

**Міністерство освіти і науки України
Державний вищий навчальний заклад
«Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника»
Інститут природничих наук
Кафедра неорганічної та фізичної хімії**

Г.О. Сіренко, О.В. Кузишин

**Методичні вказівки та інструкції
до виконання лабораторних робіт
з курсу «Фізична хімія»**

Визначення теплових ефектів гідратоутворення та нейтралізації

Затверджено
на засіданні кафедри
неорганічної та фізичної хімії
(протокол №1 від 27.08.2013 р.)

Івано-Франківськ, 2013

УДК 541.1

Сіренко Г.О., Кузишин О.В. Методичні вказівки та інструкції до виконання лабораторних робіт з курсу «Фізична хімія». «Визначення теплових ефектів гідратоутворення та нейтралізації». – Івано-Франківськ: Прикарп. нац. ун-т ім. В. Стефаника, 2013. – 52 с.

Лабораторний практикум з курсу «Фізична хімія» містить теоретичну частину, у якій приведено основні означення термохімії, закону Гесса, розрахунків теплового ефекту хемічних реакцій за теплом утворення та згоряння сполук; теплового ефекту утворення сполуки певного агрегатного стану (тепло агрегатного стану); теплового ефекту утворення сполуки у розчині (тепло розчинення); тепла розведення розчину; тепла взаємодії кислоти та основи, а також практичну частину, в якій подано інструкції до виконання лабораторних робіт, тестові завдання, що відповідають тематиці даного розділу.

Методична розробка адресується студентам класичного університету за спеціальностями: «хімія», «біологія», «біохімія», «агрохімія та ґрунтознавство». Рис. 8, Табл. 3, Форм. 84, Літ. дж. 29.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

- Шийчук О.В.** – професор, доктор хімічних наук,
професор Університету технології та природничих наук
(м. Бидгощ, Республіка Польща).
- Мідак Л.Я.** – доцент, кандидат хімічних наук, доцент Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника.
- Сиротинська І.Д.** – кандидат хімічних наук, доцент кафедри біологічної та медичної хімії імені Г.О. Бабенка Івано-Франківського національного медичного університету.

© Катедра неорганічної та фізичної хемії
Прикарпатського національного університету
імені Василя Стефаника
© Сіренко Геннадій Олександрович
Кузишин Ольга Василівна

Зміст

1. Вимоги до оформлення звіту до лабораторної роботи.....	4
2. Загальні правила роботи в хемічній лабораторії.....	4
3. Заходи техніки безпеки.....	6
4. Теоретична частина.....	8
4.1. Термохемія. Основні означення	8
4.2. Закон Гесса	11
4.2.1. Формулювання закону Гесса.....	11
4.2.2. Застосування закону Гесса для розрахунку кількості енергії у формі тепла.....	13
4.3. Розрахунок теплових ефектів	15
4.3.1. Розрахунок теплових ефектів хемічних реакцій за теплом утворення сполук.....	15
4.3.2. Тепловий ефект утворення сполуки певного агрегатного стану (тепло агрегатного стану).....	18
4.3.3. Тепловий ефект утворення сполуки у розчині (тепло розчинення).....	19
4.3.4. Тепло розведення розчину.....	21
4.3.5. Тепло взаємодії кислоти та основи.....	22
4.3.6. Розрахунок теплового ефекту хемічних реакцій за теплом згоряння.....	23
5. Експериментальна частина.....	26
5.1. Лабораторна робота №1	26
5.2. Лабораторна робота №2.....	35
5.3. Програма до самостійної підготовки студента.....	39
5.4. Контрольні запитання.....	39
5.5. Тестові завдання до теми «Термохемія».....	40
Рекомендована література	44
Використані літературні джерела інформації.....	44
Термінологічні словники.....	46

1. ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

Студент звіт оформлює на подвійному (розгорнутому) листі паперу. На титульній сторінці листа розташовують назву катедри, назву лабораторної роботи, предмет, вказують прізвище та ім'я, номер групи, дату виконання лабораторної роботи, посаду, наукове звання, прізвище та ініціали викладача.

У звіті вказують мету роботи, дають перелік приладів, реактивів та посуду, що застосовується під час виконання лабораторної роботи; складають схеми приладів та устаткування, на якому проводять експеримент; вказують умови, в яких виконувалася робота, описують результати дослідження та рівняння хемічних реакцій. Записи повинні бути акуратними, з широким інтервалом між рядками та полями. Рівняння для розрахунків величин, що визначаються в досліді, наводять у загальному вигляді та з підставленими даними. Звіт закінчується висновками та відповідями на запитання, які були поставлені до кожного досліді і лабораторної роботи.

2. ЗАГАЛЬНІ ПРАВИЛА РОБОТИ В ХЕМІЧНІЙ ЛАБОРАТОРІЇ

З перших днів роботи в лабораторії студент повинен привчити себе до акуратності та уваги, відсутність яких часто буває причиною недостовірності результатів експерименту, а також може привести до нещасних випадків.

Під час роботи в хемічній лабораторії студенту необхідно знати і виконувати наступні правила:

- 1. Перед приходом на заняття** слід ознайомитися з темою за методичним посібником, підручником та конспектом лекцій за темою лабораторної роботи.
- 2. Перед виконанням лабораторної роботи** потрібно ознайомитися з відповідним описом роботи, підготувати всі прилади та реактиви, необхідні для проведення дослідів, та з'ясувати всі незрозумілі питання у викладача.
- 3. Потрібно дотримуватися** всіх заходів безпеки, що вказані в спеціальній інструкції та методичному посібнику з техніки безпеки та протипожежних заходів.

- 4. На робочому місці** та під витяжною шафою потрібно підтримувати чистоту і порядок, не загромождувати їх сторонніми предметами. Всі предмети повинні знаходитися в певному порядку, так, щоби було зручно їх брати під час виконання лабораторної роботи. Штатив з пробірками та набором реактивів потрібно ставити перед собою, справа від нього залишити вільне місце для лабораторного журналу і методичного посібника.
- 5. Методичний посібник і книги** під час виконання лабораторних робіт потрібно оберігати від попадання на них води і хемічних реактивів. Забороняється ставити склянки з реактивами на книги і зошити.
- 6. Під час використання реактивів** необхідно дотримуватися наступних правил:
- Виконуючи роботи, потрібно користуватися незабрудненими реактивами.
 - Не можна брати реактиви і крапельні піпетки з інших штативів. Якщо деякі реактиви і лабораторне обладнання відсутні, потрібно звернутися до інженера чи старшого лаборанта лабораторії або викладача.
 - Склянки з реактивами загального користування повинні знаходитися на означеному місці, їх не можна переносити на робочі столи.
 - Перш ніж брати реактив з полицки, потрібно уважно прочитати етикетку з назвою реактиву, після виконання досліду повернути реактив на те ж саме місце.
 - Усі склянки з реактивами потрібно тримати закритими і відкривати їх тільки під час досліду; закривати, не плутаючи корки, оскільки реактиви при цьому забруднюються.
 - Сухі сипкі реактиви відбирати чистим шпателем.
 - Реактиви, що не були використанні в досліді, не можна знову висипати в склянку з чистим реактивом. Їх потрібно передати інженеру або старшому лаборанту лабораторії.

- Дорогі та отруйні реактиви (сполуки срібла, ртуті та ін.) після проведення дослідів не можна виливати в раковину. Їх потрібно зливати в окремі склянки.

7. **Без дозволу викладача** не можна виконувати досліди, яких немає у відповідному посібнику.

3. ЗАХОДИ БЕЗПЕКИ

1. **Усі роботи з отруйними речовинами** та речовинами, що мають сильний запах, а також з кислотами, що випаровуються, і кислими розчинами потрібно проводити у витяжній шафі. Під час виконання дослідів потрібно використовувати тільки розчини з вказаною концентрацією і дотримуватися рекомендованого дозування.

2. **Досліди з легкозаймистими рідинами** (вуглеводні, ацетон, діетиловий етер та інші) проводити у витяжній шафі.

3. **Категорично забороняється** використання відкритого вогню або електронагрівальних приладів з відкритою спіраллю.

4. **Розжарені предмети** потрібно ставити тільки на азбестовий картон.

5. **Під час роботи з металічним натрієм** або іншими лужними металами потрібно остерігатися попадання на них води (**можливий вибух!**). Зберігати лужні метали потрібно під шаром гасу або вазелінової оливи. Різати ножом лужні метали повинен лише інженер або старший лаборант, і ні в якому разі, не можна кидати обрізки у смітник або раковину.

6. **Під час нагрівання розчинів** в пробірці потрібно користуватися пробіркотримачем, спрямовуючий отвір пробірки у протилежний від студента та його сусіда напрямок.

7. **Не нахилятися** над киплячою рідиною або речовинами, що можуть розплавлятися, для запобігання попадання речовини в обличчя.

8. **Запах речовин** слід визначати обережно, не нахиляючись над пробіркою і не вдихаючи на повні груди. Направляти пару речовини легким рухом руки.

9. **Під час роботи з твердими лугами** (подрібненні великих шматків, виготовленні сумішей для плавлення) обов'язково потрібно одягати захисні

окуляри. Брати луги потрібно тільки щипцями або пінцетом. Необхідно ретельно прибрати залишки лугу з робочого столу.

10. Під час розбавлення кислот, особливо сульфатної (сірчаної), кислоту потрібно вливати до води обережно, невеликими порціями, а не навпаки.

11. Якщо під час роботи кислота або луг потрапили на тіло, потрібно змити їх сильним потоком води і звернутися до інженера, старшого лаборанта або викладача за допомогою.

12. У лабораторії категорично забороняється палити цигарки, пити воду або споживати їжу.

13. Не можна кидати у водопровідні раковини папір, бите скло, залишки металів.

14. У разі нещасного випадку необхідно миттєво звернутися до інженера, старшого лаборанта лабораторії або викладача!

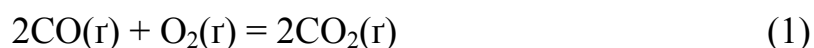
4. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

4.1. Термохімія. Основні означення

1. Термохімія – розділ хімічної термодинаміки, в якому розглядається застосування першого начала термодинаміки для різних хімічних і фізико-хімічних процесів, а саме:

- хімічних реакцій;
- фазових перетворень;
- кристалізації;
- твердіння і топлення;
- випаровування і конденсації;
- перегону (сублімації) і деперегону (десублімації);
- розчинення речовини;
- розведення розчинів;
- горіння;
- адсорбції тощо.

2. У процесі хімічних реакцій кількість моль вихідних речовин (n_1) може не дорівнювати кількості моль продуктів реакції (n_2): $n_1 \neq n_2$. Наприклад, для хімічної реакції:



з $n_1=3$ моль вихідних речовин утворюється $n_2=2$ моль продуктів реакції.

Або під час випаровування рідини змінюється концентрація розчиненої речовини у рідині.

3. Хімічні реакції та інші фізико-хімічні процеси протікають:

а) за сталого абсолютного тиску (p) та за сталої температури (T)

$p, T = \text{const}$:

$$\delta Q = dU + \delta L = dU + pdV \quad (2)$$

де δQ – елементарна кількість енергії у формі тепла;

dU – диференціал внутрішньої енергії;

dV – диференціал об'єму;

$\delta L = p dV$ – елементарна кількість термодинамічної роботи розширення, сумарна кількість якої під час переходу термодинамічної системи із стану (·1) до стану (·2) дорівнює:

$$L_{p,1 \rightarrow 2} = \Delta n R_{\mu} T = p \Delta V \quad (3)$$

де $\Delta n = |n_2 - n_1|$ – зміна кількості **моль**;

R_{μ} – універсальна газова стала.

Тоді, сумарна кількість енергії у формі тепла в термодинамічному процесі за $p, T = \text{const}$ під час переходу термодинамічної системи із стану (·1) до стану (·2) дорівнює:

$$Q_{p,T, 1 \rightarrow 2} = \Delta U_k(\Delta T) + \Delta U_n(\Delta V) + \Delta n R_{\mu} T, \quad (4)$$

$\Delta U_k = f(\Delta T)$ – зміна кінетичної частини внутрішньої енергії термодинамічної системи, яка залежить від зміни її абсолютної температури ΔT , так як $T = \text{const}$, то $\Delta T = 0$ і $\Delta U_k = 0$ для реальних та ідеальних газів.

