

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені І. І. МЕЧНИКОВА
ФАКУЛЬТЕТ ХІМІЇ ТА ФАРМАЦІЇ
КАФЕДРА ФІЗИЧНОЇ ТА КОЛОЇДНОЇ ХІМІЇ

ФІЗИЧНА ХІМІЯ
ХІМІЧНА ТЕРМОДИНАМІКА
ТЕРМОХІМІЯ

ЕЛЕКТРОННІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторного практикуму
для здобувачів факультету хімії та фармації
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
спеціальності 102 Хімія

ОДЕСА
ОНУ
2025

УДК 544.6
Ф505

Укладачі:

Л. М. Солдаткіна, кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри фізичної та колоїдної хімії ОНУ імені І. І. Мечникова;

О. В. Перлова, кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри фізичної та колоїдної хімії ОНУ імені І. І. Мечникова.

Рецензенти:

О. М. Гузенко, кандидат хімічних наук, доцент кафедри аналітичної та токсикологічної хімії ОНУ імені І. І. Мечникова;

В. В. Менчук, кандидат хімічних наук, доцент, професор кафедри фізичної та колоїдної хімії ОНУ імені І. І. Мечникова.

*Рекомендовано вченою радою факультету хімії та фармації
ОНУ імені І. І. Мечникова.
Протокол № 1 від 13 вересня 2024 р.*

Фізична хімія. Хімічна термодинаміка. Термохімія [Електронний ресурс] : електрон. метод. вказівки до лаб. практикуму для здобув. ф-ту хімії та фармації першого (бакалавр.) рівня вищ. освіти спец. 102 Хімія / уклад.: Л. М. Солдаткіна, О. В. Перлова. – Одеса : Одес. нац. ун-т ім. І. І. Мечникова, 2025. – 30 с. – 0,9 МБ.

Методичні вказівки до лабораторного практикуму містять три лабораторні роботи до теми «Термохімія», підготовлені відповідно до робочої програми навчальної дисципліни «Фізична хімія». Включення теоретичних відомостей та контрольних питань у кожну лабораторну роботу дає можливість здобувачам перевірити знання та застосувати їх на практиці під час виконання експерименту.

Методичні вказівки призначені здобувачам вищої освіти першого (бакалаврського) рівня вищої освіти очної та заочної форми навчання, які навчаються за спеціальністю 102 «Хімія».

УДК 544.6

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	4
1. Правила техніки безпеки при роботі в хімічній лабораторії	5
2. Вимоги до представлення результатів експерименту	6
2.1. Математична обробка результатів експерименту	6
2.2. Структура протоколу і оформлення експериментальних даних	7
3. Лабораторні роботи	10
3.1. Визначення константи калориметра. Визначення теплоти гідратації солі	10
3.2. Визначення теплоти нейтралізації	19
3.3. Визначення теплоти дисоціації слабкої кислоти	24
Список літератури	28
Додаток	29

ПЕРЕДМОВА

Методичні вказівки до лабораторних робіт з фізичної хімії призначені для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 102 Хімія. Опанування термохімічними розрахунками при вивченні хімічної термодинаміки є фундаментальним аспектом фізичної хімії, який дозволяє зрозуміти енергетичні зміни, що супроводжують хімічні реакції та фізико-хімічні процеси. При виконанні запропонованих лабораторних робіт здобувачі визначатимуть кількість теплоти, що виділяється або поглинається під час різних процесів.

Зокрема при експериментальному визначенні теплоти гідратації солі здобувачі досліджуватимуть теплові ефекти, що виникають при розчиненні різних солей у воді, та розрахують кількість теплоти, що виділяється або поглинається під час гідратації. Лабораторна робота щодо вивчення реакції нейтралізації сильної кислоти сильною основою спрямована на вимірювання теплоти, що виділяється під час реакції нейтралізації, та проведення розрахунку теплового ефекту реакції. При визначенні теплоти дисоціації слабкої кислоти здобувачі вивчатимуть процес дисоціації слабких кислот і визначатимуть його тепловий ефект.

Наведені в методичних вказівках лабораторні роботи допоможуть здобувачам оволодіти основними навичками вимірювання теплових ефектів хімічних реакцій та розвинути навички обчислення термодинамічних величин, таких як зміна ентальпії процесу. Застосування цих знань є важливим для розуміння енергетики хімічних процесів та прогнозування перебігу процесів у різних умовах.

В методичних вказівках наведені детальні інструкції щодо виконання кожної лабораторної роботи, перелік необхідних реактивів, хімічний посуд та обладнання, а також методи обробки отриманих результатів. Список літератури містить джерела, що сприятимуть більш глибокому опануванню питань стосовно термохімічних розрахунків та застосуванню їх на практиці.

1. ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПРИ РОБОТІ В ХІМІЧНІЙ ЛАБОРАТОРІЇ

1. Перед початком роботи в хімічній лабораторії здобувачі проходять обов'язковий інструктаж з техніки безпеки і розписуються у спеціальному журналі.
2. Перед виконанням лабораторної роботи здобувачі мають ознайомитись з властивостями речовин, що використовуються і утворюються в процесі хімічної реакції, а також з правилами користування вимірювальною апаратурою.
3. Здобувачі приступають до виконання лабораторної роботи, якщо чітко усвідомили мету і задачі роботи, методику експерименту, окремі етапи виконання роботи.
4. При виконанні лабораторної роботи здобувачам слід бути уважними і обережними, не поспішати, тому що неувважність може привести до нещасних випадків. У разі нещасного випадка здобувачам потрібно негайно повідомити викладача або лаборанта.
5. При виконанні лабораторної роботи здобувачам необхідно негайно прибрати випадково розлиті та розсипані речовини.
6. Після виконання роботи для залишків концентрованих кислот, лугів, вогненебезпечних рідин слід застосовувати спеціальні ємності.
7. Для запобігання отруєнь в лабораторіях категорично забороняється зберігати і приймати їжу.
8. Не можна захаращувати робоче місце посудом, паперами та іншими речами.
9. В разі виникнення пожежі необхідно засипати вогонь піском або накрити вовняною ковдрою. Велике полум'я гасять за допомогою вуглекислотного вуглегасника.

Запам'ятайте!

1. У випадку порізу склом потрібно переконатися, що в рані немає осколків, і ватною, змоченою етиловим спиртом, видалити кров, змазати рану йодом і забинтувати.

