

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет агротехнологій**

Кафедра ґрунтознавства та агрохімії

**ФІЗИЧНА І КОЛОЇДНА ХІМІЯ**

**Розділ «Основи термодинаміки»**

**Методичні рекомендації**

до виконання лабораторних робіт  
для здобувачів вищої освіти ступеня «бакалавр»  
спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія»  
денної форми навчання

Миколаїв  
2019

УДК 544+544.77

Ф48

Друкується за рішенням науково-методичної комісії факультету агротехнологій Миколаївського національного аграрного університету від 14 березня 2019, протокол № 7.

Укладач:

Д. С. Качук – канд. техн. наук, старший викладач кафедри ґрунтознавства та агрохімії, Миколаївський національний аграрний університет.

Рецензенти:

Г. В. Міщенко – д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри хімії, екології та безпеки життєдіяльності, Херсонський національний технічний університет;

Р. О. Трибрат – канд. с.-г. наук, доцент, доцент кафедри технології виробництва продукції тваринництва, Миколаївський національний аграрний університет.

©Миколаївський національний аграрний університет, 2019

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
ПРАВИЛА БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС РОБОТИ В ЛАБОРАТОРІЇ. ЛАБОРАТОРНИЙ ПОСУД ТА ДОПОМІЖНЕ ПРИЛАДДЯ.....	5
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1. Визначення теплової сталої калориметра і теплоти розчинення калій хлориду у воді .....	16
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2. Визначення теплового ефекту хімічної реакції.....	24
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3. Визначення теплового ефекту реакції окиснення.....	29
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4. Визначення теплоти гідратування купрум (II) сульфату.....	31
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	34
ДОДАТКИ.....	35

## ВСТУП

Фізична і колоїдна хімія – одна із фундаментальних дисциплін у системі вищої освіти фахівця з біотехнології.

Фізична хімія вивчає взаємозв'язок хімічних процесів та фізичних явищ, що їх супроводжують, встановлює закономірності між хімічним складом, будовою речовин та їх властивостями, досліджує механізм та швидкість хімічних реакцій.

Лабораторні роботи із Фізичної і колоїдної хімії (розділ «Основи термодинаміки») є важливою складовою даної дисципліни, оскільки саме в ході виконання здобувачами вищої освіти лабораторних робіт формуються необхідні майбутньому спеціалісту уміння і навички.

В процесі виконання лабораторних робіт закріплюються теоретичні знання з дисципліни, студент оволодіває фізико-хімічним підходом до тих систем, які будуть в майбутньому складати предмет його роботи як біотехнолога, отримує навички оцінки властивостей систем в практичних умовах, навчається оцінювати результати досліджень, узагальнювати практичні дані і робити висновки, оволодіває основними методиками вимірювань показників фізико-хімічних характеристик систем, які досліджуються.

Лабораторні роботи мають дослідницький характер.

Повному оволодінню матеріалом розділу фізичної і колоїдної хімії «Основи термодинаміки» сприяє попереднє опитування здобувачів вищої освіти перед виконанням лабораторної роботи і участь всієї групи в обговоренні методик, конструкцій приладів, правил їх використання і особливостей виконання того чи іншого завдання. Особлива увага при цьому приділяється правилам техніки безпеки.

Допуск до виконання роботи здобувач вищої освіти отримує від викладача лише після опитування і тільки в тому випадку, якщо здобувач підготовлений. Звіт з роботи здобувач вищої освіти здає на наступному занятті.

## ПРАВИЛА БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС РОБОТИ В ЛАБОРАТОРІЇ. ЛАБОРАТОРНИЙ ПОСУД ТА ДОПОМІЖНЕ ПРИЛАДДЯ

### *Лабораторний посуд*

Під час роботи в лабораторії користуються пробірками, хімічними склянками, колбами, кристалізаторами тощо. *Пробірки* бувають різних розмірів. Є пробірки спеціального призначення: *центрифужні, градуйовані, для напівмікро- та мікроаналізу*. У клінічній лабораторії для деяких визначень користуються пробірками з тугоплавкого молібденового скла розміром 20x2 см.

Розчин у пробірці повинен займати не більше третини її об'єму, щоб рідину було легко розмішати. Не можна перемішувати вміст пробірки, закриваючи її отвір пальцем.

*Хімічні склянки* бувають різної ємності. їх виготовляють із тонкого скла. Такі склянки можна нагрівати, але не на відкритому вогні, а обов'язково на азбестовій сітці або на азбестовому картоні.

Склянки та інший тонкостінний скляний посуд не можна ставити після нагрівання на холодну поверхню. Переносити великі склянки з рідиною можна тільки обома руками.

Для розчинення і осадження взятих на хімічний аналіз речовини використовують склянки і колби ємністю 100, 200 або 400 мл. Миють склянки і колби хромовою сумішшю.

*Колби* є круглі і конічні (колби Ерленмейєра). Круглі колби бувають круглодонні і плоскодонні. Горло в таких колб може бути різної ширини і довжини. Для спеціальних визначень, особливо в органічному синтезі, застосовують колби, які мають два або три горла.

Круглодонні колби розміщують на спеціальних підставках або кільцях. Колби, особливо плоскодонні, як і тонкостінні склянки, слід нагрівати на азбестовій сітці.

Колби Ерленмейєра застосовують для титрування, оскільки з них легко видаляти вміст і розмішувати його без небезпеки розбризкати.

Для переливання рідини з посудини із широким горлом в посудину з вузьким горлом або для фільтрування застосовують скляні або фаянсові *лійки*.

*Кристалізатори* бувають різних діаметрів. Це плоскодонні скляні товстостінні чашки, які не можна нагрівати. У хімічних лабораторіях великі чашки застосовують для збирання газу над водою, охолодження посудини водою, кристалізації, очищення речовин перекристалізацією.

#### *Вимірювальний посуд*

До вимірювального посуду належать мензурки, мірні циліндри, мірні колби, піпетки, бюретки тощо (мал.1).

*Мензурки* – це конічні склянки з поділками для вимірювання об'ємів рідин. Мензурки нагрівати не можна.

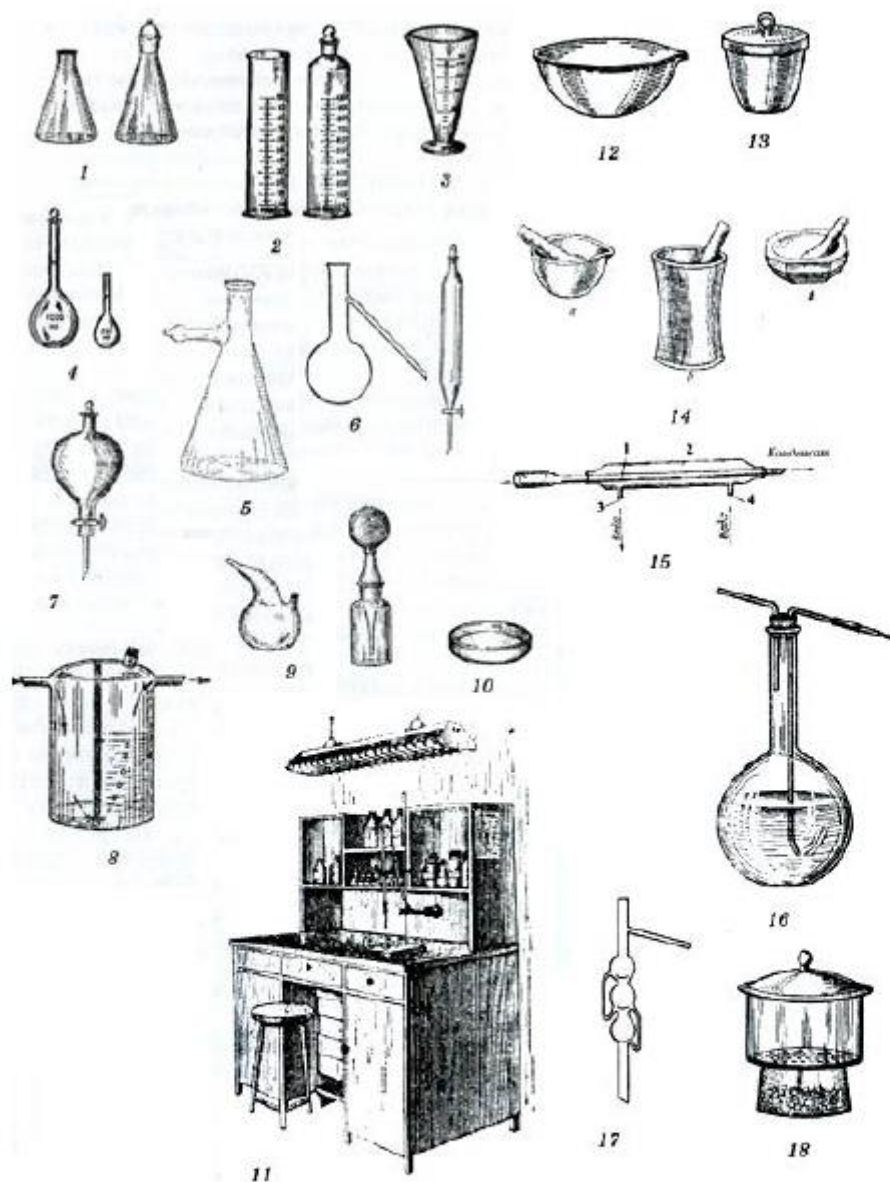
*Мірні циліндри* не призначені для точного вимірювання об'ємів. Їх використовують для приготування розчинів приблизної концентрації.