Тоді (4) для реальних газів набуде такого вигляду

$$Q_{p,T, 1 \rightarrow 2} = \Delta U_n(\Delta V) + \Delta n R_{\mu} T, \quad (5)$$

$\Delta U_n = f(\Delta V)$ – зміна потенціальної частини внутрішньої енергії термодинамічної системи, яка залежить від зміни її об'єму ΔV .

а для ідеальних газів

$$Q_{p,T, 1 \rightarrow 2} = \Delta n R_{\mu} T. \quad (6)$$

б) за сталого об'єму та абсолютної температури $V, T = \text{const}$

$$Q_{V,T, 1 \rightarrow 2} = \Delta n R_{\mu} T \quad (7)$$

4. Якщо під час хемічної реакції або іншого фізико-хемічного процесу кількість моль $n = \text{const}$ і виконується робота розширення, то:

- за $V = \text{const}$ з першої форми запису першого начала термодинаміки:

$$\delta Q = dU; \quad (8)$$

$$Q_{V, 1 \rightarrow 2} = \Delta U. \quad (9)$$

- за $p = \text{const}$ з другої форми запису першого начала термодинаміки:

$$\delta Q = dH, \quad (10)$$

$$Q_{p, 1 \rightarrow 2} = \Delta H. \quad (11)$$

У формулах (8)-(11) ΔU , ΔH – теплові ефекти хемічних реакцій за $V=\text{const}$ і за $p=\text{const}$ відповідно.

5. Тепловим ефектом хемічної реакції та інших фізико-хемічних процесів називають кількість енергії, що виділяється або поглинається у формі тепла під час необоротного протікання хемічних реакцій або інших фізико-хемічних процесів, коли єдиною роботою є термодинамічна робота, а температура вихідних речовин і продуктів реакції однакові:

- для $V=\text{const}$, це є ΔU ;
- для $p=\text{const}$, це є ΔH .

- Для газів (τ) ΔU і ΔH пов'язані співвідношенням

$$H=U + pV, \quad (12)$$

тоді

$$\Delta H= \Delta U + p\Delta V \text{ за } p, T=\text{const}, \quad (13)$$

$$\Delta H= \Delta U + V\Delta p \text{ за } V, T=\text{const}. \quad (14)$$

- Для конденсованих систем (p) і (τ):

$$Q_p \approx Q_v; \Delta H \approx \Delta U. \quad (15)$$

6. Для запису термохемічної реакції чи фізико-хемічного процесу вказують на агрегатний стан вихідних речовин і продуктів реакції та тепловий ефект реакції,

наприклад хемічну реакцію записують у такому вигляді:



При цьому знак « \rightarrow » для ΔH говорить, що хемічна реакція відбувається з виділенням енергії у формі тепла, а « $+$ » – з поглинанням енергії у формі тепла.

7. У зв'язку з тим, що у хімічних реакціях переважно $n_1 \neq n_2$, розмірність теплового ефекту хемічної реакції (процесу) записують у кДж, а не кДж/моль.

8. У зв'язку з тим, що величини ΔH , ΔU залежать від p , T та стану вихідних речовин і продуктів реакції, то, наприклад:

$$Q_c(\text{графіт}) \neq Q_c(\text{алмаз}); \quad (17)$$

$$Q_f(1M) \neq Q_f(0,1M) \text{ (розчину) тощо}, \quad (18)$$

де Q_c – тепло згоряння [c – combustion (англ. згоряння)];

Q_f – тепло утворення [f – formation (англ. утворення)].

9. Щоби стандартизувати (нормалізувати, табулювати) термодинамічні величини (параметри і функції), приймають ці величини за певного тиску p^0 і певної абсолютної температури T^0 і для певного агрегатного стану речовини, тобто зводять термодинамічні величини до певних умов ΔU^0 , ΔH^0 . У термохімії за стандартні (нормалізовані) умови прийняті:

▪ **стандартний (нормалізований) абсолютний тиск**

$p^0 = 0,101325 \text{ МПа} = 760 \text{ мм рт.ст.} = 1 \text{ атм (фіз.)} = 1,033 \text{ ат. (тех.)} = 1,033 \cdot 10^4 \text{ кгс/м}^2 =$
 $= 1,033 \text{ кгс/см}^2$, тобто тиск за н.ф.у.;

▪ **стандартна (нормалізована) температура**

$T^0 = 298,15 \text{ К} (t^0 = 25^\circ\text{C})$;

▪ **стандартний агрегатний стан речовини** – стабільна модифікація за даних умов. Наприклад, вуглець має стандартний стан – графіту за p^0 , T^0 гексагональну модифікацію; сірка – ромбічну модифікацію за p^0 , T^0 .

▪ **стандартний розчин** – розчин з концентрацією, в якому активність розчиненої речовини дорівнює одиниці за p^0 , T^0 ;

▪ **стандартний газ** – ідеальний газ за p^0 , T^0 і т.ин.

4.2. Закон Гесса

4.2.1. Формулювання закону Гесса:

1. Французький хемік Антуан Лоран Лавуазьє (Lavoisier) (1743-1794) і французький фізик П'єр Симон Лаплас (Laplace) (1749-1827) у 1780 р. формулюють закон, який у майбутньому названий законом Гесса: **кількість тепла, що поглинається під час розкладу сполуки дорівнює кількості тепла, що виділяється у процесі її утворення за однакових умов.**
2. Німецько-швайцарський вчений Герман Гесс (Hess) (1802-1850) у 1840 р. сформулював закон сталості сум теплот у сучасному формулюванні: **сумарний тепловий ефект хемічної реакції за сталого тиску ($p = \text{const}$)**

дорівнює зміні ентальпії (ΔH), а за сталого об'єму ($V=\text{const}$) – зміні внутрішньої енергії (ΔU) і залежить від начального і кінцевого стану термодинамічної системи, і не залежить від проміжних станів і шляхів переходу від начального до кінцевого стану.

У розвитку цих означень Гесс у 1842 р. сформулював правило термонеутральности, згідно з яким під час змішування солевих розчинів не відбувається виділення тепла.

- Закон Гесса у сучасному означенні звучить так: **тепловий ефект хемічної реакції залежить від природи і стану вихідних речовин і кінцевих продуктів реакції і не залежить від шляху переходу між ними.**
- Всі три формулювання витікають з першого начала термодинаміки і є вислідом того, що ентальпія (H) і внутрішня енергія (U) є функціями термодинамічного стану: $H = f(p, T)$; $U = \psi(V, T)$.
- Загальна схема, яка пояснює закон Гесса, приведена на рис. 1.

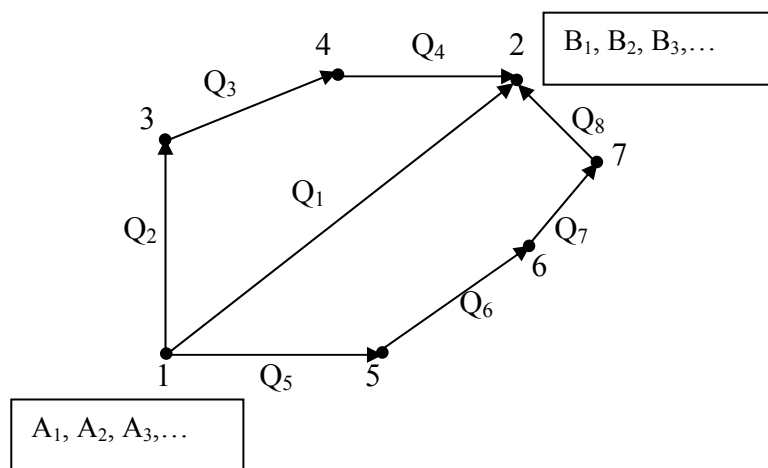


Рис. 1. Загальна схема теплових ефектів за законом Гесса за шляхами переходу системи із термодинамічних станів:

$$1 \rightarrow 2; 1 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 2; 1 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 2.$$

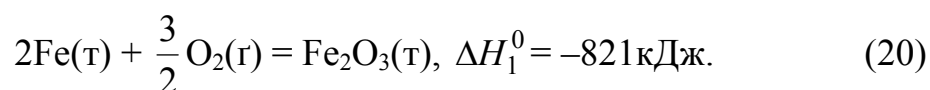
На рис. 1 позначено: A_1, A_2, A_3, \dots – вихідні речовини хемічної реакції; B_1, B_2, B_3, \dots – кінцеві продукти хемічної реакції.

$$\text{Тоді} \quad Q_1 = Q_2 + Q_3 + Q_4 = Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8. \quad (19)$$

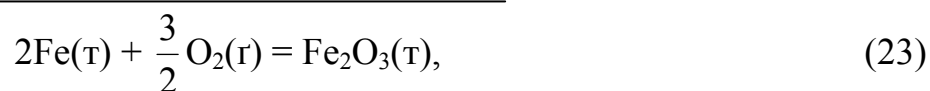
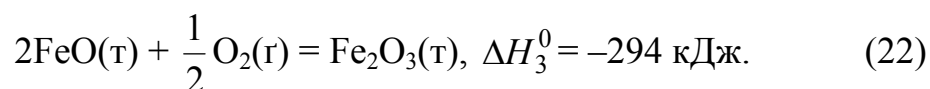
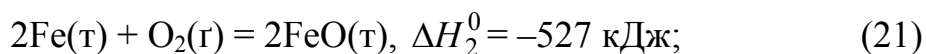
4.2.2. Застосування закону Гесса для розрахунку кількості тепла

Закон Гесса широко використовується для розрахунку теплового ефекту хемічних реакцій та інших фізико-хемічних процесів на основі експериментальних даних, які відносяться до інших процесів, у тому числі і до таких, які не можливо реалізувати у певних умовах.

1. Приклад 1. Застосування закону Гесса для розрахунку тепла окиснення заліза:



Реакція (16) може бути здійснена з утворенням проміжних продуктів FeO (II):



$$\Delta H_1^0 = \Delta H_2^0 + \Delta H_3^0 = (-527) + (-294) = -821 \text{кДж}. \quad (24)$$

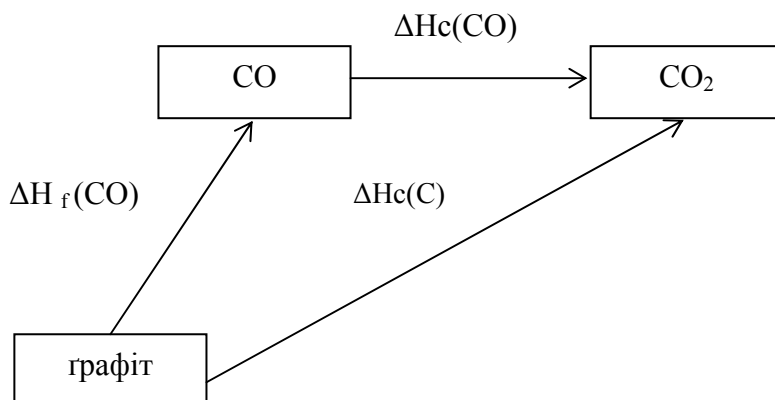


Рис. 2. Шляхи утворення CO₂ з графіту.

2. Приклад 2. Застосування закону Гесса для розрахунку тепла утворення ΔH_f(CO) з графіту.

За схемою (рис. 2), що ілюструє закон Гесса, тепло утворення CO $\Delta H_f(\text{CO})$ за $T = 298,15 \text{ K}$ можна розрахувати, знаючи, що тепло згоряння CO $[\Delta H_c(\text{CO})]$ і C $[\Delta H_c(\text{C})]$ до CO_2 за $T=298,15 \text{ K}$ дорівнюють відповідно $(-282,99)$ кДж/моль і $(-393,32)$ кДж/моль відповідно. Розглянемо два шляхи утворення CO_2 : з графіту під час безпосереднього згоряння його і в процесі проміжного утворення CO (рис. 2).

За законом Гесса загальний тепловий ефект обох шляхів переходу однаковий, тому знаходимо:

$$\Delta H_f(\text{CO}) = [\Delta H_c(\text{C})] - [\Delta H_c(\text{CO})] = -393,32 - (-282,99) = -110,33 \text{ кДж.} \quad (25)$$

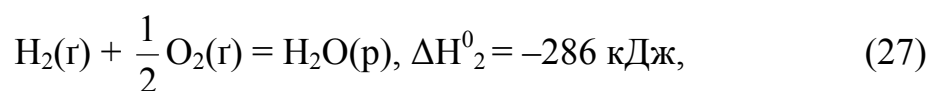
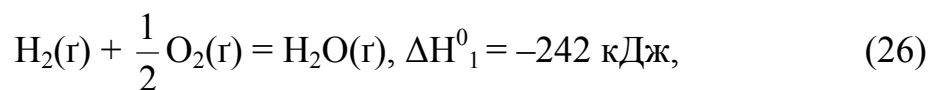
3. Обмеження застосування закону Гесса для розрахунку теплових ефектів:

1. Закон є точним лише для процесів $V=\text{const}$ (ΔU) або $p=\text{const}$ (ΔH).