2. *При термічних опіках* шкіри (від вогню, пари, гарячих предметів чи електричної дуги) потрібно накласти пов'язку (марля, бинт), змочену розчином із масовою часткою харчової соди 2 %. Не можна змазувати опік вазеліном чи жиром.
3. *При опіках шкіри кислотами* опік потрібно насухо промокнути, не втираючи, чистим рушником, промити великою кількістю холодної води, а потім розчином із масовою часткою харчової соди 2 %.
4. *При опіках шкіри лугами* її слід обмити водою і нейтралізувати розчином із масовою часткою оцтової кислоти 2 %.
5. *При ураженні людини електричним струмом* потрібно вимкнути джерело струму та відсунути потерпілого від проводів електричного струму, застосовуючи предмети, які не проводять електричний струм. Потерпілому робити штучне дихання і викликати швидку допомогу.

2. ВИМОГИ ДО ПРЕДСТАВЛЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТУ

2.1. Математична обробка результатів експерименту

Результати вимірювань і розрахунків в лабораторній роботі подають певною кількістю значущих цифр, визначаючи точність, з якою були виконані ці дії. Будь-які дані, отримані при вимірюванні, завжди наближені, а їх точність залежить від різних факторів, але, в першу чергу, від точності засобів вимірювання. При виконанні арифметичних дій над наближеними числами слід пам'ятати про *основні правила математичних операцій*:

1) *При додаванні та відніманні наближених чисел* потрібно залишати в отриманому результаті стільки десяткових знаків, скільки їх у числі з найменшою кількістю десяткових знаків. Так, суму чисел $30,1+1+0,66=31,76$ потрібно округлити до 32.

2) *При множенні та діленні наближених чисел* залишають у результаті стільки десяткових знаків, скільки їх у числі з найменшою кількістю значущих цифр. Наприклад, добуток чисел $3,21 \cdot 1,6=5,136$ потрібно округлити до 5,1.

3) При піднесенні числа до степені залишають у результаті стільки значущих цифр, скільки їх має це число. Наприклад: $2,3^2 \approx 5,3$.

4) При визначенні кореня з числа залишають у результаті стільки значущих цифр, скільки їх має число під коренем. Приклад: $\sqrt{45,3} = 6,73$.

5) В усіх проміжних результатах потрібно зберігати на одну значущу цифру більше, ніж рекомендують попередні правила, а в кінцевому результаті цю «резервну» цифру після округлення відкидають.

2.2. Структура протоколу і оформлення експериментальних даних

Звіт щодо виконаної лабораторної роботи здобувачем надається викладачеві у вигляді протоколу і має містити наступні елементи:

1. Дата
2. Назва роботи.
3. Мета роботи.
4. Завдання роботи.
5. **Стислий виклад** теоретичних положень, на яких базується дана робота.
6. **Стислий опис методики роботи** (порядок проведення експерименту, необхідні схеми, умови проведення експерименту).
7. Результати експерименту у вигляді таблиць, куди заносяться всі отримані експериментальні дані.
8. Формули для розрахунків і запис усіх розрахунків із поясненнями (обов'язково вказувати розмірності величин!). При необхідності результати розрахунків заносяться в таблиці.
9. У разі необхідності графічної інтерпретації отриманих результатів до протоколу додаються рисунки.
10. Оцінка отриманих результатів на достовірність.
11. Висновок по роботі щодо отриманих результатів у відповідності з метою роботи. Якщо виявлені відхилення від теоретичних

закономірностей, вказується передбачувана причина розбіжностей.

12. Письмові відповіді на контрольні питання. Зверніть увагу, що записується контрольне питання, а потім відповідь на нього.

При оформленні протоколу лабораторної роботи рекомендується використовувати програмне забезпечення Microsoft Excel або інші електронні таблиці для:

- побудови графічних залежностей;
- розрахунку статистичних параметрів вибірки експериментальних даних (середнє арифметичне, абсолютну і відносну похибку тощо).

Для побудови графічних залежностей при цьому, як правило, застосовують прямокутну систему координат. На осі абсцис відкладають незалежну змінну, а на осі ординат – значення функції цієї змінної. В кінці кожної осі вказують умовні позначення величин та їх розмірності. Якщо величини виражаються багаторозрядними цифрами, їх записують через множник 10^n , який ставлять поруч з умовним позначенням величини. Наприклад: $C \cdot 10^3$, %. На осях координат ставлять 4–5 позначок масштабу виступами всередину. Рисунки, що містять однотипні криві, рекомендується об'єднувати.

Підпис розміщують під рисунком і він звичайно має чотири основних елементи: 1) найменування графічного сюжету, що позначається скороченим словом **Рис.**; 2) порядковий номер арабськими цифрами (якщо рисунок в лабораторній роботі один, він не нумерується); 3) стислий тематичний заголовок ілюстрації; 4) експлікацію (деталі сюжету, позначені цифрами) або легенду.

Важливо правильно обрати масштаб при побудові графічних залежностей (рис. 2.1). Вибір масштабу для побудови графічної залежності залежить від кількох факторів, таких як діапазон даних (визначити найменше й найбільше значення для кожної змінної, вибрати зручні інтервали для поділок), тип залежності (лінійний, експоненціальний, логарифмічний), точність відображення (для малих значень використовують детальніший масштаб, а для великих — такий

масштаб, щоб уникнути скупчення точок), зручність (перевагу віддають значенням, які кратні 2, 5, 10).