*Мірні колби* розраховані на вміст певного об'єму рідини – від 10 до 2000 мл. Це плоскодонні колби з вузькою і довгою шийкою, на яку нанесено кругову позначку. Якщо в колбу влити рідину до певної позначки, то об'єм рідини точно відповідатиме об'єму, вказаному на колбі.

Щоб правильно виміряти об'єм рідини в мірній колбі, необхідно, щоб око спостерігача було в одній площині з позначкою на шийці колби. При цьому нижня частина меніска рідини повинна торкатися позначки на шийці колби. У мірних колбах не можна нагрівати і зберігати розчини.

*Піпетки* використовують для перенесення певного об'єму рідини з однієї посудини в іншу. Піпетки бувають двох видів: розраховані на певний об'єм (піпетки Мора) і градуйовані.

Перед початком роботи піпетку добре миють і декілька разів ополіскують дистильованою водою з промивалки. Після цього її промивають і витирають зверху фільтрувальним папером, а залишену всередині воду видувають грушею. Перед тим як узяти піпеткою який-небудь розчин, її 1-2 рази ополіскують невеликою кількістю цього розчину: тримають горизонтально, повертають і нахиляють її то в один, то в інший бік, щоб розчин омив усі стінки піпетки. Після цього розчин з піпетки виливають у раковину.



Мал. 1. Лабораторний скляний посуд:

1 — Колби Ерленмейєра; 2 — мірні циліндри; 3 — мензурка конічна; 4 — мірні колби; 5 — колба Бунзена; 6 — колба Вюрца; 7 — дільний лійки; 8 — склянка Тищенко; 9 — крапельниця; 10 — чашка Петрі; 11 — лабораторний стіл; 12 — фаянсова чашка; 13 — фаянсовий тигель; 14 — ступки (а — фаянсова; б — мідна; в — агатова); 15 — холодильник Лібіха (1 — внутрішня трубка; 2 — зовнішня трубка; 3 — вихід; 4 — вхід); 16 — промивалка; 17 — дефлегматор; 18 — ексикатор

*Наповнення піпетки рідиною.* Піпетку беруть великим і середнім пальцями і глибоко опускають її нижній кінець у рідину. Через верхній кінець втягують гумово

грушею рідину в піпетку так, щоб її рівень піднявся вище від позначки. Потім знімають грушу, швидко закривають вказівним пальцем верхній отвір піпетки, не даючи рідині витікати з неї. Виймають нижній кінець піпетки з рідини і витирають її зверху шматком фільтрувального паперу. Тримавши піпетку строго вертикально, встановлюють позначку на рівні очей, потім трохи послаблюють натискування пальцем на верхній отвір піпетки, щоб рідина повільно витікала. Коли нижня частина меніска опущеної рідини торкнеться позначки, отвір знову закривають пальцем. Піпетку переносять у підготовлений посуд і, тримавши її вертикально, дають рідині витікати. При цьому не можна опускати піпетку низько, кінчик її треба тримати біля верхнього краю посудини. Коли весь розчин з піпетки витече, слід зачекати кілька секунд, доторкуючись її кінчиком до стінки посудини і злегка повертаючи. **Ні в якому разі не можна видувати з піпетки залишену краплю розчину!**

*Бюретки* призначені для вимірювання об'єму рідини. Найчастіше використовують бюретки місткістю 25 і 50 мл. Бюретки бувають з краном і без крана. Поділки на бюретці відповідають мілілітрам і десятим часткам мілілітра. Точність відліку по бюретці становить 0,03 мл (25 мл) або 0,05 мл (50 мл) залежно від вмісту бюретки.

Перед початком роботи бюретку добре миють і ополіскують кілька разів дистильованою водою. Під час роботи вона повинна бути у вертикальному положенні. Наповнюють бюретку за допомогою лійки.

*Мірні циліндри* використовують для приготування розчинів приблизної концентрації.

#### *Посуд спеціального призначення*

*Годинникове скло* використовують для зважування сипких речовин. Більшим годинниковим склом накривають склянки і колби.

*Лійки* застосовують для відфільтровування і промивання осаду. У макроаналізі часто користуються лійками діаметром 7-9 см.

*Промивалки* використовують для змиву осаду зі стінок склянки, фільтра, годинникового скла, бюкса.



*Скляними паличками* перемішують рідини, переносять рідини під час фільтрування. Найбільш зручні скляні палички з гумовим наконечником для збирання частинок осаду зі стінок склянки.

*Бюкси* – це маленькі скляночки з пришліфованою скляною покриттям. Вони призначені для зважування твердих та рідких речовин.

*Фаянсові тиглі* використовують для прожарювання осаду. Найкращі з них – № 3 діаметром 25 мм і висотою 35 мм. Маса нового тигля при прожарюванні завжди зменшується, тому перед використанням тиглі прожарюють у муфельній печі декілька годин до набуття ними постійної маси. Написи на тиглях роблять на дні із зовнішнього боку насиченим розчином хлориду заліза (III), а потім закріплюють написи прожарюванням протягом кількох хвилин. Порцелянові тиглі, які були у використанні, очищують гарячою розведеною (1:1) хлоридною кислотою, водою і знову прожарюють. Часто рештки деякого осаду повністю видалити не вдається, оскільки вони сплавилася з поверхнею порцеляни. Проте такі тиглі можна використовувати для подальшої роботи.

*Ексикатори* виготовляють з грубого скла з пришліфованою, щільно прилягаючою покриттям. Між верхньою і нижньою частинами ексикатора кладуть порцелянову пластину з отворами, на які ставлять тиглі, бюкси тощо. На дно ексикатора кладуть осушувальні речовини: найчастіше прожарений  $\text{CaCl}_2$ , рідше –  $\text{P}_2\text{O}_5$  або концентровану  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Притерті поверхні ексикатора та покриття змащують вазеліном. Тиглі і бюкс після прожарювання або висушування витримують в ексикаторі для охолодження до кімнатної температури перед зважуванням на аналітичних терезах. В ексикаторах зберігають осадки і речовини, які можуть вбирати вологу з повітря.

Більшість дослідів проводять у скляному посуді: у пробірках різної місткості та хімічних склянках, колбах плоскодонних, круглодонних, колбах Ерленмейера, Вюрца.

У процесі роботи використовують скляні лійки для фільтрування, ділильні лійки, крапельні лійки. Для випарювання – порцелянові чашки, для спалювання і прожарювання – фаянсові тиглі. Для розмішування рідин і твердих речовин застосовують різні скляні палички, для виведення газів з приладів – скляні

трубки, для відмірювання невеликої кількості рідини – різні піпетки.

Для промивання осадів на фільтрі, під час титрування та з іншою метою використовують *промивалки*.

Посуд під час роботи закріплюють за допомогою штативів Бунзена з кільцями та затискачами. Для пробірок використовують штативи. Для того щоб плоскодонний скляний посуд не тріскався при нагріванні, під нього підставляють азбестові сітки відповідних розмірів.

