчин, втратило синю складову, а всі інші залишились – і забарвлення «змістилося» до червоного. Але на практиці все складніше, тому що розчини поглинають одночасно декілька довжин хвиль, при цьому різною мірою.

Якщо приготувати два кольорові розчини однієї речовини, але різної концентрації, то візуально зможемо оцінити, який із них більше концентрований, а який менше – за інтенсивністю забарвлення. Розчин більшої концентрації буде мати насиченіший колір, буде темнішим, тобто він поглинатиме більше світла.

На цьому ґрунтується метод визначення концентрації забарвлених розчинів, який називається методом стандартних серій. Даний метод базується на приготуванні серії стандартних розчинів з відомими концентраціями з подальшим візуальним порівнянням

досліджуваного зразка зі стандартами за інтенсивністю забарвлення. Концентрація при цьому може бути визначена як, наприклад: більша, ніж у зразку 5, але менша, ніж у зразку 6. Для окремих задач такої точності вистачає, але в більшості випадків метод не виправдовує себе через недостатню точність. Тому зручніше використовувати фотоколориметри.

Фотоколориметр (або фотоелектроколориметр) являє собою точний електронний оптичний прилад. Фотоелектроколориметр (ФЕК) складається з блоків, наведених на спрощеній схемі (рис. 2.2).

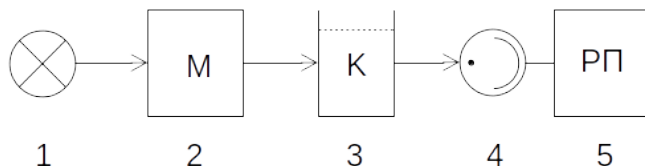


Рис. 2.2. Блок-схема фотоелектроколориметра: 1 – джерело світла; 2 – монохроматор; 3 – кювета з розчином; 4 – фотоелемент; 5 – реєструвальний пристрій

Джерело світла (рис. 2.2, 1) – зазвичай, лампа розжарення, яка випромінює спектр білого світла, близький до сонячного.

Монохроматор (рис. 2.2, 2) – пристрій, який відокремлює від білого світла певну довжину хвилі. Тому на виході з монохроматора світло має один колір, тобто монохромне. Монохроматори бувають трьох типів:

- світлофільтр (набір світлофільтрів);
- призма;
- дифракційна ґратка.



Рис. 2.3. Світлофільтри

Світлофільтр – це спеціальне скло, яке пропускає світлові хвилі лише певної довжини. Набір світлофільтрів може бути зібраний в одному корпусі у вигляді барабана або іншої цілісної системи з

можливістю зміни зовнішнім перемикачем. Також світлофільтри можуть бути дискретними та замінюватися окремо (рис. 2.3). Перевагою світлофільтрів є відносно низька вартість, компактність, легкість обслуговування та відсутність потреби калібрування. Головний недолік – фіксована довжина хвилі.

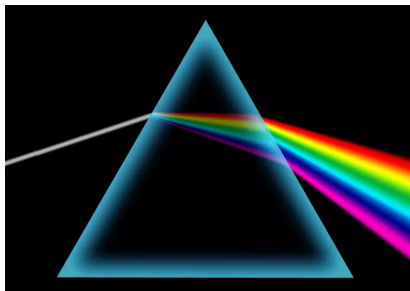


Рис. 2.4. Призма

Призма – це виготовлений зі скла або іншого прозорого матеріалу оптичний елемент. Світло, яке проходить крізь призму, розкладається на спектр, тобто відбувається його дисперсія (рис. 2.4). На деякій відстані від призми розміщений екран із вузькою вертикальною щілиною, через яку проходить частинка спектра лише певного кольору. Перевагою є можливість плавної зміни довжини хвилі монохроматора обертанням призми. Недоліки – більша ціна відносно світлофільтрів, набагато більший об'єм монохроматора та необхідність калібрування.



Рис. 2.5. Дифракційна ґратка

Дифракційна ґратка – скляна або виготовлена з іншого матеріалу пластинка, на яку дуже щільно нанесено паралельні лінії (рис.

2.5). Коли світло відбивається від дифракційної ґратки, відбувається його дифракція і розкладання на спектр. На виході так само розташована вузька вертикальна щілина. Як і призма, дифракційна ґратка в монохроматорі може обертатися, при цьому змінюється довжина хвилі на виході з монохроматора. На відміну від монохроматора з призмою, монохроматор з дифракційною ґраткою має компактніші розміри. Також, як і для призми, перевагою є можливість плавної зміни довжини хвилі. Недоліки – відносно висока вартість та необхідність калібрування.

Кювета з розчином (рис. 2.2, 3) – прозора скляна, пластикова або кварцова посудина з паралельними плоскими стінками, заповнена досліджуванним розчином. Кювета має стандартизовану вказану товщину, тобто відстань, яку світло проходить у шарі розчину.

Фотоелемент (рис. 2.2, 4) – приймач світла, який видає певний електричний сигнал залежно від освітленості фотоелемента.

Реєструвальний пристрій (рис. 2.2, 5) – це електронний блок, який обчислює та показує результати вимірювань залежно від сигналу фотоелемента.

Принцип роботи фотоелектроколориметра: світло від лампи (1) надходить у монохроматор (2), де відокремлюється певна довжина хвилі λ . Далі монохроматичне світло проходить через кювету з розчином (3), де частково поглинається, і потрапляє на фотоелемент (4). Реєструвальний пристрій отримує від фотоелемента електричний сигнал, на основі якого обчислює результат. У більшості задач у світловий потік вносять послідовно кювету з контрольним розчином (чистим розчинником) і кювету з досліджуванним розчином. За різницею електричних сигналів від фотоелемента реєструвальний пристрій дає змогу розрахувати концентрацію досліджуваного розчину.

Реєструвальні пристрої фотоелектроколориметрів зазвичай видають дві числові величини, які характеризують поглинання світла: коефіцієнт пропускання та оптичну густину.

Коефіцієнт пропускання – це відношення інтенсивності світлового потоку, який пройшов через розчин, до інтенсивності вхідного світлового потоку (безрозмірна величина):

$$T = \frac{\Phi}{\Phi_0} \quad (2.1)$$

Деколи величину T вимірюють у відсотках:

$$T = \frac{\Phi}{\Phi_0} \cdot 100 \% \quad (2.2)$$

Чим менше світла поглинається розчином, тим більше значення має коефіцієнт пропускання. Якщо зразок не поглинає світло, тоді $T = 1$ (100 %).

Оптична густина – це десятковий логарифм від оберненого коефіцієнта пропускання:

$$D = \lg \frac{1}{T} \quad (2.3)$$

Як бачимо, оптична густина також безрозмірна величина, яку можна виразити через інтенсивності світлових потоків, використовуючи формулу (2.1):

$$D = \lg \frac{\Phi_0}{\Phi} \quad (2.4)$$

На практиці для розрахунку концентрацій зручніше використовувати оптичну густина, тому що вона прямо пропорційна концентрації:

$$\boxed{D = \varepsilon \cdot C \cdot l}, \quad (2.5)$$

де C – концентрація розчину;

l – товщина поглинального шару розчину (товщина кювети);

ε – коефіцієнт, який залежить від природи розчину.

Формула (2.5) описує закон Бугера-Ламберта-Бера, з якого випливає, що залежність оптичної густини від концентрації має вигляд прямої лінії. Саме ця залежність покладена в основу роботи колориметрів і дає змогу використовувати метод калібрувального графіка. Сутність цього методу передбачає такі кроки:

- готують серію стандартних розчинів відомих концентрацій;
- вимірюють оптичну густина кожного зразка;
- будують графік залежності оптичної густини від концентрації;
- вимірюють оптичну густина розчину невідомої концентрації;
- відкладають виміряну оптичну густина на осі ординат, проводять горизонталь до перетину з графіком, від цієї точки опускають вертикаль до осі абсцис. Саме ця вертикаль і покаже на осі абсцис концентрацію досліджуваного розчину.

Під час роботи з ФЕКом необхідно перевіряти як справність приладу, так і чистоту кювет. Не можна в жодному разі торкатися

стінок кювети, через які проходить світловий промінь під час вимірювань. Якщо ж це сталося, необхідно протерти їх фільтрувальним папером, або за потреби помити. Також потрібно слідкувати, щоб краплі розчину не потрапляли на зовнішні поверхні кювети. Перед вимірюваннями необхідно виставляти і перевіряти довжину хвилі на монохроматорі, а також послідовність роботи з реєструвальним пристроєм. Якщо є сумніви щодо правильності чи точності вимірювання, його необхідно повторити.

Переваги фотоколориметрії:

- швидкість отримання результату (експресність);
- точність;
- висока чутливість;
- незмінність хімічного складу проби, яка може бути використана в подальших дослідженнях;
- селективність (різні компоненти розчину поглинають різні довжини хвиль);
- універсальність.

Недоліки:

- можливість аналізувати лише забарвлені розчини;
- використання кювет лише зі спеціальних оптичних матеріалів;
- неможливість роботи з каламутними розчинами.

2.2. Кондуктометрія

Кондуктометрія – метод аналізу, який базується на вимірюванні електропровідності.

Електропровідністю називають здатність речовин проводити електричний струм. Електропровідність позначається « σ » і визначається за формулою:

$$\sigma = \frac{1}{R}, \quad (2.6)$$

де R – це електричний опір.

Оскільки в межах курсу ми розглядаємо лише розчини, то надалі під кондуктометрією матимемо на увазі вимірювання електропровідності розчинів. Розчини, які проводять електричний струм, називаються *електролітами*.

Електропровідність вимірюється в сіменсах (S_m , або S).

Як відомо, електричний струм – це спрямований рух заряджених частинок. У металах зарядженими частинками є електрони, у

напівпровідниках – електрони та дірки. У розчинах електропровідність забезпечують йони.

Йони – це атоми (або угруповання атомів), які мають надлишкові електрони (аніони) або нестачу електронів (катіони). Йони мають здатність переміщуватися в об'ємі розчину, забезпечуючи проходження електричного струму.

За відсутності будь-яких йонів у воді (очищена, дистильована, деіонізована вода) – її електропровідність настільки незначна, що така вода практично не проводить електричний струм, тобто є ізолятором. Проте з появою навіть незначної кількості йонів вода починає проводити електричний струм настільки, що це можна зафіксувати нескладними приладами. При цьому додавання будь-яких йонів призводить до зростання електропровідності. Тому стверджується, що електропровідність – величина адитивна, а метод кондуктометрії не є селективним.

Розглянемо процеси розчинення та принципи вимірювання електропровідності розчину на прикладі хлориду натрію.

Кристал хлориду натрію має йонну структуру. Кристалічна ґратка є кубічною гранецентрованою, тобто на вершинах куба розташовуються йони Na^+ , а на середині кожної грані куба – йони Cl^- (рис. 2.6).

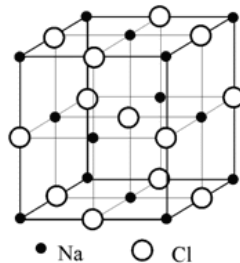


Рис. 2.6. Кристалічна ґратка хлориду натрію

Молекули води мають особливу будову – атоми водню та кисню розміщені не на одній прямій, а утворюють певний кут. Через це більш електронегативний кисень, відтягуючи на себе електронну густину, створює часткове зміщення центра заряду в молекулі. При цьому утворюється так званий диполь – молекула, яка має часткові заряди $\delta+$ та $\delta-$ на протилежних кінцях. Така різниця зарядів і відстань між ними зумовлюють дипольний момент молекули (рис.

2.7).

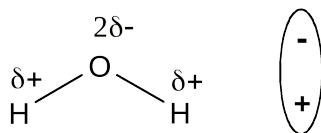


Рис. 2.7. Будова молекули води

Дипольна будова молекул зумовлює багато властивостей води, зокрема, й аномальних. Оскільки молекули води полярні, тобто мають полюси зарядів, то вода – полярний розчинник. До прикладу, чотирхлористий вуглець CCl_4 – неполярний розчинник.

Завдяки тому, що молекули води мають заряди на кінцях, а кристал $NaCl$ складається із заряджених частинок (йонів) – між ними відбувається взаємодія. Диполі води притягуються від'ємними зарядами до крайніх катіонів натрію, а додатніми зарядами до аніонів хлору. Така взаємодія послаблює зв'язки йонів з кристалічною ґраткою і врешті-решт диполі води відривають йони від поверхні кристалу, при цьому оточуючи їх та переводячи в розчинний стан, як показано на рисунку 2.8. Так відбувається і подальше розчинення до моменту або повного розчинення, або насичення розчину, коли подальше розчинення неможливе. У такому стані йони можуть переміщуватись по всьому об'єму розчину, переносячи електричний заряд. Цей процес називається електролітичною дисоціацією. Під

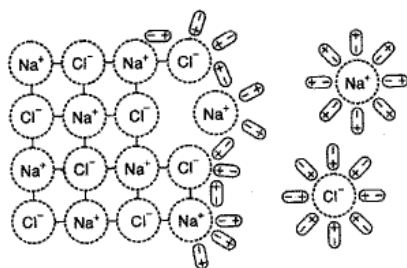


Рис. 2.8. Руїнування кристалічної ґратки хлориду натрію під дією молекул води

час електролітичної дисоціації речовина в розчині розпадається на йони. Цей процес оборотний, тобто можлива повторна кристаліза-

ція хлориду натрію з розчину, наприклад, при випаровуванні чи охолодженні. Електролітична дисоціація записується у вигляді рівняння:



Деякі речовини під час розчинення не дисоціюють (наприклад, цукор), тому концентрація таких речовин не змінює електропровідність розчину. Іншими словами, якщо в розчин хлориду натрію додати цукор, то прилад не зафіксує його наявності. Це робить метод кондуктометрії частково селективним, тобто він дає змогу вимірювати концентрацію одного компонента розчину (електроліту), не реагуючи на інші (неелектроліти) за розглянутих умов.

Як вимірюється електропровідність?

Для звичайних речовин (не розчинів) електропровідність вимірюється в найпростішому випадку за допомогою вимірювального містка Вітстона (Wheatstone bridge), який складається з джерела постійного струму, чотирьох опорів, один з яких – комірka з вимірюваною речовиною, а також нуль-індикатора. Як нуль-індикатор можуть бути використані чутливі амперметри, гальванометри, які показують наявність дуже незначних струмів у вимірювальному колі. Схема містка Вітстона наведена на рис. 2.9.

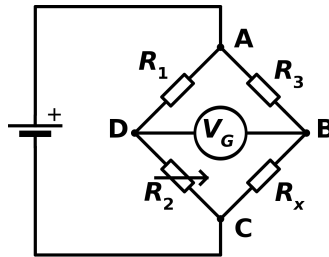


Рис. 2.9. Місток Вітстона

Опір R_x – це електродна комірka з речовиною, електропровідність якої вимірюється. Опори R_1 та R_3 – постійні. Опір R_2 можна плавно змінювати.

Принцип роботи з містком такий. Після увімкнення живлення нуль-індикатор V_G покаже деякий струм. Змінюючи опір R_2 , необхідно знайти такий режим, при якому нуль-індикатор покаже мінімальний струм або його відсутність. У цьому разі місток вважає-

ться збалансованим. Тоді виконується співвідношення:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_x} \quad (2.7)$$

Знаючи опори R_1 , R_3 та R_2 , можна розрахувати вимірюваний опір (формула 2.8) та електропровідність (формула 2.6).

$$R_x = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1} \quad (2.8)$$

Місток Вітстона не використовується для вимірювання електропровідності розчинів. Чому? Розглянемо процеси, які відбуваються в електролітах під час пропускання через них постійного струму.

Електролітична комірка складається з двох електродів, занурених у ємність із розчином. Якщо подати на електроди постійну напругу, то через розчин потече струм (рис. 2.10). При цьому електрод, під'єднаний до від'ємного полюса джерела, називається катодом і позначається «К», а електрод, приєднаний до додатнього полюса – анодом, «А».

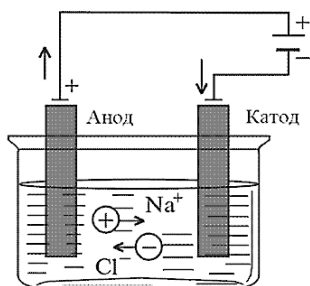


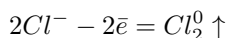
Рис. 2.10. Рух йонів у розчині хлориду натрію

У перший момент після увімкнення струму йони починають рухатися. До катода, який має від'ємний заряд, будуть прямувати катіони з додатнім зарядом, тоді як до анода прямуватимуть аніони. Процес руху йонів показано на рисунку 2.10.

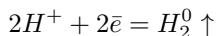
Через деякий час більша частина йонів розташуються в приелектродному шарі біля відповідних електродів (навколо, на невеликій відстані). Оскільки рухомих частинок у розчині майже не

залишитися, то, відповідно, сила струму через розчин упаде. Це явище називається *поляризацією електродів*. Поляризація електродів ускладнює вимірювання електропровідності розчину, оскільки вносить нестабільність у процес протікання струму.

Коли йони розташувалися біля електродів, починається процес *електролізу* розчину. Електроліз – це розкладання хімічних речовин під дією електричного струму. При цьому відбуваються такі процеси. На аноді два аніони хлору віддають зайві електрони та утворюють молекулу, виділяється газоподібний хлор:



На катоді не відбувається відновлення натрію, оскільки його електродхімічний потенціал менший за потенціал водню, а також металічний натрій не може існувати у водному середовищі. Тому відбувається відновлення водню і на катоді виділяється газоподібний водень:



Електроліз призводить до зміни хімічного складу розчину – утворюються нові сполуки, зменшується концентрація певних йонів. При цьому змінюється сила струму, який проходить через розчин, що ускладнює вимірювання його електропровідності.

Під час електролізу, як і в нашому прикладі, можуть утворюватися різні гази. При цьому маленькі бульбашки газів вкривають поверхні електродів і призводять до зменшення площі контакту електродів з електролітом. Це зменшує силу струму через електролітичну комірку і також перешкоджає вимірюванню електропровідності розчину.

Підсумуємо явища, які заважають використанню містка Вітстона із постійним струмом для вимірювання електропровідності розчинів.

1. Поляризація електродів (скупчення іонів біля відповідних електродів).
2. Електроліз (зміна хімічного складу та концентрацій іонів).
3. Наліпання бульбашок газів на електроди (зменшення площі електричного контакту електродів з електролітом).

Проблема вимірювання електропровідності розчинів була розв'язана Кольраушем наприкінці XIX ст., який запропонував використовувати змінний струм та іншу схему під назвою «місток Кольрауша». Місток Кольрауша складається з електролітичної комірки (R_x),

джерела змінного струму (1), нуль-індикатора (2), еталонного опору (R_e) та реохорда, який утворює опори R_2 та R_3 (рис. 2.11). Як нуль-індикатор Кольрауш використовував навушники.

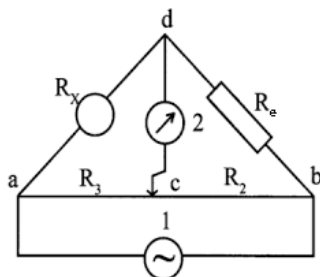


Рис. 2.11. Місток Кольрауша

Важлива частина містка Кольрауша – реохорд, зображений на рис. 2.12. Прилад складається з лінійки, на яку натягнута тонка дротина (1) зі сплаву з великим питомим опором (ніхром, нікелін, константан). У деяких випадках використовується залізний дріт. До боків дротинки приєднані клєми (2). Зверху по лінійці переміщується бігунок (3), який має ковзаючий контакт із дротиною. Цей контакт також приєднаний до електричної клєми. Контакти (2) реохорда приєднують до точок a та b у містку, а бігунок – до нуль-індикатора в точці c (див. рис. 2.11).

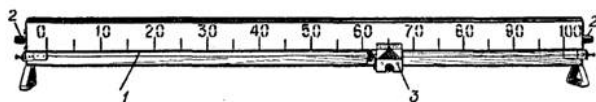


Рис. 2.12. Реохорд

Кондуктометрична комірка (R_x) являє собою скляну трубку, в яку впаяні два електроди відомої площі на відомій відстані. Електроди часто виготовляють з платини, тому що цей метал хімічно інертний і стійкий до більшості реагентів. Кондуктометрична комірка зображена на рис. 2.13. Перед початком вимірювань її потрібно занурити у досліджуваний розчин. У містку Кольрауша кондуктометрична комірка приєднується в точках a та d (див. рис. 2.11).

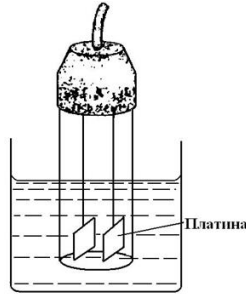


Рис. 2.13. Кондуктометрична комірка

Порядок вимірювань такий. Після підключення комірки, реохорда і занурення комірки в розчин вмикається джерело змінного струму. При цьому нуль-індикатор покаже деякий струм (або в навушниках буде чути звуковий сигнал). Рухаючи бігунок реохорда, підбираємо його положення так, щоб нуль-індикатор показав мінімум або відсутність струму (звук у навушниках має зникнути). У цьому разі місток вважається збалансованим та виконується співвідношення:

$$\frac{R_x}{R_3} = \frac{R_e}{R_2} \quad (2.9)$$

З цієї формули:

$$R_x = R_e \cdot \frac{R_3}{R_2} \quad (2.10)$$

Оскільки у реохорді використовується тонка рівномірна дротина, то її опір пропорційний довжині. Тому відношення опорів можна замінити відношенням довжин плеч реохорда. Замість опорів R_3 підставимо довжину дроту між точками a та c (l_{ac}), а замість R_2 – довжину дроту між точками c та b (l_{cb}). Тоді отримаємо вираз:

$$R_x = R_e \cdot \frac{l_{ac}}{l_{cb}} \quad (2.11)$$

Видно, що у формулі (2.11) використовуються довжини лівого та правого плеч реохорда, а також величина еталонного опору. Довжини зчитуються з лінійки реохорда, а величина еталонного опору підбирається дослідником або вказана на приладі. Знаючи опір досліджуваного розчину, можемо розрахувати його електропровідність (формула 2.6).

Розглянемо, які процеси відбуваються у розчині під час проходження змінного електричного струму.

Змінний струм – це струм, величина якого змінюється в часі. У кондуктометрії використовується такий змінний струм, який змінює як величину, так і полярність. У більшості випадків використовується змінний струм, який змінюється за синусоїдальним законом, як зображено на рис. 2.14. Як видно, за період T струм

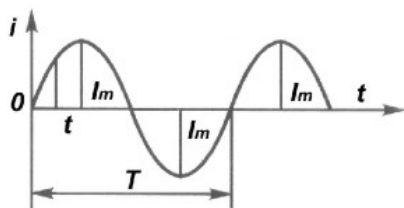


Рис. 2.14. Графік змінного струму

набуває максимального значення I_m з переходом через нуль, тобто змінює полярність. Це відбувається десятки або сотні разів за секунду. При цьому так само швидко електроди змінюють свій заряд, тобто анод стає катодом, а катод анодом. Йони в розчині не встигають пройти шлях між електродами та скупитися навколо них. Це унеможливує явище поляризації електродів. Отже, йони не встигають вступити в реакції електронного обміну з електродами, тому електроліз теж не відбувається. Якщо немає електролізу, то і бульбашки газу не виділяються на поверхні електродів. З цих причин для вимірювання електропровідності розчинів використовують саме місток Кольрауша і змінний струм.

Сучасні прилади, які вимірюють електропровідність, називаються *кондуктометрами*. Хоча в них замість реохорда використовується електронна мікроконтролерна система, принципи роботи таких приладів залишаються незмінними.

Переваги кондуктометрії:

- швидкість отримання результату (експресність);
- точність;
- висока чутливість;
- часткова селективність (метод визначає лише електроліти);
- універсальність.

Недоліки методу:

- неможливість визначення речовин, які не проводять електричний струм;
- залежність показів від температури.

2.3. Поляриметрія

Поляриметрія – метод аналізу, який ґрунтується на вимірюванні кута обертання площини поляризації світла досліджуваним розчином.

Пригадаємо, що світло – це поперечна електромагнітна хвиля (див. рис. 2.1). При цьому кожна окрема хвиля має власний напрямок коливань, навіть якщо напрямки розповсюдження хвиль збігаються, тобто фотони світла, хоч і переміщуються паралельно, але коливаються у різних площинах. У звичайному сонячному світлі та світлі від лампи розжарення існують безліч напрямків коливань світлових хвиль. Таке світло називається *неполяризованим*.

Якщо з неполяризованого світла виокремити фотони, які коливаються в одному напрямку (в паралельних площинах), то таке світло буде *поляризованим*. Для поляризації світла використовують поляризаційні світлофільтри. Схематично поляризацію світла показано на рис. 2.15. Площина, до якої паралельні всі напрям-

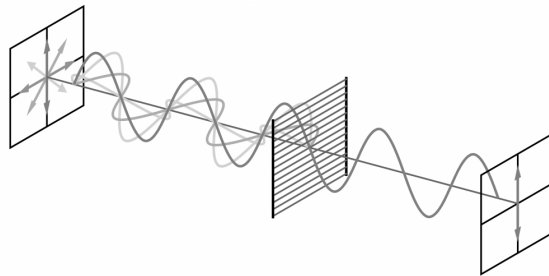


Рис. 2.15. Поляризація світла

ки коливань фотонів поляризованого світла, називається *площиною поляризації*.

Існують речовини, розчини яких здатні обертати площину поляризації світла. Такі речовини називаються *оптично активними*. Оптично активні речовини можуть обертати площину поляризації

як за годинниковою стрілкою, так і проти. Зміна концентрації прямо пропорційна до зміни кута обертання площини поляризації:

$$\varphi = \varepsilon \cdot C \cdot l, \quad (2.12)$$

де C – концентрація розчину;

l – товщина поглинального шару розчину (довжина кювети);

ε – коефіцієнт, який залежить від природи розчину.

Формула (2.12) дозволяє визначити концентрацію розчину оптично активної речовини, вимірюючи кут обертання площини поляризації. Прилад, з допомогою якого здійснюють такі вимірювання, називають *поляриметром*. Схема поляриметра зображена на рис. 2.16.

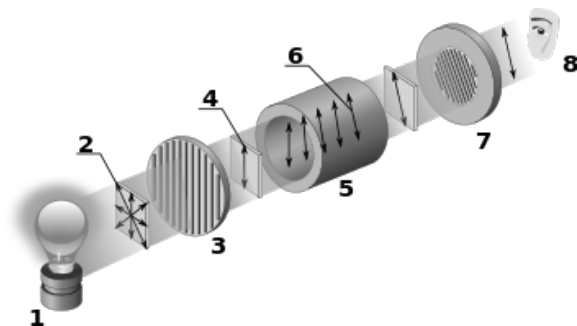


Рис. 2.16. Схема поляриметра

Принцип роботи поляриметра. Джерело світла (1) випромінює потік неполяризованого світла (2). Пройшовши через поляризатор (3) світло стає поляризованим (4). Далі поляризоване світло проходить через кювету з розчином (5), де площина поляризації обертається на певний кут (6). Після цього світло проходить через аналізатор (7) і спостерігається через окуляр (8).

Поляризатор і аналізатор – поляризаційні світлофільтри. Поляризатор жорстко закріплений і не рухається, тоді як аналізатор можна обертати навколо центра, а кут обертання фіксується за допомогою кругової шкали. Під час вимірювань спостерігач обертає аналізатор, фіксуючи максимальну інтенсивність світла. Якщо кювети немає або в ній вода, максимальна інтенсивність світла буде спостерігатись при нульовому положенні аналізатора. Якщо ж у кюветі міститься розчин оптично активної речовини, то максимальної інтенсивності світла в окулярі можна досягнути, повернувши

аналізатор на певний кут. Чим більша буде концентрація оптично активної речовини в кюветі, тим більший кут обертання площини поляризації.