2. Закон є правдивим, якщо для кількох процесів (шляхів переходу) будуть однакові початкові і кінцеві стани, а саме:

- однаковий хемічний склад;
- однакові умови існування (p, T, \dots);
- однакові агрегатні і фазові стани: між (г) і (р) є різниця тепла на випаровування або конденсацію; між (г) і (т) є різниця тепла на перегін або деперегін; між (р) і (т) є різниця тепла на топлення або твердіння.

Наприклад:



Різниця на випаровування:

$$\Delta H^0_2 - \Delta H^0_1 = -(286 - 242) = Q_{\text{випар.}} = -44 \text{ кДж.} \quad (28)$$

- для кристалічних тіл – однакова кристалічна модифікація;
- для високодисперсних тіл – однакова ступінь дисперсности;
- однаковий чистий вигляд в твердому стані чи в розчині.

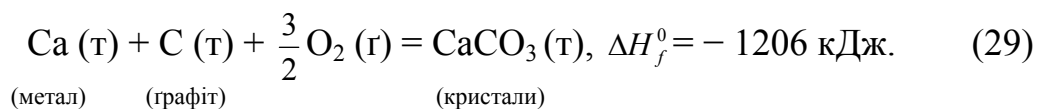
4.3. Розрахунок теплових ефектів

4.3.1. Розрахунок теплових ефектів хемічних реакцій

за теплом утворення сполук

1. **Термохемія** дозволяє зробити розрахунок теплових ефектів процесів – хемічних реакцій, розчинення, випаровування, перегону, кристалізації тощо.
2. **Розрахунок теплових ефектів** хемічних реакцій на основі закону Гесса проводять за теплом утворення і теплом згоряння сполук.
3. **Теплом утворення** називають тепловий ефект хемічної реакції утворення даної сполуки з простих речовин (1 моль сполуки як одиниці кількості речовини): ΔH_f .
4. **При цьому тепло утворення** простих речовин (N_2 , H_2 , O_2) приймають таким, що дорівнює нулю.
5. **У зв'язку з тим**, що тепловий ефект хемічних реакцій залежить від умов проведення (T , p), прості речовини розглядаються в тому агрегатному стані і у тій модифікації, в яких вони є стабільними за **стандартних** (нормованих) умов: певна модифікація, T° , p° тощо.
6. Тепло утворення, що розраховане для стандартних умов носить назву **стандартного**(нормованого).

Наприклад, стандартним теплом утворення кальцій карбонату є тепловий ефект реакції:



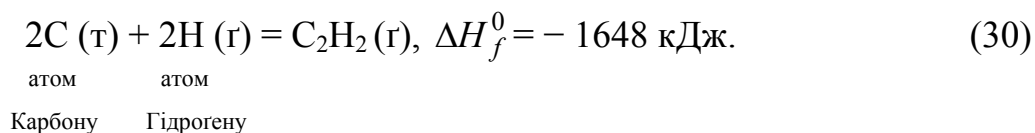
Тут ΔH_f^0 – тепло утворення $CaCO_3 (T)$.

Такі хемічні реакції переважно практично нездійснені, але їх теплові ефекти застосовують як допоміжні під час розрахунків величин тепла утворення інших речовин. Тепло утворення можна віднести до будь-якої кількості речовини (моль, кг, m^3).

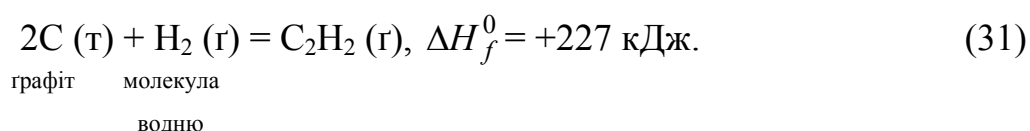
7. Необхідно розрізняти тепло утворення сполуки з простих речовин від атомарного тепла утворення сполуки. Утворення молекул з вільних атомів завжди супроводжується виділенням енергії.

Під час утворення сполук з простих речовин енергія у формі тепла може виділятися або поглинатися, так як утворення вільних атомів з простих речовин вимагає витрат енергії.

Наприклад, утворення ацетилену з атомів Карбону і Гідрогену супроводжується виділенням енергії у формі тепла:



Утворення ацетилену з графіту і молекули водню супроводжується поглинанням енергії у формі тепла:



Так як розклад молекули водню на атоми вимагає витрат енергії +437 кДж/моль, а для отримання вільних атомів вуглецю з графіту необхідно витратити +719 кДж/г-атом = +719 кДж/моль, то утворення вільних атомів вуглецю і водню в кількості, що необхідна для утворення 1 моль ацетилену, вимагає:

$$(+437) + 2 \cdot (+719) = +1875 \text{ кДж.} \quad (32)$$

Різниця між +1875 + (-1648) = +227 кДж відповідає (31).

8. Порівняно за невеликим числом стандартного тепла утворення сполук можна розрахувати теплові ефекти більшості хемічних реакцій.

Із закону Гесса витікає, що тепловий ефект хемічної реакції дорівнює різниці між сумою тепла утворення продуктів реакції та сумою тепла утворення вихідних речовин:

$$\Delta H^0 = \sum_{j=1}^{N_2} [v_{\text{прод. } j} \cdot \Delta H_{f(\text{прод.})j}^0] - \sum_{i=1}^{N_1} [v_{(\text{вих. реч.})i} \cdot \Delta H_{f(\text{вих. реч.})i}^0], \quad (33)$$

де ΔH^0 – стандартний тепловий ефект хемічної реакції;

$$\sum_{j=1}^{N_2} [v_{\text{прод.}} \cdot \Delta H_{f(\text{прод.})}^0] - \text{сума тепла утворення продуктів хемічної реакції;}$$

$$\sum_{j=1}^{N_1} [V_{\text{вих.реч.}} \cdot \Delta H_{f(\text{вих.реч.})}^0] - \text{сума тепла утворення вихідних речовин} \quad (f)$$

– від formation – утворення);

$V_{(\text{прод.})j}$, $V_{(\text{вих.реч.})i}$ – стехіометричні коефіцієнти продуктів реакції і вихідних речовин відповідно у рівнянні хемічної реакції.

Так, для довільної хемічної реакції



де B, D – вихідні речовини;

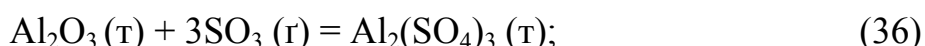
G, R – продукти хемічної реакції;

b, d, g, r – стехіометричні коефіцієнти вихідних речовин і продуктів хемічної реакції.

Якщо $\Delta H_{f(B)}^0$, $\Delta H_{f(D)}^0$, – тепло утворення вихідних речовин, а $\Delta H_{f(G)}^0$, $\Delta H_{f(R)}^0$ – тепло утворення продуктів реакції відповідно, то тепловий ефект хемічної реакції за температури T° дорівнює:

$$\Delta H^\circ = [g\Delta H_{f(G)}^0 + r\Delta H_{f(R)}^0] - [b\Delta H_{f(B)}^0 + d\Delta H_{f(D)}^0]. \quad (35)$$

Наприклад, отримання за 298,15 К (25°C) $Al_2(SO_4)_3$ з кристалічного Al_2O_3 (т) і газу SO_3 за реакцією:



то, виходячи з тепла утворення

$$\Delta H_f^0(Al_2O_3) = -1672 \text{ кДж/моль}; \quad (37)$$

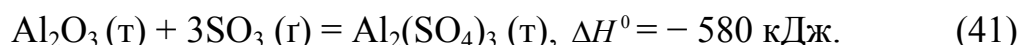
$$\Delta H_f^0(SO_3) = -396 \text{ кДж/моль}; \quad (38)$$

$$\Delta H_f^0[Al_2(SO_4)_3] = -3440 \text{ кДж/моль}, \quad (39)$$

отримаємо тепловий ефект хемічної реакції (30):

$$\begin{aligned} \Delta H^\circ &= \Delta H_f^0[Al_2(SO_4)_3] - [\Delta H_f^0(Al_2O_3) + 3\Delta H_f^0(SO_3)] = -3440 - [(-1672) + (-3 \cdot 396)] = \\ &= -580 \text{ кДж}. \end{aligned} \quad (40)$$

Схема термохемічних розрахунків (рис. 3) хемічної реакції



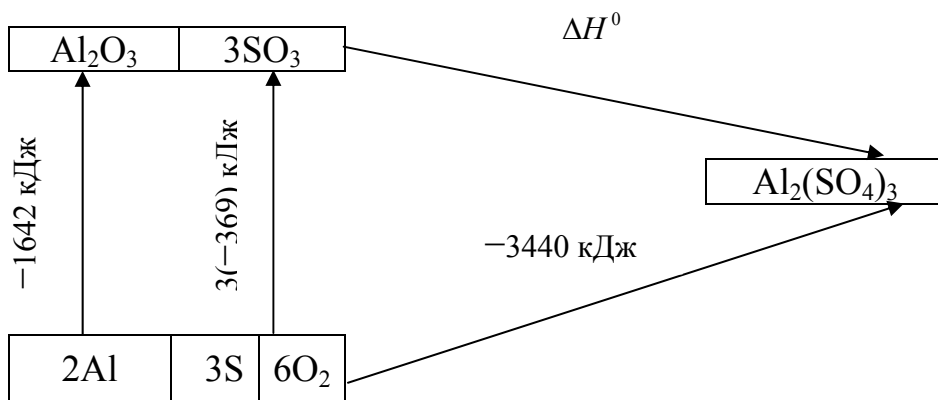


Рис. 3. Схема розрахунку теплового ефекту хемічної реакції (30).

9. Стандартне тепло утворення (ентальпія) сполуки є важливою енергетичною характеристикою її стійкості:

- якщо $\Delta H_{f,298}^0 < 0$, то речовина є стійкішою, ніж прості (вихідні) речовини, з яких вона утворилася;
- якщо $\Delta H_{f,298}^0 > 0$, то речовина є менш стійкою, ніж прості (вихідні) речовини, з яких вона утворилася;
- наприклад, у ряду сполук

ZnO, CdO, HgO стандартне тепло їх утворення дорівнює

$$\Delta H_f^0 \left(\frac{\text{кДж}}{\text{моль}} \right) = -350; -260; +90,9 \text{ (відповідно), і в такій послідовності}$$

зменшується стійкість цих сполук.

4.3.2. Тепловий ефект утворення сполуки певного агрегатного стану (тепло агрегатного стану)

Тепловий ефект утворення сполуки певного агрегатного стану дорівнює:

$$\Delta H_{f,1}^0 = \Delta H_{f(T)}^0 + \Delta H_{\text{переходу}}^0 = \Delta H_{f(p)}^0 + \Delta H_{\text{випар.}}^0, \quad (42)$$

де $\Delta H_{f,1}^0$ – тепловий ефект утворення хемічної сполуки в іншому агрегатному стані;

$\Delta H_{f(T)}^0$ – тепловий ефект утворення хемічної сполуки у твердому стані;

$\Delta H_{f(p)}^0 = (\Delta H_{f(T)}^0 + \Delta H_{\text{топл.}}^0)$ – тепловий ефект утворення хемічної сполуки у рідкому стані;

$\Delta H_{\text{топл.}}^0$, $\Delta H_{\text{перегону}}^0$, $\Delta H_{\text{випар.}}^0$ – тепло топлення, тепло перегону, тепло випаровування одного моля хемічної сполуки, які пов'язані співвідношенням:

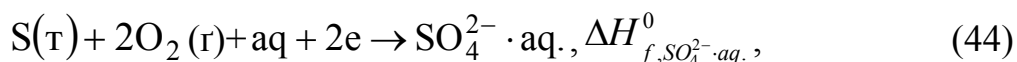
$$\Delta H_{\text{перегону}}^0 = \Delta H_{\text{топл.}}^0 + \Delta H_{\text{випар.}}^0 \quad (43)$$

4.3.3. Тепловий ефект утворення сполуки у розчині (тепло розчинення)

1. У процесі термохімічних розрахунків хемічних реакцій у розчинах необхідно враховувати тепловий ефект процесу розчинення сполуки в певному розчиннику.
2. Тепловий ефект утворення хемічної сполуки в розчині, яка дисоціює на йони, визначається за теплом утворення йонів у розчині.

