

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

С. І. РУДНЄВА, М. Д. САХНЕНКО, О. П. НЕКРАСОВ,
А. В. ДЖЕНЮК, І. Ю. ЄРМОЛЕНКО

ФІЗИЧНА ХІМІЯ ON LINE

*Навчальний посібник
для студентів інженерно-хімічних спеціальностей*

Частина III

Кінетика. Електрохімія. Будова речовини

Рекомендовано Вченою радою НТУ «ХПІ»

Харків
НТУ «ХПІ»
2024

УДК 544 (075)

Ф 83

Серія «Фізична хімія ONLINE»

Рецензенти:

М. О. Мchedлов-Петросян, д-р хім. наук, проф., Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Г. С. Хрипунов, д-р фіз-мат. наук, проф., Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

В.Л. Чергинець, д-р. хім. наук, проф., Інститут сцинтиляційних матеріалів НАН України

Рекомендовано Вченою радою НТУ «ХПІ» як навчальний посібник для студентів інженерно-хімічних напрямків освіти

Ф83: Фізична хімія ONLINE. Ч. III. Кінетика. Електрохімія. Будова речовини. Навчальний посібник для студентів інженерно-хімічних спеціальностей / С.І. Руднева, М.Д. Сахненко, А.В. Дженюк, І.Ю. Ермоленко – Харків: НТУ «ХПІ», ФОП Панов А.М., 2024. – 310 с. (Серія «Фізична хімія ONLINE»).

ISBN

ISBN 978-617-8113-34-6 (Серія «Фізична хімія ONLINE»)

Наведена методика виконання лабораторних робіт з кожної теми та теоретичні відомості з відповідного розділу фізичної хімії. Розроблено багатоваріантні розрахункові завдання з використанням великої кількості експериментальних даних, що одержані професійними дослідниками, на базі яких студент повинен провести всі необхідні розрахунки, відповісти на всі питання та провести аналіз отриманих результатів.

Для студентів інженерно-хімічних напрямків освіти.

Іл. 34. Табл. 25. Бібліогр. назв..

ISBN

©Руднева С.І., Сахненко М.Д.,
Некрасов О.П., Дженюк А.В.,
Ермоленко І.Ю.

©НТУ «ХПІ»

Передмова

Традиційний спосіб викладання курсу фізичної хімії завжди поділяв лекційні та лабораторні заняття. Однак модернізація навчальних планів, що вимагає збільшення самостійної роботи студентів, використання методів дистанційного навчання, коли студенти не мають можливості виконувати лабораторні роботи власноруч, потребує нового підходу до викладання курсу. Авторами цього посібника розроблені багатоваріантні розрахункові завдання з використанням великої кількості експериментальних даних, що одержані професійними дослідниками, на базі яких студент повинен провести всі необхідні розрахунки, відповісти на всі питання та провести аналіз отриманих результатів, тобто відпрацювати лабораторний практикум дистанційно.

Лабораторні роботи, що наведені у навчально-методичному посібнику, належать до таких розділів фізичної хімії: електрохімія, хімічна кінетика, будова речовини та фізичні методи дослідження. Перелік лабораторних робіт та їх постановка базується на досвіді багатьох поколінь викладачів кафедри і є результатом опрацювання, що враховує тенденції останнього часу і сучасні можливості лабораторної бази.

Зміст лабораторних робіт відповідає вимогам типових програм, а викладення автори намагались побудувати таким чином, щоб адаптувати його до завдань, що стоять перед студентами хімічно-інженерних напрямків освіти.

Кожна лабораторна робота супроводжується стислими теоретичними відомостями; надаються методичні вказівки щодо практичного виконання роботи та обчислення експериментальних результатів, наводяться необхідні довідкові дані і конкретні посилання на відповідні загальні підручники і практичні посібники, а також основні контрольні запитання до теорії і методики роботи. Це, на погляд авторів, робить викладення кожної роботи завершеною самоузгодженою методичною розробкою; дає змогу студенту найкраще самостійно підготуватися до виконання роботи і її наступного захисту відповідно сучасним вимогам.

Наведені в достатній кількості контрольні питання дозволяють кожному студенту оцінювати свій рівень оволодіння дисципліною.

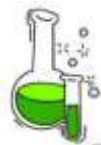
І.Ю. Єрмоленко опрацьовані експериментальні дані і складені варіанти завдань для робіт №№ 11/12, 19.

А.В. Дженюком опрацьовані експериментальні дані і складені варіанти завдань для роботи №: 23/26, розроблені і виготовлені рисунки для ілюстрації методичних матеріалів.

С. І. Рудневою опрацьовані експериментальні дані і складені варіанти завдань для аналітичної частини робіт №: 1/2,3/4, 5, 6, 22, відпрацьовані нові варіанти проведення робіт №№ 7, 9, 24.

Загальну редакцію здійснив М. Д. Сахненко.

Автори вдячні А.Ф. Коротковій за комп'ютерний набір і цінні зауваження щодо мови; А.В. Дженюку за виконання комп'ютерної графіки та виготовлення оригінал-макету.