Нагрітий скляний посуд не можна класти відразу на холодну поверхню.

Для збирання газів використовують такий скляний посуд: циліндри, кристалізатори. Цей посуд нагрівати не можна.

Для подрібнення речовин застосовують фаянсові *ступки* з фаянсовим товкачиком. Вони повинні бути чистими і добре висушеними. Подрібнювати в них можна речовини не більш ніж на  $1/3$  об'єму ступки. У ступці речовини можна тільки розтирати, але не товкти.

Кислоти краще закривати скляними притертими пробками, а концентровані кислоти – ще й притертими ковпачками. Склянки з лугами не можна закупорювати скляними пробками, оскільки внутрішня поверхня горла склянки піддається дії вуглекислого газу з повітря, і через це в просторі між пробкою і горлом склянки утворюються кристали вуглекислих солей. Унаслідок цього пробка "заїдає" і її важко вийняти. Тому склянки з лугами закривають гумовими пробками або пластмасовими закрутками, які інколи для ізоляції луку від навколишнього середовища парафінують. Пробку потрібно підбирати до того, як у склянку налито речовину. Гумова пробка повинна тісно входити в посудину, при цьому не менше ніж третина її має виступати з посудини. Якщо через пробку потрібно пропустити скляну трубку, а отвору в пробці для цього немає, то його треба просвердлити, підбираючи діаметр свердла відповідно до діаметра трубки.

Для спалювання речовин у кисні застосовують *залізні ложечки*. Спалювання проводять у циліндрі або склянці, на дно яких треба насипати шар піску, щоб вони не тріснули, коли на дно впаде частинка розжареної речовини.

Під час роботи напівмікрометодом реактиви використовують у дуже малих кількостях – краплями і крупинками. Усі необхідні для роботи реактиви повинні знаходитись у крапельницях, розміщених на спеціальному штативі-гірці. Розчини з них відбирають крапельними піпетками, а сухі речовини – мікрошпателем.

#### *Перша допомога в разі нещасних випадків*

1. У всіх нещасних випадках (глибокому порізі, отруєнні, опіках тощо) необхідно негайно звернутися до лікаря. За можливості потерпілому треба надати першу допомогу.

2. При порізах склом слід видалити уламки скла з рани, змазати уражене місце 3 % спиртовим розчином йоду і перев'язати бинтом, щоб припинити кровотечу.

3. При отруєнні шкідливими газами негайно припинити дослід і відкрити вікна та двері. Потерпілого винести на свіже повітря, розстебнути одяг, дати понюхати вату, змочену нашатирним спиртом. Коли потерпілий опритомніє, дати йому міцного чаю. При неглибокому отруєнні хлором або парою бромю дати понюхати суміш етилового і нашатирного спиртів.

4. При отруєнні йодом потерпілому дати випити крохмаль з водою, молоко, міцний чай або розчин соди.

5. У разі отруєння лугами (їдким натром) необхідно випити молока або 2 % розчину оцтової або лимонної кислоти. Не давати блювотних засобів.

6. При отруєнні кислотами (соляною, сульфатною) дати потерпілому води з розтертою крейдою, попелом, 1 % розчин натрію гідрогенкарбонату, вапняну воду. Не давати блювотних засобів і не промивати шлунок.

7. У разі опіків рану обробити 2 % розчином перманганату калію, таніну або маззю від опіків.

8. Якщо на шкіру потрапили бризки кислоти або лугу, то уражене місце слід промити великою кількістю води, а потім відповідно 3 % розчином соди або 2 % розчином оцтової кислоти.

#### *Правила поведінки у хімічній лабораторії*

1. Заходьте до лабораторії тільки з дозволу викладача.

2. Заходьте і виходьте з лабораторії спокійно, щоб випадково не перекинути хімічний посуд з приладами або склянки з реактивами, що стоять на столах.

3. Сидіть у лабораторії завжди за одним і тим самим робочим місцем і не переходьте на інше місце без дозволу викладача.

4. Підтримуйте чистоту й порядок на своєму робочому місці, не залишайте на столі сміття, збирайте його і викидайте в установлені місця (урни або спеціально поставлені на столах банки), після роботи мийте за собою посуд.

5. Не тримайте під час роботи на столі нічого зайвого; на ньому можуть бути підручник, задачник, довідник, робочий журнал та письмове приладдя.

6. Дбайливо ставтеся до обладнання лабораторії.

7. Виконуйте усі досліди самостійно, крім тих, які за вказівкою викладача виконуються групами з 2-4 студентів.

8. Перевірте, чи є все необхідне для дослідів, і продумайте послідовність виконання кожного з них.

9. Працюйте сидячи, швидко, але без зайвої квапливості, під час роботи додержуйте тиші.

10. Записуйте хід виконання досліду в робочий журнал і робіть запис усіх спостережень, рівнянь реакцій, висновків відразу ж після виконання досліду.

11. Дотримуйтеся правил користування водогоном, газом та електрикою, не відкривайте без потреби крани, не засмічуйте раковини, вмикайте електричні прилади за необхідності.

12. Знайте і дотримуйтеся правил нагрівання, поводження з розчинами кислот і лугів, вогненебезпечними, вибухонебезпечними та отруйними речовинами.

13. Знайте місцезнаходження в лабораторії протипожежних засобів, аптечки і вмійте ними користуватись у разі нещасного випадку.

*Основні застережні заходи під час роботи в хімічній лабораторії*

1. Працюйте обов'язково в халаті.

2. Будьте максимально обережні під час виконання практичних робіт, пам'ятаючи, що неохайність, неухажність, недостатня обізнаність із властивостями речовин, з якими проводиться робота, може спричинити нещасний випадок.

3. Виконуйте тільки ті хімічні досліди, які погоджені з викладачем, під його наглядом або наглядом лаборанта.

4. Уважно читайте етикетку на посудині з тією речовиною, яку берете для досліду. Відкривши посудину, пробку не кладіть на лабораторний стіл боком, а поставте її вертикально (мал. 2).

5. Беріть реактиви для дослідів тільки в тих кількостях, які зазначені в інструкції.

6. Якщо в інструкції не вказано, яку масу чи об'єм речовини треба взяти, то суху речовину беріть у такій кількості, щоб вона закрила лише дно пробірки, а розчину не більше ніж  $1/л$  її об'єму.

7. Не зливайте надлишок реактиву назад у посудину, де він зберігався.

8. Під час наливання рідин беріть посудину з реактивом так, щоб етикетка спрямовувалась у бік долоні, знімайте краплю з краю шийки посудини, оскільки рідина, стікаючи по склу, псуватиме етикетку, може обпекти руку (мал. 3).



Мал. 2. Так треба ставити пробку, відкривши посудину з реактивом



Мал. 3. Знімання краплі рідини з шийки посудини

9. Закрийте пробкою і поставте на місце посудину, з якої взяли реактив.

10. Користуйтеся пробіркотримачем під час нагрівання розчинів у пробірці. Уважно стежте за тим, щоб отвір пробірки був спрямований від вашого обличчя, бо рідина внаслідок перегрівання може виплеснутися з пробірки.

11. Під час нагрівання рідин стежте, щоб не перегрівалися стінки посудини над рідиною (особливо, коли рідини мало), тому що при потраплянні крапель рідини на перегріте скло посудина може тріснути.

12. Не нагрівайте пробірку лише знизу, а прогрівайте її всю, весь її вміст, щоб уникнути перегрівання.

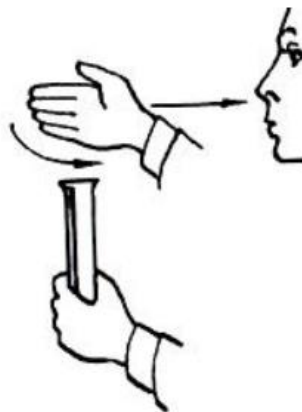
13. Не заглядайте в пробірку, в якій нагрівається рідина, і не нахиляйтеся над посудиною, в яку наливається будь-яка рідина (особливо їдка), щоб непомітні бризки не потрапили в очі (мал. 4).

14. Не пробуйте на смак речовини.

15. Нюхайте будь-які речовини з обережністю, не нахиляйтеся над посудиною і не вдихайте глибоко, а спрямовуйте до себе пару чи газ рухами руки (мал. 5).