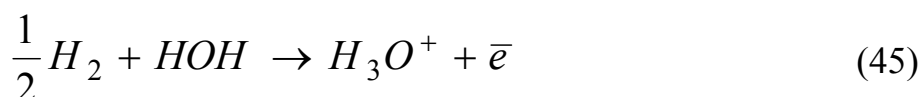
Наприклад:

а) тепло утворення йону SO_4^{2-} уявляє собою тепловий ефект хемічної реакції:

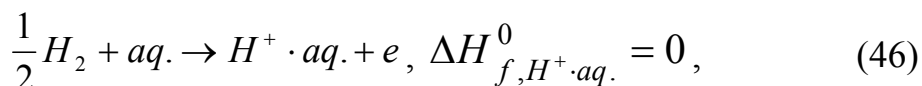


де аq. (від лат. «аqua» – вода) означає, що реакція проводиться у розчині;

б) тепло утворення йону гідроксонію H_3O^+ за реакцією:



уявляє собою тепловий ефект реакції в термінах термохімічного рівняння:



де $\text{H}^+ \cdot \text{aq.} \equiv \text{H}_3\text{O}^+$.

3. Згідно закону Гесса тепло утворення речовини у розчині дорівнює його теплу утворення плюс тепло розчинення:

$$\Delta H_{f, \text{aq.}}^0 = \Delta H_f^0 + \Delta H_s^0 (\text{s – від solution – розчинення}). \quad (47)$$

4. Інтегральним теплом розчинення називають енергію у формі тепла, яка поглинається або виділяється під час розчинення 1 моль сполуки у такій кількості розчинника, щоби утворився розчин з певною молярністю m .

5. Тепло розчинення твердої сполуки з йонною кристалічною ґраткою дорівнює сумі тепла руйнування кристалічної ґратки та тепла сольватації йонів молекулами розчинника.

6. Енергія у формі тепла руйнування кристалічної ґратки має знак «+» (тепло поглинається), а процес сольватації супроводжується виділенням енергії у формі тепла (знак «-»). Тоді, знак тепла розчинення може бути «+» або «-», наприклад, у процесі розчинення 1 моль кристалогідрату $\text{CuCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ у воді тепло розчинення дорівнює:

$$n = 8 \text{ моль води: } \Delta H_s^0 = +3,35 \text{ кДж; } \quad (48)$$

$$n = 12 \text{ моль води: } \Delta H_s^0 = 0; \quad (49)$$

$$n \rightarrow \infty \text{ моль води: } \Delta H_s^0 = -17,67 \text{ кДж. } \quad (50)$$

7. Тепло розчинення залежить від концентрації хемічної сполуки в розчині (рис. 4).

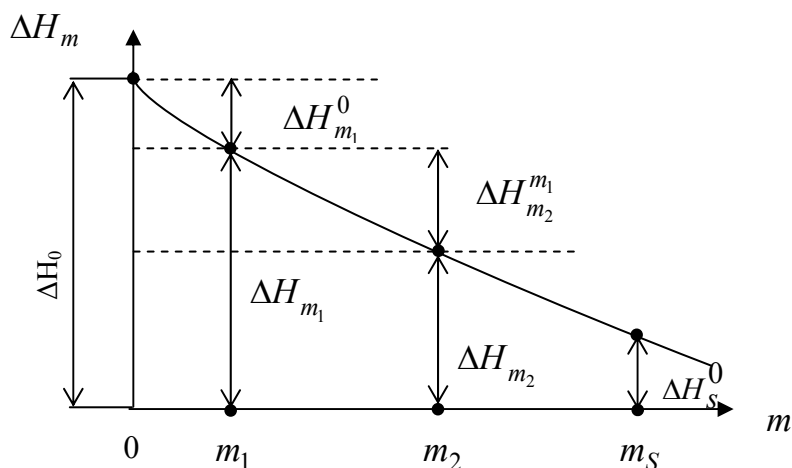


Рис. 4. Залежність інтегрального тепла розчинення (ΔH_m) від молярної концентрації розчину (m).

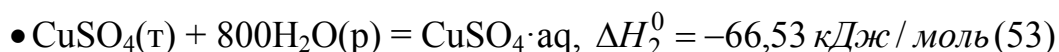
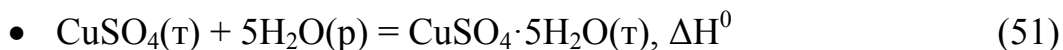
На рис. 4 показано залежність інтегрального тепла розчинення ΔH_m від молярності m розчину. На рис. 4 позначено:

ΔH_0^0 – перше інтегральне тепло розчинення, яке дорівнює тепловому ефекту під час розчинення 1 моль речовини у безкінечно великій (∞) кількості розчинника ($m \rightarrow 0$) і визначається екстраполяцією кривої $\Delta H \sim f(m)$ до $m=0$;

ΔH_s^0 – повне інтегральне тепло розчинення, яке дорівнює тепловому ефекту при розчиненні 1 моль речовини в такій кількості розчинника, щоб утворився насичений розчин.

Наприклад, необхідно користуючись інтегральним теплом розчинення, розрахувати тепло утворення кристалогідрату $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ з $\text{CuSO}_4(\text{т})$ і $\text{H}_2\text{O}(\text{р})$ за стандартних умов.

8. Розглянемо процеси, що здійснюються двома шляхами:



За законом Гесса запишемо:

$$\Delta H^0 + \Delta H_1^0 = \Delta H_2^0, \quad (54)$$

$$\text{звідки} \quad \Delta H^0 = \Delta H_2^0 - \Delta H_1^0, \quad (55)$$

де ΔH_1^0 – інтегральне тепло розчинення кристалогідрату $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}(\text{т})$ у воді;

ΔH_2^0 – інтегральне тепло розчинення безводної солі $\text{CuSO}_4(\text{т})$ у воді.

Розрахунок тепла утворення кристалогідрату $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}(\text{т})$:

$$\Delta H^0 = -66,53 - 11,72 = -78,25 \text{ кДж/моль}, \quad (56)$$

тобто утворення кристалогідрату йде із значним виділенням тепла.

4.3.4. Тепло розведення розчину

1. Додавання розчинника до розчину також супроводжується тепловим ефектом – **теплом розведення**. Чим більше розведений розчин, тим тепло розведення менше. Тепло розведення розраховують за інтегральним теплом розчинення. Розрізняють **інтегральне** та **проміжне** тепло розведення (рис. 4):

2. Интегральне тепло розведення $\Delta H_{d,m}^0$ – тепловий ефект, який спостерігається під час розведення розчину, що містить 1 моль розчиненої речовини, до безкінечного (∞) розведення ($m=0$):

$$\Delta H_{d,m,1 \rightarrow 0}^0 = \Delta H_{d,0} - \Delta H_{d,m_1} = \Delta H_{m_1}^0 \text{ (рис. 4),} \quad (57)$$

де $\Delta H_{d,0} = \Delta H_0$ (рис.4) – інтегральне тепло розчинення 1 моль речовини у необмеженій (∞) кількості розчинника (d – від dilution – розведений, diluted – розбавлений);

$\Delta H_{d,m_1} = \Delta H_{m_1}$ – інтегральне тепло розчинення 1 моль речовини за m_1 -концентрації розчину.

3. Проміжне тепло розведення $\Delta H_{d,m_2 \rightarrow m_1}^0 = \Delta H_{m_2}^{m_1}$ (рис. 4) – тепловий ефект, який спостерігається під час розведення розчину, що містить 1 моль розчиненої речовини, від концентрації m_2 до m_1 ($m_2 > m_1$) і дорівнює різниці інтегральних теплот розчинення:

$$\Delta H_{d,m_2 \rightarrow m_1}^0 = \Delta H_{d,m_1} - \Delta H_{d,m_2} = \Delta H_{m_2}^{m_1} = \Delta H_{m_1} - \Delta H_{m_2} \text{ (рис.4).} \quad (58)$$

4. Проміжним теплом розчинення називають тепловий ефект, який отримують під час концентрування розчину від m_1 до m_2 ($m_1 < m_2$):

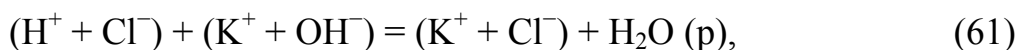
$$\Delta H_{d,m_1 \rightarrow m_2}^0 = \Delta H_{d,m_2}^0 - \Delta H_{d,m_1}^0 = \Delta H_{m_1}^{m_2} = \Delta H_{m_2} - \Delta H_{m_1} \text{ (рис. 4).} \quad (59)$$

4.3.5. Тепло взаємодії кислоти та основи

1. Під час взаємодії моль-еквівалентів сильної кислоти з сильною основою у розбавлених водних розчинах виділяється майже однакова кількість тепла:

$$\Delta H_n^0 = -55,9 \text{ кДж / моль} = \text{const} \text{ (n – від neutralization – нейтралізація).} \quad (60)$$

Сталість кількостей тепла нейтралізації пов'язана з тим, що під час взаємодії сильних кислот з сильними основами, які повністю дисоційовані у розбавлених водних розчинах, з йонів H^+ (більш ймовірно йонів гідроксонію H_3O^+) кислоти та йонів OH^- основи утворюється молекула H_2O (р):



$$\Delta H_n^0 = -55,9 \text{ кДж / моль} - \text{тепло утворення } \text{H}_2\text{O} \text{ з йонів.} \quad (62)$$

2. Під час нейтралізації слабких кислот сильними основами або слабких основ сильними кислотами, що супроводжується дисоціацією слабого електроліту, тепло дисоціації $\Delta H_{\text{дис}}$ виділяється (знак «-») або поглинається (знак «+»).

Тепло дисоціації залежить від тепла, що поглинається під час розпаду молекули на йони (знак «+»), і тепла гідратації йонів молекулами розчинника (знак «-»), що виділяється.

Таким чином, тепло дисоціації може мати знак «+» або «-», а тепло нейтралізації:

а) слабких кислот сильними основами складається з тепла утворення води з йонів плюс тепло дисоціації слабого електроліту (кислоти):

$$\Delta H_n^0 = \Delta H_{f(\text{H}_2\text{O})} + \Delta H_{\text{дис.слаб.к-ти}}^0 = (-55,9 + \Delta H_{\text{дис.слаб.к-ти}}) \text{ кДж/моль;} \quad (63)$$

б) слабких основ сильними кислотами складається з тепла утворення води з йонів плюс тепло дисоціації слабого електроліту (основи):

$$\Delta H_n^0 = \Delta H_{f(\text{H}_2\text{O})} + \Delta H_{\text{дис.слаб.основи}}^0 = (-55,9 + \Delta H_{\text{дис.слаб.основи}}) \text{ кДж/моль.} \quad (64)$$

3. Під час точних розрахунків тепла нейтралізації необхідно враховувати два проміжних тепла розбавлення (розведення), так як у процесі змішування розчинів кислоти та основи відбувається зміна об'ємів як кислоти, так і основи.

4.3.6. Розрахунок теплового ефекту хемічних реакцій за теплом згоряння

- 1. Теплом згоряння** називають тепловий ефект реакцій окиснення 1 моль даної сполуки за $p = \text{const}$ киснем до вищих оксидів відповідних елементів або сполук цих оксидів.
- 2. Для органічних сполук** теплом згоряння називають тепловий ефект хемічної реакції повного згоряння даної сполуки і утворення з первнів С, Н, N, S, Cl тощо CO_2 (г), H_2O (р), N_2 (г), SO_2 (г), HCl (г) та інших відповідних сполук.
- 3. Тепло згоряння таких кінцевих продуктів** часто приймають за такі, що дорівнюють нулю.