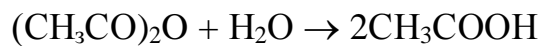


ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 10
**ВИВЧЕННЯ КІНЕТИКИ ГІДРАТАЦІЇ ОЦТОВОГО
АНГІДРИДУ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОПРОВІДНОСТІ**

Мета роботи: визначення константи швидкості, енергії активації та передекспоненційного множника реакції гідратації оцтового ангідриду.

Теоретичні відомості

Реакція гідратації оцтового ангідриду



являє собою приклад псевдомолекулярної реакції, тобто будучи дволекулярною, у розведеному водному розчині вона протікає як реакція першого порядку і практично до кінця. Швидкість такої реакції може бути описана рівнянням:

$$\frac{dc}{d\tau} = kc, \quad (10.1)$$

де c – концентрація вихідного реагенту;

k – константа швидкості.

Інтегруючи рівняння (10.1), маємо:

$$k = \frac{1}{\tau} \ln \frac{c_0}{c}, \quad (10.2)$$

де τ – час протікання реакції від її початку;

c_0 – початкова концентрація;

c – концентрація реагенту на момент часу τ .

Таким чином, для знаходження значення константи швидкості реакції треба експериментально визначити величини концентрації реагенту в різні моменти протікання реакції.

Швидкість реакції суттєво залежить від температури, тому всі вимірювання треба проводити при постійній температурі. Значні зміни швидкості реакції зі зміною температури пояснює теорія активних зіткнень. Згідно з цією теорією в хімічну взаємодію вступають тільки активні молекули, енергія яких достатня для здійснення елементарного хімічного акту.

Мінімально надлишкова (порівняно до середньої) енергія, яка достатня, щоб здійснився хімічний акт, має назву енергії активації. Зв'язок енергії активації з константою швидкості дає рівняння Арреніуса:

$$k = Be^{-E/RT}, \quad (10.3)$$

де E – енергія активації, Дж/моль;

R – універсальна газова стала, Дж/моль К;

T – температура, К;

B – передекспонентний множник;

k – константа швидкості при температурі T .

Маючи значення двох констант швидкості при двох температурах, можна визначити величину енергії активації:

$$E = \frac{RT_1T_2}{T_2 - T_1} \ln \frac{k_{T_2}}{k_{T_1}}, \quad (10.4)$$

де k_{T_1} та k_{T_2} – константи швидкості при температурах T_1 та T_2 , відповідно.

Знаючи величину енергії активації та значення константи швидкості при будь-якій температурі, можна визначити передекспонентний множник:

$$B = ke^{E/RT}. \quad (10.5)$$

Кінетику реакції гідратації оцтового ангідриду зручно вивчати фізичними методами, які дозволяють визначити концентрацію реагентів, не зупиняючи реакцію та не відбираючи пробу. Найбільш зручним для даної реакції є метод вимірювання електропровідності.

Оскільки вихідні реагенти не проводять електричний струм, а продукт реакції є електроліт, здатність реакційної суміші проводити електричний струм буде збільшуватися під час реакції.

Якщо позначити питому електропровідність реакційної суміші в момент початку реакції \varkappa_0 , електропровідність в момент вимірювання \varkappa_τ , електропровідність суміші, коли реакція закінчилась, \varkappa_∞ , можна записати:

$$c_0 = \text{const}(\varkappa_\infty - \varkappa_0)$$

$$c = \text{const}(\varkappa_\infty - \varkappa_\tau),$$

оскільки кількість оцтового ангідриду, що прореагував, пропорційна кількості утвореної оцтової кислоти. Якщо в рівняння (10.2) замість концентрації підставити пропорційні їм електропровідності, то

$$k = \frac{1}{\tau} \ln \frac{\alpha_{\infty} - \alpha_0}{\alpha_{\infty} - \alpha_{\tau}}. \quad (10.6)$$

Питому електропровідність розчину можна виразити через його опір та параметри вимірювальної ячейки:

$$R = \rho \frac{l}{S} = \rho L = \frac{L}{\alpha}; \alpha = \frac{L}{R}, \quad (10.7)$$

де R – електричний опір;

S – площа електродів вимірювальної комірки;

l – відстань між електродами;

$L=l/S$ – стала ячейки.

Якщо підставити до формули (10.6) замість α її значення з (10.7), маємо:

$$k = \frac{1}{\tau} \ln \frac{\left(\frac{1}{R_{\infty}} - \frac{1}{R_0} \right)}{\left(\frac{1}{R_{\infty}} - \frac{1}{R_{\tau}} \right)} \quad (10.8)$$

або

$$k\tau = \ln \left(\frac{1}{R_{\infty}} - \frac{1}{R_0} \right) - \ln \left(\frac{1}{R_{\infty}} - \frac{1}{R_{\tau}} \right), \quad (10.9)$$

де R_0 – електричний опір на початку реакції;

R_{∞} – електричний опір в кінці реакції;

R_{τ} – електричний опір на момент реакції τ .