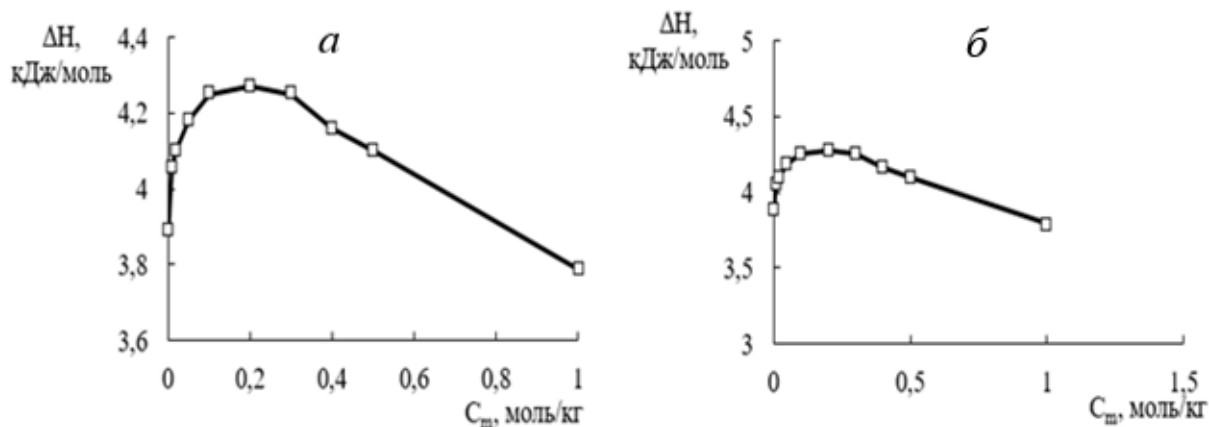


Рис. 2.1. Правильний (а) і неправильний (б) масштаб

Після оформлення протоколу лабораторної роботи здобувачі повинні захистити виконану лабораторну роботу. Захист передбачає усне пояснення основних етапів виконання роботи, аналіз отриманих результатів, а також відповіді на запитання викладача щодо методики проведення експерименту, отриманих даних та проведених розрахунків.

Здобувачі, які без поважних причин не захистили лабораторні роботи і не набрали необхідної суми балів, до екзамену з фізичної хімії не допускаються.

3. ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

3.1. Визначення константи калориметра.

Визначення теплоти гідратації солі

Мета роботи: експериментально визначити константу калориметра та теплоту гідратації солі за теплотами розчинення безводної солі та її кристалогідрату.

Задачі роботи

1. Визначити константу (теплоємність) калориметра.
2. Визначити теплоту розчинення безводної солі.
3. Визначити теплоту розчинення кристалогідрату.
4. Розрахувати експериментальне значення теплоти гідратації.
5. Визначити за довідковими даними теоретичне значення теплоти гідратації.
6. Розрахувати відносну похибку визначення теплоти гідратації.
7. Зробити висновок щодо термохімічного характеру процесу гідратації солі.

Реактиви: калій хлорид, безводні солі (цинк сульфат, купрум(II) сульфат, натрій карбонат); відповідні кристалогідрати цих солей; дистильована вода.

Обладнання: калориметр ізотермічного типу; термометр Бекмана; секундомір; аналітичні терези; фільтрувальний папір; мірний циліндр ємністю 1 л; порцелянова ступка з товкачиком.

1. Визначення константи калориметра

Теоретичний зміст

Для визначення константи калориметра використовують солі сталого складу (негігроскопічні, нелеткі, такі, що не утворюють кристалогідратів), для яких відома величина інтегральної теплоти розчинення.

Інтегральною теплотою розчинення називають тепловий ефект

розчинення 1 моль речовини в деякій кількості чистого розчинника.

Інтегральна теплота розчинення калій хлориду ($\Delta H_{\text{розчинення}}(\text{KCl}) = 17,23$ кДж/моль) розрахована при екстраполяції для нескінченно розведеного розчину солі.

При розчиненні солі в рідині одночасно перебігають два процеси:

1) руйнування кристалічної решітки, яке потребує витрати енергії – це ендотермічний процес ($\Delta H_{\text{кр.}} > 0$);

2) сольватація йонів, тобто взаємодія йонів з розчинником (якщо розчинник – вода, процес називають гідратацією) – це екзотермічний процес ($\Delta H_{\text{сольв.}} < 0$).

В залежності від співвідношення цих теплових ефектів, яке визначається природою розчиненої речовини та розчинника, теплота розчинення солі

$$\Delta H_{\text{розчинення}} = \Delta H_{\text{кр.}} + \Delta H_{\text{сольв.}} \quad (1)$$

може бути як додатною, так і від'ємною величиною.

Калориметричні досліди проводять в спеціальному приладі – калориметрі ізотермічного типу (рис. 3.1) і застосовують термометр Бекмана (рис.3.2).

Термометр Бекмана (рис. 3.2) використовується **для точного вимірювання зміни температури** в процесі досліду. Особливість термометра Бекмана полягає в тому, що за допомогою резервуара 4 можна змінювати кількість ртуті в резервуарі 1 і тим самим змінювати діапазон вимірювання температур. Шкала термометра розділена на 5 градусів з ціною поділки 0,01 градуса. За допомогою лупи можна робити відлік на термометрі з точністю до 0,002-0,003 градусів.

Інтегральну теплоту розчинення (тепловий ефект процесу розчинення) 1 моль речовини розраховують за рівнянням

$$\Delta H_{\text{розчинення}} = \frac{K \cdot \Delta t}{\nu} = K \cdot \Delta t \cdot \frac{M}{m} \quad , \quad (2)$$

де $\Delta H_{\text{розчинення}}$ – інтегральна теплота розчинення речовини, Дж/моль; K – константа калориметра, Дж/град; Δt – зміна температури в процесі розчинення речовини, град; ν , m , M – відповідно, кількість речовини (моль), маса (г) та молярна маса (г/моль) розчиненої речовини.

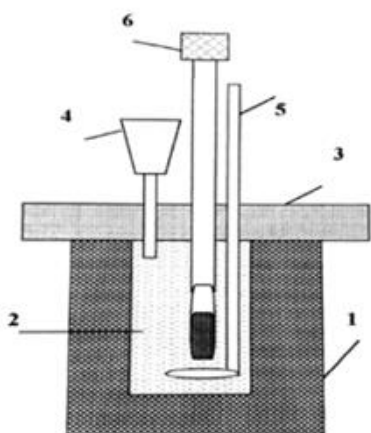


Рис. 3.1. Схема калориметра ізотермічного типу:

1 – ізотермічна оболонка; 2 – калориметричний стакан (сосуд Дьюара); 3 – кришка ізотермічної оболонки; 4 – воронка; 5 – механічна мішалка; 6 – термометр Бекмана.

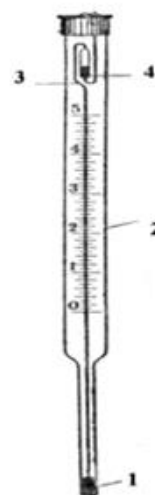


Рис. 3.2. Термометр Бекмана:

1 – основний резервуар ртуті;
2 – шкала термометра; 3 – капіляр;
4 – додатковий резервуар ртуті.