4. **Тепло згоряння сполук**, що знайдені експериментально, приводять до стандартних умов [$T = 298,15 \text{ K}$ ($t=25^\circ\text{C}$); $p^\circ=0,101325 \text{ МПа}$ ($1\text{атм} = 760 \text{ мм рт. ст.}$)].
5. **Тепло згоряння палива** характеризує його теплотворну здатність.
6. **Якщо відоме тепло згоряння** всіх речовин, які беруть участь у хемічній реакції, то за ними можна розрахувати тепловий ефект самої реакції.
7. **Із закону Гесса витікає**, що тепловий ефект хемічної реакції дорівнює різниці між сумою тепла згоряння вихідних речовин і сумою тепла згоряння кінцевих продуктів реакції з урахуванням стехіометричних коефіцієнтів рівняння реакції:

$$\Delta H^0 = \sum_{i=1}^N \nu_j \cdot \Delta H_{c,j}^0 - \sum_{i=1}^N \nu_i \cdot \Delta H_{c,i}^0 \quad (65)$$

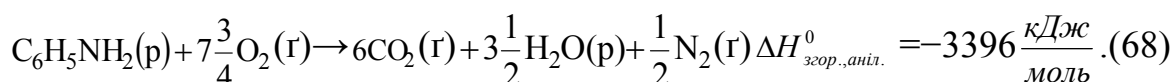
Так, для хемічної реакції



тепловий ефект дорівнює:

$$\Delta H_0^0 = (a\Delta H_{c,A}^0 + b\Delta H_{c,B}^0) - (e\Delta H_{c,E}^0 + d\Delta H_{c,D}^0). \quad (67)$$

8. **Так, стандартне тепло згоряння аніліну** (p) є тепловий ефект хемічної реакції за $p^\circ=0,101325 \text{ МПа}$; $T^\circ= 298,15 \text{ K}$:



9. **Приклад схеми розрахунків** для реакції утворення естеру з кислоти і спирту (рис. 5):



Для H_2O , як кінцевого продукту реакції згоряння, приймають

$$\Delta H_{c,\text{H}_2\text{O}}^0 = 0. \quad (70)$$

Тепловий ефект реакції (55):

$$\Delta H_0^0 = \Delta H_{c,\text{CH}_3\text{COOH}}^0 + \Delta H_{c,\text{CH}_3\text{OH}}^0 + \Delta H_{c,\text{CH}_3\text{COOCH}_3}^0 \quad (71)$$

$$\text{CH}_3\text{COOH} + 2\text{O}_2 = 2\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}, \quad \Delta H_{c,\text{CH}_3\text{COOH}}^0 \quad (72)$$

$$\text{CH}_3\text{OH} + 1\frac{1}{2}\text{O}_2 = \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}, \quad \Delta H_{c,\text{CH}_3\text{OH}}^0 \quad (73)$$

$$\text{CH}_3\text{COOCH}_3 + \text{H}_2\text{O} + 3\frac{1}{2}\text{O}_2 = 3\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}, \quad \Delta H_{c,\text{CH}_3\text{COOCH}_3}^0. \quad (74)$$

Схема цього хемічного процесу приведена на рис. 5.

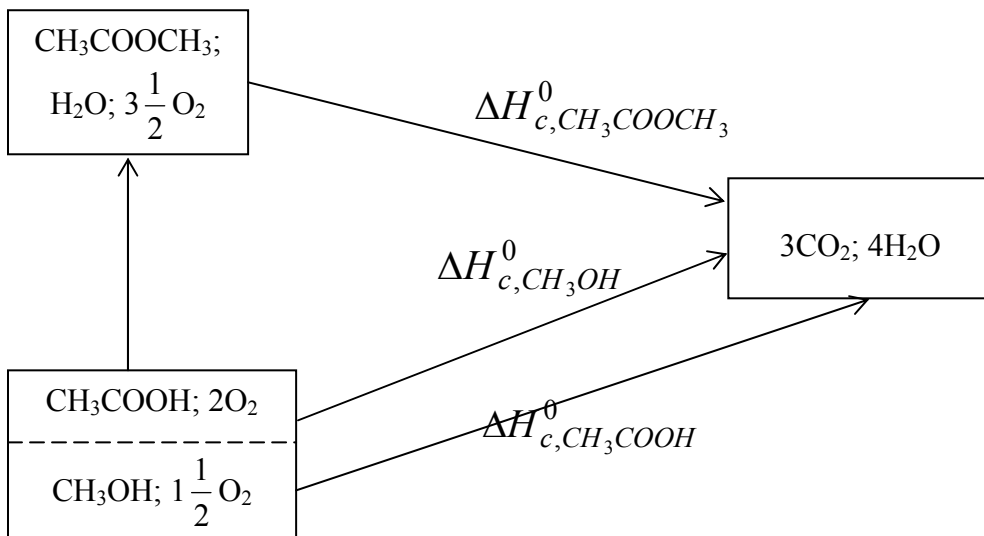


Рис. 5. Схема процесу згоряння з утворенням естеру з кислоти та спирту.

5. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

5.1. Лабораторна робота №1

5.1.1. Основні вимоги

1. **Тема:** Визначення теплових ефектів гідратування.

2. **Мета:** Ознайомлення з методом калориметричних вимірювань, набуття навичок користування калориметром і термометром Бекмана, визначення теплоємності калориметра; визначення тепла гідратування солі $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, виходячи з тепла розчинення безводної солі і кристалогідрату.

3. Необхідно знати:

- основні означення термохімії;
- формулювання закону Гесса та розрахунок теплових ефектів хімічних реакцій;
- розрахунок теплових ефектів хімічних реакцій за теплом утворення сполук;
- розрахунок теплового ефекту хімічних реакцій за теплом згоряння;
- означення теплового ефекту утворення сполуки певного агрегатного стану (тепло агрегатного стану);
- означення теплового ефекту утворення сполуки у розчині (тепло розчинення);
- означення тепла розведення розчину;
- означення тепла взаємодії кислоти та основи.

4. Необхідно вміти:

- користуватись калориметром і термометром Бекмана;
- визначати теплові ефекти калориметричним методом;
- визначати теплоємність калориметера;
- застосовувати закон Гесса для визначення тепла гідратування за відомим теплом розчинення.

5. Самостійна робота студента на занятті складається з:

- Виконання тестових завдань (перевірка самопідготовки).
- Обговорення основних питань теми та складання алгоритму роботи.
- Виконання лабораторної роботи.
- Обговорення та математична обробка експериментальних результатів.
- Формулювання висновків та оформлення протоколу (залік лабораторної роботи).

5.1.2. Теоретичні відомості

5.1.2.1. Визначення сталої калориметера

1. Хемічні реакції і фізико-хемічні процеси (наприклад, зміна агрегатного стану, розчинення та ін.) відбуваються з виділенням або поглинанням енергії у формі тепла. Для експериментального визначення теплових ефектів використовують спеціальні прилади, які носять назву *калориметери*.

2. Розрізняють два основні види калориметрів (установ):

а. Калориметри зі сталою температурою (ізотермні), в яких відбувається топлення твердої речовини, наприклад, льоду, та випаровування рідини. Такі установи мають сталу температуру, оскільки все тепло, яке передається калориметру, іде на зміну агрегатного стану відповідної речовини (топлення льоду, випаровування речовини тощо).

б. Калориметри зі змінною температурою, у свою чергу, поділяються на:

- *адіабатні*, в яких температура оболонки дорівнює температурі калориметера, що виключає можливість теплообміну з зовнішнім середовищем;
- *диференціальні*, будова яких дає змогу не враховувати теплообмін.

3. Калориметер складається з двох однакових частин, одна з яких використовується для проведення екзотермічного процесу, інша – для нагрівання електричним струмом до температури, що дорівнює температурі даної установи. Тоді, кількість тепла, що виділяється у наслідок процесу в першій

частині калориметра, еквівалентна електричній енергії, яка використовується на нагрівання другої її частини.

Калориметри з ізотермною оболонкою дають змогу враховувати поправку на теплообмін.

Кожний калориметер, крім *калориметричної системи*, – сукупності тих його частин, між якими має розподілятися уся енергія у формі тепла, яку необхідно виміряти, має оболонку.

4. Схему найпростішого калориметра зображено на рис. 6. Він уявляє собою посудину (5) із тепловою ізоляцією, в яку вміщується стакан (4) для проведення експерименту. Стакан закривається кришкою (2) з отворами (1) і (3) відповідно для термометера та мішалки.

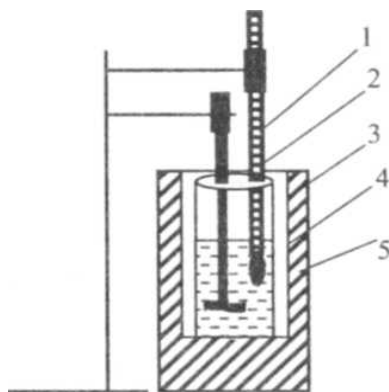


Рис. 6.Схема калориметра.

Проводячи в калориметері процес, тепловий ефект якого потрібно визначити, вимірюють зміну температури в калориметері. Тепловий ефект процесу розраховують за формулою:

$$\Delta H = C_k \cdot \Delta T, \quad (75)$$

де C_k – теплоємність калориметра; ΔT – зміна температури (додатному значенню ΔT , тобто збільшенню температури відповідають екзотермічні процеси, тобто процеси, які супроводжуються зменшенням ентальпії ΔH).

Теплоємність калориметра C_k – це кількість тепла, яке необхідне для нагрівання всіх частин калориметра на один кельвін.

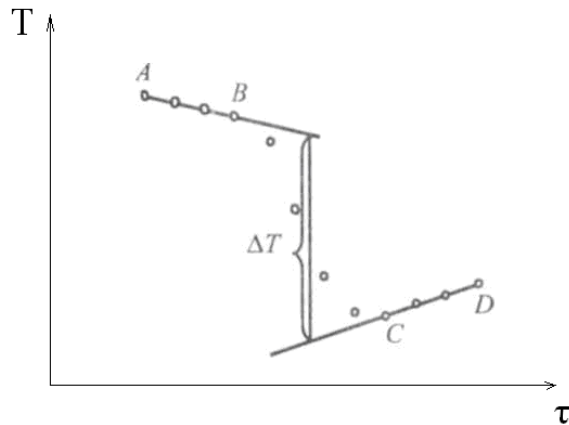


Рис. 7. Графічне визначення ΔT .

Теплоємність калориметера розраховується як сума теплоємностей окремих його частин або визначається експериментально за зміною температури в процесі з відомим тепловим ефектом.

Точне значення зміни температури в калориметері під час проведення процесу визначається графічним методом, що дає змогу враховувати можливий теплообмін калориметера із зовнішнім середовищем (рис. 7).

На рис. 7 AB – попередній період, CD – заключний період, BC – головний період, тривалість якого визначається крайніми точками B і C. Стрибок температури ΔT визначають екстраполяцією прямих AB та CD на середину головного періоду.

5. Калориметричні вимірювання проводять у такій послідовності:

Після підготовки калориметера до роботи, починають перемішувати рідину в стакані і, через однакові проміжки часу (30 с або 1 хв.), проводять визначення температури до сталого її значення або до рівномірної (лінійної) зміни її у часі. Ця частина досліду носить назву *попередній період* (він триває близько 5 хв.). Потім переходять до *головного періоду* калориметричного досліду (додають сіль у воду або у луг кислоту тощо). Продовжуючи перемішування, у *заключному періоді* визначають температуру.

6. Використовуючи експериментальні дані, будують графік у координатах температура-час (рис. 7). Якщо дослід проведено правильно, то зміна температури у часі в попередньому та заключному періодах зображується

на графіку прямими лініями. Тривалість головного періоду визначається крайніми точками прямих (точки В і С). Зміна температури ΔT визначається екстраполяцією прямих АВ і CD на лінію, проведену через середину головного періоду прямою до осі абсцис.

7. Для визначення змін температури в калориметрі використовують метастатичний термометр Бекмана. Він дає змогу вимірювати малі зміни температури (до $5-6^{\circ}\text{C}$) з точністю до $0,005^{\circ}\text{C}$. Термометер складається з основного і додаткового резервуарів ртуті, сполучених між собою капіляром. Особливістю термометра Бекмана є те, що за допомогою додаткового резервуара можна змінювати кількість ртуті в основному резервуарі і завдяки цьому використовувати термометер для визначення у широкому інтервалі температур. Шкалу термометра поділено на відрізки по 5°C (иногда 6°C), а кожний градус – на десяткові і сотові частки. Тисячні частки можна приблизно відрахувати з використанням окуляра.

Перед використанням необхідно перевірити налаштування термометра Бекмана. Для цього термометер занурюють у посудину з водою, яка має температуру рідини в калориметрі. Термометер підготовлений правильно для ендотермічного процесу, якщо ртуть у ньому міститься між позначками $4-5^{\circ}\text{C}$ (оскільки спостерігатиметься зниження температури), і, відповідно, між позначками $0-2^{\circ}\text{C}$ для екзотермічного процесу (оскільки спостерігатиметься підвищення температури).