Для полегшення визначення кута поляризації використовують *напівтіньові поляризатори*. При цьому, спостерігач бачить в окулярі зображення, як показано на рис. 2.17. В окулярі видно два поля,

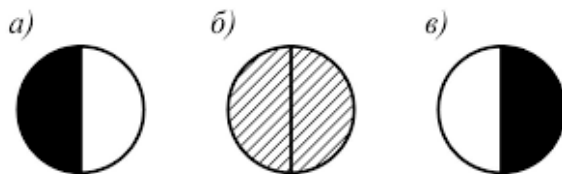


Рис. 2.17. Зображення в окулярі поляриметра

розділені вертикальною межею. Одне з полів може бути темніше за інше. Обертанням аналізатора необхідно знайти таке положення, в якому в окулярі обидва поля набудуть однакової яскравості і межа між ними буде невидимою (рис. 2.17, б). Якщо аналізатор обернений проти годинникової стрілки від положення рівноваги, то спостерігається зображення, як на рис. 2.17, а; якщо ж за годинниковою стрілкою – рис. 2.17, в.

Шкала поляриметра складається з рухомого круга, який обертається разом з аналізатором, та шкали Ноніуса, нерухомо закріпленої на корпусі. Шкала поляриметра зображена на рис. 2.18. Відлік

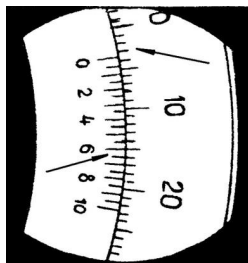


Рис. 2.18. Шкала поляриметра

цілих градусів береться за основною шкалою, а десятих – за шкалою Ноніуса. Відлік на рисунку відповідає 3,6 градуса.

Для дослідження розчинів у поляриметрах часто використовують скляні, інколи металічні кювети, які ще називають *поляриметричними трубками*. Скляна поляриметрична кювета зображена на рис. 2.19. Вона складається зі скляної трубки, часто з невеликим



Рис. 2.19. Поляриметрична кювета (трубка)

потовщенням біля одного кінця та двох кришок, які мають прозорі скельця та герметично закривають кювету з обох кінців. У кювету заливається розчин так, щоб максимально уникнути утворення бульбашок, після чого закручують кришку. При цьому одну кришку знімають, а іншу герметично закривають. Після заповнення кювети на її торець акуратно кладуть скельце і герметично закручують кришку. Обов'язково потрібно промокнути залишки розчину з кювети, з усіх пазів у кришках та ретельно протерти скельця, через які проходить світло. Якщо ж бульбашки все ж таки утворились – потрібно за допомогою обертання кювети та постукування пальцем перемістити їх до потовщення трубки.

Порядок вимірювання такий.

1. Вмикаємо прилад на час, потрібний для розігріву лампи.
2. Заповнюємо кювету розчином, ретельно її протираємо, забураємо бульбашки з оптичної осі.
3. Поміщуємо поляриметричну трубку в прилад.
4. Знаходимо рівновагу системи (рис. 2.17, б), обертаючи аналізатор.
5. Знімаємо покази з кругової шкали аналізатора.

Переваги поляриметрії:

- швидкість отримання результату (експресність);
- точність;
- незмінність хімічного складу проби та можливість її використання в подальших дослідженнях;
- часткова селективність (метод визначає лише оптично активні речовини);

Недоліки цього методу:

- неможливість визначення речовин, які не є оптично активними;

- складність роботи з забарвленими та каламутними розчинами;
- порівняно великий об'єм проби.

2.4. Віскозиметрія

Віскозиметрія – метод, який ґрунтується на вимірюванні в'язкості речовин. Прилади для віскозиметрії називаються *віскозиметрами*. Оскільки в межах курсу розглядаються лише розчини, то надалі акцентується увага на в'язкості саме розчинів і рідин.

В'язкість – це здатність рідин чинити опір їх переміщенню (переливанню). Її також називають *внутрішнім тертям*. В'язкість розчинів зумовлена міжмолекулярною взаємодією між шарами рідини. Розрізняють *динамічну* та *кінематичну* в'язкість.

Динамічна в'язкість описує протидію зсуву сусідніх шарів рідини, які рухаються у паралельних напрямках, та вимірюється у *Пуазах* (П).

Кінематична в'язкість також відображає властивість протидіяти переміщенню однієї частини рідини відносно іншої, але враховує їхню масу. Кінематична в'язкість вимірюється у *Стоксах* (Ст).

Зі збільшенням концентрацій розчинів їх в'язкість може як збільшуватись, так і зменшуватись. Також залежність в'язкості від концентрації не прямо пропорційна, а має складніший характер. Тому для розрахунку концентрацій використовують спеціальні таблиці або калібрувальні криві. В'язкість речовин дуже залежить від температури, тому під час вимірювань бажано термостатувати віскозиметр та всі розчини.

Віскозиметри призначені для вимірювання різних типів в'язкості. Розглянемо кілька типів віскозиметрів.

Віскозиметр Стокса зображено на рис. 2.20. Його ще називають віскозиметром падаючої кульки. Принцип його роботи полягає ось у чому. У мірний циліндр наливається досліджуваний розчин, у котрий занурюють кульку відомого діаметра та маси. Кулька починає падати в рідині, тому на неї діють три сили: P – сила тяжіння, R_A – архімедова сила та F_O – сила опору рідини. При перетинанні кулькою мітки A вмикається секундомір, а мітки B – секундомір вимикається. Тобто вимірюється час падіння кульки від мітки A до мітки B . За отриманими даними визначають кінематичну в'язкість рідини.

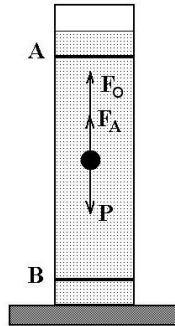


Рис. 2.20. Віскозиметр Стокса

Чим більша в'язкість рідини, тим довшим буде час падіння кульки за однакових умов. Цей віскозиметр має перевагами простоту використання та універсальність, а недоліком – великий об'єм проби. Точність його можна підвищити, збільшивши висоту стовпчика рідини, діаметр кульки та зменшивши її масу.

Чашковий віскозиметр зображено на рис. 2.21. Він має форму чашки або лійки з невеликим отвором у нижній частині – соплом. Деякі віскозиметри мають змінні сопла різного діаметра. Принцип



Рис. 2.21. Чашковий віскозиметр

роботи з такими віскозиметрами простий. Потрібно наповнити чашку віскозиметра рідиною до країв, відкрити сопло та заміряти час повного витікання рідини з чашки. Виробники віскозиметрів, зазвичай, надають готові таблиці для розрахунку кінематичної в'язкості

рідин за часом витікання.

Найчастіше такі віскозиметри використовують у лакофарбовій промисловості, для вимірювання в'язкості мастильних матеріалів (моторних масел), клеїв, смол, під час розведення фарб для фарборозпилювачів. Простота конструкції та експлуатації – головні переваги віскозиметрів такого типу, а недолік – відносно невисока точність результатів.

Вібраційний віскозиметр зображено на рис. 2.22. Принцип роботи такого віскозиметра полягає у вимірюванні частоти власних коливань штоку, зануреного у досліджуваний розчин. До корпусу

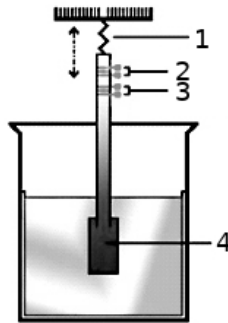


Рис. 2.22. Вібраційний віскозиметр

віскозиметра через пружину (1) кріпиться шток (4). За допомогою електричної котушки (2) та електронної схеми шток рухається вертикально. При внесенні його в рідину з більшою в'язкістю шток починає рухатись повільніше, тобто частота його коливань зменшується. Це фіксується за допомогою вимірювальної котушки (3), приєднаної до частотоміра. Даний віскозиметр дозволяє виміряти кінематичну в'язкість рідин.

Ротаційний віскозиметр зображено на рис. 2.23. Він складається з двох циліндрів: ротора (1) та статора (2). Статор розташований усередині ротора. Між стінками ротора і статора заливається досліджуваний розчин (3). Ротор обертається з постійною частотою ω за допомогою двигуна (5). При цьому зусилля передається від ротора до статора через шар розчину. Чим більша в'язкість розчину, тим більша сила буде діяти на статор у напрямку обертання ротора. Ця сила фіксується за допомогою динамометра (4). Ротаційні віскозиметри дають можливість досліджувати динамічну в'язкість

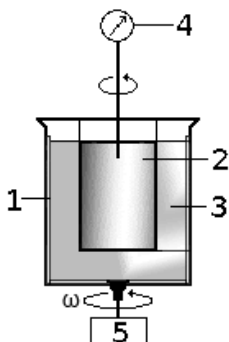


Рис. 2.23. Ротаційний віскозиметр

рідин при різних швидкостях обертання ротора, що дозволяє робити висновки, наскільки поведінка рідини відхиляється від законів Ньютона.

Якщо рідина не змінює свою в'язкість залежно від швидкості переміщення, то така рідина належить до класу *ньютонівських рідин*. Наприклад, вода – ньютонівська рідина, в'язкість якої не залежить від сил, які діють на неї та швидкості переміщення. Для ньютонівських рідин швидкість залежить переважно від температури і тиску.

Якщо ж в'язкість рідини залежить від швидкості переміщення – такі рідини називають *неньютонівськими*. Прикладом такої рідини може бути суспензія крохмалю у воді. Ця суспензія легко переливається з однієї посудини в іншу, а під час різкого удару поводить себе як тверде тіло, навіть може розбитися на шматки.

Капілярний віскозиметр, або віскозиметр Оствальда, зображено на рис. 2.24. Принцип роботи капілярного віскозиметра полягає у вимірюванні часу протікання певного об'єму рідини через тонкий капіляр під дією сили тяжіння. Віскозиметр Оствальда складається з U-подібної трубки з резервуаром (5), до якої припаяний капіляр (К). Капіляр має невеликий внутрішній діаметр, стандартизовану довжину та виготовлений дуже точно. Він – основна частиною приладу. До верхньої частини капіляра приєднано два невеликі резервуари (4) та трубка (1). У проміжку між резервуарами нанесена мітка M_1 , а під нижнім резервуаром – мітка M_2 . Патрубок (3) потрібен для регулювання рівня рідини у віскозиметрі.

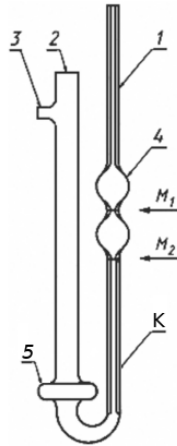


Рис. 2.24. Капілярний віскозиметр

Порядок роботи з капілярними віскозиметрами. У резервуар (5) за допомогою лійки або дозатора заливається досліджуванний розчин. У трубку (2) вводиться носик гумової груші, після чого патрубок (3) закривається пальцем і за допомогою груші створюється тиск. При цьому рідина починає рухатися через капіляр (К), наповнюючи резервуари (4). Коли верхній резервуар частково заповниться рідиною, патрубок (3) відкривають і гумову грушу забирають. Після цього рідина починає рухатися капіляром у зворотному напрямку, перетікаючи в резервуар (5). Коли меніск рідини перетне мітку M_1 , умикають секундомір. Через деякий час меніск рідини досягне мітки M_2 , тоді секундомір вимикають. Отриманий час фіксується у журналі. Вимірювання бажано повторити кілька разів. Маючи час протікання рідини через капіляр та сталу віскозиметра, розраховують її кінематичну в'язкість.

Капілярні віскозиметри – одні з найпоширеніших у лабораторіях. Їх переваги: відносно дешева вартість, простота конструкції та експлуатації. Основні недоліки: крихкість скляної конструкції та неможливість змінити параметри віскозиметра.

В'язкість рідин відіграє важливу роль у житті та діяльності людини. Від в'язкості фарби залежить товщина та міцність її шару, від в'язкості моторної олії залежить робота автомобіля, від в'язкості крові – робота серця та судин. Цей список можна продовжувати

майже безмежно. Тому віскозиметрія – один із найважливіших методів дослідження розчинів.

Переваги віскозиметрії – простота та зручність експлуатації віскозиметрів, незмінність хімічного складу проби, що надає можливість її подальших досліджень. Недоліки – необхідність термостаткування, складні залежності в'язкості від концентрації.

2.5. Титриметрія

Титриметрія – метод об'ємного аналізу, який полягає у вимірюванні об'ємів розчинів, які прореагували між собою. Даний метод – один із основних під час дослідження концентрацій розчинів. Розглянемо принципи титриметрії.

Титрування – один із аналітичних методів визначення концентрацій речовин у розчинах, який використовується у титриметрії. Титрування – це додавання невеликих порцій (краплин) титранту у досліджуваний розчин до точки еквівалентності.

Титрант – розчин із відомою концентрацією, який реагує з досліджуваним розчином.

Точка еквівалентності – момент у титриметричному аналізі, коли досліджуваний розчин повністю витратився на реакцію з титрантом.

Індикатор – хімічна речовина, яка не бере участі у хімічній реакції, але змінює колір залежно від концентрації титранту, досліджуваного розчину, певних іонів окисно-відновного потенціалу, рН або інших параметрів розчину. Індикатор дає змогу візуально визначити точку еквівалентності під час титрування.

Для простого титрування використовують такий хімічний посуд: бюретки, колби для титрування, крапельниці з індикатором.

При титриметричному аналізі вимірюється об'єм титранту, який витрачено на реакцію з досліджуваним розчином. Знаючи концентрацію та об'єм титранту, можна визначити еквівалент досліджуваного розчину, а отже, і кількість речовини у ньому.

У найпростішому разі *бюретка* являє собою скляну трубку, градуйовану в одиницях об'єму, до нижньої частини якої під'єднаний кран. Крани бувають різних типів, як показано на рис. 2.25. Бюретки є *прості* та *автоматичні*. Автоматичні бюретки мають можливість наповнення титрантом без доливання у верхню частину, а лише за допомогою крана. На рис. 2.25 *а, б, в* зображені про-

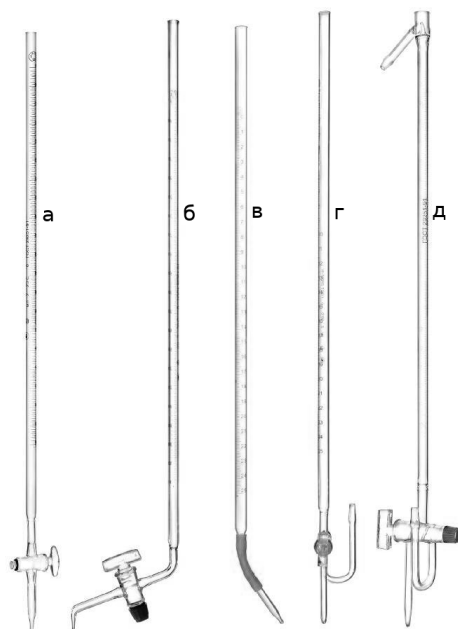


Рис. 2.25. Бюретки

сті бюретки, *г* та *д* – автоматичні. Бюретка *а* має прямий скляний кран, бюретка *б* – кран під кутом. У бюретці *в* використана гумова трубка, в якій розміщена скляна кулька. Кулька перекриває шлях рідині; під час титрування натискають на гумову трубку в місці розташування кульки, що дає змогу титранту витікати по краплинах або невеликим струменем. Силою натискання можна регулювати швидкість витікання титранту. Бюретка *г* має двоходовий кран і патрубок для наповнення титрантом. До патрубка під'єднується трубка з ємністю, яка розміщується вище від бюретки. У ємність заливається титрант. За допомогою двоходового крана об'єм бюретки з'єднується з патрубком, при цьому титрант починає заповнювати бюретку. Коли рівень титранту досягає нульової позначки, кран перекривають. Під час титрування кран повертають в іншу сторону, сполучаючи об'єм бюретки з носиком. Бюретка *д* наповнюється так само, але має систему автоматичного встановлення нуля. Ця систе-

ма складається з невеликого циліндра з боковим відводом, припаяним до верхньої частини бюретки. Сама верхня частина основної трубки має завужений та нахилений убік кінець. Під час наповнення бюретки титрантом з ємності його рівень досягає завуження та починає вилитись у циліндр з відводом. У цей момент кран перекривають. Після цього бюретка вважається наповненою та виставленою на нуль. Зазвичай до бокового відводу приєднується трубка, яка виводиться у ємність для зливання залишків титранту.

Під час титрування правою рукою дозують кількість титранту (за допомогою скляної кульки або крана), а лівою постійно перемішують розчин у колбі, як показано на рис. 2.26. При цьому колбу потрібно тримати під кутом, щоб краплі титранту потрапляли на стінку колби, стікаючи у розчин. У разі досягнення точки еквівалентності титрування негайно припиняють, перекиривши потік титранту, та зчитують його об'єм за градуванням бюретки.

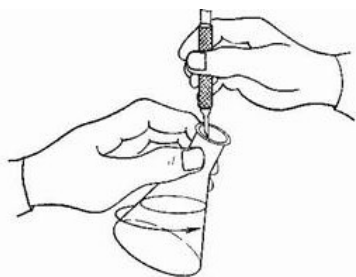


Рис. 2.26. Положення рук під час титрування

Точку еквівалентності визначають за зміною забарвлення хімічного індикатора. Індикатори бувають різних типів: кислотно-основні, які реагують на зміну рН; окисно-відновні, котрі реагують на зміну окисно-відновного потенціалу; специфічні, які реагують на певні речовини або іони. Найчастіше використовують кислотно-основні індикатори, які змінюють колір залежно від рН середовища.

Індикатор	Лужне	Нейтральне	Кисле
<i>Метилоранж</i>	жовтий	оранжевий	червоний
<i>Фенолфталеїн</i>	малиновий	безбарвний	безбарвний
<i>Лакмус</i>	синій	–	червоний
<i>Універсальний</i>	синій	жовтий	червоний

Також універсальний індикатор дає змогу визначити рН розчи-

ну з точністю до 1 за кольоровою шкалою, яка надається в комплекті до індикаторних смужок. Тому такий індикатор найчастіше застосовується в лабораторії для експрес-визначення рН середовища.

Переваги титриметричного аналізу – універсальність і точність, а недоліки – використання крихкого хімічного посуду, бюреток, необхідність приготування свіжого титранту з точною концентрацією.

2.6. Ебуліоскопія

Ебуліоскопія – метод, який ґрунтується на вимірюванні зміни температури кипіння розчинів порівняно з чистим розчинником.

Процес кипіння – це швидке випаровування рідини, яке виникає з її нагріванням до точки кипіння. Кипіння можливе за умови, якщо тиск насиченої пари рідини дорівнює зовнішньому тиску. Тому температура кипіння рідини залежить від атмосферного тиску. З цієї причини ебуліоскопію потрібно проводити за нормальних умов. Надалі розглядатимемо водні розчини. За нормальних умов ($P=1 \text{ Атм}$) вода кипить при $100 \text{ }^\circ\text{C}$.

Відомо, що у розчині частинки розчиненої речовини взаємодіють із розчинником. Розглянемо таку взаємодію на прикладі хлориду натрію. Кристал солі має іонну будову кристалічної ґратки, тобто у вузлах ґратки розміщені катіони натрію та аніони хлору. Молекули води мають дипольний момент, тобто часткові електричні заряди на протилежних кінцях молекули. Диполі води виривають іони з вузлів кристалічної ґратки, переводячи в розчин. При цьому молекули води оточують кожен іон, компенсуючи його заряд. Цей процес зображено на рис. 2.8 розділу «Кондуктометрія». У результаті іони утримують молекули води в розчині, тому потрібно затратити більше енергії для їх відривання від поверхні розчину та переходу в газоподібний стан, тобто випаровування. З цієї причини розчин буде кипіти за вищої температури, ніж чиста вода. Зі збільшенням концентрації розчину температура кипіння також буде зростати.

Існує ще один діаметрально протилежний метод дослідження розчинів – кріоскопія. Цей метод ґрунтується на вимірюванні температур замерзання розчинів порівняно з чистим розчинником. Зі збільшенням концентрації розчину температура його замерзання

знижується. Причина цього явища також взаємодія молекул розчинника з розчищеною речовиною. Іони або молекули розчищеної речовини утримують молекули води в рідині, ускладнюючи її кристалізацію.

2.7. Рефрактометрія

Метод рефрактометрії полягає у вимірюванні *коефіцієнта рефракції* або *показника заломлення*.

Нагадаємо фізичну природу світла. Світло – це потік фотонів, які під час руху описують хвилі де Бройля. Світло рухається у вакуумі з максимально можливою швидкістю – 299792458 м/с, тобто близько 300000 км/с. Коли світло проходить через різні середовища (наприклад: повітря, воду, скло), воно взаємодіє з цим середовищем і при цьому його швидкість зменшується. Якщо поділити швидкість світла у вакуумі на його швидкість у певному середовищі, то отримуємо *коефіцієнт рефракції* для цього середовища:

$$n = \frac{c}{v} \quad (2.13)$$

Оскільки завжди $c > v$, то коефіцієнт рефракції завжди більший за одиницю. Наприклад, коефіцієнт рефракції води становить 1,33.

Для визначення коефіцієнта рефракції необов'язково вимірювати швидкість світла у розчинах. Для цього існує прилад, який називається *рефрактометр*. Рефрактометри бувають лабораторні та портативні, спеціалізовані та для широкого спектра задач. Принцип

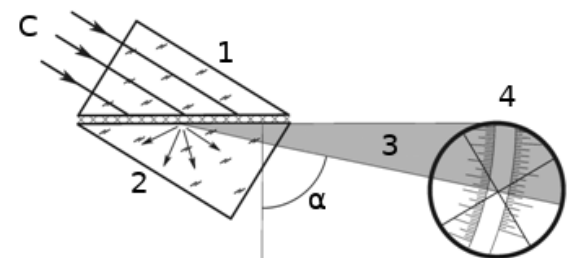


Рис. 2.27. Принцип дії рефрактометра

дії рефрактометра зображено на рис. 2.27. Основними частинами

рефрактометра є дві призми, зроблені з оптичного скла: *освітлювальна* (1) та *вимірювальна* (2). Між призмами вноситься крапля розчину, яка розтікається тонким шаром по площині. Світло S проходить через освітлювальну призму, потрапляючи на шар розчину, заломлюється у ньому і проходить через вимірювальну призму. Усі промені, які вийшли з призми під кутом, меншим за α , потрапляють на шкалу приладу (4), освітлюючи її до певної межі. Решта шкали залишається в тіні. Під час вимірювань окуляр наводиться перехрестям на межу світла і тіні, а покази знімаються з одної зі шкал приладу.

Чим більша концентрація розчину, тим більший кут заломлення α та, відповідно, більші результати вимірювань.

Переваги рефрактометрії – швидкість отримання результату, точність, малий об'єм проби, склад якої не змінюється, що дає можливість використання в подальших дослідженнях. Основний недолік – залежність коефіцієнта рефракції від температури, що спричинює необхідність термостатування приладу і проби.

2.8. Ареометрія

Метод ареометрії полягає у визначенні густини розчинів.

Густина розчину – це відношення його маси до об'єму, вимірюється у г/мл або кг/л. Цю величину також називають *питомою масою*. Густина розраховується за формулою:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.14)$$

Для вимірювання густини розчинів під час лабораторних досліджень найчастіше використовують пікнометри та ареометри. Розглянемо їх.

Пікнометр являє собою скляну посудину, зроблену у вигляді мірної колби з міткою та пришліфованим корком (рис. 2.28). Пікнометри виготовляють з тонкого скла для зменшення ваги. Під час роботи пікнометр наповнюють рідиною до мітки та обов'язково закривають корком. Хоча пікнометри мають мітки та об'єм, вказаний на ньому, цей об'єм є неточним. Причиною цього є особливість виготовлення пікнометрів. Тому перед проведенням вимірювань пікнометр необхідно калібрувати, тобто знаходити його точний об'єм.

Принцип роботи з пікнометром полягає у зважуванні об'єму рідини, розміщеної в ньому. Для цього спочатку знаходять масу су-

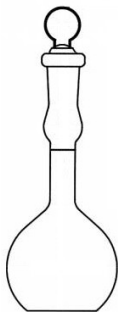


Рис. 2.28. Пікнометр

хого пікнометра (без рідини), потім зважують його з рідиною. Масу рідини знаходять за різницею мас пікнометра з рідиною та сухого пікнометра. Знайшовши точний об'єм пікнометра, можна розрахувати густину розчину, поділивши масу рідини на її об'єм (об'єм пікнометра).

Іншим методом визначення густини є використання ареометра. Зовнішній вигляд ареометра зображено на рис. 2.29. Ареометр яв-

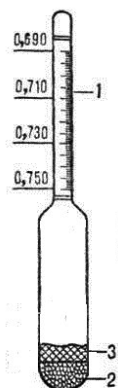


Рис. 2.29. Ареометр

ляє собою скляний поплавок, який складається з колби та трубки. У трубці розміщена шкала (1) ареометра, відградуйована в одиницях густини; в нижній частині колби розміщені свинцеві кульки (2),

залиті сургучем або клеєм (3). Оскільки густина розчинів залежить від температури, то в колбі ареометра часто додатково розміщують термометр.

Принцип роботи з ареометром. У достатньо високу ємність (циліндр) наливають досліджуваний розчин, у який занурюють ареометр. Після того, як рух ареометра припиниться, він встановиться у рівноважне положення. На ареометр діє сила тяжіння, спрямована до центру Землі, а також архімедова сила виштовхування, спрямована у протилежну сторону. У момент рівноваги ці сили однакові за величиною.

Після встановлення рівноваги спостерігач розташовується так, щоб поверхня розчину була на лінії очей, як показано на рис. 2.30.

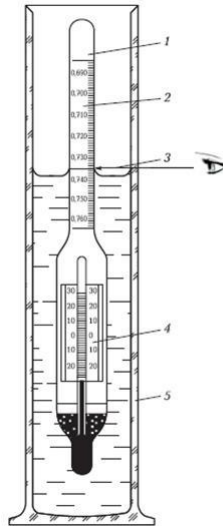


Рис. 2.30. Використання ареометра

При цьому частина ареометра (1) виступає над розчином, а лінія поверхні розчину розміщена у межах шкали (2). Спостерігач повинен зафіксувати значення на шкалі, яке міститься на межі розділу фаз повітря та розчину (3). За потреби можна записати покази термометра (4), який покаже реальну температуру розчину. Потрібно слідкувати, щоб під час вимірювань ареометр у жодному разі не торкався стінок посудини (5), інакше результати будуть неточни-

ми.

Переваги та недоліки розглянутих методів ареометрії:

Метод	Переваги	Недоліки
<i>Пікнометр</i>	Більша точність Універсальність	Необхідність терезів Більший час вимірювань
<i>Ареометр</i>	Швидкість Компактність	Менша точність Менша універсальність

За допомогою одного пікнометра можна визначати густину будь-якої рідини, якою наповнюють цей пікнометр. Ареометр, на відміну від пікнометра, має шкалу, розраховану лише на певний інтервал густин, тому для визначення густин різних рідин потрібно мати різні ареометри, або набір ареометрів із перекриттям діапазонів. За допомогою пікнометра можна визначити густину дуже точно, точність обмежується лише точністю терезів (і термостата). Ареометр дає меншу точність, але дає змогу отримати результат зразу ж і без додаткового обладнання.

2.9. Атомно-абсорбційний аналіз

Атомно-абсорбційний аналіз ґрунтується на здатності атомів і йонів у плазмі вибірково поглинати світло певних частин спектра. Це метод кількісного аналізу елементного складу речовини за атомними спектрами поглинання (абсорбції – поглинанні об'ємом).

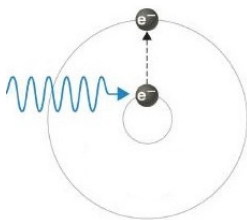


Рис. 2.31. Поглинання фотона електроном

Поглинання електромагнітних хвиль (світла) атомами чи йонами хімічного елемента відбувається під час переходу електронів із нижчих енергетичних рівнів на вищі (рис. 2.31). При такому переході поглинається фотон певної енергії (певної довжини хвилі).

Кожен хімічний елемент має свій спектр поглинання (рис. 2.32), що надає високу селективність атомно-абсорбційному аналізу.