Мал. 4. Розбризування рідини під час наливання в посудину



Мал. 5. Так треба нюхати речовини

16. Дотримуйтеся особливої обережності під час роботи з нагрівальними приладами.

17. Ставте гарячі предмети на керамічну плитку або спеціальну підставку.

18. Відпрацьовані реактиви зливайте в раковину (після їх нейтралізації), а цінні реактиви – у спеціальні посудини.

19. Приберіть своє робоче місце після закінчення роботи, перекрийте воду, вимкніть електронагрівальні прилади і ретельно вит мийте руки.

20. Не кладіть свої сніданки на лабораторні столи і ніколи не споживайте їжу в лабораторії.

*Уразі нещасного випадку негайно звертайтеся до викладача!*

### **Контрольні питання**

1. Для чого призначені лабораторії?
2. Основні вимоги до приміщення лабораторії та її оснащення.
3. Вимоги до робочого місця лаборанта.
4. Роль правильного ведення документації в роботі кожного лаборанта.
5. Основні правила безпеки та особистої гігієни під час роботи в лабораторіях із шкідливими й токсичними речовинами.
6. Правила поведінки в лабораторії.
7. Перерахуйте види спецодягу для роботи в лабораторії.
8. Які засоби протипожежної безпеки повинні бути в лабораторії?

9. У яких випадках не можна застосовувати воду для гасіння пожежі?
10. Як здійснюється вентиляція лабораторного приміщення?
11. Які заходи першої медичної допомоги застосовують у разі опіків кислотами і лугами?
12. У чому особливості безпеки під час роботи в медичних лабораторіях?
13. Які види вимірювального посуду вам відомі?
14. Яке призначення кожного виду посуду?
15. Яким посудом – мірним циліндром чи піпеткою – можна точніше відміряти рідину?

## Лабораторна робота № 1

### Визначення теплової сталої калориметра і теплоти розчинення калій хлориду у воді

**Мета роботи** – ознайомлення із принципом калориметричних вимірювань, набуття навичок користування калориметром, визначення теплоємності калориметра та теплоти розчинення калій хлориду.

#### **Теоретична частина.**

*Хімічна термодинаміка* вивчає зв'язок між теплотою й роботою, і властивостями речовин або систем. Вивчає макроскопічні властивості тіл і їхньої зміни при обміні тіл або систем енергією або речовиною. У свою чергу хімічна термодинаміка включає *термохімію*, у якій вивчаються теплові ефекти хімічних реакцій.

*Стандартна теплота утворення речовини* – це теплота реакції утворення речовини із простих речовин, стійких за даних умов.

*Стандартна теплота згоряння* – теплота, що виділяється при згорянні в атмосфері кисню 1 моля речовини при стандартних умовах до вищих оксидів. Причому, всі учасники реакції повинні бути в стійких агрегатних станах.

У хімічній термодинаміці найчастіше розглядаються ізобарні процеси ( $p = const$ ), для яких  $Q_p = \Delta H$ .

*Теплоємність* – це кількість теплоти, необхідної для нагрівання речовини (системи) на 1 К. Теплоємність — величина екстенсивна, тому що залежить від розміру системи. *Теплоємність*, яка розрахована на 1 моль речовини, називається *мольною*, а на одиницю маси – *питомою*.

В залежності від умов розрізняють:

1. *Ізохорну* теплоємність (при нагріванні або охолодженні речовини при постійному об'ємі):

$$C_V = \frac{\delta Q_V}{dT} = \left( \frac{\partial U}{\partial T} \right)_V. \quad (1.1)$$

2. *Ізобарну* теплоємність (при нагріванні або охолодженні речовини при постійному тиску):



$$C_p = \frac{\delta Q_p}{dT} = \left( \frac{\partial H}{\partial T} \right)_p. \quad (1.2)$$

*Теплоти розчинення і розведення.*

*Інтегральною теплотою розчинення*  $\Delta H_{T(\text{розч})}$  називають кількість теплоти, що виділяється чи поглинається при розчиненні 1 моля речовини у визначеному великому об'ємі розчинника з утворенням розчину концентрації  $C_m$ . Теплоти розчинення порівняно невеликі. Для твердих речовин з атомними чи молекулярними решітками вони близькі до теплоти плавлення.

Інтегральна теплота розчинення електролітів є алгебраїчною сумою двох величин:

1) теплоти, яка поглинається при руйнуванні кристалічних решіток і віддалення йонів на відстані, відповідно до об'єму розчину ( $\Delta H_{\text{реш.}}$ );

2) теплоти, яка виділяється при гідратації чи сольватації кожного йона молекулами розчинника ( $\Delta H_{\text{гдр.}}$ ).

Обидві величини мають порядок сотень кДж/моль, але їх різниця невелика, не більш десятків кДж.

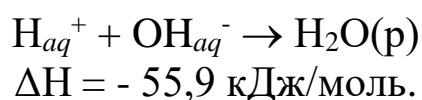
При великих концентраціях  $\Delta H_{\text{розч.}}$  є функцією концентрації розчину. Для сильно розведених розчинів вона наближається до граничної величини  $\Delta H_{\infty(\text{розч.})}$  у нескінченно розведеному розчині.

*Інтегральна теплота розведення*  $\Delta H_{\text{розв.}}$  являє собою теплоту розведення розчину, що містить 1 моль речовини при концентрації  $C_m$ , до нескінченного розведення. Співвідношення між  $\Delta H_{\text{розч.}}$  і  $\Delta H_{\text{розв.}}$  виражається рівнянням:

$$\Delta H_{\infty(\text{розч.})} = \Delta H_{\text{мрозч.}} + \Delta H_{\text{розв.}} \quad (1.3)$$

*Теплота нейтралізації.*

Теплотою нейтралізації називається кількість теплоти, яка виділяється при реакції нейтралізації кислоти основою з утворенням одного моля води. Реакція нейтралізації 1 моля будь-якої сильної одноосновної кислоти будь яким лугом у досить розведеному розчині при 298 К супроводжується майже однаковим екзотермічним тепловим ефектом, що відповідає процесу утворення 1 моля рідкої води з гідратованих йонів  $H_{aq}^+$  ( $H_3O^+$ ) і  $OH_{aq}^-$  по рівнянню:



Крім того, при точних розрахунках теплоти нейтралізації потрібно враховувати, що при зливанні розчинів кислоти та основи відбувається зміна їхніх об'ємів, тобто необхідно враховувати ще дві теплоти розведення.

При нейтралізації слабкої основи сильною кислотою чи навпаки протікають одночасно два процеси: дисоціація слабого електроліту з відповідним тепловим ефектом  $\Delta H_{\text{дис.}}$  і процес нейтралізації. Тому  $\Delta H_{\text{нейтр.}}$  у цих випадках більше чи менше  $\Delta H_{\text{нейтр.}}$  сильної кислоти сильною основою в залежності від величини і знака  $\Delta H_{\text{дис.}}$  слабого електроліту.

*Теплота дисоціації*, у свою чергу, складається з теплоти руйнування зв'язків у молекулі слабого електроліту, тобто теплоти розпаду молекули на йони (ендотермічний ефект) і теплоти сольватації (гідратації) йонів молекулами розчинника (екзотермічний ефект). Таким чином теплота дисоціації може бути як додатною, так і від'ємною.

**Калориметр.** Тепловий ефект реакції вимірюють у спеціальних приладах – калориметрах, спостерігаючи за зміною температури  $\Delta T$  при протіканні реакції. Для роботи користуються калориметром, що дозволяє робити визначення теплових ефектів із відносною похибкою 2-5 % при зміні температури не менш 0,5 °С. Калориметр складається з калориметричної посудини й ізолюючої системи. Схему найпростішого калориметра наведено на рис. 1.1.

Калориметр являє собою металеву склянку чи посудину Дьюара. Ізолюючою системою служить повітряна оболонка, що утворюється іншою посудиною і кришкою із пластмаси. Калориметрична посудина встановлюється в іншу посудину на азбестових чи пластмасових підставках. У кришці є отвори для термометра, мішалки і введення випробуваної речовини.