Якщо термометер Бекмана встановлено неправильно, його необхідно відрегулювати. Для цього потрібно сполучити ртуть основного і додаткового резервуарів, нагріваючи основний резервуар (рукою або на водяній бані). Для того, щоб рівень ртуті містився у верхній частині шкали, слід додати ртуть із верхнього (додаткового резервуару). Для цього нижній (основний) резервуар охолоджують (наприклад, потоком водопровідної води), і ртуть із верхнього резервуару буде всмоктуватися у нижній.

Якщо необхідно, щоб рівень ртуті встановився у нижній частині шкали, основний резервуар слід помістити вище від додаткового і трохи підігрівати

(рукою або на водяній бані) ртуть в основному резервуарі. При цьому ртуть буде перетікати з нижнього резервуару у верхній.

Для припинення надходження ртуті з одного резервуару в інший слід розірвати стовпчик ртуті. Для цього термометер ставлять у вертикальне положення і різко вдаряють верхньою частиною термометера по великому пальцю лівої руки (обережно, щоб не розбити термометер!). Після цього термометер знову занурюють у посудину з водою, що має температуру рідини в калориметері, і перевіряють настроювання.

5.1.2.2. Визначення теплоємності калориметера

А. Розрахунковий метод

1. На технічних вагах зважують стакан і мішалку (скляну паличку). За допомогою мірного циліндера ємністю 500 мл відміряють 400 мл води і вливають у стакан калориметера. За допомогою штативу підвішують термометер Бекмана, фіксують глибину його занурення і за допомогою мірного циліндера ємністю 25 мл визначають об'єм зануреної частини термометера. Для цього мірний циліндр заповнюють наполовину водою, занурюють термометер Бекмана на ту саму глибину, на яку він був занурений у калориметері, і за збільшенням об'єму води у циліндері визначають об'єм зануреної частини термометера.

2. Обробка експериментальних даних. Теплоємність калориметера визначають як суму теплоємностей окремих його частин за формулою:

$$C_k = C_{\text{стак.}} + C_{\text{міш.}} + C_{\text{терм.}} + C_{\text{води.}} \quad (76)$$

При цьому теплоємність частин калориметера $C_{\text{стак.}}$, $C_{\text{міш.}}$, $C_{\text{води}}$ розраховують за добутком мас частин калориметера (у грамах) на питому теплоємність матеріалу (у Дж/(г·К)) (питома теплоємність скла дорівнює 0,79 Дж/(г·К), води – 4,18 Дж/(г·К)), а теплоємність термометера $C_{\text{терм.}}$ розраховують за добутком об'єму зануреної частини термометера на середню об'ємну теплоємність скла і ртуті, яка дорівнює 1,925 Дж/(см³·К).

3. У стакан калориметера наливають 400 мл води, опускають електричний нагрівач з відомим електричним опором та термометер (із ціною поділки 0,1°C) або термометер Бекмана (рис. 8).

Нагрівач послідовно з амперметром та реостатом вмикають до електричної мережі за допомогою знижувального трансформатора. Напругу на трансформаторі встановлюють таку, щоби температура води (під час нагрівання) підвищувалася на 0,2-0,4°C за хвилину. Вмикають мішалку і через однакові проміжки часу впродовж кількох хвилин визначають температуру (попередній період).

Потім, одночасно із секундоміром, вмикають нагрівач, продовжуючи температурні визначення. Після підвищення температури на 1,5-2 К одночасно з секундоміром вимикають нагрівач і ще протягом кількох хвилин визначають температуру.

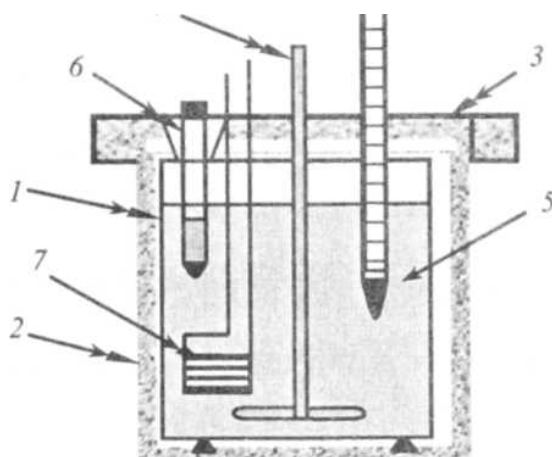


Рис. 8. Устава для вимірювання теплоємності калориметера:

- 1 – калориметричний стакан; 2 – термоізоляційний корпус;
- 3 – кришка з теплоізоляційного матеріалу; 4 – мішалка; 5 – термометер Бекмана; 6 – пробірка з досліджуваною речовиною; 7 – нагрівач.

Будують графік в координатах температура-час і за його допомогою визначають ΔT .

Розраховують кількість енергії у формі тепла, яка була підведена [Дж]:

$$\Delta H = 0,239 I^2 R t, \quad (77)$$

де I – сила струму [А]; R – опір нагрівача [Ом]; t – тривалість нагрівання [с].

Розраховують теплоємність калориметера [Дж/К]:

$$C_k = \Delta H / \Delta T. \quad (78)$$

Б. Експериментальний метод

1. Приклад методу за відомим тепловим ефектом розчинення калій хлориду. Спочатку готують калориметер до роботи. У стакан калориметера наливають 400 мл води, відміряної за допомогою мірного циліндера ємністю 500 мл. Термометер Бекмана настроюють так, щоб ртуть у капілярі термометера на початку досліду містилась би на позначці 4-5°C. На технічних вагах зважують близько 10 г розтертого у ступці калій хлориду.

Проводять калориметричне дослідження, як описано вище, визначаючи температуру в попередньому, головному і заключному періодах.

2. Обробка експериментальних даних. За експериментальними даними будують графік зміни температури з часом, за яким визначають різницю температур ΔT (рис. 7). Теплоємність калориметера C_k [Дж/К], обчислюють за формулою:

$$C_k = -\Delta H m / \Delta T M, \quad (79)$$

де ΔH – інтегральне тепло розчинення калій хлориду за заданих температури та концентрації розчину [Дж/моль];

m – маса наважки калій хлориду [г];

M – молекулярна маса калій хлориду [г/моль].

3. Прилади і реактиви: калориметер, термометер Бекмана, термометер, мішалка, терези технічні, ступка, мірний циліндер ємністю 500 та 25 мл, калій хлорид, купрум(II) сульфат пентагідрат $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, вода дистильована.

4. Опис роботи. Готують калориметер до роботи. У стакан калориметера наливають 400 мл води, відміряної за допомогою мірного циліндера. Настроюють термометер Бекмана у такий спосіб, щоби ртуть у капілярі термометера на початку досліду містилась на позначці 0-2°C.

На технічних терезах зважують близько 10 г $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, прожарюють у порцеляновій чашці на електроплитці до зникнення синього забарвлення (утворення безводної солі), охолоджують в ексікаторі.

Проводять калориметричний дослід, визначаючи зміну температури під час розчинення безводної солі купрум(II) сульфату CuSO_4 . Для цього, витримавши 5-10 хв., протягом яких всі частини калориметру приймуть однакову температуру, починають визначати температуру з точністю до 0,1 К через рівні проміжки часу (наприклад через 30 с). Час відраховують за секундоміром не викмикаючи його протягом всього дослідження.

Перші 11 розрахунків температури складають початковий період дослідження. В момент 11 відліку всипають у калориметр наважку безводної солі максимально обмежуючи час контакту солі з атмосферою. З цього моменту починається головний період дослідження. Кінцем головного періоду є відлік, у якому температурний хід (різниця між сусідніми відліками) стає сталим. Кінець головного є початком кінцевого періоду дослідження. В цьому періоді роблять також 11 відліків.

Оскільки під час дослідження відбувається теплообмін між калориметром та зовнішнім середовищем, то істинна зміна температури відрізняється від тої, що спостерігається у дослідженні.

Для визначення істинної зміни температури необхідно побудувати графік у координатах «температура-час».

Аналогічно проводять калориметричний дослід з наважкою солі купрум(II) сульфату пентагідрату $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Наважки безводної солі і кристалогідрату добирають так, щоби концентрації розчинів, що утворюються, були однаковими.

5. Обробка експериментальних даних

5.1. Дані експерименту заносять до табл. 1.

Таблиця 1

Експериментальні дані

Розчинення безводної солі		Розчинення кристалогідрату	
Маса солі, г	Маса солі, г
Маса води, г	Маса води, г
№ відліку	Показання термометера, °С	№ відліку	Показання термометера, °С

5.2. За експериментальними даними (табл. 1) будують графіки (див. рис. 7) зміни температури у часі і за ним визначають ΔT_1 (для процесу розчинення безводної солі CuSO_4) та ΔT_2 (для процесу розчинення кристалогідрату $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$).

5.3. Інтегральне тепло розчинення безводної солі (ΔH_1) і кристалогідрату (ΔH_2) [Дж/моль], обчислюють за формулою:

$$-\Delta H = M/m \cdot C_k \cdot \Delta T, \quad (80)$$

де M – молекулярна маса солі, г/моль;

m – маса наважки солі, г;

C_k – теплоємність калориметера з відповідного калориметричного дослідження.

5.4. Тепло гідратування ($\Delta H_{\text{гидр}}$), Дж/моль, розраховують за формулою:

$$\Delta H_{\text{гидр}} = \Delta H_1 - \Delta H_2. \quad (81)$$

5.2. Лабораторна робота №2

5.2.1. Основні вимоги

Тема: Визначення теплового ефекту реакції нейтралізації.

Мета: Ознайомлення з методом калориметричних вимірювань, набуття навичок користування калориметром і термометром Бекмана,

визначення теплоємності калориметера; визначення теплового ефекту реакції нейтралізації сильної кислоти лугом.

3. Необхідно знати:

- основні означення термохемії;
- формулювання закону Гесса та розрахунок теплових ефектів хемічних реакцій: розрахунок теплового ефекту хемічних реакцій за теплом утворення сполук;
- розрахунок теплового ефекту хемічних реакцій за теплом згоряння;
- означення теплового ефекту утворення сполуки певного агрегатного стану (тепло агрегатного стану);
- означення теплового ефекту утворення сполуки у розчині (тепло розчинення);
- означення тепла розведення розчину;
- означення тепла взаємодії кислоти та основи.

4. Необхідно вміти:

- користуватись калориметером і термометером Бекмана;
- визначати теплові ефекти калориметричним методом;
- визначати теплоємність калориметера;
- застосовувати закон Гесса для визначення теплового ефекту реакції нейтралізації сильної кислоти лугом.

5. Самостійна робота студента на занятті складається з:

- Виконання тестових завдань (перевірка самопідготовки).
- Обговорення основних питань теми та складання алгоритму роботи.
- Виконання лабораторної роботи.
- Обговорення та математична обробка експериментальних результатів.
- Формулювання висновків та оформлення протоколу (залік лабораторної роботи).

6. Прилади і реактиви: калориметер, термометер Бекмана, мішалка, мірний циліндер ємністю 500, 50, 10 мл, 5 М розчин сульфатної кислоти, 3 М розчин КОН, вода дистильована.

7. Опис роботи. Для нейтралізації кислоти береться значний надлишок лугу, причому концентрація розчину лугу порівняно невисока і процес розведення закінчується до початку визначення температури в калориметері. Тому загальне тепло процесу нейтралізації буде складатися з тепла нейтралізації та тепла розведення кислоти:

$$\Delta H_{\text{заг}} = \Delta H_{\text{нейтр}} + \Delta H_{\text{розв. кисл.}} \quad (82)$$

Для визначення теплового ефекту процесу розведення кислоти в калориметричний стакан за допомогою мірного циліндера вливають 390 мл води. В окрему пробірку відміряють піпеткою 10 мл 5 М розчину сульфатної кислоти і через отвір у кришці опускають її в стакан калориметра. Починають перемішування і визначають температуру (попередній період) до встановлення лінійної залежності зміни температури у часі протягом певного часу (близько 5 хв.). Потім вливають вміст пробірки в калориметричний стакан і продовжують перемішування й вимірювання температури в головному і заключному періодах досліду.

Для визначення загального теплового ефекту процесу нейтралізації в калориметричний стакан вливають 350 мл води і 40 мл 3 М розчину КОН, а в пробірку 10 мл 5 М розчину сульфатної кислоти. Проводять калориметричний дослід, визначаючи температури в попередньому, головному і заключному періодах.

8. Обробка експериментальних даних

7.1. Дані експерименту заносять до табл. 2.