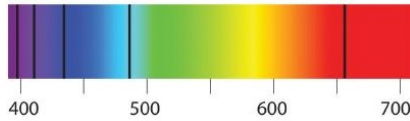


Рис. 2.32. Спектр поглинання водню

Для проведення даного аналізу використовуються спеціальні складні прилади, які називаються атомно-абсорбційними спектрофотометрами.

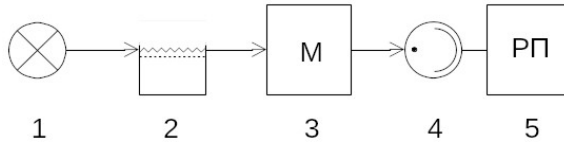


Рис. 2.33. Блок-схема атомно-абсорбційного спектрофотометра: 1 – джерело світла; 2 – атомізатор; 3 – монохроматор; 4 – детектор; 5 – реєструвальний пристрій

Спрощена блок-схема атомно-абсорбційного спектрофотометра наведена на рис. 2.33. Як джерело світла (1) у приладі найчастіше використовують лампи з порожнистим катодом (рис. 2.34).



Рис. 2.34. Лампа з порожнистим катодом

Така лампа складається зі скляного резервуару, заповненого інертними газами, в якому розміщені два електроди: катод і анод. Катод переважно виготовлений із того хімічного елемента, для аналізу вмісту якого призначена саме ця лампа. При цьому катод має форму стаканчика з дном, тобто порожнисту. Резервуар лампи закінчується скляним вікном, до якого повернений катод. Під час роботи лампи на електроди подають високу напругу й між ними виникає тліючий розряд, котрий спричинює випромінювання катода. Оскільки катод виготовлений із певного конкретного елемента, то його спектр випромінювання буде відповідним до спектра поглинання цього елемента, що дає можливість його селективного аналізу.

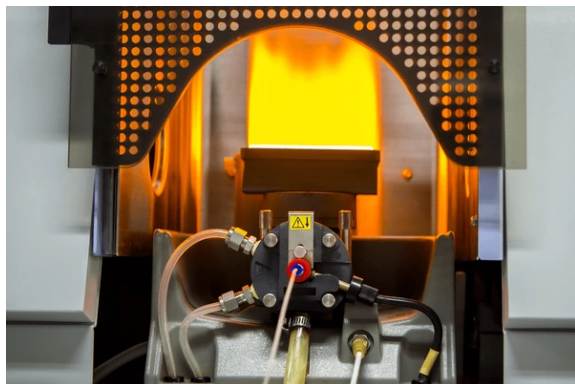


Рис. 2.35. Полум'яний атомізатор у роботі

У спектрі поглинання кожного елемента є певні довжини хвиль (лінії), на яких поглинання найбільше і при цьому вони розташовані окремо від інших ліній. Такі лінії були вибрані, занесені у довідники та названі *характеристичними*. Атомно-абсорбційні спектрофотометри комплектуються набором ламп, що забезпечує можливість аналізу певної кількості хімічних елементів. Для кожної лампи на її корпусі зазначено межі робочого струму, назву хімічного елемента та довжину характеристичної хвилі для нього.

Атомізатор (2) – пристрій, який перетворює аналізований зразок на плазму, використовуючи високу температуру. Атомізатори бувають різних типів, а саме: графітовий, дуговий, лазерний, полум'яний. Графітовий атомізатор працює на принципі нагрівання до високих температур кювети (трубочки), виготовленої з графіту, електричним струмом в інертній атмосфері. Дуговий використовує для нагрівання електричну дугу, лазерний – розігрівання лазерним променем, а полум'яний – високотемпературне полум'я. Часто використовується полум'яний атомізатор, висока температура в якому досягається горінням ацетиленово-повітряної суміші (рис. 2.35). Для аналізу деяких хімічних елементів замість повітря використовується закис азоту (N_2O), що дає вищу температуру.

Полум'яний атомізатор – це пальник, виготовлений із титану, з широкою щілиною для полум'я, котра визначає достатню довжину плазми для відповідного поглинання світла. Атомізатор такого типу має у складі розпилювач для рівномірного розпилення рідкої проби в об'ємі полум'я, а також капіляр для її введення. Світло

від лампи з порожнистим катодом проходить по всій довжині полум'я атомізатора. У цьому разі довжина плазми аналогічна товщині кювети у фотоколориметрії (див. підрозділ 2.1), або довжині поляриметричної трубки у поляриметричному методі аналізу (див. підрозділ 2.3).

Принцип роботи монохроматора (3) базується на явищі дифракції світла, яке забезпечується дифракційною ґраткою (рис. 2.5 підрозділу 2.1). Конструкційно монохроматор атомно-абсорбційного спектрофотометра схожий на монохроматори фотоколориметрів і спектрофотометрів, які використовують дифракційну ґратку. Відмінністю є автоматизоване регулювання ширини вихідної щілини.



Рис. 2.36. Фотоелектронний помножувач

Детектор – пристрій, який, у даному випадку, перетворює інтенсивність світлового потоку на електричний сигнал. Детектори світла можуть бути як напівпровідниковими, так і вакуумними. Розглянемо вакуумний пристрій, який називається фотоелектронним помножувачем та використовує явище фотоелектронної емісії (рис. 2.36). Такий пристрій складається з *фотокатода*, кількох спеціальних електродів (динодів) та анода. Вся конструкція розміщена в скляному балоні у вакуумі та екранована від світла та електромагнітних перешкод. Коли світло падає через вікно помножувача на фотокатод – воно вибиває один або серію електронів з його поверхні, які потрапляють на перший динод, де відбувається вторинна електронна емісія та вибивається більша кількість електронів. Далі вони потрапляють на другий динод і так далі, допоки не досягнуть анода. При цьому кількість електронів на аноді буде значно вищою, ніж вийшло з фотокатода, тобто відбувається помноження фотоструму. Це явище дає змогу фіксувати дуже слабкі світлові сигнали, що підвищує чутливість приладу.

Реєструвальний пристрій – електронна схема, яка перетворює сигнал детектора в оптичну густину, коефіцієнт пропускання чи концентрацію досліджуваного елемента. Такі пристрої можуть бути аналоговими (стрілочні гальванометри, самописці) чи цифровими (аналого-цифрові перетворювачі з індикаторами). Деякі пристрої мають інтерфейси для підключення до комп'ютера.

Короткий цикл вимірювання виглядає так.

1. Досліджуваний зразок мінералізують кип'ятінням у розчинах

- окисників, наприклад, в азотній кислоті з додаванням пероксиду водню. При цьому органічні речовини розпадаються, а хімічні елементи переходять у неорганічну форму в розчині.
2. Готують один або кілька стандартних розчинів певної масової концентрації досліджуваного хімічного елемента, які знаходяться в межах чутливості приладу та більші за концентрацію в досліджуваному зразку.
 3. Вмикають прилад, компресор, подачу ацетилену та, за потреби, закису азоту.
 4. У спектрофотометр встановлюють лампу з порожнистим катодом, яка відповідає досліджуваному хімічному елементу в зразку. Лампу вмикають і прогрівають протягом певного часу.
 5. Монохроматор встановлюють на певну (характеристичну) довжину хвилі, ширину щілини – на потрібне значення.
 6. Підпалюють та прогрівають атомізатор.
 7. За допомогою капіляра вносять в атомізатор дистильовану воду та занулюють реєструвальний пристрій.
 8. Калібрують реєструючий пристрій після занурення капіляра у стандартний розчин та проходження його у розпилювач атомізатора.
 9. Промивають капіляр дистильованою водою, перевіряючи нульову точку.
 10. Занурюють капіляр у досліджуваний розчин, зчитують значення концентрації з реєструючого пристрою.

Переваги методу атомно-абсорбційного аналізу:

- дуже висока чутливість;
- висока селективність;
- невеликі об'єми розчинів для досліджень.

Недоліки цього методу:

- складна підготовка зразків;
- неможливість аналізу складних речовин, а лише їх елементного складу.

Існує метод атомно-емісійного аналізу, який за принципом схожий, але, на відміну від атомно-абсорбційного, досліджує атомні спектри випромінювання. Деякі атомно-абсорбційні спектрофотометри дають змогу проводити також і атомно-емісійний аналіз.

Частина II

Лабораторний практикум

Важко уявити студента-еколога без практичних навичок роботи в лабораторії, які необхідні для проведення екологічних досліджень, виконання студентами курсових і бакалаврських робіт, а також для подальшої роботи спеціалістів-екологів у науково-дослідних установах. Тому завдання лабораторного практикуму – навчити студента працювати в лабораторії, засвоїти техніку безпеки, призначення і правила роботи з лабораторним посудом та обладнанням, освоїти методи аналізу, фізичні та хімічні явища, які лежать в їх основі, види концентрацій розчинів та роботу з вимірювальними приладами.

Третій розділ містить серію лабораторних робіт, спрямованих на вивчення та закріплення знань і навичок роботи з приладами, засвоєння основних видів концентрацій розчинів та експериментальне їх визначення. Роботи передбачають практичне засвоєння концентрацій і методів аналізу розчинів, при цьому використовуються модельні речовини, які, з одного боку, підібрані під конкретний метод, а з іншого боку – дозволяють легко обчислити кількості речовин та приготувати розчини потрібних концентрацій. Концентрації розчинів у кожній роботі підібрані так, щоб відповідати робочим межам приладів і, водночас, не викликати труднощів під час розрахунків та приготування. Об'єми розчинів мінімізовані для економії реактивів без втрати точності. Після проходження лабораторних робіт цього розділу студент повинен знати:

- техніку безпеки та основні правила під час роботи в лабораторії;
- назви, призначення та правила користування лабораторним посудом;
- назви, призначення та правила користування лабораторним обладнанням;
- способи вираження концентрацій розчинів, вмійте розраховувати та готувати розчини різних концентрацій;
- призначення та принципи роботи приладів, які використовуються в лабораторному аналізі; за їх допомогою вмійте визначати потрібні параметри розчинів.

У кожній лабораторній роботі розглядається одна концентрація та один метод. Лабораторна робота розрахована на дві пари (4 години) з урахуванням проведення викладачем повторення теоретичного матеріалу (розрахунок і зміст концентрації, принцип роботи приладу, демонстрація його роботи з поясненням) та покроковий аналіз ходу роботи. У більшості наведених лабораторних ро-

біт застосовується метод калібрувального графіка з використанням міліметрового паперу або, за бажанням, комп'ютерних програм.

Четвертий розділ містить серію лабораторних робіт, які застосовують здобуті у попередніх розділах знання та навички для екологічного аналізу об'єктів дослідження. Наведені роботи дають змогу студентам дослідити ґрунт чи продукти рослинного і тваринного походження (типи ґрунтів, види молока, сорти шоколаду тощо). Вимірюються конкретні показники обраних об'єктів дослідження, наприклад, уміст цукрів, жирів або засоленість. Практикум має на меті:

- систематизувати та закріпити знання і навички, здобуті за вивченням попередніх розділів;
- здійснити екологічний аналіз самостійно обраних об'єктів і порівняти їх;
- відчувати себе дослідниками, які вміють провести власний екологічний аналіз обраних об'єктів навколишнього середовища.

Після виконання лабораторних робіт цього розділу студент повинен вміти: самостійно приймати рішення щодо вибору методик дослідження різних об'єктів; самостійно розрахувати та готувати необхідні реактиви та розчини; працювати з приладами та використовувати результати для подальших обчислень і висновків. Тільки тоді студент вважається готовим до роботи в екологічних лабораторіях і виконання експериментальної частини курсової та бакалаврської робіт.

Розділ 3

Концентрації та методи в екологічній лабораторії

3.1. Техніка безпеки

Перед початком лабораторних занять студенти проходять інструктаж з техніки безпеки із засвідченням ознайомлення з ним у спеціальному журналі. Також проведення кожної лабораторної роботи передбачає одержання спеціальної інформації щодо її безпечного виконання. Після проходження інструктажу з техніки безпеки у лабораторії студенти несуть дисциплінарну відповідальність у разі недотримання відповідних вимог. Працювати в лабораторії потрібно на постійному робочому місці в халатах та з підібраним волоссям. Під час виконання лабораторних робіт необхідно дотримуватися таких *правил роботи*.

1. Обережно поводитися з хімічними реактивами:
 - уникати потрапляння хімічних речовин на руки, не торкатися руками обличчя та очей, після роботи руки ретельно мити;
 - не куштувати хімічні реактиви на смак;
 - визначати запах хімічних речовин потрібно, спрямовуючи до себе пари чи газу рухом руки;
 - не користуватися непідписаними реактивами.
2. Хімічні реактиви для досліджень необхідно відбирати у кількостях, зазначених у методиці, сухі реактиви – брати шпате-

лем, рідини – піпеткою, для кожного реактиву потрібно мати окрему піпетку або шпатель. Отруйні та їдкі рідини необхідно набирати у піпетки за допомогою гумової груші чи дозатора, подрібнювати сухі луѓи – лише у захисних окулярах, брати твердий луѓ – тільки пінцетом або щипцями.

3. Надлишок рідкого або сипучого реактиву не можна виливати чи висипати назад у посуд, з якого вони взяті, їх необхідно поміщувати у ємність для зливу.
4. При роботі з розчинами кислот, луѓів та інших їдких рідин:
 - готуючи розчини сильних кислот, потрібно додавати концентровану кислоту у воду, а не навпаки, оскільки внаслідок сильного розігрівання можливе розбризкування кислоти. Крім того, необхідно користуватися термостійким, або хоча б тонкостінним скляним посудом для рівномірного прогрівання товщини скла;
 - у разі потрапляння кислоти на шкіру або слизові оболонки необхідно спочатку промити уражене місце великою кількістю проточної води, а потім – розчином соди (гідрокарбонату натрію);
 - у разі попадання луѓу на шкіру або слизові оболонки, уражене місце спочатку промивають великою кількістю проточної води, допоки шкіра не втратить слизькість, а потім – розчином борної кислоти.
5. Не проводити досліджень у брудному лабораторному посуді через ризик виникнення непередбачуваних реакцій і спотворень результатів.
6. При нагріванні хімічних реактивів, лабораторний посуд необхідно тримати отвором від себе та людей поруч; не нахилитися над посудом із киплячими рідинами, оскільки бризки можуть потрапити в очі.
7. Забороняється нагрівати або охолоджувати розчини у герметично закритих ємностях, а також закривати колби з гарячою рідиною.
8. Перенесення посуду великих об'ємів з гарячою рідиною здійснювати, використовуючи рушник, тримаючи посудину обома руками: однією – за дно, іншою – за горловину. Великі хімічні стакани з рідиною потрібно піднімати лише двома руками так, щоб відігнуті краї склянки опиралися на вказівні та великі пальці.
9. Роботу з леткими речовинами (етером, бенzenом, ацетоном та

ін.), концентрованими лугами та кислотами проводити лише під витяжною шафою, не зливати їх у каналізацію без попереднього розведення.

10. Роботу з легкозаймистими рідинами проводити також під витяжною шафою та чимдалі від нагрівальних приладів, у випадку їх загоряння – не гасити водою, а скористатися піском.
11. Негайно прибирати все пролите, розбите і просипане на робочих столах або на підлозі в лабораторії:
 - якщо кислота проллється на стіл або на підлогу, її треба нейтралізувати лугом або содою;
 - ртуть, пролиту внаслідок поломки приладів або термометрів, збирають за допомогою очищених пластинок із міді або білої бляхи.
12. При експлуатації електроприладів необхідно переконатися в їх справності, правильності підключення до електромережі та заземлення, не переносити увімкнені електроприлади та не залишати їх без нагляду. У разі перебоїв у подачі електроенергії всі прилади мають бути негайно вимкнені.
13. Після завершення роботи в лабораторії всі електроприлади, якими користувалися, витягну шафу, воду необхідно вимкнути, прибрати свої робочі місця та здати їх лаборанту.
14. У разі порушень цих правил необхідно передусім повідомляти викладача, чергового лаборанта або завідувача лабораторії.

З метою пожежної безпеки лабораторія оснащена вогнегасниками, ящиками з піском, ковдрами. Необхідно знати, де знаходяться протипожежні засоби і порядок термінової евакуації з лабораторії під час пожежі.

Лабораторія забезпечена аптечкою і кожен студент повинен вміти надати першу долікарську допомогу потерпілому, основні етапи якої, в залежності від виду нещасного випадку, наведені в таблиці.

Подія	Перша допомога
ОПКИ	
I-й ступінь (почервоніння)	Накласти вату, змочену етиловим спиртом. Повторити змочування.
II-й ступінь (пухирі)	Те ж саме. Обробляти 5 %-м розчином $KMnO_4$ або 5 %-м розчином таніну.
III-й ступінь (руйнування тканин)	Покрити рану стерильною пов'язкою і викликати лікаря.

Опіки кислотами, хлором або бромом	Промити опік великою кількістю води, потім 5 %-м розчином $NaHCO_3$.
Опіки лугами	Промити проточною водою.
Опіки очей	При опіку кислотами промити 3 %-м розчином Na_2CO_3 , лугами – 2 %-м розчином оцтової кислоти.
ОТРУЄННЯ	
Їдкими речовинами	У випадку кислоти – випити суспензію з MgO , лугу – розчин лимонної кислоти або дуже розбавленої оцтової кислоти.
Твердими або рідкими речовинами	Викликати блювоту, випивши 1 %-й розчин $CuSO_4$.
Газами	Негайно вивести на свіже повітря.
ІНШЕ	
Порізи шкіри	Рану продезінфікувати розчином $KMnO_4$ або спиртом, обробити з країв йодом і ізолювати бинтом або пластиром. У разі надмірної кровотечі накласти джгут.
Потрапляння стороннього тіла в очі	Стороннє тіло видаляють струменем розчину борної кислоти або чистої води, спрямовуючи його від скроні до носа та звернутися до лікаря.

3.2. Лабораторний посуд та обладнання

Розглянемо лабораторний посуд, його види, призначення; лабораторне обладнання та правила роботи в лабораторії.

Посуд загального призначення. Розрізняється за типом, об'ємом, формою, призначенням.

1. *Пробірки.* Призначені для роботи з невеликою кількістю речовини, для проведення аналізів і якісних реакцій у лабораторіях екологічного контролю. Бувають різних розмірів, виготовляються із звичайного та термостійкого скла.



2. *Лійки.* Призначені для переливання та фільтрування рідин. Розрізняються за розмірами та можуть бути виготовлені з різних матеріалів.



3. *Стакани.* Виготовляють із звичайного або термостійкого скла, призначені для приготування та нагрівання розчинів, проведення реакцій.



4. *Чашка Петрі.* Призначена для біологічних досліджень, роботи у ламінарних установках; виготовляються зі скла та пластику.



5. *Крапельниця Шустера.* Призначена для додавання реактивів по краплинах, наприклад, індикаторів при титруванні.



6. *Випарювальна чашка.* Тонкостінна термостійка фарфорова посудина. Призначена для випарювання розчинів під час проведення аналізів.



7. *Фарфорова ступка.* Товстостінна фарфорова посудина, не призначена для нагрівання. Використовується для подрібнення та гомогенізації речовин та об'єктів дослідження.



8. *Фарфоровий тигель.* Тонкостінна фарфорова посудина, призначена для сухого озолення досліджуваних об'єктів при високих температурах у муфельній печі.



9. *Колба К'ельдаля.* Товстостінна круглодонна колба з довгою горловиною, яка застосовується для мокрого озолення, та виготовлена з термостійкого скла.



10. *Колби: плоскодонна, конічна, круглодонна.* Виготовляються із звичайного або термостійкого скла. Застосовуються для приготування, зберігання розчинів і проведення реакцій.



11. *Ексикатор.* Товстостінна скляна посудина з притертою кришкою, яка може герметично закриватися. У нижній її частині розміщений фарфоровий диск з отворами для тиглів та ємність для сорбентів. Призначений для повільного охолодження, висушування та зберігання гігроскопічних речовин.



12. *Кристалізатор.* Товстостінна скляна посудина, призначений для охолодження імічного посуду та речовин.



13. *Дільна лійка.* Призначена для розділення кількох рідин, які не змішуються. Використовується при екстракції.



Мірний посуд. Розрізняється за ємністю, діаметром і формою. Точний мірний посуд не можна нагрівати.

1. *Мірні пробірки.* Призначені для **приблизного** відбору невеликих об'ємів розчинів.



2. *Мірні колби з мітками.* Призначені для **точного** відбору фіксованого (для кожного типу колб) об'єму рідини. Використовуються як для приготування розчинів точних концентрацій, так і в багатьох методиках аналізу.



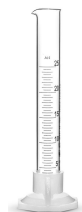
3. *Конічні колби з поділками.* Призначені для **приблизного** відбору певного об'єму рідини, виготовляються з термостійкого або звичайного скла.



4. *Мірні стакани.* Призначені для **приблизного** відбору певного об'єму рідини, виготовляються з термостійкого або звичайного скла.



5. *Мірні циліндри.* Використовуються для **точнішого**, ніж конічні колби та мірні стакани, відбору потрібних об'ємів рідин. Не призначені для нагрівання.



6. *Бюретки.* Циліндрична скляна градуйована трубка малого діаметра з краном для **точного** вимірювання невеликих об'ємів рідин. Використовуються для титрування.



7. *Піпетки градуйовані.* Призначені для відбору **точних** різних об'ємів розчинів.



8. *Піпетки Мора.* Призначені для відбору **точно-**го фіксованого об'єму розчину, на який розрахована піпетка.



9. *Автоматичні піпетки-дозатори.* Призначені для відбору **точного** регульованого об'єму розчину.



Лабораторне обладнання.

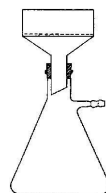
1. *Лабораторний штатив.* Металічна конструкція, призначена для утримання лабораторного посуду та іншого обладнання, наприклад, бюреток. Комплектується зажимами різного типу, лапками, тримачами, кільцями тощо.



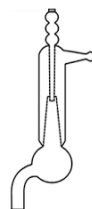
2. *Пальник Бунзена.* Газовий нагрівальний прилад, призначений для місцевого нагрівання.



3. *Колба Бунзена з лійкою Бюхнера.* Товстостінна скляна колба з боковим відводом; фарфорова лійка циліндричної форми та плоским дном з отворами. З'єднуються між собою герметично за допомогою гумового корка. Призначені для вакуумного фільтрування.



4. *Водострумний насос.* Скляний прилад, який під'єднується до водопровідної мережі. Призначений для створення вакууму, наприклад, для проведення вакуумного фільтрування.



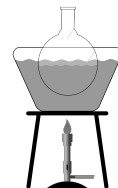
5. *Електронні терези.* Призначені для зважування реактивів та об'єктів аналізу.



6. *Піщана баня.* Металічна посудина з піском, призначена для рівномірного нагрівання термостійкого посуду до високих температур.



7. *Водяна баня.* Металічна посудина з водою, призначена для рівномірного нагрівання термостійкого посуду до температур, які не перевищують 100 °С.



8. *Електрична водяна баня.* Металічний резервуар із водою, нагрівником і термостатом. Призначена для рівномірного нагрівання термостійкого посуду та витримування при заданій температурі, яка не перевищує 100 °С.



9. *Штатив для пробірок.* Призначений для зберігання та використання пробірок, дає змогу утримувати пробірки вертикально.



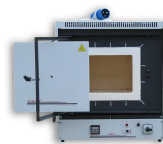
10. *Повітряний термостат.* Дає змогу нагрівати та утримувати об'єкти досліджень при невеликій (до 40 °С) заданій температурі протягом тривалого часу. Призначений для екологічних, мікробіологічних і фізико-хімічних досліджень.



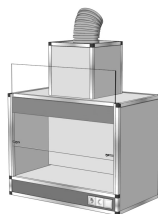
11. *Сушильна шафа.* Дає змогу нагрівати, висушувати та утримувати об'єкти досліджень за температури (до 200 °С) протягом тривалого часу. Призначена для висушування хімічного посуду та об'єктів досліджень.



12. *Муфельна піч.* Дає змогу нагрівати та утримувати об'єкти досліджень за високих температур (до 2000 °С) протягом тривалого часу. Призначена для сухого озолення об'єктів аналізу та інших досліджень, які потребують високих температур.



13. *Витяжна шафа.* Металічна шафа, передня стінка якої закрита склом. Підключена до витяжної системи. Призначена для проведення дослідів, під час яких виділяються токсичні гази, випари тощо.



14. *Електричний дистильатор.* Прилад, призначений для отримання дистильованої води. Підключений до водяної мережі. Принцип роботи полягає у випаровуванні води з наступною конденсацією водяної пари знову на рідину.



Правила роботи з посудом та обладнанням

1. Нагрівати можна лише термостійкий посуд. Термостійкий посуд має позначку на склі у вигляді матового квадратики чи кружечка, деколи – нанесеного спеціальною фарбою.
2. Посуд перед роботою повинен бути чистим, візуально без слідів бруду. Посуд вважається хімічно чистим, якщо дистильована вода не утворює на поверхні скла краплі, а розподіляє-

ться рівномірним тонким шаром.

3. Посуд потрібно мити у достатній кількості водопровідної води, за необхідності – з використанням йоршиків та миючих засобів. Після миття його необхідно промивати невеликою кількістю дистильованої води.
4. У випадку, якщо посуд не можна відмити звичайними методами – використовується концентрована хромова суміш. Посуд обережно промивають невеликою кількістю хромової суміші, зливаючи її знову у посудину. Після цього посуд промивають водопровідною та дистильованою водою.
5. Якщо забруднення не відмивається холодною хромовою сумішшю, то її нагрівають і промивають нею посуд, як зазначено вище. Деколи потрібно залишати посуд у хромовій суміші на певний час.
6. При користуванні мірним посудом необхідно розташовувати мітку на рівні очей. Якщо мітка кругова, то спостерігач повинен бачити передній і задній край мітки на одній лінії.
7. При доведенні об'єму розчину до мітки потрібно орієнтуватися на нижній край меніска, який утворюється розчином: саме нижній край меніска повинен міститись на лінії мітки.
8. Якщо розчин забарвлений настільки сильно, що не можна побачити нижній край меніска, тоді необхідно орієнтуватися на верхній його край.
9. Для додавання невеликої кількості дистильованої води, особливо під час доведення об'єму розчину до мітки у мірній колбі, зручно користуватися спеціальним приладом (ємність із дистилятом, оснащена трубкою зі скляним носиком). У трубці знаходиться скляна кулька, при натисканні на яку дистильована вода починає вилитись зі скляного носика. Останній потрібно притуляти до внутрішньої стінки мірного посуду для запобігання утворенню бульбашок чи піни, які спотворюють меніск.
10. Під час експлуатації бюреток потрібно слідкувати, щоб скляний кран був змащений спеціальним мастилом, перевіряти наявність фіксувчої гумки і чистоту скляного носика. У випадку несправності необхідно звертатися до лаборанта.
11. Змішування концентрованої сульфатної кислоти з водою викликає сильне нагрівання, яке може призвести до закипання і розбризкування кислоти. Тому **кислоту**, яка має більшу густину і тому опуститься на дно, **наливають у воду** не-

великими порціями у термостійкому посуді при постійному охолодженні.

12. Розчинення гідроксидів натрію і калію у воді також призводить до сильного нагрівання, тому воду необхідно додавати великими порціями до порошку чи гранул лугу, щоб запобігти закипанню.

3.3. Лабораторна робота № 1.1

Тема: Молярна концентрація. Приготування та фотометричне визначення водних розчинів біхромату калію.

Мета: повторити поняття молярної концентрації, навчитися готувати розчини різної концентрації; засвоїти метод калібрального графіка та закріпити навички роботи з фотоелектроколориметром.

Обладнання та реактиви:

терези, біхромат калію, мірні колби ємністю 100 мл, дистильована вода, стакани, піпетки, фотоелектроколориметр або спектрофотометр, кювети з товщиною поглинального шару $l = 10$ мм (або інші, відповідно до чутливості приладу), міліметровий папір.

Теоретичні відомості

Моль – одиниця кількості речовини в міжнародній системі одиниць SI (системі одиниць фізичних величин, сучасному варіанті метричної системи).

Моль будь-якої речовини містить число Авогадро ($6,02 \cdot 10^{23}$) структурних формульних одиниць (молекул, атомів, йонів тощо).