Константа калориметра – це теплоємність калориметра, яка чисельно дорівнює кількості теплоти, необхідної для нагрівання всіх частин калориметра на 1 градус. Цю величину розраховують за рівнянням (3), досліджуючи зміну температури при розчиненні калій хлориду у воді,

$$K = \frac{\Delta H_{KCl} \cdot m_{KCl}}{\Delta t_{KCl} \cdot M_{KCl}} \quad , \quad (3)$$

де ΔH_{KCl} – інтегральна теплота розчинення KCl, Дж/моль; K – константа калориметра, Дж/град; Δt – зміна температури в процесі розчинення KCl, град; m_{KCl} , M_{KCl} – відповідно, маса (г) та молярна маса (г/моль) KCl

Графічне визначення зміни температури у калориметричних дослідженнях

Типовий вигляд температурної кривої вірно виконаного калориметричного дослідження при дослідженні **екзотермічних процесів** наведено на рис. 3.3.

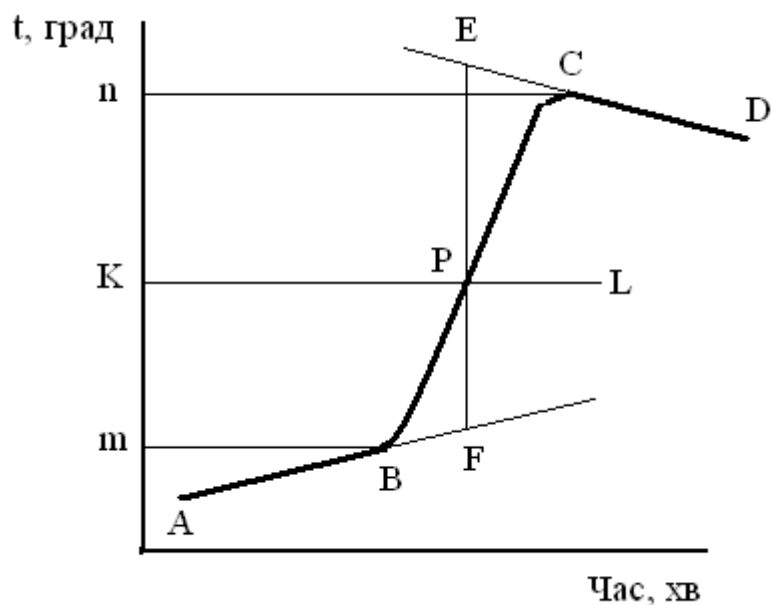


Рис. 3.3. Визначення зміни температури при дослідженні екзотермічного процесу

Розрахунок величини Δt , враховуючи теплообмін, здійснюється графічно. При цьому у програмі MS Excel або на міліметровому папері на осі абсцис відкладають час (масштаб 1 хв = 1 см), а на осі ординат – температуру калориметричної системи t . Вибір масштабу на осі ординат залежить від величини Δt :

- якщо $\Delta t \leq 1$ град, то 1 град = 10 см;
- якщо $\Delta t \geq 1$ град, то 1 град = 5 см.

Після того, як на графік нанесені усі експериментальні точки, їх з'єднують плавною лінією, при цьому утворюється крива ABCD (рис. 3.3). Кожна ділянка на графіку відповідає певному періоду калориметричного дослідження: АВ – початковий період, ВС – головний період, CD – кінцевий період.

Для визначення зміни температури Δt :

- 1) на осі ординат зазначте точки m і n , які відповідають

- початковій та кінцевій температурам головного періоду;
- 2) знайдіть середину відрізка mn (точка K);
 - 3) проведіть пряму KL , паралельну осі абсцис;
 - 4) знайдіть точку P як перетин прямої KL з кривою BC ;
 - 5) через точку P проведіть вертикальну лінію;
 - 6) екстраполюйте (продовжіть) ділянки AB і CD до перетину з вертикальною лінією у точках E і F .

Відрізок EF відповідає зміні температури в калориметричному досліді Δt з врахуванням теплообміну.

Хід роботи

Константу калориметра визначте експериментально наступним чином:

1. Зважте на аналітичних терезах 6–10 г (за вказівкою викладача) сухого добре розтертого в фарфоровій ступці калій хлориду.

2. В калориметричний стакан калориметра налейте 1 л дистильованої води. Закрийте калориметр кришкою.

3. У кришку калориметра вставте заздалегідь налаштований термометр Бекмана. Ртуть в капілярі має знаходитись між 3–4 градусами шкали термометра.

4. Увімкніть секундомір, постійно перемішуйте воду механічною мішалкою та записуйте показання термометра Бекмана через кожні 30 с до постійного значення (7–8 вимірювань).

5. Через суху воронку в калориметричний стакан висипте наважку калій хлориду і при постійному перемішуванні продовжуйте визначати показання термометра Бекмана через кожні 30 с до постійного значення (7–8 вимірювань).

6. Отримані значення запишіть в табл. 1.

Таблиця 1

Зміни температури в процесі розчинення калій хлориду у воді

τ , с	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450
t , град															

7. На ПК з використанням програми Microsoft Excel або на міліметровому папері побудуйте залежність температури від часу $t=f(\tau)$ і визначте графічно величину $\Delta t_{\text{КСІ}}$.

8. Зробіть висновок про характер процесу розчинення КСІ у воді. Поясніть одержаний результат.

9. Розрахуйте константу калориметра за рівнянням (3).