Таблиця 2

Експериментальні дані

Визначення тепла розведення		Визначення тепла нейтралізації	
№ відліку	Показання термометра, °С	№ відліку	Показання термометра, °С

Варіанти робіт

№ варіанту	Кислота	Основа
1	HCl	NaOH
2	HCl	KOH
3	HCl	Ca(OH) ₂
4	H ₂ SO ₄	NaOH
5	H ₂ SO ₄	KOH
6	H ₂ SO ₄	Ca(OH) ₂
7	HNO ₃	NaOH
8	HNO ₃	KOH
9	HNO ₃	Ca(OH) ₂
10	H ₃ PO ₄	NaOH
11	H ₃ PO ₄	KOH

7.2. За експериментальними даними для обох калориметричних дослідів будують графіки зміни температури з часом і графічно визначають ΔT (див. рис. 7).

7.3. Розраховують тепловий ефект процесу розведення кислоти та загальний тепловий ефект процесу нейтралізації [Дж/моль] за формулою:

$$\Delta H = - C_k \Delta T M / 2m, \quad (83)$$

де M – молекулярна маса сульфатної кислоти [г/моль];

m – маса сульфатної кислоти у 10 мл 5 М розчину сульфатної кислоти,

$$m = 5 M / 100 \text{ [г]}.$$

7.4. Тепловий ефект реакції нейтралізації [Дж/моль] розраховують за формулою:

$$\Delta H_{\text{нейтр.}} = \Delta H_{\text{заг.}} - \Delta H_{\text{розв. кисл.}} \quad (84)$$

5.3. ПРОГРАМА ДО САМОСТІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ СТУДЕНТА

1. Основні означення термохемії.
2. Основні закони термохемії.
3. Калориметричний метод визначення теплових ефектів.
4. Конструкція і принцип роботи калориметра.
5. Методи визначення теплоємності калориметра.
6. Графічний метод визначення різниці температур ΔT .
7. Термометер Бекмана, його будова і встановлення.
8. Означення тепла гідратування та тепла розчинення.
9. Застосування закону Гесса до визначення тепла гідратування за відомим теплом розчинення.
10. Поняття тепла нейтралізації.
11. Тепло нейтралізації сильних кислот лугами.
12. Тепло нейтралізації за участю слабкого електроліту.
13. Тепло розведення. Сумарний тепловий ефект процесу нейтралізації.

5.4. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Чому теплові ефекти реакції, що протікають за сталого об'єму і тиску, є функціями параметрів стану термодинамічної системи?
2. Що таке тепло утворення, нейтралізації, розчинення, розведення?
3. Як обчислити тепловий ефект реакції за теплом утворення та теплом згоряння речовин?
4. Опишіть методи визначення теплової сталої калориметра та істинної зміни температури у ньому. Чому потрібно записувати хід зміни температури, а не тільки початковий та кінцеві значення температури?
5. Сформулюйте закон Гесса та висновки, що витікають з нього.
6. Чи можна застосувати закон Гесса для визначення ΔH реакції, яку не можна визначити експериментальним шляхом? Навести приклади.
7. Чому ΔH нейтралізації залежить від природи реагуючих речовин?
8. Чим визначається знак тепла розчинення?

5.5. ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДО ТЕМИ «ТЕРМОХЕМІЯ»

1. Теплові ефекти хемічних реакцій вивчає:
а) термохемія; б) електрохемія; в) хемічна кінетика; г) хемічна фізика;
2. Умови співіснування різних фаз і рівноваги між вихідними речовинами та продуктами хемічної реакції, взаємне перетворення теплової енергії в роботу є предметом розгляду:
а) термохемії; б) електрохемії;
в) хемічної термодинаміки; г) хемічної кінетики.
3. Наука про взаємоперетворення тепла, роботи та інших форм енергії носить назву:
а) термохемія; б) електрохемія; в) термодинаміка; г) хемічна кінетика?
4. Кількість енергії, що виділяється або поглинається у формі тепла під час необоротного протікання хемічної реакції або інших фізико-хемічних процесів, коли єдиною роботою є термодинамічна робота, а температура вихідних речовин і продуктів реакції однакові носить назву:
а) тепловий ефект хемічної реакції та інших фізико-хемічних процесів;
б) теплоємність; в) ентальпія; г) ентропія?
5. Тепловий ефект хемічної реакції або інших фізико-хемічних процесів для сталого об'єму $V = \text{const}$ це:
а) ΔH ; б) ΔU ; в) ΔS ; г) ΔT ?
6. Тепловий ефект хемічної реакції або інших фізико-хемічних процесів для сталого абсолютного тиску $p = \text{const}$ це:
а) ΔH ; б) ΔU ; в) ΔS ; г) ΔT ?
7. $\Delta H = \Delta U + p\Delta V$ за:
а) $V, T = \text{const}$; б) $U, V = \text{const}$; в) $p, T = \text{const}$; г) $p, V = \text{const}$;
8. Для запису термохемічної реакції (процесу) вказують на:
а) концентрацію вихідних речовин і продуктів реакції;
б) агрегатний стан вихідних речовин і продуктів реакції та тепловий ефект реакції;
в) тепловий ефект; г) концентрацію продуктів реакції?

9. Який знак для зміни ентальпії ΔH вказує, що хемічна реакція або фізико-хемічний процес відбувається з виділенням тепла:
- а) «+»; б) «-»; в) «+, -»; г) відсутній взагалі будь-який знак?
10. Який знак для ΔH говорить, що хемічна реакція або фізико-хемічний процес відбувається з поглинанням тепла:
- а) «+»; б) «-»; в) «+, -»; г) відсутній взагалі будь-який знак?
11. Q_c – це:
- а) тепло згорання; б) тепло утворення; в) тепло нейтралізації;
г) тепло розчинення?
12. Q_f – це:
- а) тепло згорання; б) тепло утворення; в) тепло нейтралізації;
г) тепло розчинення?
12. Тепловий ефект хемічної реакції залежить від природи і стану вихідних речовин і кінцевих продуктів реакції і не залежить від шляху переходу між ними, то це означення:
- а) закону Лавуазьє-Лапласа; б) принципу ле Шательє;
в) закону Гесса; г) закону Рауля?
13. Тепловий ефект хемічної реакції утворення даної сполуки з простих речовин (1 моль сполуки як одиниці кількості речовини) називають:
- а) теплом утворення; б) теплом згорання; в) теплом розчинення;
г) теплом розведення?
14. Тепло, яке поглинається або виділяється під час розчинення 1 моль сполуки в такій кількості розчинника, щоб утворився розчин з певною молярністю m називають:
- а) теплом руйнування кристалічної ґратки; б) теплом утворення;
в) інтегральним теплом розчинення; г) теплом розчинення твердої сполуки?
15. Для експериментального визначення теплових ефектів використовують спеціальні прилади:
- а) калориметри; б) рефрактометри; в) поляриметри;
г) фотоелектрокалориметри?

- 16.** Калориметри зі змінною температурою, в яких температура оболонки дорівнює температурі калориметера, що виключає можливість теплообміну із зовнішнім середовищем, називають:
- а) ізотермними; б) адіабатними; в) диференціальними; г) ізобарними?
- 17.** Калориметри зі змінною температурою, будова яких дає змогу не враховувати теплообмін називають:
- а) ізотермними; б) адіабатними; в) диференціальними; г) ізобарними?
- 18.** Ізотермними називають калориметри:
- а) зі змінною температурою будова яких дає змогу не враховувати можливості теплообміну;
- б) зі змінною температурою в яких температура оболонки дорівнює температурі калориметера, що виключає можливість теплообміну із зовнішнім середовищем;
- в) які мають сталу температуру, оскільки все тепло, яке надається калориметеру, йде на зміну агрегатного стану відповідної речовини;
- г) немає правильної відповіді?
- 19.** Калориметри складаються:
- а) з двох однакових частин; б) з однієї частини; в) з трьох частин;
- г) немає правильної відповіді?
- 20.** Кількість тепла, яке необхідне для нагрівання всіх частин калориметра на один градус називають:
- а) теплом утворення; б) теплоємністю калориметера; в) ентальпією;
- г) немає правильної відповіді?
- 21.** Стандартний розчин – це розчин з концентрацією, в якому активність розчиненої речовини за нормальних параметрів p^0 , T^0 дорівнює:
- а) 0; б) 1; в) 2; г) 10?
- 22.** Енергію утворення простих речовин (N_2 , H_2 , O_2) у формі тепла приймають таким, що дорівнює:
- а) нулю; б) 1; в) 10; г) 100?
- 23.** Утворення молекул з вільних атомів:

- а) завжди супроводжується виділенням енергії;
- б) завжди супроводжується поглинанням енергії;
- в) не супроводжується поглинанням енергії;
- г) не супроводжується виділенням енергії?

24. Чим більше розведений розчин, тим тепло розведення:

- а) менше; б) більше; в) не змінюється; г) немає правильної відповіді?

25. Майже однакова кількість енергії у формі тепла виділяється під час взаємодії моль-еквівалентів у розбавлених водних розчинах:

- а) сильної кислоти з сильною основою;
- б) сильної кислоти з слабкою основою;
- в) слабкої кислоти з сильною основою;
- г) слабкої кислоти з слабкою основою?

26. Тепловий ефект хемічних реакцій окиснення 1 моль даної сполуки за $p = \text{const}$ киснем до вищих оксидів відповідних елементів або сполук цих оксидів називають:

- а) теплом згоряння; б) теплом утворення; в) теплом розчинення;
- г) немає правильної відповіді?

27. Теплотворну здатність палива характеризує його:

- а) тепло згоряння; б) тепло утворення; в) тепло розчинення;
- г) немає правильної відповіді?

28. Кількість тепла, яке виділяється під час реакції нейтралізації кислоти основою з утворенням одного моль води, називається:

- а) теплом нейтралізації; б) теплом розведення; в) теплом розчинення;
- г) теплом окиснення?

29. Тепловий ефект, який супроводжує процес розведення розчину, називається:

- а) теплом розведення; б) теплом нейтралізації; в) теплом розчинення;
- г) теплом окиснення?

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Гомонай В.І. Фізична та колоїдна хімія. – Підручник. – Вінниця: Нова книга, 2007. – 496с.: іл. (93 рис.). – Табл. 26. – Бібліогр.: с. 486 (18 назв). – Предмет. покажчик: с. 477-485. – Додаток: с. 473-476 (5 табл.). – ISBN 978-966-382-056-9.
2. Костржицький А.І., Калінков О.Ю., Тіщенко В.М., Берегова О.М. Фізична та колоїдна хімія. Навч. пос. – К.: Центр учбової літератури, 2008. – 496 с.
3. Лебідь В.І. Фізична хімія: Підручник. – Харків: Фоліо, 2005. – 480с.: іл. (125 рис.). – Табл. 18. – Контрол. запит.: після гл. – Предмет. покаж.: с. 470-477. – Бібліогр.: с. 478 (21 назва). – ISBN 966-03-2751-X.
4. Чумак В.Л., Іванов С.В. Фізична хімія: Підручник. – К.: Книжкове вид-во НАУ, 2007. – 648 с. – ISBN 978-966-598-403-0.

ВИКОРИСТАНІ ЛІТЕРАТУРНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

1. Балезин С.А. Практикум по физической и коллоидной химии. – М.: Просвещение, 1972. – 275 с.
2. Білий О.В., Біла Л.М. Фізична і колоїдна хімія. - К.: Вища школа, 1981.-128 с.
3. Глазов В.М. Основы физической химии. - М.: Высшая школа, 1981. - 456 с.
4. Гомонай В.І. Фізична та колоїдна хімія. – Підручник. – Вінниця: Нова книга, 2007. – 496с.: іл. (93 рис.). – Табл. 26. – Бібліогр.: с. 486 (18 назв). – Предмет. покажчик: с. 477-485. – Додаток: с. 473-476 (5 табл.). – ISBN 978-966-382-056-9.
5. Горшков В.И., Кузнецов И.А. Физическая химия. – М.: Издательство Московского университета, 1986. – 263 с.
6. Евстратова К.И., Купина Н.А., Малахова Е.Е. Физическая и коллоидная химия. – М.: Высшая школа, 1990.
7. Кабачний В.І., Осіпенко Л.К., Грицан Л.Д. та ін. Фізична та колоїдна хімія. – Харків: Прапор, 1999. – 368 с.
8. Каданер Л.І. Фізична і колоїдна хімія. – К.:Вища школа, 1983. – 287 с.
9. Киреев В.А. Курс физической химии. – М.: Химия, 1975. – 776 с.
10. Киселева Е.В., Кудряшов И.В. Сборник примеров и задач по физической химии.- М.: Высшая школа, 1970. – 456 с.
11. Костржицький А.І., Калінков О.Ю., Тіщенко В.М., Берегова О.М. Фізична та колоїдна хімія. Навч. пос. – К.: Центр учбової літератури, 2008. – 496 с.