Молярна концентрація, або молярність – міра концентрації розчину, яка визначається як кількість моль речовини, розчиненої в літрі розчину та має одиниці моль \cdot дм⁻³, або моль/дм³, або моль/л. Молярність знаходять за формулою:

$$C_M = \frac{\nu_{\text{р.р.}}}{V_{\text{р-ну}}},$$

де $\nu_{\text{р.р.}}$ – кількість моль розчиненої речовини;

$V_{\text{р-ну}}$ – об'єм розчину.

Часто молярність розчину позначають великою буквою M , наприклад: 0,1 M .

Детальніша інформація в підрозділах 1.1 та 2.1.

Біхромат калію (дихромат калію, двохромовоокислий калій, калієвий хромпик, $K_2Cr_2O_7$) – добре розчинні у воді (4,9 г/100 мл) помаранчеві кристали. Водний розчин має кислу реакцію.

Оскільки розчин біхромату калію має забарвлення, а отже, поглинає світло, то за інтенсивністю цього забарвлення можна визначити концентрацію розчину. Для точніших вимірювань варто використовувати фотометри, колориметри або спектрофотометри. Концентрацію таких речовин найлегше визначити за допомогою методу калібрувального графіка, побудувавши залежність оптичної густини ряду стандартних розчинів від їх концентрації. Ця залежність матиме пряmolінійний характер, що зручно для подальшого визначення.

Біхромат калію – сильний окиснювач, високотоксичний і канцерогенний, бризки розчину якого руйнують шкірні покриви, дихальні шляхи та хрящові тканини, тому необхідно бути обережним під час роботи з ним.

Хід роботи

1. Оскільки біхромат калію – кристалічний порошок, то найзручніший метод відбору точної його кількості ваговий. Знайдемо масу біхромату, необхідну для приготування 1 літра 1 М розчину.
2. Розраховуємо масу біхромату, необхідну для приготування 100 мл 0,1 М розчину. При цьому враховуємо як зменшення концентрації, так і зменшення об'єму.
3. Аналогічно розраховуємо маси біхромату, необхідні для приготування ряду стандартних розчинів для побудови калібрувального графіка з концентраціями 0,01; 0,02; 0,03; 0,04; 0,05; 0,06; 0,07; 0,08; 0,09 моль/л об'ємом 100 мл для кожної.
4. Готуємо ряд стандартних розчинів з концентраціями 0,01; 0,02; 0,03; 0,04; 0,05; 0,06; 0,07; 0,08; 0,09 та 0,1 моль/л об'ємом по 100 мл.
5. За допомогою фотоелектроколориметра вимірюємо оптичні густини стандартних розчинів у кюветах з товщиною поглинального шару $l = 10$ мм при довжині хвилі $\lambda = 530$ нм (зелене світло). При використанні спектрофотометра слід підібрати кювети відповідно до його вищої чутливості. Отримані дані заносимо в таблицю:

C_M , моль/л	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10
$m_{p.p.}$, г										
D										

6. Будуємо калібрувальний графік залежності оптичної густини від молярної концентрації.
7. Отримавши розчин невідомої концентрації, вимірюємо його оптичну густину за тих же умов.
8. Знаходимо концентрацію отриманого розчину за калібрувальним графіком.
9. Формулюємо та записуємо висновки.



Контрольні запитання та завдання

1. Дайте визначення молярної концентрації. У яких одиницях вона виражається?
2. Як приготувати розчин певної молярної концентрації?
3. Поясніть принцип дії фотоколориметра. Для дослідження яких розчинів використовують метод колориметрії?
4. Скільки моль карбонату натрію потрібно для приготування 200 мл розчину з концентрацією 0,5 моль/л?
5. Знайдіть молярну концентрацію розчину гідроксиду натрію, якщо після розчинення 10 г гідроксиду об'єм розчину становить 2 л.
6. Яка маса хлориду натрію потрібна для приготування 100 мл розчину з концентрацією 0,1 моль/л?

3.4. Лабораторна робота № 1.2

Тема: Масова частка. Приготування та кондуктометричне визначення водних розчинів хлориду натрію.

Мета: повторити поняття масової частки, навчитися готувати розчини різної концентрації; закріпити метод калібрувального графіка та освоїти роботу з кондуктометром.

Обладнання та реактиви:

терези, хлорид натрію, стакани ємністю 200 мл, дистильована вода, піпетки, кондуктометр, міліметровий папір.

Теоретичні відомості

Масова частка ($\omega\%$) – міра концентрації розчину, яка визначається відношенням маси розчиненої речовини до маси розчину.

Найчастіше масову частку виражають у відсотках і знаходять за формулою:

$$\omega\% = \frac{m_{\text{р.р.}}}{m_{\text{р-ну}}} \cdot 100 \%,$$

де $m_{\text{р.р.}}$ – маса розчиненої речовини;

$m_{\text{р-ну}}$ – маса розчину.

Детальніша інформація у підрозділі 1.2.

Хлорид натрію (NaCl) – тверді прозорі кристали з йонною кристалічною ґраткою, солоні на смак та добре розчинні у воді (21,5 г/л). У побуті використовується як харчова сіль. Оскільки хлорид натрію сильний електроліт (*NaCl* у водному розчині дисоціює на йони **повністю**), то його розчин має добру електропровідність, яка залежить від концентрації. Користуючись цією властивістю та методом калібрувального графіка, можна визначити концентрацію розчину хлориду натрію, вимірюючи його електропровідність (кондуктометрично).

Електропровідність (σ) – здатність речовин проводити електричний струм. Електропровідність вимірюється в сименсах (См, S). $1 \text{ См} = 1/\text{Ом} = \text{Ом}^{-1}$.

Детальніша інформація у підрозділі 2.2.

Хід роботи

1. Оскільки хлорид натрію – кристалічний порошок, найзручніший метод відбору точної його кількості – ваговий. Знайдемо масу хлориду натрію, необхідну для приготування 10 %-го розчину масою 100 г. Для цього скористаємося формулою:

$$\omega\% = \frac{m_{\text{р.р.}}}{m_{\text{р-ну}}} \cdot 100 \% \Rightarrow m_{\text{р.р.}} = \frac{\omega\% \cdot m_{\text{р-ну}}}{100 \%}.$$

Оскільки $m_{\text{р-ну}} = 100 \text{ г}$, а $\omega\% = 10 \%$, то $m_{\text{р.р.}} = \frac{10\% \cdot 100\text{г}}{100\%}$.

Масу води знаходимо за різницею: $m_{\text{H}_2\text{O}} = m_{\text{р-ну}} - m_{\text{р.р.}}$.

Оскільки вода за звичайних умов має густину 1 г/мл, то потрібну масу води найлегше відміряти за допомогою мірного циліндра або піпетки.

2. Аналогічно розраховуємо маси *NaCl*, необхідні для приготування ряду стандартних розчинів для побудови калібрувального графіка з концентраціями 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8 та 9 % масою 100 г кожен.
3. Готуємо ряд стандартних розчинів з концентраціями 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9 та 10 % масою 100 г кожен.
4. Використовуючи кондуктометр, вимірюємо провідності стандартних розчинів. Отримані дані заносимо в таблицю.

$\omega, \%$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$m_{NaCl}, \text{Г}$										
$m_{H_2O}, \text{Г}$										
σ, mS										

- Будуємо калібрувальний графік залежності електропровідності від масової частки.
- Отримавши розчин невідомої концентрації, вимірюємо його електропровідність.
- Знаходимо концентрацію отриманого розчину за калібрувальним графіком.
- Формулюємо та записуємо висновки.



Контрольні запитання та завдання

- Як розрахувати масову частку? В яких одиницях вона виражається?
- Опишіть принцип роботи кондуктометра. Який вид електричного струму використовується в кондуктометричній комірці та чому? Для дослідження яких розчинів використовується метод кондуктометрії?
- Знайдіть масу води, необхідну для приготування 500 г розчину нітрату калію з масовою часткою 5 %.
- Яка буде масова частка соди в розчині, якщо розчинити 8 г соди у 192 г води?
- Знайдіть масу біхромату калію, якщо розчин із масовою часткою біхромату 3 % важить 500 г.

3.5. Лабораторна робота № 1.3

Тема: Масова концентрація. Приготування та поляриметричне визначення водних розчинів глюкози.

Мета: повторити поняття масової концентрації, навчитися готувати розчини різної концентрації; закріпити метод калібрувального графіка та освоїти роботу з поляриметром.

Обладнання та реактиви:

терези, глюкоза, мірні колби ємністю 100 мл, дистильована вода, стакани, піпетки, поляриметр, міліметровий папір.

Теоретичні відомості

Масова концентрація (C) — міра концентрації розчину, яка визначається відношенням маси розчиненої речовини до об'єму розчину. Найчастіше масову концентрацію виражають у кількості міліграмів речовини в 1 літрі розчину (мг/л).

Детальніша інформація у підрозділі 1.3.

Лінійно поляризоване світло (електромагнітна хвиля) — світло, в якому вектори напруженості електричного поля кожної хвилі лежать у паралельних площинах. У лінійно поляризованому світлі площина, в якій коливається цей вектор називається *площиною поляризації*.

Оптично активні речовини — речовини, здатні повертати площину поляризації світла.

Поляриметр — прилад, призначений для вимірювання кута обертання площини поляризації, яке викликане оптичною активністю розчинів певних речовин.

Детальніша інформація у підрозділі 2.3.

Глюкоза — оптично активна речовина, тобто її розчини здатні обертати площину поляризації світла. Кут обертання лінійно залежить від концентрації, тому цю властивість можна використати для простого визначення концентрації глюкози за допомогою поляриметра, застосувавши метод калібрувального графіка.

Хід роботи

1. Глюкоза — дрібний порошок, тому найзручніший метод відбору точної його кількості ваговий. Обчислимо масу глюкози, необхідну для приготування розчину з концентрацією 10 г/л для 100 мл розчину.
2. Аналогічно визначимо маси глюкози, необхідні для приготування ряду стандартних розчинів для побудови калібрувального графіка з концентраціями 20; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90 та 100 г/л об'ємом 100 мл кожен.
3. Готуємо ряд стандартних розчинів з концентраціями 10; 20; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90 та 100 г/л об'ємом 100 мл для кожного.
4. Використовуючи поляриметр, вимірюємо кути обертання площини поляризації стандартних розчинів. Отримані дані заносимо в таблицю:

C , г/л	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
m гл., г										
φ , град.										

- Будуємо калібрувальний графік залежності кута обертання площини поляризації від масової концентрації.
- Отримавши розчин невідомої концентрації, вимірюємо кут обертання площини поляризації світла цим розчином.
- Знаходимо концентрацію отриманого розчину за калібрувальним графіком.
- Формулюємо та записуємо висновки.



Контрольні запитання та завдання

- Дайте визначення масової концентрації розчину. В яких одиницях вона вимірюється?
- Опишіть принцип дії поляриметра. Які речовини називаються оптично активними? Наведіть приклади.
- Наведіть переваги та недоліки поляриметриї.
- Яка маса сегнетової солі потрібна для приготування 200 мл розчину з масовою концентрацією 20 г/л?
- Знайдіть об'єм розчину гідроксиду натрію з концентрацією 50 г/л, якщо його отримали, розчинивши 100 г луку у воді.
- Скільки цукру міститься в 500 мл цукрового розчину з масовою концентрацією 10 г/л?

3.6. Лабораторна робота № 1.4

Тема: Масова частка. Приготування та віскозиметричне визначення водних розчинів сахарози.

Мета: повторити поняття масової частки, навчитися готувати розчини різної концентрації; закріпити метод калібрувального графіка та засвоїти принцип роботи з капілярним віскозиметром.

Обладнання та реактиви:

терези, сахароза, стакани ємністю 200 мл, дистильована вода, піпетки, капілярний віскозиметр, міліметровий папір.

Теоретичні відомості

Масова частка ($\omega\%$) – міра концентрації розчину, яка визначається відношенням маси розчиненої речовини до маси розчину. Найчастіше масову частку виражають у відсотках і знаходять за формулою:

$$\omega\% = \frac{m_{\text{р.р.}}}{m_{\text{р-ну}}} \cdot 100 \%,$$

де $m_{\text{р.р.}}$ – маса розчиненої речовини;

$m_{\text{р-ну}}$ – маса розчину.

Детальніша інформація у підрозділі 1.2.

Сахароза ($C_{12}H_{22}O_{11}$) – прозорі кристали дисахариду, солодкі на смак. Має високу розчинність у воді (211,5 г/100 мл), у побуті використовується як цукор. Розчини сахарози мають досить високу в'язкість, яка залежить від концентрації. Ця властивість дає змогу вимірювати концентрацію розчинів сахарози методом віскозиметрії.

Капілярний віскозиметр – прилад, призначений для вимірювання в'язкості розчинів. Принцип його дії полягає у вимірюванні часу, за який розчин певного об'єму пройде через тонкий капіляр. Зі збільшенням в'язкості час витікання розчину збільшується.

Детальніша інформація у підрозділі 2.4.

Кінематична в'язкість у системі SI вимірюється в $\text{м}^2/\text{с}$, але легше користуватися стоксами (Ст) або сантистоксами ($1 \text{ сСт} = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, або $1 \text{ мм}^2/\text{с}$). Для вимірювання кінематичної в'язкості рідини зручно застосовувати капілярний віскозиметр. При цьому:

$$\nu = C \cdot t,$$

де ν – кінематична в'язкість рідини, виражена в сантистоксах (сСт);

C – калібрувальна стала віскозиметра, $\text{мм}^2/\text{с}^2$;

t – час витікання рідини через капіляр, с.

Хід роботи

1. Знайдемо масу сахарози, необхідну для приготування 20 %-го розчину масою 50 г. Для цього використовуємо формулу:

$$\omega\% = \frac{m_{\text{р.р.}}}{m_{\text{р-ну}}} \cdot 100 \% \Rightarrow m_{\text{р.р.}} = \frac{\omega\% \cdot m_{\text{р-ну}}}{100 \%}.$$

Оскільки $m_{\text{р-ну}} = 50 \text{ г}$, а $\omega\% = 20 \%$, то $m_{\text{р.р.}} = \frac{20 \% \cdot 50 \text{ г}}{100 \%}$.

Масу води знаходимо за різницею: $m_{H_2O} = m_{\text{р-ну}} - m_{\text{р.р.}}$.

Оскільки вода за звичайних умов має густину 1 г/мл, то потрібну масу води найлегше відміряти за допомогою мірного циліндра або піпетки.

- Аналогічно розраховуємо маси сахарози, необхідні для приготування ряду стандартних розчинів для побудови калібрувального графіка з концентраціями 20; 25; 30; 35 та 40 % масою 50 г кожен.
- Готуємо ряд стандартних розчинів з концентраціями 20; 25; 30; 35 та 40 % масою по 50 г.
- Знайдемо сталу віскозиметра C . Для цього заповнюємо віскозиметр дистильованою водою та, використовуючи секундомір, знаходимо час проходження рідини через капіляр віскозиметра. Вимірювання проводимо не менше 3 разів. Знаходимо середнє значення. Сталу C обчислюємо за формулою: $C = 1,0038/t$, де t – середній час проходження рідини через капіляр, 1,0038 сСт – кінематична в'язкість дистильованої води за нормальних умов. Дані заносимо в таблицю:

t_1, c	t_2, c	t_3, c	$t_{\text{сер.}}, c$	$C, \text{мм}^2/\text{с}^2$

- Використовуючи секундомір, вимірюємо час проходження стандартних розчинів через капіляр віскозиметра. Виміри проводять по 3 рази, вираховуючи середнє значення часу для кожної концентрації. Отримані дані заносимо в таблицю:

$\omega, \%$	20	25	30	35	40
$m_{\text{глюкози}}, \text{Г}$					
$m_{\text{води}}, \text{Г}$					
t, c	t_1, c				
	t_2, c				
	t_3, c				
	t_4, c				
$\nu, \text{сСт}$					

- Підраховуємо кінематичну в'язкість розчинів за формулою $\nu = C \cdot t$, де C – стала віскозиметра, визначена в п. 4.
- Будуємо калібрувальний графік залежності кінематичної в'язкості від масової частки.
- Отримавши розчин невідомої концентрації, вимірюємо час його проходження через капіляр віскозиметра.
- Знаходимо концентрацію отриманого розчину за калібрувальним графіком.

10. Формулюємо та записуємо висновки.



Контрольні запитання та завдання

1. Пригадайте поняття масової частки та одиниці вимірювання.
2. Що являє собою метод віскозиметрії? Для дослідження яких розчинів можна його застосовувати?
3. Охарактеризуйте принцип дії капілярного віскозиметра.
4. Які типи в'язкості вам відомі? В яких одиницях та за допомогою яких приладів вимірюється кожен тип в'язкості?
5. Скільки води та солі потрібно змішати, щоб отримати 1 кг розчину з масовою часткою солі 5 %?

3.7. Лабораторна робота № 1.5

Тема: Нормальна концентрація. Приготування та титриметричне визначення нормальності розчину карбонату натрію.

Мета: повторити поняття нормальної та молярної концентрації, навчитися готувати розчини потрібної концентрації; закріпити метод титриметрії.

Обладнання та реактиви:

терези, карбонат натрію, мірні колби ємністю 100 мл, дистильована вода, стакани, піпетки, мірні циліндри, бюретка, 0,1 н розчин соляної кислоти, пелюстки гібіскусу (чай «каркаде»).

Теоретичні відомості

Нормальна концентрація (C_n) – кількість моль-еквівалентів речовини в 1 літрі розчину. Нормальну концентрацію виражають у моль-екв/л і знаходять за формулою:

$$C_n = \frac{\nu_e(\text{p.p.})}{V_{\text{p-ну}}},$$

де $\nu_e(\text{p.p.})$ – кількість моль-еквівалентів розчиненої речовини;
 $V_{\text{p-ну}}$ – об'єм розчину.

Для запису такої концентрації використовують скорочення «н» або «N», наприклад, децинормальний розчин скорочено позначається як «0,1 н».

Детальніша інформація у підрозділі 1.4.

Титриметрія – метод кількісного аналізу, який ґрунтується на вимірюванні об'єму розчину реактиву з точно визначеною концентрацією (*титранту*), який прореагував з певною кількістю аналізованої речовини. Закінчення реакції визначається за допомогою *аналітичного сигналу*, наприклад, зміни кольору *індикатора*.

Детальніша інформація у підрозділі 2.5.

Карбонат натрію (Na_2CO_3) являє собою натрієву сіль вугільної кислоти, білий порошок, добре розчинний у воді (21,8 г/100 мл). Розчини карбонату натрію завдяки гідролізу мають лужну реакцію. У побуті використовується під назвою «кальцинована сода».

Хімічний індикатор – сполука, яка дає змогу візуалізувати зміну концентрації певного компонента, наприклад, у розчині при титруванні, або швидко визначити рН та інші параметри. *Кислотно-основні індикатори* – органічні сполуки, які мають здатність змінювати колір у розчині зі зміною кислотності (рН). *Антоціани* – рослинні пігменти, які зумовлюють забарвлення квітів, плодів, листків рослин, а також мають здатність змінювати колір залежно від рН середовища.

Хід роботи

1. Приготування хімічного індикатора. Зважуємо близько 5 г пелюсток гібіскусу (чай «каркаде»), вміщуємо в термостійкий стакан і заливаємо 50 мл киплячої дистильованої води. Залишаємо щонайменше на 5 хв.
2. Приготування 0,1 М розчину карбонату натрію. Визначимо масу карбонату, необхідну для приготування розчину з концентрацією 0,1 моль/л для 100 мл розчину. Зважену кількість речовини вносимо у мірну колбу ємністю 100 мл, розчиняємо в дистильованій воді, доводячи об'єм розчину до мітки.
3. Приготування 0,1 н розчину карбонату натрію. Вирахуємо масу карбонату, необхідну для приготування розчину з концентрацією 0,1 моль-екв/л для 100 мл розчину. Зважену кількість речовини вносимо у мірну колбу ємністю 100 мл, розчиняємо в дистильованій воді, доводячи об'єм розчину до мітки.
4. Приготування кольорового стандарту для титрування. У конічну колбу додаємо 20 мл дистильованої води і 1 мл індикатору. Одержаний розчин використовуємо для порівняння забарвлення під час титрування.

- Відбираємо 10 мл 0,1 М розчину карбонату натрію в конічну колбу, додаємо 10 мл дистильованої води, 1 мл індикатору і титруємо за допомогою бюретки децинормальним розчином соляної кислоти до досягнення забарвлення, близького до стандарту. Титрування проводимо кілька разів, вираховуючи середнє значення.
- Аналогічно відбираємо 10 мл 0,1 н розчину карбонату натрію в конічну колбу, додаємо 10 мл дистильованої води, 1 мл індикатору і титруємо за допомогою бюретки децинормальним розчином соляної кислоти до досягнення забарвлення, близького до стандарту. Титрування проводимо кілька разів (не менш як три), вираховуючи середнє значення.
- Результати титрування заносимо в таблицю:

	$V_1(HCl)$, мл	$V_2(HCl)$, мл	$V_3(HCl)$, мл	$V_{сер.}(HCl)$, мл
0,1 М Na_2CO_3				
0,1 н Na_2CO_3				

- Вираховуємо нормальність обох приготовлених розчинів за формулою:

$$C_n(Na_2CO_3) = \frac{V(HCl) \cdot C_n(HCl)}{V(Na_2CO_3)},$$

де $C_n(HCl) = 0,1$ моль-екв/л; $V(Na_2CO_3) = 10$ мл.

Концентрація, отримана в результаті аналізу, може дещо відрізнитися від теоретично обчисленої.

- Формулюємо та записуємо висновки.



Контрольні запитання та завдання

- Розкрийте поняття нормальної концентрації, наведіть формулу для її підрахунку та одиниці вимірювання.
- Поясніть різницю між поняттями «моль» та «моль-еквівалент».
- Дайте визначення поняттям «еквівалент» та «фактор еквівалентності».
- Як визначається фактор еквівалентності для різних класів сполук?
- Якою буде нормальність розчину, якщо 1 л цього розчину містить 0,1 моль ортофосфорної кислоти?
- Знайдіть масу гідроксиду натрію в 500 мл розчину з концентрацією лугу 0,1 н.

7. Скільки моль сульфатної кислоти потрібно для приготування 1 л розчину з концентрацією кислоти 0,05 н?

3.8. Лабораторна робота № 1.6

Тема: Масова частка. Метод ебуліоскопії.

Мета: повторити поняття масової частки, засвоїти основні принципи методу ебуліоскопії.

Обладнання та реактиви:

хлорид натрію, дистильована вода, термостійкі стакани або колби ємністю 100–200 мл, мірні циліндри, технічні терези, піщана баня, термометр зі шкалою до 120-150 °С.

Теоретичні відомості

Масова частка ($\omega\%$) – міра концентрації розчину, яка визначається відношенням маси розчиненої речовини до маси розчину. Найчастіше масову частку виражають у відсотках і знаходять за формулою:

$$\omega\% = \frac{m_{\text{р.р.}}}{m_{\text{р-ну}}} \cdot 100 \%,$$

де $m_{\text{р.р.}}$ – маса розчиненої речовини;

$m_{\text{р-ну}}$ – маса розчину.

Детальніша інформація у підрозділі 1.2.

Ебуліоскопія – метод дослідження розчинів, який ґрунтується на вимірюванні різниці їх температури кипіння порівняно з чистим розчинником.

Детальніша інформація у підрозділі 2.6.

Хід роботи

1. Вираховуємо маси речовини та розчинника, необхідні для приготування розчинів із масовими частками 10, 20 і 30 % масою 100 г для кожного.
2. Готуємо водні розчини хлориду натрію з масовими частками 10, 20 і 30 % масою 100 г кожен. Розчин з концентрацією 30 % близький до насичення, тому за кімнатної температури сіль не розчиниться повністю. Перемішувати розчини не обов'язково.
3. Одержані суміші ставимо на піщану баню і доводимо до кипіння.

4. За допомогою термометра визначаємо температури кипіння кожного розчину. Знаходимо різницю між температурами кипіння розчинів та води і записуємо в таблицю:

$\omega, \%$	10	20	30
$m_{NaCl}, \text{Г}$			
$m_{H_2O}, \text{Г}$			
$\Delta t, ^\circ C$			

5. За отриманими даними будуємо графік залежності різниці температур від масової частки.
6. Формулюємо та записуємо висновки.



Контрольні запитання та завдання

1. Охарактеризуйте різницю між поняттями масової частки та масової концентрації.
2. Опишіть методи ебуліоскопії та кріоскопії. Яке обладнання використовується?
3. Які причини виникнення різниці температур кипіння розчину і чистого розчинника?
4. Наведіть недоліки та переваги методів ебуліоскопії та кріоскопії.
5. Як буде змінюватися температура кипіння розчину солі, якщо у нього додати дистильованої води? Поясніть причину.

3.9. Лабораторна робота № 1.7

Тема: Об'ємна частка. Приготування та рефрактометричне визначення водних розчинів гліцерину.

Мета: повторити поняття об'ємної частки, навчитися готувати розчини різної концентрації. Закріпити метод калібрувального графіка, засвоїти принцип роботи з рефрактометром.

Обладнання та реактиви:

гліцерин, пробірки, скляні палички, дистильована вода, піпетки, рефрактометр, міліметровий папір.

Теоретичні відомості

Об'ємна частка (φ) – міра концентрації розчину, яка визначається відношенням об'єму розчиненої речовини до об'єму розчину.

Найчастіше об'ємну частку виражають в об'ємних відсотках (% об.) і знаходять за формулою:

$$\varphi = \frac{V_{\text{р.р.}}}{V_{\text{р-ну}}} \cdot 100 \% \text{ об.},$$

де $V_{\text{р.р.}}$ – об'єм розчиненої речовини; $V_{\text{р-ну}}$ – об'єм розчину.

Детальніша інформація у підрозділі 1.5.

Гліцерин (гліцерол, $C_3H_5(OH)_3$) – безбарвна прозора густа рідина. Являє собою триатомний спирт. З водою змішується у будь-яких пропорціях, при цьому загальний об'єм розчину дещо менший, ніж сума об'ємів окремих компонентів. Має досить високий показник заломлення (рефракції), тому концентрацію розчинів гліцерину можна визначати за допомогою рефрактометра.

Показник заломлення (коефіцієнт рефракції) – число, яке визначає, у скільки разів швидкість світла в даному середовищі менша за швидкість світла у вакуумі і позначається літерою «n».

Рефрактометрія – метод дослідження речовин, який ґрунтується на визначенні показника заломлення (коефіцієнта рефракції). Переваги цього методу – швидкість вимірювання та невеликий об'єм проби, котра не змінюється під час вимірювань.

Рефрактометр – прилад, який дає змогу виміряти показник заломлення світла у середовищі.

Детальніша інформація у підрозділі 2.7.

Хід роботи

1. Приготування стандартних розчинів. Виразуємо об'єми гліцерину і води, необхідні для приготування 10 % об. розчину об'ємом 10 мл. Для цього використовуємо формулу: $\varphi = \frac{V_{\text{р.р.}}}{V_{\text{р-ну}}} \cdot 100 \% \text{ об.} \Rightarrow V_{\text{р.р.}} = \frac{\varphi \cdot V_{\text{р-ну}}}{100 \% \text{ об.}}$. Оскільки $V_{\text{р-ну}} = 10$ мл, а $\varphi = 10 \% \text{ об.}$, то $V_{\text{р.р.}} = \frac{10 \% \text{ об.} \cdot 10 \text{ мл}}{100 \% \text{ об.}}$. Об'єм води знаходимо за формулою: $V_{H_2O} = V_{\text{р-ну}} - V_{\text{р.р.}}$.
2. Аналогічно визначаємо об'єми гліцерину та води, необхідні для приготування ряду стандартних розчинів для побудови калібрувального графіка з концентраціями 20; 30; 40; 50; 60; 70; 80 та 90 % об. об'ємом по 10 мл.
3. Готуємо ряд стандартних розчинів з концентраціями 0; 10; 20; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90 та 100 % об. об'ємом по 10 мл у такий спосіб: вносимо піпеткою необхідний об'єм гліцерину в пробірку, додаємо відповідний об'єм дистильованої води і ретельно

перемішуємо скляною паличкою. Перемішування продовжити, доки розчин не стане візуально однорідної консистенції. Розчини з концентраціями 0 % об. та 100 % об. – відповідно чисті дистильована вода та гліцерин.