2. Визначення теплоти гідратації солі

Теоретичний зміст

Теплотою гідратації ($\Delta H_{\text{гідр.}}$) називається кількість теплоти, яка витрачається на утворення 1 моль твердого кристалогідрату з твердої безводної солі та відповідної кількості води. Цю величину знаходять розрахунковим шляхом (на підставі закону Гесса, див. схема нижче) та експериментальним, використовуючи калориметричні дані щодо визначення теплот розчинення безводної солі ($\Delta H_{\text{розчинення}}$) та кристалогідрату ($\Delta H_{\text{кр.}}$) у великій кількості води. Для визначення теплоти гідратації солі використовують рівняння

$$\Delta H_{\text{гідр.}} = \Delta H_{\text{розчинення}} - \Delta H_{\text{кр.}}, \quad (4)$$

одержане з рівняння (1) з врахуванням того, що використовують воду в якості розчинника, тобто $\Delta H_{\text{гідр.}} = \Delta H_{\text{сольв.}}$

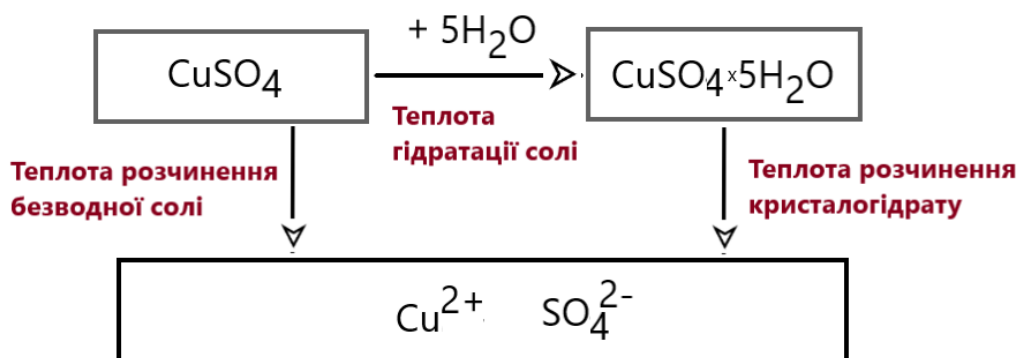


Схема. Застосування закону Гесса на прикладі розчинення безводного купрум сульфату та його кристалогідрату

Визначення теплоти розчинення безводної солі

Хід роботи

Використовуйте той самий калориметр, для якого визначене значення константи калориметра.

1. Зважте на аналітичних терезах 6–10 г сухої добре розтертої у фарфоровій ступці досліджуваної безводної солі (за вказівкою викладача).

2. В калориметричний стакан калориметра налейте 1 л дистильованої води. Закрийте калориметр кришкою.

3. У кришку калориметра вставте заздалегідь налаштований термометр Бекмана. Ртуть в капілярі має знаходитись між 2 і 3 градусами шкали термометра, оскільки процес розчинення солі у воді може бути як ендотермічним, так і екзотермічним.

4. Увімкніть секундомір, постійно перемішуйте воду мішалкою та записуйте показання термометра Бекмана через кожні 30 с до постійного значення (7–8 вимірювань).

5. Через суху воронку в калориметричний стакан висипте наважку досліджуваної солі і при постійному перемішуванні продовжуйте відзначати показання термометра Бекмана через кожні 30 с до постійного значення (7–8 значень).

6. Отримані значення запишіть в табл. 2. Розрахуйте молярну концентрацію солі в розчині і запишіть в табл. 2

Таблиця 2

Зміна температури в процесі розчинення солі _____ у воді

Концентрація солі в розчині _____ моль/кг

τ , с	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450
t, град															

7. На ПК з використанням програми Microsoft Excel або на міліметровому папері побудуйте залежність температури від часу $t=f(\tau)$ і визначте графічно величину $\Delta t_{\text{безв.}}$.

8. Інтегральну теплоту розчинення безводної солі $\Delta H_{\text{розчинення}}$ розрахуйте за рівнянням (2), використовуючи значення K , $\Delta t_{\text{безв.}}$, $M_{\text{безв.}}$ та $m_{\text{безв.}}$.

Визначення теплоти розчинення кристалогідрату

Хід роботи

Використовуйте той самий калориметр, для якого визначене значення константи калориметра.

1. Зважте на аналітичних терезах 6–10 г сухого добре розтертого у фарфоровій ступці досліджуваного кристалогідрату, враховуючи, що наважка кристалогідрату має бути такою, щоб концентрація солі в розчині була однаковою з концентрацією розчину в досліді щодо визначення теплоти розчинення безводної солі.

2. В калориметричний стакан калориметра налейте 1 л дистильованої води. Закрийте калориметр кришкою.

3. У кришку калориметра вставте заздалегідь налаштований термометр Бекмана. Ртуть в капілярі має знаходитись між 3 і 4 градусами шкали термометра, оскільки процес розчинення кристалогідрату у воді є ендотермічним.

4. Увімкніть секундомір, постійно перемішуйте воду мішалкою та записуйте показання термометра Бекмана через кожні 30 с до постійного значення (7–8 вимірювань).

5. Через суху воронку в калориметричний стакан додайте наважку кристалогідрату і при постійному перемішуванні продовжуйте відзначати показання термометра Бекмана через кожні 30 с до постійного значення (7–8 значень).

6. Отримані значення запишіть в табл. 3.

Зміна температури в процесі розчинення кристалогідрату

_____ у воді

Концентрація солі в розчині _____ моль/кг

τ, с	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450
t, град															

7. На ПК з використанням програми Microsoft Excel або на міліметровому папері побудуйте залежність температури від часу $t=f(\tau)$ і визначте графічно величину $\Delta t_{кр.}$

8. Інтегральну теплоту розчинення кристалогідрату $\Delta H_{кр.}$ розрахуйте за рівнянням (2), використовуючи значення K , $\Delta t_{кр.}$, $M_{кр.}$ та $m_{кр.}$.

Розрахунок теплоти гідратації солі

1. Розрахуйте за рівнянням (4) експериментальне значення теплоти гідратації досліджуваної солі.

2. Розрахуйте за рівнянням (4) теоретичне значення теплоти гідратації досліджуваної солі, використовуючи довідкові дані щодо теплот розчинення відповідної безводної солі та її кристалогідрату.

3. Порівняйте експериментальне значення теплоти гідратації досліджуваної солі з теоретичним шляхом розрахунку відносної похибки (δ) вимірювань за рівнянням

$$\delta = \left| \frac{\Delta H_{гидр.,теор.} - \Delta H_{гидр.,експ.}}{\Delta H_{гидр.,теор.}} \right| \cdot 100\% \quad (5)$$

4. Зробіть висновок щодо характеру процесу гідратації, розчинення безводної солі та її кристалогідрату у воді з термохімічної точки зору. Поясніть одержані результати.