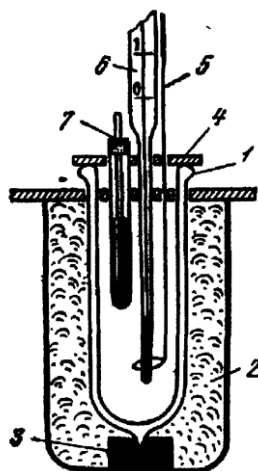


Рис. 1.1. Схема калориметру:

1 – металевий стакан, або посудина Дьюара; 2 – повітряна оболонка; 3 – підставка; 4 – кришка; 5 – мішалка; 6 – термометр Бекмана; 7 – ампула з досліджуваною речовиною.

Для зменшення втрат тепла в навколишнє середовище зміна температури при взаємодії речовин у калориметричній посудині не повинна перевищувати 2-3°C і реакція повинна протікати швидко.

Теплові ефекти розраховують за зміною температури  $\Delta T$  при реакції в калориметрі.

Теплова стала калориметра  $C_k$  являє собою суму добутків теплоємностей тих частин приладу і розчину, що беруть участь у теплообміні, на їхню масу:

$$C_k = \sum m_i \cdot C_i \quad (1.4)$$

де  $m_i$  – маси окремих частин приладу і рідини;

$C_i$  – питомі теплоємності окремих частин приладу і рідини.

Таким чином, величина  $C_k$  відповідає тій кількості теплоти, що необхідна для нагрівання калориметра на 1°C. Визначають  $C_k$  безпосереднім вимірюванням теплоємності, нагріваючи калориметр і вимірюючи зміну температури. Нагрівають електричним струмом, чи теплом одержуваним за рахунок хімічної реакції, наприклад, по відомій теплоті розчинення солі. Щоб нагріти систему на  $\Delta T$ , необхідно надати їй кількість теплоти  $\Delta H$ :

$$\Delta H = \frac{C_k \Delta T M}{g} \quad (1.5)$$

де  $\Delta H$  – відома теплота розчинення солі, кДж/моль;

$M$  – молекулярна маса солі;  $g$  — наважка солі.

Відповідно:

$$C_k = \frac{\Delta H \cdot g}{\Delta T \cdot M} \quad (1.6)$$

*Визначення істинної зміни температури в калориметрі при термохімічному процесі.*

Для визначення змін температури в калориметрії використовують метастатичний термометр Бекмана. Він дає змогу виміряти невеликі зміни температури (до 5-6<sup>0</sup>С) з точністю до 0,005 <sup>0</sup>С. Термометр складається з основного і додаткового резервуарів ртуті, сполучених між собою капіляром. Особливістю цього термометра є те, що за допомогою додаткового резервуара можна змінювати кількість ртуті в основному резервуарі і завдяки цьому використовувати термометр для вимірювань у широкому інтервалі температур. Шкалу термометра поділено на відрізки по 5<sup>0</sup>С, а кожний градус – на десяті і соті частки. Тисячні частки можна приблизно відрахувати з використанням лупи.

Перед використанням необхідно перевірити настроювання термометра Бекмана. Для цього термометр занурюють у посудину з водою, яка має температуру рідини в калориметрі. Термометр підготовлений правильно для ендотермічного процесу, якщо ртуть у ньому міститься між позначками 4-5<sup>0</sup>С (оскільки спостерігається зниження температури), і відповідно між позначками 0-2<sup>0</sup>С для екзотермічного процесу (спостерігається підвищення температури).

Якщо термометр 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 термометра охолоджують, і ртуть із верхнього резервуару буде переходити в нижній.

Якщо необхідно, щоб рівень ртуті встановився в 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 термометр становлять у вертикальне положення і різко вдаряють верхньою

частиною термометра по долоні (обережно, щоб не розбити термометр). Після цього термометр знову занурюють у посудину з водою, що має температуру рідини в калориметрі. І перевіряють настроювання.

При роботі з калориметром спостерігаються часткові втрати тепла в навколишнє середовище, що викривляє вимірювану різницю температур початку і кінця процесу. Для визначення істинної зміни температури використовують графічний метод. Весь калориметричний процес поділяють на три періоди:

- 1) попередній період 5 хв;
- 2) головний період, що відповідає протіканню термохімічного досліду (розчиненню солі чи реакції нейтралізації);
- 3) заключний період – 5 хв.

Перемішуючи воду в калориметрі, спостерігають кожні 0,5 хв. за температурою, що змінюється в результаті обміну теплом із навколишнім середовищем. Коли встановлюється рівномірний хід температури, тобто коли зміни температури кожні 0,5 хв. стануть однаковими, починають записувати температуру через кожні 0,5 хв. із точністю до 0,005°C (попередній період). Виконують 10 відліків. На одинадцятому відліку починають розчинення солі чи іншу реакцію для вимірювання теплового ефекту, не виключаючи секундоміра і не перериваючи запису температури. Розмішують розчин, і продовжують запис температури (головний період). Якщо температура змінюється дуже швидко, відлік можна робити з точністю до 0,1°C. По закінченні головного періоду, коли хід температури знову стане рівномірним (заключний період), роблять ще 10 відліків і дослід закінчують. Якщо відлік чергового показання термометра під час досліду не був зроблений, то слід підкреслити пропущений відлік і записати наступний на своє місце, під своїм порядковим номером. Інакше це скоротить плавний період і вплине на величини виправлення. Точне значення зміни температури в калориметрі під час проведення процесу визначається графічним методом, що дає змогу враховувати можливий теплообмін калориметра з навколишнім середовищем (рис. 1.2)

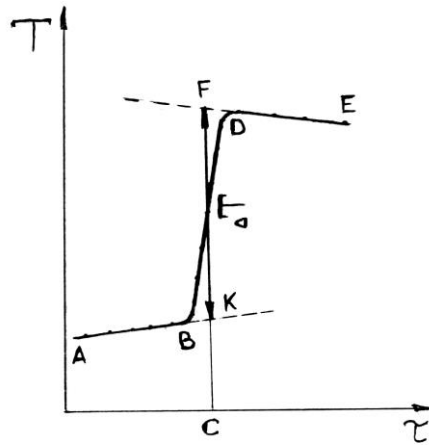


Рис.1.2. Графічний метод визначення істинної зміни температури в калориметрі при термохімічному процесі.

За отриманими даними будують графік (рис. 1.2) на міліметровому папері, відкладаючи по осі абсцис час  $\tau$ , а на осі ординат – температуру  $T$ . На графіку  $AB$  – попередній період,  $BD$  – головний період, а  $DE$  – заключний. Прямі  $AB$  і  $DE$  екстраполюють, і час періоду  $BD$  поділяють навпіл (точка  $C$ ). З точки  $C$  опускають перпендикуляр до перетину з обома продовженими прямими. Відрізок між точками  $K$  і  $F$ , виражений у градусах, покаже дійсну зміну температури  $\Delta T$ , викликану процесом, з урахуванням виправлення на теплообмін.

### **Експериментальна частина**

1. Ретельно розтерти у фарфоровій ступці 6 г калій нітрату.
2. Зважити з точністю до 0,001 г порожню пробірку із пробкою, насипати в неї близько 5 г солі і знову зважити. По різниці обчислити наважку.
3. Зважити в склянці 300 г дистильованої води (з точністю до 0,1 г) та перенести воду в посудину Дьюара. Зібрати калориметр, закрити його кришкою, де два отвори. В один отвір вставити пробірку так, щоб нижня частина її була покрита водою. В другий отвір установити термометр Бекмана. Перед початком роботи перевірити настройку термометра, опустивши його у воду у калориметрі. Кінець стовпчика ртуті повинен установитися на середині шкали.
4. Записувати показання термометра кожну хвилину до встановлення постійної температури, потім швидко висипати сіль у розчин, перемішати та продовжувати фіксувати зміни температури

до постійної. При розчиненні солі температура падає, потім починає рівномірно зростати.

5. Результати вимірювань записати в табл. 1.1 за формою:

**Таблиця 1.1**

Зміна температури під час досліду

Час, хв.								
Показання термометра, °С								

6. У такий же спосіб провести дослід із КСl.

### **Розрахунки**

1. Визначити графічно  $\Delta T$ .
2. Обчислити теплову сталу  $C_k$  за рівнянням (1.6). Інтегральна теплота розчинення калій хлориду  $\Delta H = 35,62$  кДж/моль.
3. Молярну теплоту розчинення КСl  $\Delta H_{\text{пит.}}$ , що відповідає теплоті розчинення 1 моля солі, обчислити за рівнянням (1.5) і співставити з табличними даними.
4. Зробіть висновки.