4. Використовуючи рефрактометр, вимірюємо коефіцієнти рефракції стандартних розчинів. Отримані дані заносимо в таблицю:

φ , % об.	n
0	
10	
20	
30	
40	
50	
60	
70	
80	
90	
100	

5. Будуємо калібрувальний графік залежності коефіцієнта рефракції від об'ємної частки.
6. Отримавши розчин невідомої концентрації, вимірюємо його показник заломлення.
7. Знаходимо концентрацію отриманого розчину за калібрувальним графіком.
8. Формулюємо та записуємо висновки.



Контрольні запитання та завдання

1. Розкрийте поняття об'ємної частки, вкажіть одиниці вимірювання.
2. У яких випадках використовують дану концентрацію в екологічних дослідженнях? Наведіть приклади.
3. Опишіть принцип роботи рефрактометра. Для аналізу яких розчинів придатний метод рефрактометрії?
4. Знайдіть об'ємну частку сульфатної кислоти у водному розчині, якщо змішали 50 мл сульфатної кислоти та 450 мл води.
5. Який об'єм гліцерину міститься у 2 л розчину з об'ємною часткою гліцерину 5 % об.?

3.10. Лабораторна робота № 1.8

Тема: Титр. Приготування та титриметричне визначення титру розчину гідроксиду натрію.

Мета: повторити поняття титру, навчитися готувати розчини потрібної концентрації. Закріпити титриметричний метод.

Обладнання та реактиви:

терези, гідроксид натрію, мірні колби ємністю 100 мл, дистильована вода, стакани, піпетки, мірні циліндри, бюретка, 0,1 н розчин соляної кислоти, розчин індикатору (фенолфталеїну).

Теоретичні відомості

Титр (Т) – спосіб вираження концентрації, який використовується, в основному, в аналітичній хімії. Розрізняють *титр за розчиненою речовиною* (*простий титр*) і *титр за визначуваною речовиною* (*умовний титр*). Титр за розчиненою речовиною, або простий титр – це маса речовини (у грамах), розчинена в 1 мл розчину. Титр за визначуваною речовиною, або умовний титр, – маса певної речовини (у грамах), яка реагує з 1 мл титранту.

Детальніша інформація у підрозділі 1.6.

Титриметрія – метод кількісного аналізу, який ґрунтується на вимірюванні об'єму розчину з точно визначеною концентрацією (титранту), який прореагував з певною кількістю аналізованої речовини. Закінчення реакції визначається за допомогою аналітичного сигналу, наприклад, зміни кольору індикатору.

Детальніша інформація у підрозділі 2.5.

Гідроксид натрію ($NaOH$) – білі, непрозорі, сильно гігроскопічні кристали, добре розчинні у воді. При їх розчиненні виділяється велика кількість тепла. Речовина проявляє сильні лужні властивості. При роботі з гідроксидом натрію необхідно бути обережним, захищати шкіру, очі, дихальні шляхи та одяг від попадання кристалів та розчину лугу. При порушенні техніки безпеки є велика ймовірність отримати хімічні опіки або зіпсувати одяг чи речі.

Хід роботи

1. Приготування розчину гідроксиду натрію з титром $T=0,1$ г/мл. Вираховуємо масу гідроксиду, необхідну для приготування

розчину з концентрацією 0,1 г/мл для 250 мл розчину. Зважену кількість речовини вносимо у мірну колбу ємністю 250 мл, розчиняємо в дистильованій воді, доводячи об'єм розчину до мітки. При розчиненні гідроксиду натрію розчин сильно нагрівається, тому зразу доливаємо більшу частину дистилляту (до 2/3 колби), лише потім розчиняємо луг.

2. Титрування отриманого розчину. Відбираємо 1,0 мл розчину гідроксиду натрію в конічну колбу, додаємо 10 мл дистильованої води, 1–3 краплини індикатору і титруємо за допомогою бюретки децинормальним розчином соляної кислоти до зміни забарвлення. Титрування проводимо кілька разів (якнайменше три), вираховуючи середнє значення.
3. Результати титрування заносимо в таблицю:

$V_1(HCl)$, мл	$V_2(HCl)$, мл	$V_3(HCl)$, мл	$V_{\text{сеп.}}(HCl)$, мл

4. Розраховуємо простий титр приготовленого розчину за формулою:

$$T(NaOH) = \frac{M_{\text{екв}}(NaOH) \cdot C_{\text{н}}(NaOH)}{1000},$$

$$\text{де } C_{\text{н}}(NaOH) = \frac{V(HCl) \cdot C_{\text{н}}(HCl)}{V(NaOH)}$$

$C_{\text{н}}(HCl) = 0,1$ моль-екв/л; $V(NaOH) = 1,0$ мл. Титр, отриманий в результаті аналізу, може дещо відрізнятися від теоретично вирахованого.

5. Формулюємо та записуємо висновки.



Контрольні запитання та завдання

1. Пригадайте поняття титру. Зазначте одиниці вимірювання.
2. Розкрийте відмінності між поняттями умовного та простого титру.
3. Опишіть метод титриметрії та зазначте його особливості.
4. Знайдіть масу хлориду калію в розчині об'ємом 50 мл і титром 0,1 г/мл.
5. Знайдіть титр гідроксиду натрію, якщо в розчині об'ємом 1 л міститься 20 г цього лугу.
6. Яким буде об'єм розчину з титром 0,2 г/мл, якщо його приготували з 50 г хлориду натрію?

3.11. Лабораторна робота № 1.9

Тема: Моляльність. Приготування та ареометричне визначення водних розчинів хлориду натрію.

Мета: засвоїти поняття моляльності, навчитися готувати розчини різної концентрації. Закріпити метод ареометрії, метод калібрувального графіка, повторити поняття густини розчинів, навчитися працювати з ареометром та пікнометром.

Обладнання та реактиви:

терези, хлорид натрію, хімічні стакани, піпетки, скляні палички, дистильована вода, мірний циліндр, ареометр, пікнометр, міліметровий папір.

Теоретичні відомості

Моляльність (\bar{m}) – кількість речовини (моль), розчиненої в 1 кг розчинника. Моляльну концентрацію вимірюють у моль/кг і знаходять за формулою:

$$\bar{m} = \frac{\nu_{\text{р.р.}}}{m_1},$$

де $\nu_{\text{р.р.}}$ – кількість моль розчиненої речовини;
 m_1 – маса розчинника.

Детальніша інформація у підрозділі 1.7.

Густина (*питома маса*) розчину – маса розчину, який займає одиничний об'єм. Переважно густину виражають в г/мл, або в кг/л.

Ареометрія – метод дослідження речовин, який ґрунтується на вимірюванні густини (питомої маси) розчинів.

Ареометр – прилад для вимірювання густини рідин, принцип дії якого оснований на законі Архімеда.

Пікнометр – скляна посудина невеликої ємності, призначена для вимірювання густини рідин. Вимірювання базується на зважуванні рідини, яка знаходиться у ньому.

Детальніша інформація у підрозділі 2.8.

Хід роботи

1. Приготування стандартних розчинів із моляльністю 1,5 – 2,5 моль/кг. Вирахуємо масу хлориду натрію, необхідну для приготування 1,5 моль/кг розчину на 1 кг води. Для цього знайдемо молярну масу хлориду натрію і використаємо формули:

$$\bar{m} = \frac{\nu_{\text{р.р.}}}{m_1} \Rightarrow \nu_{\text{р.р.}} = \bar{m} \cdot m_1; m_{\text{р.р.}} = \nu_{\text{р.р.}} \cdot M.$$

2. Обчислюємо масу хлориду натрію, необхідну для приготування розчину з молярністю 1,5 моль/кг на 100 г води.
3. Аналогічно розраховуємо маси хлориду натрію, необхідні для приготування розчинів із молярністю 1,6; 1,7; 1,8; 1,9; 2,0; 2,1; 2,2; 2,3; 2,4 і 2,5 моль/кг на 100 г води.
4. Готуємо ряд стандартних розчинів із молярністю 1,5; 1,6; 1,7; 1,8; 1,9; 2,0; 2,1; 2,2; 2,3; 2,4 і 2,5 моль/кг на 100 г води.
5. Знаходимо густини одержаних розчинів.
 - 5.1 Зважуємо сухий пікнометр із корком, записуємо значення $m_{\text{пik.}}$.
 - 5.2 Калібруємо пікнометр. Для цього наповнюємо його дистильованою водою до мітки і зважуємо. Знаходимо масу води за різницею одержаної маси та маси сухого пікнометра. Оскільки густина води складає 1 г/мл, об'єм пікнометра у мілілітрах ідентичний масі води у пікнометрі у грамах. Знайдений об'єм пікнометра $V_{\text{пik.}}$ також заносимо в таблицю:

$m_{\text{пik.}}$	
$V_{\text{пik.}}$	

- 5.3 Використовуючи пікнометр і терези, отримуємо маси пікнометра з розчинами отриманих концентрацій $m_{\text{заг.}}$, дані заносимо в таблицю.
- 5.4 Знаходимо маси розчинів за формулою: $m_{\text{розч.}} = m_{\text{заг.}} - m_{\text{пik.}}$, заносимо їх у таблицю.
- 5.5 Знаючи об'єм пікнометра та маси розчинів, розраховуємо їх густини за пікнометром: $\rho_{\text{пik.}} = \frac{m_{\text{розч.}}}{V_{\text{пik.}}}$, заносимо їх у таблицю.
- 5.6 Використовуючи ареометр, визначаємо густини розчинів за ареометром ($\rho_{\text{ар.}}$) і заносимо в таблицю.

\bar{m} , моль/кг	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5
$m_{\text{заг.}}$, Г											
$m_{\text{розч.}}$, Г											
$\rho_{\text{пik.}}$, Г/мл											
$\rho_{\text{ар.}}$, Г/мл											

6. Будуємо калібрувальний графік залежності густини розчину $\rho_{\text{пik.}}$ від молярної концентрації.
7. Отримавши розчин невідомої концентрації, вимірюємо його густину за допомогою пікнометра.
8. Знаходимо концентрацію отриманого розчину за калібрувальним графіком.

9. Формулюємо та записуємо висновки.



Контрольні запитання та завдання

1. Опишіть метод ареометрії. Для аналізу яких розчинів зручно використовувати цей метод?
2. Наведіть переваги та недоліки ареометра та пікнометра.
3. Розкрийте поняття молярної концентрації та поясніть відмінність від молярної.
4. Скільки води потрібно для приготування розчину хлориду калію з молярністю 0,1 моль/кг, якщо його готують з 74 г солі?
5. Знайдіть масу гідроксиду натрію в розчині 0,5 моль/кг, якщо для його приготування взято 2 л води.

Розділ 4

Екологічний аналіз об'єктів

4.1. Лабораторна робота № 2.1

Тема: Визначення густини та кислотності молока.

Мета: повторити методи ареометрії та титриметрії, закріпити навички роботи з пікнометром. Навчитися застосовувати ці методи для визначення якості молока.

Обладнання та реактиви:

терези, молоко для аналізу, бюретка для титрування, пікнометр, шприц на 20–50 мл, піпетки Мора на 10 мл, хімічні стакани, конічні колби на 150–200 мл, мірний циліндр на 25 мл, 0,1 н розчин гідроксиду натрію, 1 %-й спиртовий розчин фенолфталеїну.

Теоретичні відомості

Густина молока – один із найважливіших показників його натуральності. *Густина молока* (ρ) – маса молока при 20 °С, яка міститься в одиничному об'ємі. Вимірюється у кг/м^3 (кг/л), г/см^3 (г/мл) і в градусах ареометра (°А).

Градус ареометра – умовна одиниця, яка відповідає сотим і тисячним часткам густини, вираженої в г/см^3 . Густина натурального коров'ячого молока коливається у межах 1,027–1,032 г/см^3 або 27–32 °А. Густина знежиреного молока вища (1,033–1,035 г/см^3), бо

питома вага жиру менша 1. Густина вершків – 1,005–1,020 г/см³. Згідно з вимогами Держстандарту (ДСТУ-2661-94) густина молока повинна бути у межах 1,024–1,037 г/см³. Якщо густина молока нижча, ніж 1,024 г/см³ або 27 °А, то таке молоко розбавлене водою. Додавання до молока 10 % води понижує густину на 3 °А.

Загальна (титрована) кислотність молока – найважливіший показник його свіжості, який відображає концентрацію складових частин молока з кислотним характером. Титрована кислотність вимірюється у градусах Тернера (°Т). Кількість градусів Тернера відповідає кількості кубічних сантиметрів децинормального розчину лугу, використаного на нейтралізацію 100 см³ молока (або 100 г молочного продукту з подвійним об'ємом дистильованої води) у присутності індикатора фенолфталеїну. Момент закінчення титрування – поява блідо-рожевого забарвлення, яке не зникає протягом 1 хвилини. Титрована кислотність свіжовидоєного молока становить 16–18 °Т, допустиме значення для свіжого натурального молока – 15,99–20,99 °Т. Згідно з ДСТУ-2661-94 кислотність молока I сорту повинна становити 16–18 °Т, II сорту – 19–21 °Т, для білкового – до 25 °Т.

Ареометрія – метод дослідження густини (питомої маси) речовин.

Пікнометр – скляна посудина невеликої ємності, призначена для вимірювання густини рідин. Вимірювання густини базується на зважуванні рідини, налитій в пікнометр.

Детальніша інформація у підрозділі 2.8.

Хід роботи

1. Визначення густини молока.

- 1.1. Відібране для аналізу молоко наливаємо у хімічний стакан і добре перемішуємо.
- 1.2. Зважуємо сухий порожній пікнометр, закритий корком, записуємо значення в таблицю.
- 1.3. Визначаємо точний об'єм пікнометра. Для цього наповнюємо пікнометр до мітки дистильованою водою і зважуємо. Знаходимо масу води за різницею мас пікнометра з водою і сухого пікнометра: $m_{H_2O} = m_{1\text{пik}} - m_{\text{пik}}$, де $m_{1\text{пik}}$ – маса пікнометра з дистильютом. Знаходимо точний об'єм пікнометра, враховуючи, що густина води за звичайних умов складає 1 г/мл: $V_{\text{пik}} = \frac{m_{H_2O}}{\rho_{H_2O}} = m_{H_2O}/1 = m_{H_2O}$. Об'єм пікнометра заносимо в таблицю.

$m_{\text{пiк.}}$	
$V_{\text{пiк.}}$	

- 1.4. За допомогою шприца наповнюємо пікнометр до мітки аналізованим молоком і закриваємо корком. Зважуємо наповнений пікнометр, закритий корком, значення заносимо в таблицю. Зважування проводимо не менш як три рази.
- 1.5. Аналогічні зважування здійснюємо для кожного зразка молока, значення заносимо в таблицю.
- 1.6. Вирахуємо середні значення мас пікнометра з молоком для кожного зразка, а також масу молока за різницею $m_{\text{мол.}} = m_{\text{сер.}} - m_{\text{пiк.}}$, дані заносимо в таблицю.
- 1.7. Підраховуємо густину кожного зразка молока за формулою: $\rho_{\text{мол.}} = \frac{m_{\text{мол.}}}{V_{\text{пiк.}}}$, дані заносимо в таблицю. Визначення густини потрібно проводити за температури (повітря і молока) 20 °С. Якщо температура вища, тоді до одержаної густини додаємо 0,0002 г/см³ (0,02 °А).
- 1.8. Переводимо густину молока у градуси ареометра, дані заносимо в таблицю:

	m_1	m_2	m_3	$m_{\text{сер.}}$	$m_{\text{мол.}}$	$\rho_{\text{мол.}}$	Г/см ³	$\rho_{\text{мол.}}$	°А	Висновок
Мол. 1										
Мол. 2										
Мол. 3										

- 1.9. Робимо попередні висновки щодо натуральності молока.
2. Визначення титрованої кислотності молока.
 - 2.1. За допомогою піпетки Мора відбираємо 10 мл досліджуваного молока та вносимо в конічну колбу на 150–200 мл.
 - 2.2. До молока додаємо 20 мл дистильованої води і 3 краплі 1 %-го розчину фенолфталеїну.
 - 2.3. Отриману суміш перемішуємо і титруємо 0,1 н розчином гідроксиду натрію до появи блідо-рожевого забарвлення, яке не зникає протягом хвилини.
 - 2.4. Титрування проводимо щонайменше тричі, результати заносимо у таблицю.
 - 2.5. Знаходимо середні значення об'ємів титранту, витраченого на титрування кожного зразка молока, заносимо в таблицю.
 - 2.6. Обчислюємо кислотність молока за формулою: $X = \frac{V_{\text{сер.}} \cdot 100}{10}$, де X – кислотність молока у градусах Тернера, $V_{\text{сер.}}$ – середній об'єм витраченого титранту, 100 – перерахунок на 100 мл, 10 – об'єм взятого для аналізу молока, мл. Ре-

зультати заносимо в таблицю.

	V_1 ,мл	V_2 ,мл	V_3 ,мл	$V_{\text{сер}}$,мл	X , °Т	Висновок
Мол. 1						
Мол. 2						
Мол. 3						

2.7. Робимо попередні висновки щодо свіжості молока.

3. Формулюємо загальний висновок.



Контрольні запитання та завдання

1. Які характеристики молока визначаються його густиною та кислотністю?
2. Як впливає жирність молока на його густину? Відповідь поясніть.
3. Дайте визначення поняттям «градус ареометра» та «градус Тернера».
4. Які методи використовуються для визначення густини та кислотності молока?
5. Вкажіть допустимі межі густини та кислотності молока згідно з вимогами Держстандарту.
6. Маса пікнометра з молоком складає 123,226 г, а його об'єм – 100,00 мл. Знайдіть густину молока у градусах ареометра, якщо маса сухого пікнометра складає 23 г.

4.2. Лабораторна робота № 2.2

Тема: Поляриметричне визначення масової частки сахарози у шоколаді.

Мета: повторити поняття масової частки, закріпити навички роботи з поляриметром. Навчитися визначати масову частку сахарози в кондитерських продуктах.

Обладнання та реактиви:

мірні колби ємністю 100 мл, мірні циліндри, хімічні стакани, скляні лійки, піпетки, кристалізатор, водяна баня, технічні терези, колба Бунзена з лійкою Бюхнера, водоструминний насос, поляриметр з кюветою довжиною 2 дм, 1 М розчин сульфату цинку, 1 М розчин гідроксиду натрію, фільтрувальний папір.

Теоретичні відомості

У шоколаді, праліне, горіхово-шоколадних начинках цукор міститься лише у вигляді сахарози. Оптична активність водних витяжок таких виробів зумовлена лише вмістом сахарози, тому, вимірявши на поляриметрі кут обертання плоскополяризованого світла, точно та швидко можна визначити масову частку сахарози в аналізованому продукті.

Шкала поляриметра проградуєвана у градусах Міжнародної цукрової шкали ($^{\circ}\text{S}$). За цією шкалою 100°S відповідає куту обертання площини поляризації світла розчином у кюветі довжиною 2 дм, що містить 26,000 г сахарози у 100 мл (при 20°C). Користуючись Міжнародною цукровою шкалою, можна безпосередньо визначати масову частку сахарози (%) в аналізованих продуктах.

При висвітленні розчинів досліджуваних зразків утворюється велика кількість драглистого осаду, який часто забиває фільтр, тому звичайне фільтрування відбувається протягом тривалого часу. Тому визначення масової частки сахарози у шоколаді передбачає використання вакуумного фільтрування, яке допомагає пришвидшити цей процес.

Хід роботи

1. Підготовка проби. На технічних терезах зважуємо 6,5 г шоколаду (це відповідає $1/4$ стандартної наважки), ретельно подрібнюємо і кількісно переносимо в мірну колбу ємністю 100 мл, розчиняємо в невеликій кількості (30 мл) теплої ($60\text{--}70^{\circ}\text{C}$) дистильованої води.
2. Нагріваємо отриманий розчин на водяній бані ($70\text{--}80^{\circ}\text{C}$) протягом 15 хв до утворення рідкої суміші, після чого перемішуємо, струшуючи колбу.
3. Висвітлюємо розчин, тобто переводимо в нерозчинну форму білки та жири, наявні у досліджуваному зразку. Для цього додаємо 15 мл розчину сульфату цинку (для осадження білків), потім 15 мл розчину гідроксиду натрію (для осадження жирів).
4. Висвітлений розчин охолоджуємо в кристалізаторі, час від часу замінюючи у ньому воду на холодну.
5. Доводимо об'єм колби дистильованою водою до мітки і добре перемішуємо.

6. Збираємо прилад для вакуумного фільтрування. Для цього в лійку Бюхнера поміщаємо заздалегідь вирізаний за розмірами фільтр, змочивши його невеликою порцією дистильованої води. Герметично приєднуємо лійку до колби Бунзена та підключаємо останню до водострумінного насоса. Ретельно перевіряємо герметичність усіх з'єднань.
7. Одержаний розчин переносимо у лійку Бюхнера та обережно вмикаємо насос. Фільтрат повинен бути прозорий.
8. Після закінчення фільтрування спочатку відокремлюємо лійку Бюхнера та водострумінний насос від колби Бунзена, а лише тоді вимикаємо насос.
9. Отриманий фільтрат уміщаємо у поляриметричну кювету ($l = 2$ дм) і здійснюємо вимірювання. Одержані результати заносимо в таблицю:

	α , °S	ω , %	Висновок
Шоколад 1			
Шоколад 2			
Шоколад 3			

10. Вираховуємо масову частку сахарози у шоколаді за формулою: $\omega = 4 \cdot K \cdot \alpha$, де 4 – коефіцієнт перерахунку на стандартну наважку продукту (26,00 г), K – коефіцієнт, який ураховує об'єм нерозчинної частки наважки ($K = 0,97$), α – кут обертання площини поляризації світла, виміряний за шкалою поляриметра. Отримані дані вносимо в таблицю.
11. Формулюємо та записуємо висновки.



Контрольні запитання та завдання

1. Дайте визначення поняттю «градус Міжнародної цукрової шкали» (°S).
2. Який метод та прилад використовуються для визначення концентрації цукру? Охарактеризуйте селективність методу.
3. У вигляді яких вуглеводів наявний цукор у шоколаді?
4. Яка функція розчинів сульфату цинку та гідроксиду натрію у даній методиці?
5. Вкажіть переваги вакуумного фільтрування.
6. Які розчини неможливо досліджувати за допомогою поляриметра?

4.3. Лабораторна робота № 2.3

Тема: Кондуктометрична оцінка солоності ґрунтів.

Мета: повторити поняття електропровідності, закріпити навички роботи з кондуктометром. Навчитися оцінювати солоність ґрунтів за електропровідністю їхніх водних витяжок.

Обладнання та реактиви:

зразки ґрунтів, дистильована вода, ротатор, хімічні стакани, скляні лійки, піпетки, дистильована вода, терези, кондуктометр.

Теоретичні відомості

Загальну концентрацію розчинених солей ґрунту можна знайти вимірюванням концентрацій окремих солей, що на практиці вважається трудомістким і дорогим процесом. Електропровідність розчину, яка зростає зі збільшенням загальної кількості розчинених солей, використовується як альтернативний показник для оцінки солоності ґрунту. Вимірювання електропровідності ґрунтових витяжок за допомогою кондуктометра вважається надійним, швидким та ефективним методом. Однак даний метод дає приблизну оцінку солоності ґрунтів, оскільки співвідношення різних солей у ґрунтах може бути дуже різноманітним при однакових електропровідностях ґрунтових витяжок, тому що розчини різних солей мають різну електропровідність за однакових концентрацій.

Електропровідність ґрунту визначається у насиченому ґрунтовому розчині та виражається в одиницях децисименсів на метр (дСм/м) або в мілісименсах на сантиметр (мСм/см).

ґрунти зі значенням електропровідності ґрунтового розчину понад 4 мСм/см класифікуються як сольові.

Для визначення масової концентрації розчинених солей у воді є спеціальні прилади – солеміри (TDS-метри), які працюють на кондуктометричному принципі та показують уміст солей у мільйонних частках (ppm). $1 \text{ ppm} = 0,000001 = 10^{-6}$. На основі даних кондуктометра (в мСм) можна отримати результати в ppm через коефіцієнт, вказаний виробником відповідного приладу. Для отримання масової концентрації (мг/л) необхідно домножити одержане значення в ppm на 1000 (10^3). Тому, на підставі даних питомої електропровідності можна вирахувати приблизні значення вагового вмісту солей у водних витяжках за формулою: $C = \sigma \cdot 0,64 \cdot 10^3$ (мг/л).

Знаючи масу наважки ґрунту, взятого для аналізу, можна знайти приблизний уміст солей у ґрунті (мг/кг).

Хід роботи

1. Підготовка проби. На технічних терезах зважуємо 30 г повітряно-сухого ґрунту і поміщуємо його в конічну колбу.
2. За допомогою мірного циліндра відмірюємо 150 см³ дистильованої води та доливаємо у колбу до наважки ґрунту.
3. Одержану суспензію збовтуємо протягом 3–5 хв на ротаторі або вручну.
4. Після збовтування ґрунтови витяжки залишають на 5 хв для відстоювання.
5. Вимірюємо електропровідності отриманих ґрунтових витяжок у такий спосіб: занурюємо датчик кондуктометра у верхній прозорий шар рідини, не збовтуючи осад. Після кожного вимірювання ретельно промиваємо датчик в дистильованій воді.

Одержані результати заносимо в таблицю:

Ґрунт	σ , мСм/см	Солоність ґрунту	C , мг/л	S , мг/кг
Ґрунт 1				
Ґрунт 2				
Ґрунт 3				

6. Орієнтуючись на питому електропровідність водних витяжок ґрунтів, оцінюємо їх солоність, результати оцінок заносимо в таблицю.
7. Використовуючи значення питомої електропровідності, вираховуємо ваговий уміст солей у витяжках за формулою: $C = \sigma \cdot 0,64 \cdot 10^3$ (мг/л), результати заносимо в таблицю.
8. Використовуючи значення вагового вмісту солей у водних ґрунтових витяжках, розраховуємо ваговий уміст солей у ґрунтах (S) за формулою: $S = \frac{0,15 \cdot C}{0,03}$ (мг/кг), де C – ваговий уміст солей у водній ґрунтовій витяжці; 0,15 – об'єм дистильованої води, використаний для витяжки, л; 0,03 – маса наважки ґрунту, кг.
9. Формулюємо та записуємо висновки.



Контрольні запитання та завдання

1. Поясніть, який метод ефективно використовувати для оцінки солоності ґрунтів і чому?

2. Які відомі вам прилади дають змогу визначити вміст солей у воді та в яких одиницях?
3. Опишіть переваги та недоліки використання кондуктометра для оцінки солоності ґрунтів.
4. Вкажіть межі значень електропровідності водних ґрунтових витяжок, за яких ґрунти класифікуються як сольові.
5. Чи впливає прозорість розчину на результат вимірювання електропровідності ґрунтової витяжки?
6. Які речовини не впливають на електропровідність розчинів?

4.4. Лабораторна робота № 2.4

Тема: Кондуктометрична оцінка концентрації фруктових соків різних виробників.

Мета: повторити методи калібрувального графіка та кондуктометрії, закріпити навички роботи з кондуктометром. Навчитися оцінювати кількість натурального соку в соковій продукції різних виробників.

Обладнання та реактиви:

зразки фруктів та відповідних фруктових соків різних виробників, хімічні стакани, скляні лійки, піпетки, фарфорові ступки, ніж, тертка, марля або бинт, дистильована вода, кондуктометр, терези, міліметровий папір.

Теоретичні відомості

Електропровідність натурального соку визначається вмістом у ньому електролітів, а саме: органічних кислот, солей, іонів мікроелементів. Оскільки кожен вид соку має певні межі електропровідності, які знижуються з додаванням води, то у разі розбавлення соку водою або цукровим (глюкозно-фруктозним) сиропом його електропровідність буде нижчою, ніж у натурального соку. Саме цей факт дає змогу за допомогою кондуктометричного аналізу оцінити концентрацію натуральної складової у соковій продукції. Додавання регуляторів кислотності та консервантів може дещо збільшувати електропровідність, але це збільшення несуттєве.