Контрольні питання

1. Що таке інтегральна теплота розчинення солі?
2. Чому деякі солі нагрівають воду при розчиненні, а інші охолоджують? Наведіть приклади 4 солей, для яких теплоти розчинення мають різні знаки.
3. Який прилад застосовують для калориметричних досліджень? Для чого і як визначають константу цього приладу?
4. Яка будова термометра Бекмана і чим він відрізняється від звичайного термометра?
5. Яке практичне значення має знання величини теплоти гідратації у промислових або лабораторних умовах?

3.2. Визначення теплоти нейтралізації

Мета роботи: експериментально визначити теплоту нейтралізації сильної основи сильною кислотою.

Задачі роботи:

1. Визначити загальну теплоту, яка виділяється при взаємодії розчину сильної основи з розчином сильної кислоти
2. Визначити теплоту розбавлення сильної кислоти.
3. Розрахувати експериментальне значення теплоти нейтралізації.
4. Визначити за законом Гесса теоретичне значення теплоти нейтралізації.
5. Розрахувати відносну похибку визначення теплоти нейтралізації.
6. Зробити висновок щодо термохімічного характеру процесів нейтралізації сильної основи сильною кислотою та розбавлення сильної кислоти водою.

Реактиви: нітратна кислота (63 %); 0,1 М розчин калій гідроксиду або натрій гідроксиду; дистильована вода.

Обладнання: калориметр ізотермічного типу; термометр Бекмана; секундомір; аналітичні терези; фільтрувальний папір; мірний циліндр ємністю 1 л; градуйована піпетка ємністю 10 мл; гумова груша.

Теоретичний зміст

Теплотою нейтралізації називають кількість теплоти, яка виділяється при взаємодії 1 моль сильної основи з 1 моль сильної кислоти.

Процес нейтралізації в йонній формі можна представити рівнянням



тому при нейтралізації будь-якої сильної основи будь-якою сильною кислотою має спостерігатися тепловий ефект

$$\Delta H_{\text{нейтр.}} = - 55,9 \text{ кДж/моль.}$$

В загальну теплоту ΔH , що виділяється при додаванні розчину сильної кислоти до розчину сильної основи, окрім теплоти нейтралізації $\Delta H_{\text{нейтр.}}$ входить теплота розбавлення кислоти основою $\Delta H_{\text{розб.1}}$ та теплота розбавлення основи кислотою $\Delta H_{\text{розб.2}}$

$$\Delta H = \Delta H_{\text{нейтр.}} + \Delta H_{\text{розб.1}} + \Delta H_{\text{розб.2}}. \quad (6)$$

Оскільки об'єм розчину основи великий і мало змінюється від додавання до нього кислоти, то теплота розбавлення основи кислотою $\Delta H_{\text{розб.2}}$ мала і нею можна знехтувати. Навпаки, теплота розбавлення кислоти основою $\Delta H_{\text{розб.1}}$ може досягти 10 % від величини теплоти нейтралізації, тому її необхідно враховувати.

Теплоту нейтралізації основи кислотою $\Delta H_{\text{нейтр.}}$, загальну теплоту при вливанні розчину кислоти в розчин основи ΔH та теплоту розбавлення кислоти основою $\Delta H_{\text{розб.1}}$ розраховують за рівняннями

$$\Delta H_{\text{нейтр.}} = (\Delta H - \Delta H_{\text{розб.1}}) / \nu, \quad (7)$$

$$\Delta H = K \cdot \Delta t_1, \quad (8)$$

$$\Delta H_{\text{розб.1}} = K \cdot \Delta t_2, \quad (9)$$

де K – константа калориметра, Дж/град; Δt_1 та Δt_2 – зміна температури, відповідно, при вливанні розчину сильної кислоти в розчин сильної основи та при вливанні розчину сильної кислоти в дистильовану воду; ν – кількість речовини (моль) кислоти (основи) в 1 л розчину.

Визначення загальної теплоти, яка виділяється при вливанні розчину кислоти в розчин основи

Хід роботи

Використовуйте той самий калориметр, для якого визначене значення константи калориметра.

1. Розрахуйте об'єм 63 % нітратної кислоти (в мл), необхідний для нейтралізації 1 л 0,1 М розчину сильної основи з врахуванням густини розчину кислоти даної концентрації та температури досліду (табл. 4)

Таблиця 4

Густина 63 % розчину нітратної кислоти

$t, ^\circ\text{C}$	15	20	25
$\rho, \text{г/см}^3$	1,3888	1,3818	1,3748

2. Наберіть у градуйовану піпетку розрахований об'єм кислоти. Вилийте кислоту у склянку.

3. В калориметричний стакан калориметра налейте 1 л 0,1 М розчину сильної основи (за вказівкою викладача). Закрийте калориметр кришкою.

4. У кришку калориметра вставте заздалегідь налаштований термометр Бекмана. Ртуть в капілярі має знаходитись між 2 і 3 градусами шкали термометра.

5. Увімкніть секундомір, постійно перемішуйте воду мішалкою та записуйте показання термометра Бекмана через кожні 30 с до постійного значення (8–10 вимірювань).

6. Через суху воронку в калориметричний стакан влийте розчин кислоти і при постійному перемішуванні продовжуйте відзначати показання термометра Бекмана через кожні 30 с до постійного значення (8–10 значень).

7. Отримані значення запишіть в табл. 5.

Таблиця 5

Зміна температури в процесі взаємодії розчину сильної кислоти з розчином сильної основи

τ, с	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450
t, град															

8. На ПК з використанням програми Microsoft Excel або на міліметровому папері побудуйте залежність температури від часу $t = f(\tau)$ і визначте графічно величину Δt_1 .

9. Розрахуйте за рівнянням (8) загальну теплоту ΔH , яка виділяється при вливанні розчину сильної кислоти в розчин сильної основи.

Визначення теплоти розбавлення кислоти

Хід роботи

1. Наберіть у градуйовану піпетку розрахований раніше об'єм кислоти. Вилейте кислоту у склянку.

2. В калориметричний стакан калориметра налейте 1 л дистильованої води. Закрийте калориметр кришкою.

3. У кришку калориметра вставте заздалегідь налаштований термометр Бекмана. Ртуть в капілярі має знаходитись між 2 і 3 градусами шкали термометра.

4. Увімкніть секундомір, постійно перемішуйте воду мішалкою та записуйте показання термометра Бекмана через кожні 30 с до постійного значення (7–8 вимірювань).