### **Контрольні питання і задачі**

1. Дайте визначення поняттю "термодинамічна система".
2. Яка термодинамічна система називається відкритою, закритою, ізольованою, гомогенною, гетерогенною?
3. Дайте визначення понять "внутрішня енергія", "ентальпія", "теплота" і "робота".
4. Що таке теплоти утворення, нейтралізації, розчинення, розведення?
5. Опишіть методи визначення теплової сталої калориметра і істинної зміни температури в ньому. Чому треба записувати хід температури, а не тільки початкове і кінцеве значення її?
6. Які експериментальні величини потрібні для визначення теплового ефекту за калориметричним методом?
7. Молярна теплота плавлення нікелю дорівнює 18 кДж/моль, а його температура плавлення становить 1453°C. Визначити зміну ентропії при плавленні 293 г нікелю.
8. Молярна теплота плавлення льоду становить 6,012 кДж/моль. Визначити, скільки грамів льоду було розплавлено, якщо зміна ентропії при цьому становила 244,6 Дж/(моль·К).

## Лабораторна робота № 2

### Визначення теплового ефекту хімічної реакції

**Мета роботи** – ознайомлення з колориметричним методом визначення ентальпії та термодинамічними розрахунками, пов'язаними з енергетикою хімічних реакцій.

#### *Теоретична частина.*

Для будь-якого процесу виконується закон збереження енергії: теплота  $Q$ , яка підводиться до системи, витрачається на збільшення її внутрішньої енергії  $U$ , на здійснення роботи  $A$  над зовнішнім середовищем (перший закон термодинаміки).

$$Q = A + \Delta U$$

На відміну від внутрішньої енергії, теплота та робота не являються функціями стану, оскільки вони слугують формами передачі енергії і пов'язані з процесом, а не зі станом системи. Вони залежать від шляху процесу.

Якщо хімічний процес протікає при постійному об'ємі ( $T, V = \text{const}$ ) і єдиним видом роботи є робота розширення ( $A = p \cdot \Delta V$ ) то тепловий ефект цієї реакції буде дорівнювати приросту внутрішньої енергії системи:

$$Q_{v,T} = \Delta U$$

Якщо хімічний процес протікає при постійному тиску ( $T, p = \text{const}$ ) і єдиним видом роботи є робота розширення ( $A = p \cdot \Delta V$ ), то тепловий ефект цієї реакції дорівнює зміні ентальпії системи:

$$Q_{v,T} = \Delta U + p \cdot \Delta V = \Delta H,$$

де  $H = U + p \cdot V$ .

Величину  $H$  називають ентальпією. Таким чином, теплота ізобарно-ізотермічного процесу набуває властивості функції стану і не залежить від шляху, за яким протікає процес.

Реакції, які супроводжуються виділенням теплоти, називаються екзотермічними ( $\Delta H < 0$ ), а реакції, які супроводжуються поглинанням теплоти називаються ендотермічними ( $\Delta H > 0$ ).

Енергетичний ефект хімічної реакції виражають в кілокалоріях або кілоджоулях і називають тепловим ефектом. Оскільки більшість хімічних реакцій ізобарні, то їх тепловий ефект оцінюється зміною величини ентальпії системи.

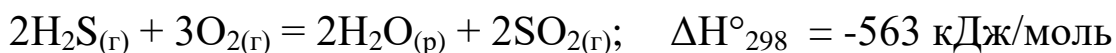


Встановлено, що *тепловий ефект хімічних реакцій залежить тільки від виду і стану вихідних речовин і кінцевих продуктів, але не залежить від числа і характеру стадій реакції* (закон Гесса Г.І., 1841р.).

Для спрощення операцій з розрахунками теплових ефектів були введені уявлення про стандартний стан речовин і їх стандартні ентальпії. Стандартний стан речовин – це такий стан, коли речовина знаходиться у чистому вигляді при  $T = 298 \text{ K}$ ,  $p = 101,325 \text{ кПа}$  в стійкій для цих умов формі. Стандартному стану речовини відповідає його стандартна ентальпія утворення  $\Delta H^{\circ}_{298}$  кДж/моль, тобто тепловий ефект реакції утворення 1 моля складної речовини із простих речовин за стандартних умов. Стандартні ентальпії утворення простих речовин умовно приймають рівними нулю. Стандартні ентальпії утворення наведено в довідкових таблицях.

Рівняння хімічних реакцій з показуванням теплових ефектів ( $\Delta H^{\circ}_{298}$ ) називають термохімічними. В цих рівняннях також показують стан речовини.

Наприклад:



За порівняно невеликим числом  $H^{\circ}_{298}$  можна розрахувати теплові ефекти багатьох хімічних реакцій, при цьому користуються наслідком із закону Гесса: *тепловий ефект хімічної реакції дорівнює сумі стандартних ентальпій утворення продуктів реакції за вирахуванням суми стандартних ентальпій утворення вихідних речовин, з урахуванням коефіцієнтів, які стоять перед формулами цих речовин в рівнянні реакції*

$$\Delta H^{\circ}_{298} = \sum n \Delta H^{\circ}_{298} - \sum n \Delta H^{\circ}_{298}$$

### **Експериментальна частина**

Визначення теплових ефектів хімічних реакцій проводять в калориметрах (рис. 2.1)

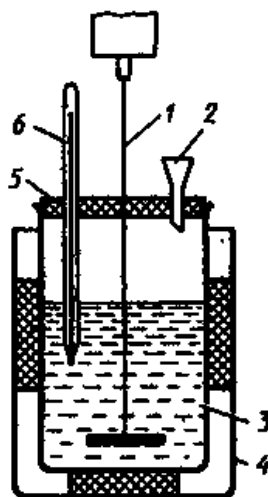


Рис. 2.1. Калориметрична установка:

1 – мішалка; 2 – лійка; 3 – калориметричний стакан; 4 – зовнішній стакан; 5 – кришка; 6 – термометр.

Зважити внутрішню склянку калориметра.

1. Мірним циліндром відміряти 50 мл 1н. розчину сильної кислоти HCl і заміряти його температуру ( $t^{\circ}_к$ ) з точністю до  $0,1^{\circ}\text{C}$ .

2. В склянку 3 через лійку 2 внести відміряний іншим мірним циліндром 50мл 0,1н. розчину сильної основи NaOH і термометром, прополоснувши його дистильованою водою, заміряти температуру лугу ( $t^{\circ}_л$ ) з точністю до  $0,1^{\circ}\text{C}$ . Початкова температура суміші лугу і кислоти  $t^{\circ}_1$  – середнє арифметичне від  $t^{\circ}_к$  і  $t^{\circ}_л$ .

3. Розчин кислоти через лійку 2 внести до розчину лугу і прослідкувати за зміною температури. Записати найвищу температуру суміші  $t^{\circ}_2$ .

4. Провести дослід, що описаний вище, зі слабкою оцтовою кислотою та амоній гідроксидом (концентрації та об'єм взяти ті ж).

5. Дані дослідів записати в табл. 2.1.

**Таблиця 2.1**

Маса склянки $m_{\text{склянки}}, \text{Г}$	Об'єм V, мл		Сумарний об'єм розчину V, мл	Температура, $t^{\circ}\text{C}$			
	Кислоти	лугу		Кислоти $t^{\circ}_к$	Лугу $t^{\circ}_л$	початков. суміші, $t^{\circ}_1$	кінцев. суміші, $t^{\circ}_2$

### Розрахунки

1. Визначити різницю температур  $\Delta t = t_2^{\circ} - t_1^{\circ}$  і масу

розчину ( $m_p$ ) в калориметричній склянці, враховуючи, що густина розчину дорівнює одиниці  $m_p = V\rho$ .

2. Теплота, що виділялась чи поглиналась в калориметрі, розраховується за формулою:

$$Q = (m_p C_p + m_{\text{склянки}} \cdot C_{\text{скляки}}) \cdot \Delta t,$$

де  $m_p$  і  $m_{\text{склянки}}$  – маси рідини і склянки

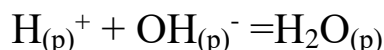
$C_p$  – питома теплоємність розчину, дорівнює теплоємності води, тобто 4,184 Дж/г<sup>°</sup>С

$C_{\text{скляки}}$  – питома теплоємність скла, дорівнює 0,753 Дж/г<sup>°</sup>С.