Хід роботи

1. Підготовка проби. Близько 0,2–0,5 кг кожного зразка одного виду фруктів подрібнюємо на тертці або у фарфоровій ступці.

- Отриману суспензію акуратно витискаємо через кілька шарів марлі до одержання соку, який збираємо у хімічний стакан.
2. Вимірюємо електропровідності отриманих натуральних соків, дані заносимо у таблицю (розведення 1:0).
 3. У хімічні стакани відбираємо по 10 мл досліджуваних натуральних соків та додаємо по 10 мл дистильованої води. Вимірюємо електропровідності отриманих розчинів (розведення 1:1). Результати заносимо в таблицю.
 4. До отриманих розчинів додаємо по 10 мл дистильованої води та вимірюємо їх електропровідності (розведення 1:2). Результати заносимо в таблицю.
 5. Продовжуємо експеримент до одержання розведення 1:10. Результати кожної серії вимірювань електропровідностей розведених натуральних соків (мСм/см) заносимо в таблицю:

Розведення	1:0	1:1	1:2	1:3	1:4	1:5	1:6	1:7	1:8	1:9	1:10
Фрукт 1											
Фрукт 2											
Фрукт 3											

6. За отриманими даними будуємо калібрувальні графіки залежності електропровідності кожного зразка фруктового соку від його розведення. По осі абсцис відкладаємо сумарний об'єм дистильованої води, доданий до натурального соку, по осі ординат – електропровідність.
7. У хімічні стакани вносимо невеликі кількості сокової продукції з досліджуваних фруктів від різних виробників, вимірюємо їх електропровідності (мСм/см), результати заносимо у таблицю:

	Виробник 1	Виробник 2	Виробник 3
Фрукт1			
Фрукт2			
Фрукт3			

8. Використовуючи калібрувальні графіки для кожного зразка фруктового соку знаходимо об'єм води (мл) для кожного виробника. Результати заносимо в таблицю:

	Виробник 1	Виробник 2	Виробник 3
Фрукт1			
Фрукт2			
Фрукт3			

9. Аналізуємо отримані результати. Знайдений об'єм води показує, скільки води потрібно додати до 10 мл натурального свіжовичавленого соку, щоб отримати сік, близький до сокової продукції відповідного виробника. Іншими словами: виробники розбавляють соки водою чи сиропом у пропорції 10:X, де X – об'єм води, знайдений за допомогою калібрувального графіка.
10. Формулюємо та записуємо висновки.



Контрольні запитання та завдання

1. Вкажіть причину електропровідності соків.
2. Поясніть, як впливає розведення соків на їх електропровідність і чому?
3. Яким методом можна оцінити розбавлення соків?
4. Які компоненти соку не змінюють його електропровідність?
5. Обґрунтуйте доцільність використання методу калібрувального графіка для кондуктометричної оцінки розбавлення соків.

4.5. Лабораторна робота № 2.5

Тема: Визначення масової частки жирів у горіхах рефрактометричним методом.

Мета: повторити метод рефрактометрії, визначення коефіцієнта рефракції, закріпити навички роботи з рефрактометром. Навчитися вимірювати масову частку жирів у горіхах.

Обладнання та реактиви:

зразки горіхів, дрібний прожарений кварцовий пісок, α -бромнафталін, піпетки, фарфорові ступки, фільтр Шота з невеликою колбою Бунзена (або пробіркою з боковою трубкою), вакуумний насос (водострумний або Комовського), фільтрувальний папір, скляні палички, електронні терези, рефрактометр зі шкалою $n_D > 1,7$.

Теоретичні відомості

Органічна речовина α -бромнафталін являє собою прозору рідину з досить високою густиною (близько 1,48 г/мл) з різким неприємним запахом. Оскільки α -бромнафталін токсичний, то пра-

цювати з ним дозволяється лише під витяжною шафою у захисних рукавичках.

Високий показник рефракції α -бромнафталіну (близько 1,66) дає змогу використовувати його у рефрактометричному аналізі. **Принцип визначення масової частки жирів у горіхах.** За допомогою α -бромнафталіну жири екстрагуються з досліджуваної проби, при цьому концентрація α -бромнафталіну зменшується, як і коефіцієнт рефракції, оскільки показник заломлення жиру значно менший. Ці зміни фіксуються рефрактометром, а масова частка жирів визначається за допомогою калібрувального графіка або емпіричної формули.

Хід роботи

1. Наносимо на призму рефрактометра кілька крапель α -бромнафталіну і визначаємо його коефіцієнт рефракції (n_0).
2. Наважку ретельно подрібнених горіхів, масою 2 г, вносимо в маленьку фарфорову ступку, додаємо на кінчику шпателя кварцового піску та 6 г (4 мл) α -бромнафталіну.
3. Ретельно розтираємо товкачиком наважку з піском та розчинником не менше 5 хвилин.
4. Вміст ступки переносимо на фільтр Шота та фільтруємо під вакуумом до утворення прозорого фільтрату. Якщо фільтрат каламутний, то фільтрування необхідно повторити.
5. Отриманий фільтрат перемішуємо скляною паличкою, кілька крапель його наносимо на призму рефрактометра і визначаємо коефіцієнт рефракції. Операцію проводимо не менше 3 разів із новими порціями фільтрату, обчислюючи середнє значення. Результати заносимо в таблицю:

	n_1	n_2	n_3	$n_{\text{сер}}$	$\omega, \%$	Висновок
Проба 1						
Проба 2						
Проба 3						

6. Масову частку жирів у відсотках визначаємо за формулою:

$$\omega \%(\text{жирів}) = \frac{10^4 \cdot \alpha \cdot (n_0 - n_{\text{сер}}) \cdot g}{g_1},$$

де: n_0 – коефіцієнт рефракції чистого розчинника (α -бромнафталіну);

$n_{\text{сер}}$ – коефіцієнт рефракції досліджуваного зразка;
 g – наважка розчинника, г (6 г);
 g_1 – наважка досліджуваних горіхів, г (2 г);
 α – коефіцієнт перерахунку, для харчових продуктів рівний 0,0368.

7. Формулюємо та записуємо висновки.



Контрольні запитання та завдання

1. Вкажіть, які метод і прилад використовуються для визначення частки жирів у горіхах?
2. Яка фізична величина вимірюється в процесі аналізу? Дайте визначення вказаній величині.
3. Опишіть, як підвищення вмісту жирів впливає на коефіцієнт рефракції?
4. Яка хімічна речовина використовується як розчинник в даному методі і чому?
5. Дайте визначення поняттям «масова частка» та «масова концентрація».

4.6. Лабораторна робота № 2.6

Тема: Визначення жирності молока за допомогою бутирометра.

Мета: засвоїти принцип роботи з бутирометром, повторити вимоги з техніки безпеки при роботі з концентрованими кислотами та електричним обладнанням. Навчитися визначати жирність молока.

Обладнання та реактиви:

молоко для аналізу, бутирометри, центрифуга, водяна баня, гумові корки, піпетки, термометр, концентрована сульфатна кислота, ізоаміловий спирт.

Теоретичні відомості

Жирність молока – це масова частка жирів у ньому, виражена у відсотках. Залежно від породи, кормів, режиму утримання та індивідуальних особливостей корів, натуральне незбиране молоко може мати жирність від 3,2 до 5,5, навіть до 6 %. Окремі корови спеціалізованих порід можуть давати молоко жирністю до 8 %, але найчастіше продукт, який має жирність більше ніж 6 % – результат сепарації та наступного змішування. У продажу можна знайти

різні за вмістом жирів види молока: від 0,05 до 6 %, жирність яких зазвичай повинна бути вказана на упаковці фірмою-виробником.

Бутирометр – прилад для вимірювання жирності молока. Найпоширеніший варіант – *бутирометр Гербера* – невелика скляна циліндрична посудина, верхня частина якої витягнута у довгу пласку шийку і закінчується невеликою головкою, а нижня частина має отвір для гумового корку. На шийку нанесено шкалу відліку кількості виділеного з молока жиру.

Принцип роботи бутирометра. При змішуванні молока з концентрованою сульфатною кислотою стійкість жирової емульсії знижується і нагрітий жир може бути відокремлений при центрифугуванні у вигляді прозорого стовпчика. Швидкому злипанню крапельок жиру сприяє ізоамілово-сірчаній ефір, який утворюється при додаванні ізоамілового спирту. Вимірювання об'єму виділеного жиру у співвідношенні до об'єму взятого для аналізу молока дає відсоток жирності останнього. Прозорий стовпчик жиру розміщується у шийці бутирометра зі шкалою, проградуєваною у відсотках жирності. Знайшовши висоту стовпчика в одиницях шкали бутирометра отримаємо частку жирності аналізованого молока.

Хід роботи

1. За допомогою піпетки дуже обережно відмірюємо 10 мл сульфатної кислоти і наливаємо її в бутирометр.
2. Відмірюємо за допомогою спеціалізованої піпетки Мора 11 мл молока. Кінець піпетки вводимо в бутирометр, спрямовуємо на стінку і повільно вливаємо молоко так, щоб воно нашарувалося на кислоту, не змішуючись із нею.
3. Відмірюємо піпеткою 1 мл ізоамілового спирту і доливаємо його в бутирометр.
4. Беремо бутирометр міцно у кулак за широку частину та обережно закручуємо у нього гумовий корок, щоб у горлечко ввійшла принаймні його половина.
5. Загортаємо бутирометр у ганчірку, притискаємо корок пальцем і обережно збовтуємо його до повного розчинення згустків молока. Під час збовтування вміст бутирометра сильно нагрівається, тому бутирометр бажано тримати чимдалі від себе та тих, хто поряд.
6. Бутирометри поміщуємо корками донизу у водяну баню, нагріту до 65 °C та витримуємо у ній протягом 5 хвилин.

7. Обережно виймаємо бутирометри з водяної бані, обтираємо, не перевертаючи поміщуємо у центрифугу корками донизу. Центрифугуємо 5 хвилин, при цьому необхідно знаходитися чимдалі від працюючої центрифуги.
8. Обережно переносимо бутирометри не перевертаючи їх із центрифуги у водяну баню корками донизу та витримуємо у ній протягом 5 хвилин.
9. Обережно виймаємо бутирометри не перевертаючи їх із водяної бані. Беремо бутирометр одною рукою міцно за його широку частину, а іншою – за корок. Натискаючи, повертаючи та рухаючи корок розміщуємо шар жиру у вузькій шийці бутирометра так, щоб нижній край показував на найближчу цілу поділку шкали, в ідеалі на «0».
10. Знімаємо покази у такий спосіб: знаходимо різницю між верхньою поділкою, на яку вказує нижній край меніска стовпчика жиру, та нижньою поділкою, біля якої знаходиться нижній рівний край стовпчика жиру. Відлік необхідно проводити, розміщуючи шкалу бутирометра на рівні очей. Результати заносимо в таблицю:

Молоко	За виробником, %	Визначена, %	Висновок
Молоко 1			
Молоко 2			
Молоко 3			
Молоко 4			

11. Формулюємо та записуємо висновки.



Контрольні запитання та завдання

1. Опишіть будову та принцип роботи бутирометра.
2. Охарактеризуйте можливі межі жирності молока та фактори, від яких залежить цей показник.
3. З якою метою використовується ізоаміловий спирт у даній методиці?
4. У яких одиницях вимірюється жирність молока?
5. Вкажіть, яка функція сірчаної кислоти при визначенні жирності молока за допомогою бутирометра.
6. Знайдіть масу жирів у 1 кг молока, якщо його жирність становить 3,5 %.

4.7. Лабораторна робота № 2.7

Тема: Поляриметричне визначення масової частки лактози в молоці.

Мета: повторити поняття масової частки, закріпити навички роботи з поляриметром, навчитися визначати масову частку лактози в молоці.

Обладнання та реактиви:

молоко для аналізу, мірні колби ємністю 100 мл, мірні циліндри, хімічні стакани, скляні лійки, піпетки, технохімічні терези, поляриметр, кювета довжиною 2 дм, 30,0 %-й розчин ацетату цинку, 15,0 %-й розчин гексаціаноферату (II) калію, 0,2н розчин бромату калію, фільтрувальний папір.

Теоретичні відомості

Визначення лактози ґрунтується на її здатності обертати площину поляризації плоскополяризованого світла. Для аналізу використовуються істинні розчини молока з попереднім осадженням білків і жирів ацетатом цинку та гексаціанофератом (II) калію.

Хід роботи

1. Підготовка проби. У хімічному стакані зважуємо $33 \pm 0,01$ г молока.
2. Зважену порцію молока кількісно переносимо в мірну колбу ємністю 100 мл, ополіскуючи стакан кілька разів невеликими порціями дистильованої води.
3. Для осадження білків і жирів додаємо по 5 мл розчинів ацетату цинку та гексаціаноферату (II) калію відповідно. Після додавання кожного розчину вміст колби акуратно перемішуємо.
4. Додаємо 25 мл розчину бромату калію, перемішуємо.
5. Доводимо вміст колби до мітки дистильованою водою, знову перемішуємо.
6. Одержаний розчин фільтруємо через складчастий фільтр у сухий хімічний стакан. Фільтрат повинен бути прозорим.
7. Фільтрат поляриметруємо. Виміри проводимо три рази, повторно заповнюючи поляриметричну кювету фільтратом і враховуючи середні значення α ($^{\circ}S$). Одержані дані заносимо в таблицю:

Молоко	$\alpha_1, \text{ }^\circ S$	$\alpha_2, \text{ }^\circ S$	$\alpha_3, \text{ }^\circ S$	$\alpha_{\text{сер}}, \text{ }^\circ S$	$\omega_{\text{лак}}, \%$
Молоко 1					
Молоко 2					
Молоко 3					

- Знаходимо масову частку лактози за формулою: $\omega\% = K \cdot \alpha$, де K – поправка на об'єм нерозчинного осаду білків і жирів ($K = 0,95$).
- Формулюємо та записуємо висновки.



Контрольні запитання та завдання

- Дайте визначення поняттям «масова частка», «об'ємна частка» та «масова концентрація». У яких випадках використовується кожна з цих концентрацій? Наведіть приклади.
- Яке призначення поляриметра? Яку фізичну величину та в яких одиницях цей прилад дозволяє виміряти?
- Яка фізична властивість лактози визначає можливість її кількісного поляриметричного вимірювання?
- З якою метою використовують розчини ацетату цинку та гексаціаноферату калію у даній методиці?
- Наведіть переваги та недоліки поляриметричного методу аналізу.

4.8. Лабораторна робота № 2.8

Тема: Атомно-абсорбційне визначення валового вмісту важких металів у ґрунті.

Мета: повторити сутність поняття масової концентрації, засвоїти принцип роботи з атомно-абсорбційним спектрофотометром. Навчитися визначати валовий вміст важких металів у ґрунтах.

Обладнання та реактиви:

зразки ґрунту, конічні термостійкі колби ємністю 200–250 мл, мірні колби ємністю 100 мл, мірні циліндри, хімічні стакани, скляні лійки, піпетки, піщана баня, терези, 1 М розчин нітратної кислоти, розчин нітратної кислоти з концентрацією 1:1, концентрований розчин пероксиду водню, дистильована вода, фільтрувальний папір «синя стрічка».

Теоретичні відомості

Атомно-абсорбційний аналіз – метод кількісного визначення елементного складу речовин в об'єктах навколишнього середовища, який ґрунтується на здатності атомів певних хімічних елементів вибірково поглинати електромагнітне випромінювання в різних ділянках спектра.

Атомно-абсорбційний спектрофотометр – прилад, призначений для атомно-абсорбційного аналізу елементного складу об'єктів. **Принцип роботи приладу.** Рідка витяжка зразка ґрунту подається в *атомізатор*, де, за допомогою високих температур, відбувається її розкладання та перехід в атомарно-йонну форму, тобто у плазму. Через одержану плазму пропускається світло від спеціального джерела, частина його поглинається, що фіксується фотоелектронним помножувачем. Прилад дає змогу виміряти коефіцієнт пропускання та оптичну густину плазми зразків на різних довжинах хвиль, а ці значення залежать від вмісту відповідних цим довжинам хвиль хімічних елементів.

Хід роботи

1. Приготування ґрунтової витяжки. На технічних терезах зважуємо 10 г попередньо подрібненого та пропущеного через сито 2 мм повітряно-сухого ґрунту, наважку вносимо у конічну термостійку колбу ємністю 200–250 мл, доливаємо 50 мл HNO_3 (1:1). Обертливим рухом перемішуємо вміст колби.
2. Колбу поміщуємо на піщану баню, доводимо до кипіння та кип'ятимо протягом 10 хв.
3. До зразка додаємо краплями 10 мл концентрованого пероксиду водню при перемішуванні, знову доводимо до кипіння і витримуємо ще 10 хв.
4. Досліджуваний зразок знімаємо з піщаної бані, охолоджуємо до кімнатної температури.
5. Отриману суспензію відфільтровуємо в мірну колбу ємністю 100 мл через складчастий фільтр «синя стрічка», який уміщуємо у колбу, де кип'ятився ґрунт.
6. У колбу з фільтром і залишками ґрунту доливаємо 40 мл 1 М нітратної кислоти, ставимо на піщану баню, доводимо до кипіння і кип'ятимо 30 хв.
7. Колбу з фільтром знімаємо з піщаної бані, охолоджуємо до кімнатної температури.

8. Охолоджену рідину з колби відфільтруємо у ту саму мірну колбу ємністю 100 мл через складчастий фільтр «синя стрічка». Осад на фільтрі промиваємо невеликими порціями гарячої 1 М нітратної кислоти.
9. Охолоджуємо вміст колби до кімнатної температури та доводимо об'єм розчину до мітки дистильованою водою.
10. Одержані проби переливаємо у заздалегідь пронумеровані пробірки, залишки проб виливаємо у зливи.
11. Уміст важких металів у витяжках у мг/л визначаємо за допомогою атомно-абсорбційного спектрофотометра.
12. Вираховуємо вміст важких металів у ґрунтах у мг/кг, враховуючи наважки ґрунту та об'єми розчинів і формулюємо висновки.



Контрольні запитання та завдання

1. У чому полягає принцип роботи атомно-абсорбційного спектрофотометра. Яка функція атомізатора?
2. Охарактеризуйте величини, які вимірює даний прилад.
3. Вкажіть, який процес передбачає використання азотної кислоти і пероксиду водню під час приготування ґрунтової витяжки.
4. Подумайте, до якої групи методів можна віднести атомно-абсорбційний аналіз.
5. Оцініть селективність даного методу.

4.9. Лабораторна робота № 2.9

Тема: Поляриметричне визначення масової частки крохмалю у борошні.

Мета: повторити поняття масової частки, закріпити навички роботи з поляриметром. Навчитися визначати масову частку крохмалю у різних видах борошна.

Обладнання та реактиви:

зразки борошна, мірні колби ємністю 100 мл, мірні циліндри, хімічні стакани, скляні лійки, піпетки, кристалізатор, водяна баня, аналітичні терези, поляриметр, кювета довжиною 2 дм, 1,124 %-й розчин соляної кислоти, 2,5 %-й розчин молібдату амонію, фільтрувальний папір.

Теоретичні відомості

Визначення крохмалю ґрунтується на здатності продукту його кислотного гідролізу обертати площину поляризації світла. Крохмаль переводять в розчинний стан нагріванням із хлоридною кислотою, розчин висвітлюють за допомогою молібдату амонію. При висвітленні розчину осаджуються інші оптично активні речовини (білки).

Хід роботи

1. Приготування зразка. На аналітичних терезах у хімічному стакані зважуємо $5 \pm 0,0001$ г борошна.
2. Зважену порцію борошна кількісно переносимо за допомогою лійки в мірну колбу ємністю 100 мл, додаємо 25 мл розчину соляної кислоти, якою промиваємо стінки лійки. Такою ж порцією розчину кислоти промиваємо стакан від частинок борошна і доливаємо в колбу.
3. Вміст колби поміщуємо у водяну баню за температури кипіння на 15 хвилин, перемішуючи розчин протягом перших трьох хвилин.
4. У колбу додаємо близько 40 мл холодної дистильованої води і охолоджуємо у кристалізаторі до $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.
5. Для висвітлення розчину та осадження білків у колбу додаємо 4–6 мл розчину молібдату амонію, доводимо до мітки дистильованою водою і перемішуємо.
6. Отриманий розчин фільтруємо через складчастий фільтр.
7. Прозорий фільтрат зразу ж поляриметрируємо. Виміри проводимо три рази, повторно заповнюючи поляриметричну кювету фільтратом. Вираховуємо середнє значення α ($^{\circ}\text{S}$) та заносимо одержані дані в таблицю:

Вид борошна	$\alpha_1, ^{\circ}\text{S}$	$\alpha_2, ^{\circ}\text{S}$	$\alpha_3, ^{\circ}\text{S}$	$\alpha_{\text{сеп}}, ^{\circ}\text{S}$	$\omega_{\text{к}}, \%$

8. Знаходимо масову частку крохмалю за формулою: $\omega\% = K \cdot \alpha$, де K – поправковий коефіцієнт Еверса, який залежить від питомого кута обертання крохмалю для різних зернових культур і встановлений для наважки масою 5,0000 г із використанням мірної колби ємністю 100,0 см³ та поляриметричної трубки довжиною 2 дм.

Вид крохмалю	$[\alpha]_D^{20}$	К
Кукурудзяний	184,6	1,849
Ячмінний	181,5	1,912
Вівсяний	181,3	1,914
Житній	184,0	1,885

9. Формулюємо та записуємо висновки.



Контрольні запитання та завдання

1. Охарактеризуйте принцип роботи поляриметра.
2. Яку фізичну величину i в яких одиницях вимірює поляриметр?
3. Обґрунтуйте, які розчини не можна проаналізувати поляриметрично.
4. Поясніть, з якою метою проводиться кислотний гідроліз крохмалю у даній методиці.
5. Розкрийте поняття масової частки та масової концентрації.
6. Вкажіть оптично активні речовини в муці, які заважають поляриметричному визначенню крохмалю.

Список рекомендованої літератури

1. Зінчук В.К., Левицька Г.Д., Дубецька Л.О. Фізико-хімічні методи аналізу. Львів : Видавн. центр ЛНУ імені І. Франка, 2008. 363 с. [Електронний ресурс]. Режим доступу : https://library.udpu.edu.ua/library_files/6363_10.pdf
2. Мураєва О. О. Конспект лекцій з дисципліни «Фізико-хімічні методи аналізу води». Харків : Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова, 2015. 64 с.
3. Руденко С.С. Загальна екологія. Практичний курс: навч. пос. у двох част. Чернівці: Книги – XXI, 2008. 342 с.
4. Основи техніки лабораторних робіт з хімії : навчальний посібник / О. Ф. Аксьонова, О. В. Гарбуз, О. Г. Маслій, М'ячиков; МОН України, ХДУХТ. Київ : Ліра-К, 2011. 157 с.
5. Екологічна хімія : підручник / Федішин Б. М. та ін. ; за ред. Федішина Б. М. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2014. 515 с.

Частина ІІІ

Короткий довідник

Розділ 5

Порядок роботи з приладами

5.1. Фотометр фотоелектричний КФК-3

Фотометр призначений для вимірювання:

- коефіцієнтів пропускання;
- оптичних густин;
- швидкості зміни оптичної густини;
- концентрації речовин у розчинах після попереднього градування.

Монохроматор фотометра КФК-3 містить як диспергуючий елемент дифракційну ґратку, на відміну від багатьох інших фотометрів, які мають набір світлофільтрів. Такого типу монохроматор розширює можливості фотометра, даючи змогу працювати з будь-якими довжинами хвиль у його номінальному спектральному діапазоні.

Основні технічні характеристики фотометра

Діапазон хвиль, нм	315–990
Спектральний інтервал нм, не більше	7
Діапазон показань:	
коефіцієнта пропускання, %	0,1–100
оптичної густини	1–3
одиниць концентрації	0,001–9999
Час встановлення робочого режиму, хв	30



Принцип дії фотометра такого типу (однопроменеві) базується на порівнянні потоків випромінювання, які проходять через розчин порівняння (контрольний розчин) та досліджуванний розчин. Потoki випромінювання перетворюються фотоприймачем на електричні сигнали, які обробляються вбудованою мікро-ЕОМ та виводяться на індикатор у вигляді коефіцієнтів пропускання, оптичної густини, швидкості зміни оптичної густини, концентрації.

Клавіатура фотометра складається з 20 клавіш, призначених для виконання таких режимів:

Клавіатура фотометра складається з 20 клавіш, призначених для виконання таких режимів:

«ПУСК»	Запуск мікропроцесорної системи (МПС) та за-нулення пам'яті МПС
«НУЛЬ»	Вимірювання та контроль «нульового» сигналу
«Г»	Градуювання, тобто вимірювання сигналу з фотоприймача, який відповідає повному вихідному сигналу
«П»	Вимірювання коефіцієнта пропускання
«Е»	Вимірювання оптичної густини
«С»	Вимірювання концентрації за фактором
«А»	Вимірювання швидкості зміни оптичної густини (активності)
«F»	Введення у пам'ять МПС коефіцієнта факторизації
«,», «0», «1», ... «9»	Введення цифрової інформації у пам'ять МПС

Підготовка приладу до роботи

1. Під'єднати фотометр до електричної мережі.
2. Відкрити кришку кюветного відділення.
3. Увімкнути тумблер «МЕРЕЖА».
4. Натиснути клавішу «ПУСК». На верхньому індикаторі відображається довжина хвилі, нм, на нижньому – символ «Г» і сигнал від фотоприймача.
5. Закрити кришку кюветного відділення, натиснути клавішу «П». На нижньому індикаторі повинні відобразитись показан-

- ння «100,0» ($\pm 2,0$). Якщо відхилення більше, тоді повторно натиснути клавіші «Г», «П».
6. Відкрити кришку кюветного відділення, витримати фотометр у ввімкненому стані 30 хв.
 7. Перевірити та зафіксувати «нульовий відлік», натиснувши клавішу «НУЛЬ». На нижньому індикаторі повинні відобразитися символ «0» зліва та значення нульового відліку справа, яке повинно бути у межах 0,005–0,2. У разі невідповідності значення вказаним межам, встановити чи змінити його можна за допомогою потенціометра «УСТ. 0», періодично натискаючи клавішу «НУЛЬ».
 8. Закрити кришку кюветного відділення, натиснути послідовно клавіші «Г», «П». На нижньому індикаторі мають відобразитися показання «100,0» ($\pm 2,0$). Якщо відхилення більше – повторно натиснути клавіші «Г», «П».
 9. Фотометр готовий до роботи.

Порядок роботи

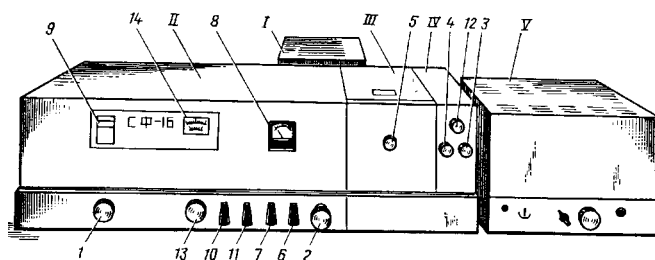
Вимірювання коефіцієнта пропускання або оптичної густини.

1. За допомогою ручки монохроматора виставити необхідну довжину хвилі.
2. Помістити кювету з контрольним розчином у дальнє гніздо кюветотримача, з досліджуваним розчином – у ближнє.
3. Ручку переміщення кювет встановити у крайнє лівє положєння, тобто ввести у світловий потік кювету з контрольним розчином.
4. Закрити кришку кюветного відділення, натиснути клавішу «Г».
5. Натиснути клавішу «П» для вимірювання коефіцієнта пропускання або клавішу «Е» – для вимірювання оптичної густини. Отримаємо значєння коефіцієнту пропускання «100,00» ($\pm 0,2$) або оптичної густини «0,000» ($\pm 0,002$) для контрольного розчину.
6. Ручку переміщення кювет перевести у крайнє правє положєння, тобто ввести у потік світла кювету з досліджуваним розчином. На нижньому індикаторі відобразиться значєння коефіцієнта пропускання або оптичної густини залежно від вибраного раніше режиму.
7. Якщо умови вимірювань (довжина хвилі, контрольний розчин, тип досліджуваного розчину) не змінюються, тоді мо-

жна змінювати лише досліджуваний розчин, не натискаючи жодних клавiш та не змінюючи положення кювет. Після кожного закриття кришки кюветного відділення на індикаторі відображаються нові показання для поточного розчину. Якщо умови вимірювань змінилися, тоді необхідно повторити пункти 3–6.