5. Через суху воронку в калориметричний стакан влийте розчин кислоти і при постійному перемішуванні продовжуйте відзначати

показання термометра Бекмана через кожні 30 с до постійного значення (7–8 значень).

6. Отримані значення запишіть в табл. 6.

Таблиця 6

Зміна температури в процесі розбавлення розчину сильної кислоти дистильованою водою

τ , с	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450
t, град															

7. На ПК з використанням програми Microsoft Excel або на міліметровому папері побудуйте залежність температури від часу $t = f(\tau)$ і визначте графічно величину Δt_2 .

8. Розрахуйте за рівнянням (9) теплоту розбавлення сильної кислоти $\Delta H_{\text{розб.1}}$.

Розрахунок теплоти нейтралізації

1. Розрахуйте за рівнянням (7) теплоту нейтралізації $\Delta H_{\text{нейтр.}}$ сильної основи сильною кислотою.

2. За допомогою довідкових даних розрахуйте теоретичне значення теплоти нейтралізації сильної основи сильною кислотою, застосовуючи стандартні теплоти утворення іонів H^+ , OH^- і H_2O (р).

3. Порівняйте експериментально одержане значення теплоти нейтралізації з теоретичним шляхом розрахунку відносної похибки (δ) вимірювань за рівнянням

$$\delta = \left| \frac{\Delta H_{\text{нейтр.,теор.}} - \Delta H_{\text{нейтр.,експ.}}}{\Delta H_{\text{нейтр.,теор.}}} \right| \cdot 100\% \quad (10)$$

4. Зробіть висновок щодо характеру процесів нейтралізації сильної основи сильною кислотою та розбавлення сильної кислоти водою з точки зору термохімії. Поясніть одержані результати.

Контрольні питання

1. Що таке теплота нейтралізації та чому вона завжди є екзотермічним процесом?

2. Чому теплота нейтралізації для сильної кислоти і сильної основи незалежно від природи кислоти і основи завжди приблизно однакова?
3. Як можна розрахувати кількість теплоти, що виділяється під час нейтралізації, знаючи концентрації розчинів сильної кислоти та сильної основи?
4. Які фактори впливають на величину теплоти нейтралізації?
5. Як використовується теплота нейтралізації для розрахунків енергетичних балансів у промислових процесах, пов'язаних із кислотно-основними реакціями?

3.3. Визначення теплоти дисоціації слабкої кислоти

Мета роботи: експериментально визначити теплоту дисоціації слабкої кислоти.

Задачі роботи:

1. Визначити загальну теплоту, яка виділяється при взаємодії розчину сильної основи з розчином слабкої кислоти.
2. Визначити теплоту розбавлення слабкої кислоти.
3. Розрахувати експериментальне значення теплоти дисоціації слабкої кислоти.
4. Розрахувати теоретичне значення теплоти дисоціації слабкої кислоти за законом Гесса.
5. Розрахувати відносну похибку визначення теплоти дисоціації слабкої кислоти.
6. Зробити висновок щодо характеру процесів нейтралізації сильної основи слабкою кислотою та розбавлення слабкої кислоти водою.

Реактиви: етанова кислота (5 М); 0,1 М розчин калій гідроксиду або натрій гідроксиду; дистильована вода.

Обладнання: калориметр ізотермічного типу; термометр Бекмана; секундомір; аналітичні терези; фільтрувальний папір; мірний

циліндр ємністю 1 л; градуйована піпетка ємністю 10 мл; гумова груша.

Теоретичний зміст

При нейтралізації слабкої кислоти сильною основою або, навпаки, сильної кислоти слабкою основою, тепловий ефект нейтралізації може бути меншим або більшим, ніж $- 55,9$ кДж/моль. Це обумовлено тим, що слабкі кислоти або слабкі основи в розчинах частково дисоційовані, а в концентрованих розчинах повністю недисоційовані. Тепловий ефект процесу дисоціації слабких електролітів різний як за величиною, так і за знаком.

Визначивши експериментальним шляхом тепловий ефект (теплоту) процесу взаємодії розчину слабкої кислоти з розчином сильної основи (ΔH), можна застосовуючи закон Гесса розрахувати теплоту дисоціації слабкої кислоти

$$\Delta H = \Delta H_{\text{нейтр.}} + \Delta H_{\text{дис.}} + \Delta H_{\text{розб. сл. к-ти}} \quad (11)$$

приймавши $\Delta H_{\text{нейтр.}} = - 55,9$ кДж/моль та визначивши попередньо тепловий ефект (теплоту) розведення слабкої кислоти ($\Delta H_{\text{розб. сл. к-ти}}$), розраховують тепловий ефект (теплоту) дисоціації слабкої кислоти за рівнянням

$$\Delta H_{\text{дис.}} = \Delta H - \Delta H_{\text{розб. сл. к-ти}} + 55,9 \text{ кДж/моль.} \quad (12)$$

Визначення загальної теплоти, яка виділяється при вливанні розчину слабкої кислоти в розчин сильної основи

Хід роботи

Використовуйте той самий калориметр, для якого визначене значення константи калориметра.

1. Розрахуйте об'єм 5 М етанової кислоти (в мл), необхідний для нейтралізації 1 л 0,1 М розчину сильної основи.

2. Наберіть у градуйовану піпетку розрахований об'єм кислоти. Вилийте кислоту у склянку.

3. В калориметричний стакан калориметра налейте 1 л 0,1 М розчину сильної основи (за вказівкою викладача). Закрийте калориметр кришкою.

4. У кришку калориметра вставте заздалегідь налаштований термометр Бекмана. Ртуть в капілярі має знаходитись між 2 і 3 градусами шкали термометра.

5. Увімкніть секундомір, постійно перемішуйте воду мішалкою та записуйте показання термометра Бекмана через кожні 30 с до постійного значення (8–10 вимірювань).

6. Через суху воронку в калориметричний стакан влийте розчин кислоти і при постійному перемішуванні продовжуйте відзначати показання термометра Бекмана через кожні 30 с до постійного значення (8–10 значень).

7. Отримані значення запишіть в табл. 7.

Таблиця 7

Зміна температури в процесі взаємодії розчину слабкої кислоти з розчином сильної основи

τ, с	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450
t, град															

7. На ПК з використанням програми Microsoft Excel або на міліметровому папері побудуйте залежність температури від часу $t = f(\tau)$ і визначте графічно величину Δt_1 .