3. Розрахувати тепловий ефект реакції нейтралізації одного моля сильної кислоти (лугу) ( $\Delta H_{298\text{екс}}^0$ ).

4. Визначити кількість молів нейтралізованої кислоти (лугу), враховуючи дану молярну концентрацію і об'єм розчину.

5. Згідно теорії електролітичної дисоціації нейтралізація сильної кислоти сильною основою у розведеному стані відповідає рівнянню:



Вирахувати теоретичне значення теплового ефекту за стандартними величинами ентальпії утворення :

$$\Delta H_{298}^0 (H_2O) = -286,0 \text{ кДж/моль};$$

$$\Delta H_{298}^0 (OH^-) = -230,2 \text{ кДж/моль};$$

$$\Delta H_{298}^0 (H^+) = 0$$

6. Визначити відносну похибку досліду:

$$\delta_a \% = \pm \frac{\Delta H_{298\text{теор}}^0 - \Delta H_{298\text{експ}}^0}{\Delta H_{298\text{теор}}^0} \cdot 100$$

7. Провести аналогічний дослід нейтралізації розчину слабкої основи слабкою кислотою, визначити тепловий ефект в цьому випадку і порівнявши результати з попередніми, зробити висновки.

### **Контрольні питання і задачі**

1. Які хімічні реакції називаються ендо- і екзотермічними?
2. Чим відрізняються термохімічні рівняння від хімічних?
3. Який стан речовини називається стандартним?
4. Що таке стандартна ентальпія утворення речовини?
5. Закон Гесса і наслідки з нього.
6. Які експериментальні величини потрібні для визначення

теплового ефекту по калориметричному методу?

7. Розрахуйте масу метану, при повному згорянні якої (з утворенням рідкої води) виділяється теплота достатня для нагрівання 100 г води від 20° до 30°С. Мольна теплоємність води дорівнює 75,3 Дж/моль·К.

$$\Delta H^0_{298}(\text{CH}_4(\text{г})) = -74,9 \text{ кДж/моль}$$

$$\Delta H^0_{298}(\text{CO}_2(\text{г})) = -393,5 \text{ кДж/моль}$$

$$\Delta H^0_{298}(\text{H}_2\text{O}(\text{р})) = -285,8 \text{ кДж/моль}$$

8. При взаємодії газоподібних гідрогенсульфіду (сірководню) і карбон (IV) оксиду утворюються  $\text{H}_2\text{O}$  (г) і карбондисульфід (сірковуглець)  $\text{CS}_2$  (г). Напишіть термохімічне рівняння цієї реакції і розрахуйте її тепловий ефект.

$$\Delta H^0_{298}(\text{H}_2\text{S}) = -20,15 \text{ кДж/моль}$$

$$\Delta H^0_{298}(\text{CS}_2) = +115,28 \text{ кДж/моль}$$

$$\Delta H^0_{298}(\text{H}_2\text{O}) = -241,83 \text{ кДж/моль}$$

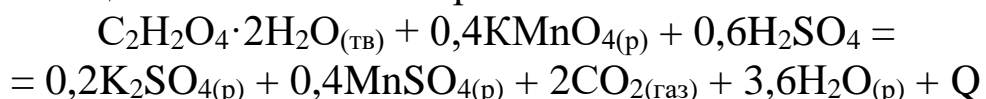
## Лабораторна робота № 3

### Визначення теплового ефекту реакції окиснення

**Мета роботи** – визначення теплового ефекту реакції окиснення щавлевої кислоти калій перманганатом в кислому середовищі.

#### *Теоретична частина*

Теплові ефекти хімічних реакцій окиснення можна визначати безпосередньо при проведенні їх у калориметрі, якщо вони відбуваються досить швидко і доходять до кінця або до певного рівноважного стану. В останньому випадку після досліду необхідно визначити ступінь перетворення вихідних речовин. Термодинамічно всі реакції оборотні; а в розчинах реакції доходять практично до кінця, якщо один із продуктів випадає в осад або виділяється у вигляді газу. Прикладом такої реакції може бути окиснювання щавлевої кислоти перманганатом калію:



У результаті реакції утворений вуглекислий газ  $\text{CO}_2$  розчиняється у воді, що приводить до виділення додаткової теплоти розчинення. Однак при інтенсивному перемішуванні системи і низькому парціальному тиску  $\text{CO}_2$  в повітрі встановлюється рівновага розчину з газовою фазою, що практично зміщена вправо. Тому в межах точності визначень (1%) можна вважати, що весь  $\text{CO}_2$ , який утворився в результаті реакції, перебуватиме в газоподібному стані.

Необхідно провести два калориметричні досліди – один із надлишком щавлевої кислоти, другий – з надлишком калій перманганату. В обох дослідах потрібно працювати з однаковою кількістю калій перманганату.

#### *Експериментальна частина*

1. Залити в калориметричну посудину з бюретки 68 мл води, 50 мл 30%-вого розчину сульфатної кислоти і 32 мл 0,5 Н  $\text{KMnO}_4$ .
2. Зважити ампулу на технічних терезах, помістити в неї:
  - дослід 1 – 1,2 г щавлевої кислоти
  - дослід 2 – 0,8 г щавлевої кислоти.

3. Провести калориметричний дослід 1, вимірюючи зміну температури при додаванні щавлевої кислоти. Температура розчину при екзотермічному процесі спочатку різко зростає (головний період), потім починає рівномірно змінюватись, наближаючись до середньої температури системи. Відліком температури, за яким починається її рівномірна зміна, закінчується головний період калориметричного дослідження і починається кінцевий період.

4. Необхідно визначити графічно зміну температури  $\Delta T$ , а також тривалість головного періоду  $\Delta t$ . Потім вилити вміст калориметричного стакана, вимити і висушити його. Аналогічно провести калориметричний дослід 2.

### ***Розрахунки***

1. За експериментальними даними будують графіки зміни температури з часом і визначають  $\Delta T_1$  для дослідження 1 та  $\Delta T_2$  для дослідження 2.

2. Визначити тепловий ефект окиснення щавлевої кислоти калій перманганатом для обох дослідів за рівнянням:

$$Q_{\text{х.р.}} = \frac{C_k \Delta T M}{g} - Q_{\text{розч.}} \frac{\Delta g}{g}$$

де  $M$  – молекулярна маса щавлевої кислоти –  $(\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , г/моль;

$g$  – наважка  $(\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , г;

$\Delta g$  – надлишок  $(\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , г (у досліді 2 надлишок дорівнює нулю, у досліді 1 надлишок дорівнює 0,4 г).

$Q_{\text{розч.}} = -35\,338,3$  Дж/моль;

$C_k$  – загальна теплоємність калориметра.

3. Зробити висновок.

### ***Контрольні питання і задачі***

1. Основні означення термохімії.
2. Основні закони термохімії.
3. Калориметричний метод визначення теплових ефектів.
4. Конструкція і принцип роботи калориметра.
5. Методи визначення теплоємності калориметра.
6. Графічний метод визначення різниці температур  $\Delta T$ .
7. Означення тепла гідратоутворення та тепла розчинення.

## Лабораторна робота № 4

### Визначення теплоти гідратування купрум (II) сульфату

**Мета роботи** – визначення теплоти гідратування купрум (II) сульфату.

#### *Теоретична частина.*

В 1836 році російським академіком Г. И. Гессом встановлено досвідченим шляхом, що тепловий ефект хімічної реакції при  $p = \text{const}$  або  $V = \text{const}$  не залежить від шляху її протікання, а визначається лише початковим і кінцевим станом системи.

Закон Гесса дає можливість розрахувати теплові ефекти процесів у тих випадках, коли їх важко виміряти в певних умовах або коли в цих умовах не можна здійснити цей процес.

*Тепловий ефект реакції* – максимальна кількість теплоти, що виділяється в необоротному процесі при  $p = \text{const}$  або  $V = \text{const}$ , якщо всі речовини мають однакову температуру й відсутні інші види робіт, крім роботи розширення.