5.2. Спектрофотометр СФ-16

Спектрофотометр СФ-16 призначений для вимірювання коефіцієнтів пропускання та оптичних густин рідких і твердих речовин в області спектра від 186 до 1100 нм. До складу спектрофотометра входять: спектрофотометр СФ-16, стабілізатор, дейтерієва лампа ДДС-30, лампа розжарення ОП-33-0,3.



Підготовка до роботи

1. Встановити на стабілізаторі (V) ручку ввімкнення у положення «ВИМКНЕНО».
2. Повернути ручку «СТРУМ РОЗЖАРЕННЯ» у крайнє положення проти годинникової стрілки.
3. Встановити в робоче положення джерело випромінювання, яке відповідає спектральному діапазону вимірювань за допомогою тумблера на стабілізаторі (V) й перемикача дзеркального конденсора на освітлювачі (I). При цьому дейтерієва лампа призначена для роботи в області спектра від 186 до 350 нм, а лампа розжарювання – в області спектра від 340 до 1100 нм.
4. Ввести в робоче положення фотоелемент, який відповідає спектральному діапазону вимірювань, за допомогою перемикача (3) на камері з фотоприймачами. При цьому сурьмяно-цезієвий фотоелемент («Ф») призначений для вимірювань в

області спектра від 186 до 650 нм, а киснево-цезієвий («К») – від 600 до 1100 нм.

5. Закрити шторку фотоелемента, перевівши відповідний перемикач (4) на камері з фотоприймачами у положення «ЗАКРИТО».
6. Увімкнути стабілізатор (V) у мережу.

Увімкнення приладу з лампою розжарення (340–1100 нм)

7. Перевести на стабілізаторі (V) ручку увімкнення в положення «РОЗЖАРЕННЯ» та натиснути кнопку «ВИСОКА НАПРУГА».
8. Після прогрівання нитки розжарення лампи близько 2 хв, встановити ручку увімкнення у положення «ЛАМПА РОЗЖАРЕННЯ».
9. Стабільна робота спектрофотометра забезпечується через 1 годину після його увімкнення.

увімкнення приладу з дейтерієвою лампою (186–350 нм)

7. Перевести на стабілізаторі (V) ручку увімкнення в положення «РОЗЖАРЕННЯ».
8. Повернути ручку «СТРУМ РОЗЖАРЕННЯ» в крайнє положення за годинниковою стрілкою.
9. Прогріти дейтерієву лампу протягом 2 хв.
10. Натиснути кнопку «ВИСОКА НАПРУГА».
11. Зменшити струм розжарення, повернувши ручку «СТРУМ РОЗЖАРЕННЯ» на 90° проти годинникової стрілки.
12. Стабільна робота спектрофотометра забезпечується через 1 годину після його увімкнення.

Вимкнення приладу

Встановити на стабілізаторі (V) ручку увімкнення у положення «ВИМКНЕНО».

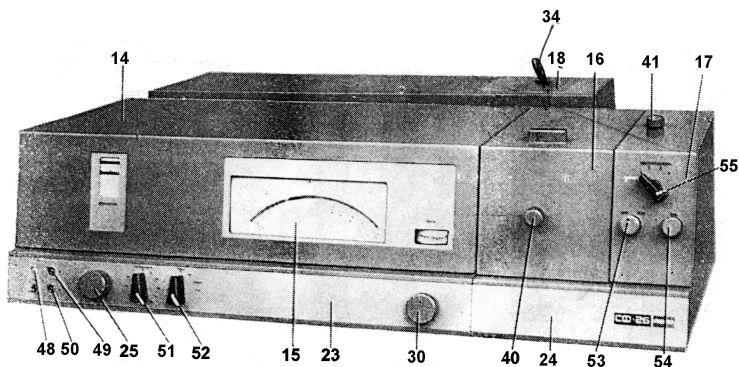
Порядок роботи

1. Встановити ручку «ЧУТЛИВІСТЬ» (7) в одне з чотирьох положень. Кожне положення відповідає роботі зі щілинами монохроматора різної ширини. Якщо змінити положення ручки з «1» на «4», тоді ширина щілини зменшиться приблизно втричі, при цьому зменшиться і точність відліку. Якщо необхідна

- висока точність відліку – чутливість зменшують. Якщо потрібна менша ширина щілини – чутливість збільшують.
2. Виставити потрібну довжину хвилі необхідно, повертаючи ручку (1) в бік збільшення довжини хвилі. Якщо при цьому шкала встановилася на більше значення, необхідно повернути її у бік зменшення довжини хвилі від потрібної на кілька нанометрів і повторно поступово підвести до потрібного значення.
 3. Встановити на шляху світлового потоку *контрольний розчин*, переміщуючи каретку (5).
 4. Встановити ручку увімкнення відлікового потенціометра (10) у положення «ВИМКНЕНО».
 5. Компенсувати темновий струм за допомогою відповідних ручки (11) та потенціометра (12), встановивши стрілку міліамперметра (8) на центральну поділку шкали.
 6. Відкрити шторку фотоелемента, перевівши перемикач шторки (4) у положення «ВІДКРИТО».
 7. Встановити стрілку міліамперметра (8) на центральну поділку шкали за допомогою регулювання ширини щілини (2).
 8. Встановити на шляху світлового потоку досліджуваний розчин, переміщуючи каретку (5).
 9. Виставити ручку увімкнення відлікового потенціометра (10) у положення «0-100».
 10. Повертаючи ручку відлікового потенціометра (13), виставити стрілку міліамперметра (8) на центральну поділку шкали.
 11. Зняти показання (14) за шкалою пропускання (T) або за шкалою оптичної густини (D).
 12. Встановити на шляху світлового потоку контрольний розчин, переміщуючи каретку (5). Виставити ручку увімкнення відлікового потенціометра (10) у положення «ВИМКНЕНО». Якщо стрілка міліамперметра (8) помітно відхилилася від центральної поділки – необхідно повторити вимірювання.
 13. Закрити шторку фотоелемента (4).
 14. Виміри бажано проводити 3–5 разів, знаходячи середнє значення, яке приймається за істинне.
 15. При вимірюванні кількох зразків необхідно повторити попередні пункти, починаючи з 8, для кожного зразка.
 16. Для вимірювання на іншій довжині хвилі необхідно повторити попередні пункти, починаючи з 2.

5.3. Спектрофотометр СФ-26

Спектрофотометр СФ-26 має характеристики, ідентичні до спектрофотометра СФ-16. До стандартної комплектації входять: спектрофотометр СФ-26, дейтерієва лампа ДДС-30, лампа розжарення ОП-33-0,3.



Підготовка до роботи

1. Встановити в робоче положення джерело випромінювання, яке відповідає спектральному діапазону вимірювань, за допомогою перемикача дзеркального конденсора (34) на освітлювачі. При цьому дейтерієва лампа призначена для роботи в області спектра від 186 до 350 нм, а лампа розжарювання — від 340 до 1100 нм.
2. Ввести в робоче положення фотоелемент, який відповідає спектральному діапазону вимірювань за допомогою перемикача (41) на камері з фотоприймачами. При цьому сур'яно-цезієвий фотоелемент («Ф») призначений для вимірювань в області спектра від 186 до 650 нм, а киснево-цезієвий («К») — від 600 до 1100 нм.
3. Закрити шторку фотоелемента, перевівши відповідний перемикач (53) на камері з фотоприймачами у положення «ЗАКРИТО».
4. Увімкнути стабілізатор в мережу.

Увімкнення приладу

1. Увімкнути тумблер «МЕРЕЖА» (48), після чого повинні завітиситися сигнальна лампа «Д» (49) або сигнальна лампа «Н» (50) відповідно до вибраного джерела.
2. Стабільна робота спектрофотометра забезпечується через 1 годину після його увімкнення.

Порядок роботи

1. Виставити потрібну довжину хвилі необхідно, повертаючи ручку (1) в бік збільшення довжини хвилі. Якщо при цьому на шкалі спостерігається вище значення, потрібно перевести її на значення, менше від необхідної довжини хвилі на кілька нанометрів і повторно встановити потрібне значення.
2. Ввести в світловий потік контрольний розчин, переміщуючи каретку (40).
3. Встановити стрілку вимірювального приладу на нуль за допомогою ручки «НУЛЬ» (54).
4. Відкрити шторку фотоелемента, перевівши перемикач шторки (53) у положення «ВІДКРИТО».
5. Розмістити стрілку вимірювального приладу (15) на поділці «100 %» за допомогою регулювання ширини щілини (30).
6. Ввести в світловий потік досліджуваний розчин, переміщуючи каретку (40).
7. Зняти показання (15) за шкалою пропускання (Т) або за шкалою оптичної густини (D).
8. Ввести в світловий потік контрольний розчин, переміщуючи каретку (40). Стрілка вимірювального приладу (15) повинна повернутися до поділки «100 %». В іншому разі потрібно повторити вимірювання.
9. Закрити шторку фотоелемента (53).
10. Виміри бажано проводити 3–5 разів, знаходячи середнє значення, яке приймається за істинне.
11. При вимірюванні кількох зразків необхідно повторити попередні пункти, починаючи з 6, для кожного зразка.
12. Для вимірювання на іншій довжині хвилі всі попередні пункти необхідно повторити.

5.4. Атомно-абсорбційний спектрофотометр

Атомно-абсорбційний спектрофотометр – складний фізичний прилад, який використовується для визначення концентрацій різних хімічних елементів у зразках.

Принцип роботи атомно-абсорбційного спектрофотометра оснований на властивостях атомів або йонів поглинати світло певних довжин хвиль.



Прилад складається з таких блоків:

1. **Джерело світла.** Зазвичай використовується спеціальна лампа з порожнистим катодом, виготовленим із того хімічного елемента, який визначається. Прилад комплектується набором ламп для визначення певної кількості хімічних елементів. Трапляються лампи, які містять кілька різних катодів.
2. **Атомізатор** – блок, який, використовуючи високу температуру, спричинену горінням ацетиленово-повітряної суміші, перетворює аналізований розчин на плазму, розкладаючи хімічні речовини на йони та атоми.
3. **Монохроматор.** Відокремлює потрібну довжину хвилі для подальшого вимірювання її інтенсивності.
4. **Фотоелектронний помножувач.** Перетворює інтенсивність отриманого монохромного світла на електричний сигнал.
5. **Реєструвальний пристрій** – електронна схема, яка конвертує сигнал фотоелектронного помножувача в оптичну густину, коефіцієнт пропускання або концентрацію досліджуваного елемента. Може бути під'єднаний до комп'ютера.

Принцип роботи спектрофотометра

1. Досліджуваний розчин за допомогою капіляра вноситься в полум'я атомізатора, де перетворюється на плазму.
2. Світло від лампи з порожнистим катодом проходить через плазму атомізатора, де частково поглинається йонами чи атомами досліджуваного хімічного елемента.
3. Світловий потік після проходження через плазму атомізатора надходить до монохроматора. Останній відокремлює необхідну довжину хвилі, яка називається *характеристичною* для даного хімічного елемента.
4. З монохроматора світло потрапляє на фотоелектронний помножувач, який фіксує його інтенсивність у вигляді електричного сигналу.
5. Реєструвальний пристрій конвертує сигнал фотоелектронного помножувача в потрібну величину залежно від уведених параметрів та режиму роботи.

5.5. Круговий поляриметр WXG-4

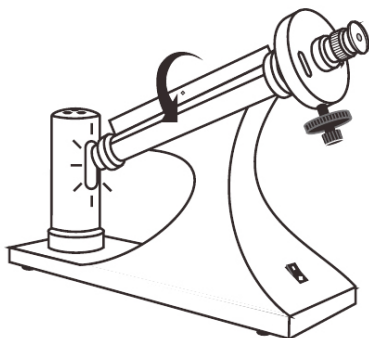
Круговий поляриметр WXG-4 призначений для визначення концентрацій оптично активних речовин у медичній, харчовій, фармацевтичній, косметичній промисловості, хімічних, екологічних та навчальних лабораторіях тощо.

Основні технічні характеристики

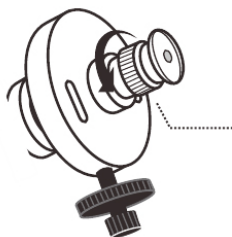
Межі вимірювань	-180°...+180°
Ціна поділки основної шкали	1°
Ціна поділки ноніуса	0,05°
Збільшення	3х
Джерело світла	натрієва лампа
Довжина хвилі	589,44 нм
Круглі кювети	100 або 200 мм
Час розігріву	10 хв

Підготовка приладу до роботи

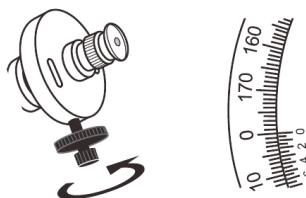
1. Підключити прилад до електромережі.
2. Закрити кришку поляриметра, увімкнути прилад – натрієва лампа має засвітитися.



3. Витримати прилад 10 хвилин для повного прогрівання лампи до максимальної світловіддачі.
4. За допомогою ручки фокусування налаштувати окуляр до максимального чіткого поля спостережень.



5. Повернути ручку верньєра до встановлення на шкалі нульової позиції.



Знаходження початкової точки

1. Покласти порожню поляриметричну кювету у кюветне відділення.
2. Повертати ручку верньєра доки яскравості обох полів не зрівняються.

- Зняти покази з верньєрної шкали.

Заповнення поляриметричної кювети досліджуваним розчином

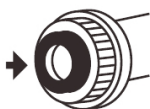
- Вийняти кювету з кюветного відділення, відкрутити гайку, зняти ущільнювальне кільце та скляний диск.



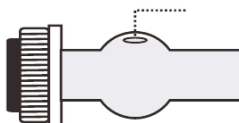
- Промити кювету дистильованою водою.
- Залити досліджуваний розчин у кювету, закрити її скляним диском, ущільнювальним кільцем та закрутити гайку.



- Промокнути фільтрувальним папером краплі розчину з деталей кювети та скляного диска.

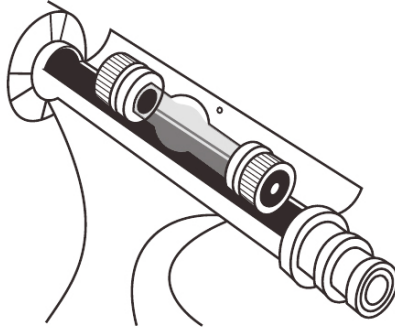


- Якщо необхідно, зібрати бульбашки повітря у спеціальне розширення кювети, злегка постукуючи по ній пальцем.

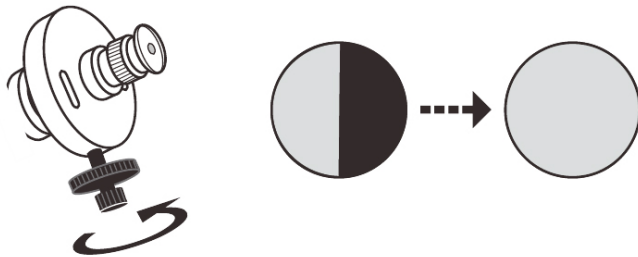


Проведення вимірювань

- Відкрити кришку поляриметра, помістити кювету у кюветне відділення. При цьому спеціальне розширення для бульбашок повинно знаходитися зверху.



2. Закрити кришку кюветного відділення. Повертати ручку верньєра за або проти годинникової стрілки допоки яскравості обох полів не зрівняються.



3. Зняти значення з основної шкали та ноніуса.
4. Повторити вимірювання кілька разів, заповнюючи поляриметричну кювету новими порціями досліджуваного розчину та розрахувати середнє значення отриманих показань.

5.6. Кондуктометр SX-713



Портативний кондуктометр моделі SX713 використовується для визначення електропровідності та температури води й водних розчинів, а також їх TDS або електричного опору. Прилад призначений для проведення експрес-аналізів у лабораторіях і польових умовах під час екологічних до-

сліджень. Комплектується зручним кейсом для транспортування, пластиковим датчиком із кабелем, елементами живлення та розчином для калібрування електродів. Кондуктометр не потребує додаткового живлення і має малі габарити, що сприяє легкості його транспортування та експлуатації в польових лабораторіях, які не під'єднані до електричної мережі або не оснащені резервними генераторами.

Вбудований мікропроцесор кондуктометра виконує функції:

- автоматичного калібрування;
- автоматичної температурної компенсації з нелінійною функцією для аналізу води високого очищення;
- занесення у пам'ять приладу до 200 груп вимірювань;
- швидкого налаштування;
- автоматичного вимкнення;
- самодіагностики.

Кондуктометр зберігає до 8 калібрувальних коефіцієнтів для різних типів розчинів. Датчик забезпечує точність на всьому діапазоні вимірювань. Прилад передбачає перемикання роздільної здатності діапазонів вимірювання.

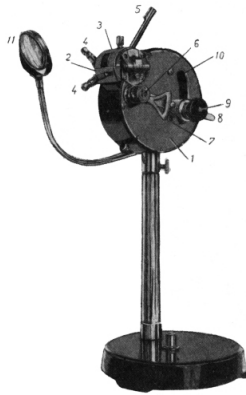
Даний портативний кондуктометр складається з мікропроцесорного вимірювального блоку й виносного кондуктометричного датчика, який містить електродну комірку та сенсор температури.

Порядок роботи з приладом

1. Відкрутити кришку роз'єму вимірювального блоку та приєднати кондуктометричний датчик.
2. Промити кондуктометричний датчик дистильованою водою.
3. Занурити датчик у досліджувану воду або розчин.
4. Увімкнути прилад за допомогою кнопки «ON».
5. Вибрати необхідний режим вимірювання кнопкою «Mode». При цьому прилад автоматично визначить і встановить діапазон вимірювань.
6. Зняти показання з індикатора вимірювального блоку.
7. Вимірювання повторити кілька разів та розрахувати середнє значення.

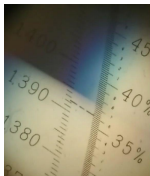
Після вимірювань необхідно ретельно промити кондуктометричний датчик дистильованою водою та занурити у спеціальну герметичну ємність (яка входить у комплект приладу), в якій знаходиться дистильована вода. Електроди потрібно зберігати в дистильованій воді для запобігання виходу їх із ладу.

5.7. Рефрактометр РЛ



Рефрактометр РЛ – модифікація рефрактометра Аббе, призначений для вимірювання показників заломлення (коефіцієнтів рефракції) від 1,30 до 1,54. Будова рефрактометра зображена на рисунку: 1 – корпус; 2 – камера вимірювальної призми; 3 – камера освітлювальної призми; 4 – штупери для під'єднання трубок до термостату; 5 – термометр; 6, 7 – головка та шкала оптичного компенсатора; 8 – ручка візирного пристрою; 9 – окуляр; 10 – шкала показників заломлення; 11 – дзеркало.

Об'єктив візирного пристрою та сам пристрій розміщуються всередині корпусу, а окуляр – зовні. За допомогою ручки (8) окуляр разом із об'єктивом та оптичним компенсатором можуть переміщуватися вздовж продовгуватого прорізу в передній стінці корпусу. У прорізі закріплена скляна шкала показників заломлення n_D . Ціна поділки цієї шкали – 0,001.



Правіше від шкали n_D розташована додаткова шкала для визначення частки сухих речовин із поділками від 0 до 95 % та ціною найменшої поділки 0,2 % до 50 % і 0,1 % вище 50 %. Показання цієї шкали відповідають вмісту сахарози у водних розчинах і використовуються під час досліджень в лабораторіях харчової промисловості.

У полі зору окуляра видно одночасно граничну лінію, поділки шкал і три візирні штрихи. За допомогою ручки (8) візирні штрихи виставляють на рівень із граничною лінією, попередньо ахроматизованою повертанням головки оптичного компенсатора (6). Після цього знімають показання.

Порядок роботи з приладом

1. Встановити прилад на робочому місці.
2. Налаштувати дзеркало (11) так, щоб відбите світло потрапляло у вікно освітлювальної призми (3).
3. Підняти освітлювальну призму і нанести кілька крапель досліджуваної рідини на вимірювальну призму (2).

4. Опустити освітлювальну призму та притиснути її.
5. За допомогою ручки (8) знайти граничну лінію. Якщо вона розмита (не ахроматизована), тоді за допомогою головки (6) ахроматизувати її до найчіткішого вигляду.
6. За допомогою ручки (8) точно розмістити три візирні штрихи на граничній лінії.
7. Зняти показання коефіцієнта рефракції зі шкали n_D або частки сухих речовин зі шкали «відсоток сухих речовин».

Виміри рекомендується проводити кілька разів, зміщуючи ручку (8) та вираховувати середнє значення з отриманих даних.

5.8. Бутирометр

Бутирометр призначений для визначення жирності молока. Основний принцип роботи бутирометра ґрунтується на відокремленні жирів від інших компонентів молока з подальшим вимірюванням їх об'єму. Прилад виготовлений з товстого термостійкого скла.



Бутирометр складається з таких частин:

- трубка-колонка – ємність, у якій розміщений аналізований зразок молока з доданими реагентами;
- горловина, котра закривається гумовим корком;
- шийка – пласка тонка трубка з поділками, градуйована у відсотках жирності молока;
- головка – верхнє розширення шийки невеликого об'єму для збирання газів під час аналізу.

Порядок роботи з бутирометром:

1. У бутирометр вносять порцію молока та додають необхідні реагенти, після чого прилад герметично закривають гумовим корком.
2. Бутирометр нагрівають на водяній бані.
3. Прилад центрифугують для розділення рідких фаз.
4. Бутирометр нагрівають на водяній бані до розділення фаз.
5. Рухаючи гумовий корок, розміщують стовпчик рідкої фази жирів у шийці приладу в межах шкали.
6. Відсоток жирності молока зчитують зі шкали бутирометра.

При роботі з бутирометром варто пам'ятати правила безпечного поводження зі скляним посудом, нагрівальними й електричними приладами і сильними кислотами.

Розділ 6

Поради та рецепти

1. *Приготування хромової суміші для миття лабораторного посуду.* Дана хромова суміш – 5%-й за масою розчин біхромату калію в концентрованій сульфатній кислоті. Для його приготування потрібно розтерти у фарфоровій ступці близько 10 г біхромату до порошкоподібного стану та відважити 9,2 г у термостійкий посуд, додати 100 мл концентрованої сульфатної кислоти. Суміш нагріти на водяній бані, помішуючи скляною паличкою, до повного розчинення біхромату. Після охолодження зберігати у скляному посуді з притертим корком.
2. *Використання хромової суміші.* Лабораторний посуд споліскувати невеликою кількістю хромової суміші. За потреби її можна нагріти. Після використання хромову суміш потрібно зливати у посуд для зберігання. Використовувати її можна багато разів доти, допоки вона набуде зеленого кольору, після чого таку суміш потрібно утилізувати.
3. *Приготування 0,1 н розчину гідроксиду натрію.* Наважку сухого гідроксиду натрію масою 4,0 г внести у мірну колбу на 1 л, розчинити у невеликій кількості дистилату і довести об'єм розчину до мітки.
4. *Приготування 1 н розчину гідроксиду натрію.* Наважку сухого гідроксиду натрію масою 40 г внести у мірну колбу на 1 л, долити дистилат до половини об'єму колби і перемішати до повного розчинення, довести об'єм розчину до мітки. Розчин може нагріватися, тому першу велику порцію води необхідно

- додати достатньо швидко.
5. *Приготування 0,1 н розчину соляної кислоти.* Цей розчин найзручніше готувати із фіксаналів або стандарт-титрів. За методикою, розбити ампулу фіксаналу з 0,1 моль-еквівалентом HCl у мірну літрову колбу, кількісно перенести його вміст у колбу і довести об'єм розчину дистиллятом до мітки.
 6. *Приготування 0,2 н розчину соляної кислоти.* Розчин приготувати аналогічно з фіксаналу (0,1 моль-еквівалент HCl), але використати або колбу на 500 мл або літрову колбу і 2 фіксанали.
 7. *Приготування 0,02 н розчину тіосульфату натрію.* Розчин тіосульфату натрію нестабільний, тобто змінює свою концентрацію внаслідок дії мікроорганізмів і реагуючи з CO_2 , тому для його приготування беруть свіжий чи свіжопрокип'ячений охолоджений дистиллят; за наявності Na_2CO_3 реактив стабільніший. Тіосульфат натрію перебуває переважно у вигляді кристалогідрату $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ з молекулярною масою 248,17 г/моль. Тому, наважку масою 2,48 г пентагідрату тіосульфату натрію треба внести у літрову колбу, розчинити у невеликій кількості дистильованої води, додати 0,2 г Na_2CO_3 , перемішати до повного розчинення і довести об'єм розчину до мітки. Розчин залишити в темному місці у герметично закритому посуді на 2–3 дні, після чого його концентрація стабілізується.
 8. *Приготування 0,5 %-го розчину крохмалю.* Наважку гідролізованого крохмалю 0,5 г розтерти з невеликою кількістю води. Отриману суміш влити у 100 мл киплячої води і кип'ятити протягом 2–3 хв. Після охолодження прозорий розчин перенести у посуд з притертим корком. Розчин швидко псується, тому його необхідно готувати безпосередньо перед використанням.
 9. *Приготування 0,1 %-го розчину фенолфталеїну.* Фенолфталеїн добре розчиняється в етанолі, але майже нерозчинний у воді. Можна готувати розчин у чистому етанолі, але для економії спирту використовується така методика: 0,1 г фенолфталеїну внести у мірну колбу на 100 мл, додати 80 мл етанолу, перемішати до повного розчинення і довести до мітки дистиллятом.
 10. *Приготування розчину метилоранжу.* Наважку 0,1 г метилоранжу розчинити у 80 мл гарячої дистильованої води, після охолодження розчин довести до 100 мл дистиллятом.

11. *Приготування розчину фенілантранілової кислоти.* У мірну колбу ємністю 100 мл внести 0,2 г фенілантранілової кислоти та 0,2 г карбонату натрію, долити 10–15 мл теплої дистильованої води і перемішати до повного розчинення. Після охолодження довести об'єм розчину до мітки.
12. *Приготування кислого розчину нінгідрину.* Під витяжною шафою змішати 1,25 г чистого нінгідрину та 30 мл льодяної оцтової кислоти. У витяжній шафі нагрівати суміш на водяній бані до повного розчинення нінгідрину. Розчин охолодити та додати 20 мл 6 М ортофосфорної кислоти. Зберігати в холодильнику. Реактив придатний 24 години.
13. *Приготування 6 М ортофосфорної кислоти.* У мірну колбу ємністю 100 мл додати 41,2 мл 85 %-ої (14,6 М) ортофосфорної кислоти та 24 мл дистильованої води. Ретельно перемішати і довести до позначки дистиллятом.
14. *Приготування 3 %-го розчину сульфосаліцилової кислоти.* Змішати 3 г сульфосаліцилової кислоти та 97 мл дистильованої води. Ретельно перемішати до повного розчинення.
15. *Приготування 0,6 %-го розчину сульфанілової кислоти.* Змішати у термостійкому мірному посуді 1,2 г сульфанілової кислоти з невеликою кількістю (до 100 мл) гарячої дистильованої води, ретельно перемішати. До отриманого розчину додати 50 мл льодяної оцтової кислоти, перемішати до повного розчинення, охолодити і довести об'єм розчину дистиллятом до 200 мл.
16. *Приготування 0,6 %-го розчину α -нафтиламіну.* У мірній колбі ємністю 200 мл змішати 1,2 г α -нафтиламіну з невеликою кількістю (до 100 мл) дистильованої води, додати 50 мл льодяної оцтової кислоти та ретельно перемішати до повного розчинення. Об'єм розчину довести дистиллятом до позначки.
17. *Свіжні плями йоду* на халаті можна легко вивести розчином тіосульфату натрію.
18. *Наліт на лабораторному посуді від перманганату калію* можна легко відмити розчинами соляної або сірчаної кислот. Аналогічно можна вивести плями від перманганату з одягу.
19. *Жовті плями від солі Мора* та солей заліза на одязі можна вивести замочуванням у міцних розчинах соляної, оцтової або лимонної кислот.
20. *При розрахунках молярної концентрації* для приготування розчинів треба враховувати кристалізаційну воду, якщо спо-

лука утворює кристалогідрати.