12. Краткий справочник физико-химических величин / Под ред. А.А. Равделя и А.М. Пономаревой. – Л.: Химия, 1983. – 232 с.
13. Курс физической химии: В 2 т./ Под ред. Я. Й. Герасимова. – М.: Химия, 1964-66. – Т. 1 – 624с.; Т. 2 – 656с.
14. Лебідь В.І. Фізична хімія: Підручник. – Харків: Фоліо, 2005. – 480с.: іл.. (125 рис.). – Табл. 18. – Контрол. запит.: після гл. – Предмет. показ.: с. 470-477. – Бібліогр.: с. 478 (21 назва). – ISBN 966-03-2751-X.
15. Маршев П.М. Практикум по физической и коллоидной химии. – М.: Высшая школа, 1967. – 151 с.
16. Мороз А.С., Ковальова А.Г. Фізична та колоїдна хімія. – Львів: Світ, 1994. – 270 с.
17. Николаев Л.А., Тулупов В.А. Физическая химия. – М.: Высшая школа, 1967. – 523 с.
18. Практикум по физической химии. /Под ред. В.В. Буданова. – М.: Химия, 1986. – 352с.
19. Практикум по физической химии/ Под редакцией С.В. Горбачева – М.: Высшая школа, 1974. – 496 с.
20. Практикум по физической химии./ Под ред. С.В.Горбачева. - М.: Химия, 1982. – 400с.
21. Практикум по физической химии./Под ред. И.В. Кудряшова. – М.: ВШ, 1986. – 495 с.
22. Практические работы по физической химии/ Под редакцией К.П. Мищенко, А.А. Равделя. – Л.: Химия, 1967. – 346 с.
23. Практические работы по физической химии./ Под ред. К.В. Мищенко. – Л.: Химия, 1982. – 400 с.
24. Стромберг А.Т., Семченко Д.П. Физическая химия. – М.: Высшая школа, 1988. – 496 с.
25. Физическая химия в вопросах и ответах. Кинетика. Электрохимия./ Под ред. К.В. Гопчиевой. – М.: Изд-во Москв. ун-та, 1981. – 264 с.
26. Физическая химия. /Под ред. Б.П. Никольского. – Л.: Химия, 1987. – 880 с.
27. Цветкова Л.Б. Фізична хімія: теорії і задачі: Навч. посібник. – Львів: «Магнолія 2006», 2008. – 415 с.

28. Чумак В.Л., Іванов С.В. Фізична хімія: Підручник. – К.: Книжкове вид-во НАУ, 2007. – 648 с. – ISBN 978-966-598-403-0.
29. Эткінс П. Физическая химия. – М.: Мир, 1980. I том – 580 с., II том – 584 с.

ТЕРМІНОЛОГІЧНІ СЛОВНИКИ

Термінологія, лексика та словосполучення подані за словниками:

1. Англо-українсько-російський словник біохімічних термінів / П.О. Бех, О.А. Капля, С.В. Хижняк, Н.В. Войцицька. – Київ: Фіто-соціоцентр, 2005. – 355. – ISBN 966-306-066-9.
2. Англо-український-російський словник усталених виразів. – Київ-Тернопіль: Укр. енциклопедія; Ной, 1992. – 493 с. – ISBN 5-88500-047-6.
3. Бурячок А. А. Орфографічний словник. – К.: Наукова думка, 1995. – 400с.
4. Бусел В.Т. Великий тлумачний словник сучасної української мови: 250.000 слів / Укладач, гол. ред. В.Т. Бусел. – Київ-Ірпінь: Перун, 2005. – 1736 с.
5. Головащук С.І. Словник-довідник з правопису та слововживання / За ред.. В.М. Русанівського. – К.: Наукова думка, 1989. – 832 с.
6. Голоскевич Г.К. Правописний словник.-К.: Унів. вид-во «Пульсари», 2006. – 464 с.~40000 сл.-13-е вид.
7. Дарморос М., Дарморос Л. Словник технічної термінології. – К.,1926.
8. Діденко О. Російсько-український словник математичної термінології. – Запоріжжя, 1926.
9. Довідник слів із літерою Ї. Близько 1750 слів / Уклад.: Паночко. – Дрогобич, 1993.
10. Дорошенко Т.С. Великий комплексний словник української мови. Словник термінів: арифметика, алгебра, геометрія, біологія, хімія, географія. – Біля 160 000 слів. – Харків: Торсінг плюс, 2009. – 768 с. – ISBN 978-966-404-994-5.

11. Дорошенко М. та ін. Словник ділової мови. – Харків, 1930.
12. Дубровський В. Російсько-український технічний словник. – К., 1926.
13. Етимологічний словник української мови: У 7 т.-К.: Наукова думка, 1982.- Т.1.-632с.; 1985.-Т.2.-571 с.; 1989.-Т.3.-551с.; 2004.-Т.4.-655с.; 2006. – Т.5. – 704с.
14. Загоруйко О.Я. Великий універсальний словник української мови: 20 словників в 1: епітетів, паронімів, омонімів, антонімів, синонімів, російсько-український та українсько-російський, орфографічний, фразеологічний, іншомовних слів, тлумачний, орфоепічний, словотворчий, етимологічний, літературознавчих термінів, мовознавчих термінів, діалектизмів, етнографічний, українських назв спорідненості та свояцтва, винятків, складних випадків перекладу з російської мови. – Харків: Торсінг плюс, 2009. – 768 с. – ISBN 978-966-404-911-2; ISBN 978-966-404-910-5.
15. Зубков М. Сучасний український правопис: комплексний довідник.-Х.: Торсінг, 2002.-208 с.
16. Іваницький С., Шумлянський Ф. Російсько-український словник. – К.: Обереги, 2006. – 528 с.
17. Караванський С. Російсько-український словник складної лексики. 2-ге видання, доповн. і виправ. – Львів: БаК, 2006.-562 с.
18. Козирський В., Шендеровський В. Українсько-англійсько-німецько-російський словник фізичної лексики. – 30.000 лексем. – К.: Рада, 1996. – 934 с. – ISBN 966-7087-00-Х.
19. Навчальний правописний словник української мови / За ред. Д. Баранника і Д.Руденка. – Х.: “Око”, 1997.
20. Нові слова та значення: Словник / Ін-т укр. мови НАНУ / Укл. Л.В. Туровська, Л.М. Василькова. – К.: Довіра, 2009. – 272 с. – (Словники України). – ISBN 978-966-507-248-5.

21. Опейда Й.О., Швайка О.П. Тлумачний термінологічний словник з органічної та фізико-органічної хімії (українсько-російсько-англійський). – К.: Наукова думка, 1997. – 532 с.: 2561 терм. – Бібліогр.: с. 527-532 (96 назв). – Алфав. указ. рус. терминов: с. 438-478. – English index: р. 479-519. – Префікси та суфікси в хім. назовництві: с. 520-522. – Назви хім. елементів та наймен. простих речовин: с. 523-526. – ISBN 966-00-0039-1.
22. Островський В.І., Островська Г.Ф. А українською кажуть так...– Одеса: Астропринт, 2008. – 398 с. – ISBN 978-966-318-878-2. – (Сер.: «Берег Овідія». – Т. VII).
23. Пономарів О. Фонemi Г та Г. Словник і коментар. – К.: Вид. Центр “Просвіта”, 1997.
24. Російсько-українсько-англійський словник з механіки / Уклад. В.М. Бастун, Я.М. Григоренко, В.А. Широков. – Київ: Наук. Думка, 2008. – 511 с. (Словники України). – ISBN 978-966-00-0870-8.
25. Російсько-Український словник наукової термінології: Математика, фізика, техніка, науки про Землю та Космос / В.В. Гейченко, В.М. Завірюхіна, О.О. Зеленюк та ін. – Київ: Наук. Думка, 1998. – ISBN 5-12-004273-2.
26. Сліпушко Оксана. Новий словник іншомовних слів: Слова і словосполучення. – 20.000 слів. – К.: Аконіт, 2007. – 848 с. – ISBN 978-966-8001-31-4.
27. Сліпушко О.М. Тлумачний словник чужомовних слів в українській мові. – К.: Криця, 1999. – 507с.
28. Словник української мови. – У 20-ти томах. – Київ: Наукова думка, 2010. – Т. 1. (А-Б) / Уклад.: Л.Л. Шевченко, В.В. Чумак, Г.М. Ярун, І.В. Шевченко, О.В. Бугаков, В.М. Білоноженко. – 912 с. – 11.530 словникових статей (А – 4388; Б - 7142). – Автор. список літерат. джерел Словника: с. 59-61. – Література: с. 63-66 (Словники: 43 назви; наук. праці: 120 назв). – Список осн. умов. скорочень: с. 61-62. – А: с. 67-297. – Б: с. 298-717. – Показчик

словосполучень: с. 718-846. – Список реєстрових слів: с. 847-911. – (Наук. видання; з кінця XVIII до кінця 2010 р.). – ISBN 978-966-00-1050-5. – ISBN 978-966-00-1051-2 (Т. 1).

29. Словник української мови. – 136.302 слів. – Т.І-ХІ. – К.: Наукова думка, 1970-1980. –Т.І.-ХІ.– 8535 с.
30. Сучасна українська літературна мова. – 6-те вид. / Авт.: М.Я. Плющ, С.П. Бевзенко, Н.Я. Грипас та ін. / За ред. М.Я. Плюща. – К.: Вища шк., 2006. – 432 с.
31. Сучасна українська мова: Підручник – 3-тє вид. / О.Д. Пономарів. В.В. Різун, Л.Ю. Шевченко та ін. / За ред. О.Д. Пономаріва. – К.: Либідь,2005. – 488 с.
32. Тлумачний термінологічний словник з органічної та фізико-органічної хімії (українсько-російсько-англійський) / Уклад. Й. Опєда, О. Швайка. – Київ: Наук. думка, 1997. – 533 с. – Алфавит. указ. рус. терминов: с. 438-478. – English index: р. 479-519. – Додатки: с. 520-526. – Бібліогр.: с. 530-532 (96 назв).
33. Український правопис / АН України, Ін-т мовознавства ім. О.О.Потебні; Ін-т української мови. 4-те вид., випр. й доп. – К.: Наукова думка, 1993. – 240 с.
34. Українсько-англійський словник: Фізика, Математика, Астрономія, Хемія, Екологія. – Ч. II: українсько-англійська / Ольга Кочерга, Євген Мейнарович. – Вінниця: Нова книга, 2010. – XXXIV + 1566 с. – ISBN 978-966-382-244-0. – ISBN 978-966-382-242-6 (Серія).
35. Ющук І.П. Практичний довідник з української мови. – К.: Рідна мова, 1998. – 223 с.
36. Яременко Василь, Сліпушко Оксана. Новий словник української мови у 3-х том. 200.000 слів. Видання друге, виправлене. – К.: Аконіт, 2007. – Т.1. – 926 с. – Т.2. – 926 с. – Т.3. – 862 с.: Бібліогр.: с. 7-8. – ISBN 966-8001-10-9; ISBN

966-8001-11-7 (1 том); ISBN 966-8001-12-5 (2 том); ISBN 966-8001-13-3 (3 том).

37. Яременко В.В., Сліпушко О.М. Новий тлумачний словник української мови. У 3-х томах. 200 000 слів. –2006. –К.: Аконіт. – Т.1. – 926 с.; Т.2. – 1926 с.; Т.3. – 862 с.

Для заміток

УДК 544 (075.8)

Сіренко Г.О., Кузишин О.В. Методичні вказівки та інструкції до виконання лабораторних робіт з курсу «Фізична хімія». «Визначення теплових ефектів гідратування та нейтралізації». – Івано-Франківськ: Прикарп. нац. ун-т ім. В. Стефаника, 2013. – 52 с.

**ЛІТЕРАТУРНИЙ РЕДАКТОР І КОРЕКТУРА – ОЛЬГА КУЗИШИН
КОМП'ЮТЕРНА ВЕРСТКА – ТЕТЯНА ДЕМ'ЯНИК**

Здано до набору 11.05.2013 р.
Підп. до друку 23.10.2013 р.
Формат 60x84/16. Ум. Друк. арк.3,02
Папір офсетний, друк цифровий
Гарнітура «Times New Roman».
Тираж 1000 прим.

Віддруковано: Підприємець Голіней О.М.
76008, м. Івано-Франківськ, вул. Галицька, 128
Тел. 0342 58 04 32
050 5403064