#### *Наслідки із закону Гесса:*

*Наслідок 1.* Тепловий ефект реакції дорівнює різниці алгебраїчної суми теплот утворення продуктів реакції і алгебраїчної суми теплот утворення вихідних речовин при стандартних умовах.

*Стандартна теплота утворення речовини* – це теплота реакції утворення речовини із простих речовин, стійких за даних умов.

*Наслідок 2.* Тепловий ефект хімічної реакції при стандартних умовах дорівнює різниці між алгебраїчною сумою теплот згоряння вихідних речовин та алгебраїчною сумою теплот згоряння продуктів реакції.

#### *Теплоти розчинення і розведення.*

*Інтегральною теплотою розчинення*  $\Delta H_{\text{т(розч)}}$  називають кількість теплоти, що виділяється чи поглинається при розчиненні 1 моля речовини у визначеному великому об'ємі розчинника з утворенням розчину концентрації  $C_m$ . Теплоти розчинення порівняно невеликі. Для твердих речовин з атомними чи молекулярними решітками вони близькі до теплоти плавлення.

Інтегральна теплота розчинення електролітів є алгебраїчною сумою двох величин:

1) теплоти, яка поглинається при руйнуванні кристалічних решіток і віддалення йонів на відстані, відповідно до об'єму розчину ( $\Delta H_{\text{реш.}}$ );

2) теплоти, яка виділяється при гідратації чи сольватації кожного йона молекулами розчинника ( $\Delta H_{\text{гідр.}}$ ).

Обидві величини мають порядок сотень кДж/моль, але їх різниця невелика, не більш десятків кДж.

При великих концентраціях  $\Delta H_{\text{розч.}}$  є функцією концентрації розчину. Для сильно розведених розчинів вона наближається до граничної величини  $\Delta H_{\infty(\text{розч.})}$  у нескінченно розведеному розчині.

*Інтегральна теплота розведення*  $\Delta H_{\text{розв.}}$  являє собою теплоту розведення розчину, що містить 1 моль речовини при концентрації  $C_m$ , до нескінченного розведення. Співвідношення між  $\Delta H_{\text{розч.}}$  і  $\Delta H_{\text{розв.}}$  виражається рівнянням:

$$\Delta H_{\infty(\text{розч.})} = \Delta H_{\text{трозч.}} + \Delta H_{\text{розв.}} \quad (3.1)$$

*Теплота гідратоутворення*  $\Delta H_{\text{гідр.}}$  — теплота, яку система виділяє, приєднуючи до 1 моля твердої безводної солі відповідну кількість кристалізаційної води. Безпосередньо визначити  $\Delta H_{\text{гідр.}}$  важко. Її визначають згідно із законом Гесса як різницю інтегральних теплот розчинення безводної солі і кристалогідрату в таких кількостях води, щоб отриманий розчин в обох випадках мав однакову концентрацію і був би досить розведеним.

Визначивши експериментально теплоту розчинення безводної солі  $\Delta H_1$  і теплоту розчинення кристалогідрату  $\Delta H_2$ , розраховують теплоту гідратоутворення  $\Delta H_{\text{гідр.}}$ :

$$\Delta H_{\text{гідрат}} = \Delta H_1 - \Delta H_2 \quad (3.2)$$

### **Експериментальна частина**

1. Теплову сталу калориметра розрахувати, як зазначено в роботі 1.

2. Зібрати прилад (див. рис. 1.1).

3. Мідний купорос  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  подрібнити у фарфоровій ступці. Близько 7,5 г його зважити з точністю до 0,1г і помістити в зважену пробірку. Пробірку із сіллю зважити з точністю до 0,001 г. По різниці з порожньою пробіркою обчислити наважку.



4. В склянку відважити 297 г води з точністю до 0,01г.
5. Вимірювання і запис результатів аналогічні роботі 1. Реакція йде з поглинанням тепла.
6. Близько 10 г мідного купоросу роздрібнити в фарфоровій чашці і нагріти, помішуючи, поки не утвориться біла безводна сіль.
7. Отриману сіль негайно пересипати в пробірку і закрити гумовою пробкою. Після охолодження солі взяти наважку 4,5 г безводної солі і провести вимірювання аналогічно першому. Наважки безводної солі і кристалогідрату добирають так, щоб концентрації розчинів, що утворюються, були однаковими.

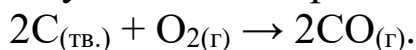
### ***Розрахунки***

1. За експериментальними даними для обох калориметричних дослідів будують графіки зміни температури з часом і графічно визначають  $\Delta T$ .
2. Інтегральну теплоту розчинення безводної солі і кристалогідрату розраховують за формулою 1.5.
3. Теплоту гідратуутворення розраховують за формулою 3.2.

### ***Контрольні питання і задачі***

1. Дайте визначення поняття "функція стану системи".
2. Що називається тепловим ефектом хімічної реакції?
3. Згідно з першим законом термодинаміки теплота є функція процесу. Закон Гесса стверджує, що тепловий ефект хімічної реакції не залежить від шляху процесу. Дайте пояснення цій суперечності.
4. Доведіть, що закон Гесса – окремий випадок першого закону термодинаміки.
5. Як обчислити тепловий ефект реакції, який неможливо визначити експериментально?
6. Тепловий ефект такої реакції:  

$$\text{CO}_{2(\text{г})} + \text{CaO}_{(\text{тв})} \rightarrow \text{CaCO}_{3(\text{тв})}$$
становить – 177,39 кДж/моль. Визначити за цих умов теплоту утворення карбонату кальцію.
7. Розрахувати кількість теплоти, що виділиться при згорянні 72 г вуглецю, що супроводжується такою реакцією:



## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Фізична і колоїдна хімія / За ред. В.І. Кабачного, – Харків : Прапор, 1999. – 368с.
2. Кононський О. І. Фізична і колоїдна хімія / О. І. Кононський. – К. : Центр учбової літератури, 2009. – 312 с.
3. Цветкова Л. Б. Колоїдна хімія: теорія і задачі / Л. Б. Цветкова. – Львів : «Магнолія-2006», 2009. – 292 с.
4. Костржицький А.І., Калінков О.Ю. Тіщенко В.М., Берегова О.М. Фізична та колоїдна хімія. Навчальний посібник. – К. : Центр учбової літератури, 2008. – 496 с.
5. Костржицький А.І., Калінков О.Ю. Тіщенко В.М., Берегова О.М. Фізична та колоїдна хімія. Навчальний посібник – К. : Центр учбової літератури, 2008. – 496 с.
6. Фізична хімія: Навч. посіб. / Дмитрів А. М., Стецьків А. О., Сав'як О. Л. – Івано-Франківськ : Видавництво Івано-Франківського національного медичного університету, 2012. – 162 с.
7. Буденкова Н. М. Фізична хімія та хімія силікатів : навч. посібник / Н. М. Буденкова, М. В. Яцков : НУВГП, 2015. – 188 с.



## ДОДАТКИ

### Додаток 1

#### Термодинамічні параметри для деяких речовин

Формула речовини	Стан речовини	$\Delta H_{298}^0$ , кДж/моль	$S_{298}^0$ , Дж/(моль·К)
CO <sub>2</sub>	Газоподібний	-393,51	213,6
CO	Газоподібний	-110,5	197,4
H <sub>2</sub>	Газоподібний	0	130,6
O <sub>2</sub>	Газоподібний	0	205,03
N <sub>2</sub>	Газоподібний	0	191,5
NH <sub>3</sub>	Газоподібний	46,19	192,50
H <sub>2</sub> O	Газоподібний	-241,84	188,74
	Рідкий	-285,84	69,96
CaO	Твердий	-635,1	39,7
Fe	Твердий	0	27,15
4Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Твердий	-821,32	89,96
MgO	Твердий	-601,24	26,94
CH <sub>4</sub>	Газоподібний	-74,847	186,19





Навчальне видання

**ФІЗИЧНА І КОЛОЇДНА ХІМІЯ**  
**РОЗДІЛ «ОСНОВИ ТЕРМОДИНАМІКИ»**  
Методичні рекомендації

Укладач: Качук Дар'я Сергіївна

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк. 2,0.  
Тираж 20 прим. Зам. № \_\_\_\_

Надруковано у видавничому відділі  
Миколаївського національного аграрного університету  
54020, м. Миколаїв, вул. Г. Гонгадзе, 9.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4490 від 20.02.2013 р.