21. *При тривалому зберіганні дистильованої води у прозорому посуді на яскравому світлі можуть розмножуватися ціанобактерії.* Внаслідок цього дистилат втрачає якість та набуває зеленуватого відтінку, особливо близько до дна посуду. Для запобігання цьому процесу дистилат варто зберігати у темному місці та закритому посуді, уникаючи потрапляння прямих сонячних променів.
22. *При зберіганні дистильованої води у відкритому посуді, вона поглинає вуглекислий газ та деякі інші гази з повітря, що спричинює збільшення її кислотності.* Для запобігання поглинанню газів, посуд із дистилатом потрібно закривати зразу після використання. Частково видалити надлишок CO_2 можна, прокип'ятивши дистилат протягом кількох хвилин.
23. *Перевіряти якість дистильованої води зручно за допомогою кондуктометра.* При цьому чим вища якість дистилату, тим менша його електропровідність. Поліпшити якість старого дистилату можна за допомогою кип'ятіння.
24. *При тривалому зберіганні реактиву Несслера може з'являтися осад.* Щоб осад не заважав, реактив потрібно періодично фільтрувати або акуратно декантувати (зливати), а осад вилити у зливи. Також необхідно періодично переробляти калібрувальні графіки для кожної банки реактиву Несслера 1–2 рази на місяць, якщо він використовується для кількісного колориметричного аналізу.

Розділ 7

Таблиці та константи

7.1. Періодична система

Періодична система елементів Д.І. Менделєєва

1 1 1,00784	2 2 4,0026	3 3 6,941	4 4 9,0122	5 5 10,811	6 6 12,011	7 7 14,007	8 8 15,999	9 9 18,998	10 10 20,180	11 11 22,989	12 12 24,305	13 13 26,982	14 14 28,086	15 15 30,974	16 16 32,06	17 17 35,453	18 18 39,948
1 1 H	2 2 He	3 3 Li	4 4 Be	5 5 B	6 6 C	7 7 N	8 8 O	9 9 F	10 10 Ne	11 11 Na	12 12 Mg	13 13 Al	14 14 Si	15 15 P	16 16 S	17 17 Cl	18 18 Ar
19 19 39,098	20 20 40,078	21 21 44,956	22 22 47,867	23 23 50,942	24 24 51,996	25 25 54,938	26 26 55,845	27 27 58,933	28 28 58,693	29 29 63,546	30 30 65,38	31 31 68,723	32 32 72,64	33 33 74,922	34 34 78,96	35 35 79,904	36 36 83,798
37 37 85,468	38 38 87,62	39 39 88,906	40 40 91,224	41 41 92,906	42 42 95,96	43 43 95,96	44 44 101,04	45 45 102,91	46 46 106,42	47 47 107,87	48 48 112,41	49 49 114,82	50 50 118,71	51 51 121,76	52 52 127,6	53 53 126,90	54 54 131,29
55 55 132,91	56 56 137,33	57-71 71 168,93	72 72 167,46	73 73 168,93	74 74 163,04	75 75 168,21	76 76 169,23	77 77 192,22	78 78 195,08	79 79 196,97	80 80 200,59	81 81 204,38	82 82 207,2	83 83 208,98	84 84 208,98	85 85 210,98	86 86 222
87 87 223,04	88 88 226,04	89-103 103 287,1	104 104 261,1	105 105 289,1	106 106 271,1	107 107 271,1	108 108 271,1	109 109 271,1	110 110 271,1	111 111 271,1	112 112 271,1	113 113 271,1	114 114 271,1	115 115 271,1	116 116 271,1	117 117 271,1	118 118 271,1
Fr	Ra	Ac-Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Uut	Fll	Uup	Lv	Uus	Uuo
Франції	Радій	Актиніди	Резерфорд	Дубній	Сибірній	Борній	Гасій	Мейтнерій	Дашагасій	Рентгеній	Коперніцій	Унугеній	Флеровій	Уунгеленій	Тверморій	Унунсептій	Унуноктій

57 57 138,91	58 58 140,12	59 59 140,91	60 60 144,24	61 61 144,91	62 62 150,36	63 63 151,96	64 64 157,25	65 65 162,50	66 66 167,26	67 67 168,93	68 68 173,05	69 69 174,97		
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Lu	
Лантан	Церій	Празеодим	Неодим	Прометій	Самарій	Європій	Гадоліній	Тербій	Диспрозій	Гольмій	Ербій	Тулій	Йттербий	
89 89 223,04	90 90 223,04	91 91 227,03	92 92 227,03	93 93 227,03	94 94 238,03	95 95 238,03	96 96 238,03	97 97 238,03	98 98 238,03	99 99 238,03	100 100 238,03	101 101 238,03	102 102 238,03	
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr
Актиній	Торій	Протактиній	Уран	Нептуній	Плутоній	Америцій	Курій	Берклій	Каліфорній	Ейнштейнівій	Фермій	Менделєєв	Нобелій	Лоренсцій

Відносна атомна маса
Група за IUPAC Група традиційна

Порядковий номер
10,811

Символ
B

Назва елементу
Бор

Метали

Неметали

Лужні метали

Лужкоземельні метали

Перехідні метали

Лантаноїди

Актиноїди

Галогени

Халькогени

Непродовжені газ

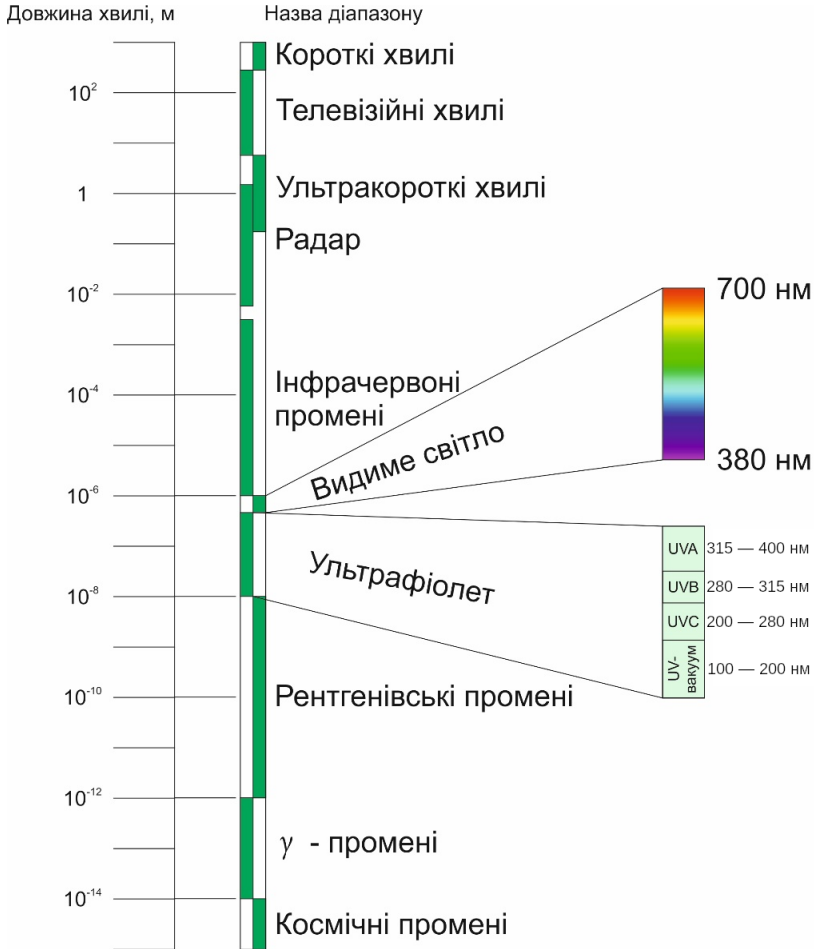
Нормальні умови (25 °C, 101 кПа)
Ne - газ
Fe - твердий
Hg - рідина
Ts - синтезований

7.2. Психрометрична таблиця

Психрометрична таблиця для аспіраційного психрометра Асмана

Показання сухого термометра, °С	Показання вологого термометра, °С																									
	2.03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	
8.0	29	40	51	63	75	87	100																			
9.0	21	31	42	53	64	76	88	100																		
10.0	14	24	34	44	54	65	76	88	100																	
11.0	17	26	36	46	56	66	77	88	100																	
12.0	20	29	38	48	57	67	78	88	100																	
13.0	14	23	31	40	49	59	69	79	89	100																
14.0	17	25	33	42	51	60	70	79	90	100																
15.0		20	27	36	44	52	61	71	80	90	100															
16.0		15	22	30	37	46	54	63	71	81	90	100														
17.0		17	24	32	39	47	55	64	72	81	90	100														
18.0		13	20	27	34	41	49	56	65	73	82	91	100													
19.0		15	22	29	36	43	50	58	66	74	82	91	100													
20.0		18	24	30	37	44	52	59	66	74	83	91	100													
21.0		14	20	26	32	39	46	53	60	67	75	83	91	100												
22.0		16	22	28	34	40	47	54	61	68	76	84	92	100												
23.0		13	18	24	30	36	42	48	55	62	69	76	84	92	100											
24.0		15	20	26	31	37	43	49	56	63	70	77	84	92	100											
25.0		17	22	27	33	38	44	50	57	63	70	77	84	92	100											
26.0		14	19	24	29	34	40	46	52	58	64	71	77	85	92	100										
27.0							16	21	25	30	36	41	47	52	58	65	71	78	85	92	100					

7.3. Шкала електромагнітних хвиль



7.4. Таблиця Вріх

Таблиця переведення коефіцієнта заломлення n_D у значення Вріх-% для чистих розчинів сахарози при 20°C і 589 нм.

	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0	1.332986	1.333129	1.333272	1.333415	1.333558	1.333702	1.333845	1.333989	1.334132	1.334276
1	1.334420	1.334564	1.334708	1.334852	1.334996	1.335141	1.335285	1.335430	1.335574	1.335719
2	1.335864	1.336009	1.336154	1.336300	1.336445	1.336590	1.336736	1.336882	1.337028	1.337174
3	1.337320	1.337466	1.337612	1.337758	1.337905	1.338051	1.338198	1.338345	1.338492	1.338639
4	1.338786	1.338933	1.339081	1.339228	1.339376	1.339524	1.339671	1.339819	1.339967	1.340116
5	1.340264	1.340412	1.340561	1.340709	1.340858	1.341007	1.341156	1.341305	1.341454	1.341604
6	1.341753	1.341903	1.342052	1.342202	1.342352	1.342502	1.342652	1.342802	1.342952	1.343103
7	1.343253	1.343404	1.343555	1.343706	1.343857	1.344008	1.344159	1.344311	1.344462	1.344614
8	1.344765	1.344917	1.345069	1.345221	1.345373	1.345526	1.345678	1.345831	1.345983	1.346136
9	1.346289	1.346442	1.346595	1.346748	1.346902	1.347055	1.347209	1.347362	1.347516	1.347670
10	1.347824	1.347978	1.348133	1.348287	1.348442	1.348596	1.348751	1.348906	1.349061	1.349216
11	1.349371	1.349527	1.349682	1.349838	1.349993	1.350149	1.350305	1.350461	1.350617	1.350774
12	1.350930	1.351087	1.351243	1.351400	1.351557	1.351714	1.351871	1.352029	1.352186	1.352343
13	1.352501	1.352659	1.352817	1.352975	1.353133	1.3291	1.353449	1.353608	1.353767	1.353925
14	1.354084	1.354243	1.354402	1.354561	1.354721	1.354880	1.355040	1.355199	1.355359	1.355519
15	1.355679	1.355840	1.356001	1.356160	1.356321	1.356482	1.356642	1.356803	1.356964	1.357126
16	1.357287	1.357448	1.357610	1.357772	1.357933	1.358095	1.358257	1.358420	1.358582	1.358744
17	1.358907	1.359070	1.359232	1.359395	1.359558	1.359722	1.359885	1.360048	1.360212	1.360376
18	1.360539	1.360703	1.360867	1.361032	1.361196	1.361360	1.361525	1.361690	1.361854	1.362019
19	1.362185	1.362350	1.362515	1.362681	1.362846	1.363012	1.363178	1.363344	1.363510	1.363676
20	1.363842	1.364009	1.364176	1.364342	1.364509	1.364676	1.364843	1.365011	1.365178	1.365346
21	1.365513	1.365681	1.365849	1.366017	1.366185	1.366354	1.366522	1.366691	1.366859	1.367028
22	1.367197	1.367366	1.367535	1.367705	1.367874	1.368044	1.368214	1.368384	1.368554	1.368724
23	1.368894	1.369064	1.369235	1.369406	1.369576	1.369747	1.369918	1.370090	1.370261	1.370432
24	1.370604	1.370776	1.370948	1.371120	1.371292	1.371464	1.371637	1.371809	1.371982	1.372155
25	1.372328	1.372501	1.372674	1.372847	1.373021	1.373194	1.373368	1.373542	1.373716	1.373890
26	1.374065	1.374239	1.374414	1.374588	1.374763	1.374938	1.375113	1.375288	1.375464	1.375639
27	1.375815	1.375991	1.376167	1.376343	1.376519	1.376695	1.376872	1.377049	1.377225	1.377402
28	1.377579	1.377756	1.377934	1.378111	1.378289	1.378467	1.378644	1.378822	1.379001	1.379179
29	1.379357	1.379536	1.379715	1.379893	1.380072	1.380251	1.380431	1.380610	1.380790	1.380969
30	1.381149	1.381329	1.381509	1.381689	1.381870	1.382050	1.382231	1.382412	1.382593	1.382774
31	1.382955	1.383137	1.383318	1.383500	1.383682	1.383863	1.384046	1.384228	1.384410	1.384593
32	1.384775	1.384958	1.385141	1.385324	1.385507	1.385691	1.385874	1.386058	1.386242	1.386426
33	1.386610	1.386794	1.386978	1.387163	1.387348	1.387532	1.387717	1.387902	1.388088	1.388273
34	1.388459	1.388644	1.388830	1.389016	1.389202	1.389388	1.389575	1.389761	1.389948	1.390135
35	1.390322	1.390509	1.390696	1.390884	1.391071	1.391259	1.391447	1.391635	1.391823	1.392011
36	1.392200	1.392388	1.392577	1.392766	1.392955	1.393144	1.393334	1.393523	1.393713	1.393903
37	1.394092	1.394283	1.394473	1.394663	1.394854	1.395044	1.395235	1.395426	1.395617	1.395809
38	1.396000	1.396192	1.396383	1.396575	1.396767	1.396959	1.397152	1.397344	1.397537	1.397730
39	1.397922	1.398115	1.398309	1.398502	1.398696	1.398889	1.399083	1.399277	1.399471	1.399666
40	1.399860	1.400055	1.400249	1.400444	1.400639	1.400834	1.401030	1.401225	1.401421	1.401617
41	1.401813	1.402009	1.402205	1.402401	1.402598	1.402795	1.402992	1.403189	1.403386	1.403583
42	1.403781	1.403978	1.404176	1.404374	1.404572	1.404770	1.404969	1.405167	1.405366	1.405565
43	1.405764	1.405963	1.406163	1.406362	1.406562	1.406762	1.406961	1.407162	1.407362	1.407562
44	1.407763	1.407964	1.408165	1.408366	1.408567	1.408768	1.408970	1.409171	1.409373	1.409575
45	1.409777	1.409980	1.410182	1.410385	1.410588	1.410790	1.410994	1.411197	1.411400	1.411604
46	1.411807	1.412011	1.412215	1.412420	1.412624	1.412828	1.413033	1.413238	1.413443	1.413648
47	1.413853	1.414059	1.414265	1.414470	1.414676	1.414882	1.415089	1.415295	1.415501	1.415708
48	1.415915	1.416122	1.416330	1.416537	1.416744	1.416952	1.417160	1.417368	1.417576	1.417785

49	1.417993	1.418202	1.418411	1.418620	1.418829	1.419038	1.419247	1.419457	1.419667	1.419877
50	1.420087	1.420297	1.420508	1.420718	1.420929	1.421140	1.421351	1.421562	1.421774	1.421985
51	1.422197	1.422409	1.422621	1.422833	1.423046	1.423258	1.423471	1.423684	1.423897	1.424110
52	1.424323	1.424537	1.424750	1.424964	1.425178	1.425393	1.425607	1.425821	1.426036	1.426251
53	1.426466	1.426681	1.426896	1.427112	1.427328	1.427543	1.427759	1.427975	1.428192	1.428408
54	1.428625	1.428842	1.429059	1.429276	1.429493	1.429711	1.429928	1.430146	1.430364	1.430582
55	1.430800	1.431019	1.431238	1.431456	1.431675	1.431894	1.432114	1.432333	1.432553	1.432773
56	1.432993	1.433213	1.433433	1.433653	1.433874	1.434095	1.434316	1.434537	1.434758	1.434980
57	1.435201	1.435423	1.435645	1.435867	1.436089	1.436312	1.436534	1.436757	1.436980	1.437203
58	1.437427	1.437650	1.437874	1.438098	1.438322	1.438546	1.438770	1.438994	1.439219	1.439444
59	1.439669	1.439894	1.440119	1.440345	1.440571	1.440796	1.441022	1.441248	1.441475	1.441701
60	1.441928	1.442155	1.442382	1.442609	1.442836	1.443064	1.443292	1.443519	1.443747	1.443976
61	1.444204	1.444432	1.444661	1.444890	1.445119	1.445348	1.445578	1.445807	1.446037	1.446267
62	1.446497	1.446727	1.446957	1.447188	1.447419	1.447650	1.447881	1.448112	1.448343	1.448575
63	1.448807	1.449039	1.449271	1.449503	1.449736	1.449968	1.450201	1.450434	1.450667	1.450900
64	1.451134	1.451367	1.451601	1.451835	1.452069	1.452304	1.452538	1.452773	1.453008	1.453243
65	1.453478	1.453713	1.453949	1.454184	1.454420	1.454656	1.454893	1.455129	1.455365	1.455602
66	1.455839	1.456076	1.456313	1.456551	1.456788	1.457026	1.457264	1.457502	1.457740	1.457979
67	1.458217	1.458456	1.458695	1.458934	1.459174	1.459413	1.459653	1.459893	1.460133	1.460373
68	1.460613	1.460854	1.461094	1.461335	1.461576	1.461817	1.462059	1.462300	1.462542	1.462784
69	1.463026	1.463268	1.463511	1.463753	1.463996	1.464239	1.464482	1.464725	1.464969	1.465212
70	1.465456	1.465700	1.465944	1.466188	1.466433	1.466678	1.466922	1.467167	1.467413	1.467658
71	1.167903	1.468149	1.468395	1.468641	1.468887	1.469134	1.469380	1.469627	1.469874	1.470121
72	1.470368	1.470616	1.470863	1.471111	1.471359	1.471607	1.471855	1.472104	1.472352	1.472601
73	1.472850	1.473099	1.473349	1.473598	1.473848	1.474098	1.474348	1.474598	1.474848	1.475099
74	1.475349	1.475600	1.475851	1.476103	1.476354	1.476606	1.476857	1.477109	1.477361	1.477614
75	1.477866	1.478119	1.478371	1.478624	1.478878	1.479131	1.479384	1.479638	1.479892	1.480146
76	1.480400	1.480654	1.480909	1.481163	1.481418	1.481673	1.481929	1.482184	1.482440	1.482695
77	1.482951	1.483207	1.483463	1.483720	1.483976	1.484233	1.484490	1.484747	1.485005	1.485262
78	1.485520	1.485777	1.486035	1.486294	1.486552	1.486810	1.487069	1.487328	1.487587	1.487846
79	1.488105	1.488365	1.488625	1.488884	1.489144	1.489405	1.489665	1.489926	1.490186	1.490447
80	1.490708	1.490970	1.491231	1.491493	1.491754	1.492016	1.492278	1.492541	1.492803	1.493066
81	1.493328	1.493591	1.493855	1.494118	1.494381	1.494645	1.494909	1.495173	1.495437	1.495701
82	1.495966	1.496230	1.496495	1.496760	1.497026	1.497291	1.497556	1.497822	1.498088	1.498354
83	1.498620	1.498887	1.499153	1.499420	1.499687	1.499954	1.500221	1.500488	1.500756	1.501024
84	1.501292	1.501560	1.501828	1.502096	1.502365	1.502634	1.502903	1.503172	1.503441	1.503711
85	1.503980									
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9

7.5. Густини деяких розчинів

Густини водних розчинів деяких кислот та лугів при 20 °C (г/см³)

$\omega\%$	H_2SO_4	HNO_3	HCl	KOH	$NaOH$	NH_3
4	1,025	1,020	1,018	1,035	1,043	0,981
6	1,038	1,031	1,028	1,053	1,065	0,973
8	1,052	1,043	1,038	1,072	1,087	0,965
10	1,066	1,054	1,047	1,090	1,109	0,958
12	1,080	1,066	1,057	1,109	1,131	0,950
14	1,095	1,078	1,068	1,128	1,153	0,943
16	1,109	1,090	1,078	1,147	1,175	0,935
18	1,124	1,103	1,088	1,167	1,197	0,930
20	1,139	1,115	1,098	1,186	1,219	0,923
22	1,155	1,128	1,108	1,206	1,241	0,916
24	1,170	1,140	1,119	1,226	1,263	0,910
26	1,186	1,153	1,129	1,247	1,285	0,904
28	1,202	1,167	1,139	1,267	1,306	0,898
30	1,219	1,180	1,149	1,288	1,329	0,892
32	1,235	1,193	1,159	1,309	1,349	
34	1,252	1,207	1,169	1,330	1,370	
36	1,268	1,221	1,179	1,359	1,390	
38	1,286	1,234	1,189	1,373	1,410	
40	1,303	1,246	1,198	1,396	1,430	
42	1,321	1,259		1,418	1,449	
44	1,338	1,272		1,441	1,469	
46	0,357	1,285		1,464	1,487	
48	0,376	1,298		1,487	1,507	
50	0,395	1,310		1,510	1,525	
52	1,415	1,322				
54	1,435	1,334				
56	1,456	1,345				
58	1,477	1,356				
60	1,498	1,367				
62	1,520	1,377				
64	1,542	1,387				
66	1,565	1,396				
68	1,587	1,405				
70	1,611	1,413				

72	1,634	1,422				
74	1,657	1,430				
76	1,681	1,438				
78	1,704	1,445				
80	1,727	1,452				
82	1,749	1,459				
84	1,769	1,466				
86	1,787	1,472				
88	1,802	1,477				
90	1,814	1,483				
92	1,824	1,487				
94	1,831	1,491				
96	1,836	1,495				
98	1,837	1,501				
100	1,831	1,513				

7.6. Деякі константи

Деякі фізико-хімічні константи

Швидкість світла у вакуумі	c	$2,99792458 \cdot 10^8$ м/с
Прискорення вільного падіння	g	$9,80665$ м/с ²
Стала Планка	h	$6,626176 \cdot 10^{-34}$ Дж · с
Число Авогадро	N_A	$6,02214179 \cdot 10^{23}$ моль ⁻¹
Універсальна газова стала	R	$8,314472$ Дж/(моль · К)
Стала Больцмана	k	$1,380658 \cdot 10^{-23}$ Дж/К
Нормальний атмосферний тиск	$p_{\text{атм}}$	101325 Па
Нормальна термодинамічна температура	T	273,15 К
Молярний об'єм ідеального газу за нормальних умов	V_m	$22,4141019 \cdot 10^{-3}$ м ³ /моль
Стала Лошмідта	N_L	$2,686763 \cdot 10^{25}$ м ⁻³
Елементарний заряд	e	$1,6021892 \cdot 10^{-19}$ Кл
Стала Фарадея	F	96485,3399 Кл/моль
Атомна одиниця маси (а.о.м.)	m_u	$1,660538782 \cdot 10^{-27}$ кг
Маса спокою електрона	m_e	$5,4858026 \cdot 10^{-4}$ а.о.м.
Маса спокою протона	m_p	1,007276470 а.о.м.
Маса спокою нейтрона	m_n	1,008665012 а.о.м.
Маса атома водню ¹ H	m_H	1,007825036 а.о.м.
Маса атома дейтерію ² H, D	m_D	2,014101795 а.о.м.
Маса атома гелію-4 ⁴ He	m_{He}	4,002603267 а.о.м.

7.7. Таблиця розчинності

Таблиця розчинності основ, кислот, амфотерних гідроксидів і солей у воді (при 20 – 25°C)

Іони	H^+	Li^+	K^+	Na^+	NH_4^+	Be^{2+}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Si^{2+}	Al^{3+}	Cr^{3+}	Fe^{2+}	Fe^{3+}	Ni^{2+}	Co^{2+}	Mn^{2+}	Zn^{2+}	Ag^+	Hg^{2+}	Pb^{2+}	Sr^{2+}	Cu^{2+}	
OH^-	Р	Р	Р	Р	Р	М	Н	М	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	-	-	-	Н	Н	Н
F^-	Р	М	Р	Р	Р	М	Н	Н	Н	М	Н	Н	Н	Р	Р	Р	Р	Р	Р	-	Н	Р	Р
Cl^-	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Н	Р	М	Р	Р
Br^-	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	М	М	Р	Р
I^-	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	?	Р	?	Р	Р	Р	Р	Р	Н	Н	Н	М	Р
S^{2-}	Р	Р	Р	Р	Р	-	-	-	Н	-	Н	-	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н
HS^-	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
SO_3^{2-}	Р	Р	Р	Р	Р	Н	Н	М	Н	?	-	Н	?	Н	Н	?	?	?	?	?	?	?	?
HSO_3^-	Р	?	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
SO_4^{2-}	Р	Р	Р	Р	Р	Н	М	Р	Н	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	М	-	Н	Р	Р	Р
HSO_4^-	Р	Р	Р	Р	Р	?	?	?	-	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	Н	?	?
NO_3^-	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	-	Р
NO_2^-	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	?	?	?	?	?	Р	М	?	?	?	?	?	?	?
PO_4^{3-}	Р	Н	Р	Р	-	Н	Н	Р	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н
HPO_4^{2-}	Р	?	Р	Р	Р	Н	Н	М	Н	?	?	Н	?	?	?	?	?	?	?	?	М	Н	?
$H_2PO_4^-$	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	?	?	Р	?	?	?	?	?	?	?	?	-	?	?
CO_3^{2-}	Р	Р	Р	Р	Р	Н	Н	Н	Н	?	?	Н	?	Н	Н	Н	Н	Н	Н	?	Н	?	Н
HCO_3^-	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	?	?	Р	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
CH_3COO^-	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	-	Р	Р	-	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р
SiO_3^{2-}	Н	Н	Р	Р	?	Н	Н	Н	Н	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?

«Р» – розчинний (більше 1 г у 100 г води); «М» – малорозчинний (від 0,01 до 1 г у 100 г води);

«Н» – практично нерозчинний (менше 0,01 г у 100 г води); «-» – розпадається у водному середовищі;

«?» – немає достовірної інформації про існування.

Для нотаток

Навчальне видання

Т. Филипчук, В. Буркут

Техніка лабораторних досліджень

Навчальний посібник

Відповідальний за випуск: Филипчук Т. В.
Літературний редактор: Ряднова В. П.
Технічний редактор: Буркут В. І.
Дизайн обкладинки: Мельник У. М.

Електронне видання

Підписано до друку .03.2024. Формат 60x84/16
Умов.-друк. арк. 8,3. Обл.-вид. арк. 9. Зам. Н-024.
Видавництво Чернівецького національного
університету імені Юрія Федьковича.
58002, Чернівці, вул. Коцюбинського, 2
e-mail: ruta@chnu.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК №891 від 08.04.2002