8. Розрахуйте за рівнянням (7) загальну теплоту ΔH , яка виділяється при вливанні розчину слабкої кислоти в розчин сильної основи.

Визначення теплоти розбавлення слабкої кислоти

Хід роботи

1. Наберіть у градуйовану піпетку розрахований раніше об'єм слабкої кислоти. Вилийте кислоту у склянку.

2. В калориметричний стакан калориметра налейте 1 л дистильованої води. Закрийте калориметр кришкою.

3. У кришку калориметра вставте заздалегідь налаштований термометр Бекмана. Ртуть в капілярі має знаходитись між 2 і 3 градусами шкали термометра.

4. Увімкніть секундомір, постійно перемішуйте воду мішалкою та записуйте показання термометра Бекмана через кожні 30 с до постійного значення (7–8 вимірювань).

5. Через суху воронку в калориметричний стакан влийте розчин кислоти і при постійному перемішуванні продовжуйте відзначати показання термометра Бекмана через кожні 30 с до постійного значення (7–8 значень).

6. Отримані значення запишіть в табл. 8.

Таблиця 8

**Зміна температури в процесі розбавлення розчину слабкої
кислоти дистильованою водою**

τ, с	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450
t, град															

7. На ПК з використанням програми Microsoft Excel або на міліметровому папері побудуйте залежність температури від часу $t = f(\tau)$ і визначте графічно величину Δt_2 .

8. Розрахуйте за рівнянням (8) теплоту розбавлення слабкої кислоти $\Delta H_{\text{розб. сл. к-ти}}$.

Розрахунок теплоти дисоціації слабкої кислоти

1. Розрахуйте за рівнянням (12) теплоту дисоціації $\Delta H_{\text{дис. сильної основи слабкою кислотою}}$.

2. За допомогою довідкових даних розрахуйте теоретичне значення теплоти дисоціації слабкої кислоти, застосовуючи стандартні теплоти утворення для частинок-учасників процесу дисоціації.

3. Порівняйте експериментально одержане значення з теоретичним шляхом розрахунку відносної похибки (δ) вимірювань за рівнянням:

$$\delta = \left| \frac{\Delta H_{\text{дис. теор.}} - \Delta H_{\text{дис. експ.}}}{\Delta H_{\text{дис. теор.}}} \right| \cdot 100\% \quad (13)$$

4. Зробіть висновок щодо характеру процесів нейтралізації сильної основи слабкою кислотою та розбавлення слабкої кислоти водою з точки зору термохімії. Поясніть одержані результати.

Контрольні питання

1. Що таке теплота дисоціації слабкої кислоти?
2. Чому при нейтралізації сильної кислоти слабкою основою або навпаки теплота нейтралізації відрізняється від очікуваної для сильних електролітів?
3. Як змінюється теплота нейтралізації для слабких кислот і слабких основ у порівнянні з сильними кислотами і основами?
4. Як впливає ступінь іонізації кислоти чи основи на величину теплоти нейтралізації?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Сіренко Г. О., Складанюк М. Б. Фізична хімія. Хімічна термодинаміка. Лабораторний практикум. Івано-Франківськ: Супрун В.П., 2019. 136 с.
2. Методичні вказівки до лабораторних та семінарських занять із дисципліни «Фізична та колоїдна хімія» / укладачі: Р. М. Пшеничний, Л. М. Пономарьова. Суми : Сумський державний університет, 2022. 42 с.
3. Дзямко В. М., Голуб Н. П. Методичні вказівки для самостійної роботи студентів зі спецкурсу «Хімічна термодинаміка» ОС «Бакалавр» (спец. 102-Хімія та 014.06-Середня освіта. Хімія), Ужгород: ДВНЗ «Ужгородський національний університет», 2023. 53 с.
4. Фізична хімія: методичні вказівки до організації самостійної роботи для студентів заочної форми навчання / уклад. С. О. Коновалова. – Краматорськ : ДДМА, 2016. 84 с.

ДОВІДКОВІ ДАНІ

Таблиця 1

Інтегральна теплота розчинення солей у воді при 298 К

При $m=0$ моль/кг значення теплот розчинення екстраполювали до нескінченного розведення

<i>m</i> , моля солі на 1 кг H ₂ O	ΔH_m , кДж/моль					
	NaCl	NaBr	NaI	KCl	KBr	KI
0,00	3,89	-0,63	-7,57	17,23	20,04	20,50
0,01	4,06	-0,50	-7,41	17,39	20,17	20,67
0,02	4,10	-0,42	-7,36	17,44	20,25	20,71
0,05	4,18	-0,31	-7,24	17,51	20,29	20,73
0,1	4,25	-0,29	-7,20	17,55	20,33	20,71
0,2	4,27	-0,27	-7,15	17,57	20,29	20,67

Таблиця 2

I

Інтегральна теплота розчинення солей, які утворюють кристалогідрати, при 298 К

Речовина	ΔH_m , кДж/моль
CuSO ₄	- 68,37
CuSO ₄ · 5H ₂ O	10,50
MgSO ₄	- 87,61
MgSO ₄ · 7H ₂ O	15,86
Na ₂ CO ₃	-23,43
Na ₂ CO ₃ · 10H ₂ O	69,04
ZnSO ₄	-77,28
ZnSO ₄ · 7H ₂ O	18,87

Навчальне видання

**ФІЗИЧНА ХІМІЯ
ХІМІЧНА ТЕРМОДИНАМІКА
ТЕРМОХІМІЯ**

ЕЛЕКТРОННІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторного практикуму
для здобувачів факультету хімії та фармації
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
спеціальності 102 Хімія

Електронне практичне видання

Укладачі:

**Солдаткіна Людмила Михайлівна
Перлова Ольга Вікторівна**

В авторській редакції

Затвердж. авт. 18.01.2025. Шрифт Times New Roman.
Системні вимоги: операційна система сумісна з програмним забезпеченням
для читання файлів формату PDF.
Обсяг 0,9 МБ. Зам. № 2915.

Видавець і виготовлювач
Одеський національний університет імені І. І. Мечникова
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4215 від 22.11.2011 р.
вул. Університетська, 12, м. Одеса, 65082, Україна
Тел.: (048) 723 28 39, e-mail: druk@onu.edu.ua