Електричний опір розчину на початку реакції R_0 експериментально визначити не можна, бо від початку реакції до першого вимірювання проходить деякий час. Тому R_0 визначають екстраполяцією, для чого будують графік $\ln \left(\frac{1}{R_{\infty}} - \frac{1}{R_{\tau}} \right) = f(\tau)$ (рис. 1).

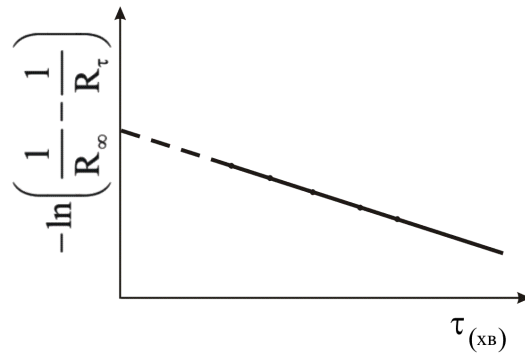


Рис.1. Залежність $\ln\left(\frac{1}{R_\infty} - \frac{1}{R_\tau}\right)$ від τ

Екстраполюючи одержану пряму до $\tau=0$, знаходять $\ln\left(\frac{1}{R_\infty} - \frac{1}{R_0}\right)$. Рівняння (10.9) є рівнянням прямої в координатах $\ln\left(\frac{1}{R_\infty} - \frac{1}{R_\tau}\right) = f(\tau)$, тангенс кута нахилу якої дорівнює константі швидкості реакції (рис. 1).

Порядок виконання роботи

У мірну колбу на 50 мл вміщують 5 мл оцтового ангідриду та доводять об'єм до мітки дистильованою водою з температурою термостата, в якому буде виконуватися робота. В момент зливання води з ангідридом вмикають секундомір і не вмикають його, аж поки реакція не скінчиться. Всі виміри роблять, фіксуючи час за секундоміром. Перш за все фіксують час повного розчинення ангідриду, тобто зникнення каламуті. Після розчинення ангідриду обполіскують отриманим розчином вимірювальну комірку та заповнюють її реакційною сумішшю так, щоб вона була вище електродів на 1,5 – 2 см. Комірку вміщують в термостат, приєднують до вимірювального моста змінного струму, за допомогою якого виміряють електричний опір розчину. Порядок вимірювання надається на робочому місці. Виміри повторюють як можна частіше, поступово збільшуючи інтервали між

вимірами, аж поки два послідовні виміри, зроблені через 15 – 20 хвилин, не будуть відрізнятися між собою. Результати вимірів записують у таблицю 1.

Таблиця 1. Температура досліду $t =$, концентрація розчину $c_0 =$

Номер вимірювання	Астрономічний час	Час від початку реакції τ , хв	R_τ , Ом	$\frac{1}{R_\tau}$, Ом ⁻¹		$\lg\left(\frac{1}{R_\infty} - \frac{1}{R_\tau}\right)$	k , хв ⁻¹
1	2	3	4	5	6	7	8

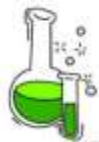
Підрахувавши константу швидкості реакції для кожного моменту, визначають її середнє значення і порівнюють його із значенням константи, знайденим графічним методом (тангенс кута нахилу прямої відносно осі). За константами швидкості при двох температурах (при 0° С $k_0 = 0,0273$ хв⁻¹) знаходять енергію активації і передекспоненційний множник, використовуючи рівняння (10.5)

Контрольні питання

1. У чому полягає експериментальне визначення константи швидкості реакції?
2. Напишіть рівняння хімічної реакції, константу швидкості якої ви маєте визначити.
3. Які методи дослідження кінетики цієї реакції ви можете запропонувати?
4. Які кінетичні особливості має реакція, яку досліджують в роботі?
5. Напишіть кінетичне рівняння реакції, яка досліджується, та вкажіть всі фактори, які впливають на її швидкість.
6. Поясніть, чому реакцію треба здійснювати в термостаті.
7. Який метод використовують для вимірювання електричного опору реакційної суміші?
8. Як можна розрахувати енергію активації реакції та передекспоненційний множник рівняння Арреніуса?

9. Як можна визначити електричний опір реакційної суміші в момент початку реакції?

10. Чи можливі умови, за якими реакція гідратації оцтового ангідриду буде протікати як реакція другого порядку?



БАГАТОВАРІАНТНІ ЗАВДАННЯ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ 10

ВАРІАНТ 1

1. На підставі отриманих даних електричного опору розчину розрахувати константу швидкості реакції для кожного моменту, визначити її середнє значення і порівняти його із значенням константи, знайденим графічним методом.

2. По константам швидкості при двох температурах визначити енергію активації (E_A) і передекспоненційний множник B , якщо при $T_1 = 273 \text{ K}$ $k_1 = 2,73 \cdot 10^{-2} \text{ хв}^{-1}$.

№	Дані для розрахунків										$T_2, \text{ K}$
1	$\tau, \text{ хв}$	0,5	1,5	2,5	3,5	6	8	10	15	∞	283
	$R, \text{ Ом}$	471	416	374	341	284	255	233	199	135	

Контрольні питання 10/

1. Що таке температурний коефіцієнт швидкості реакції? Чи може він бути менше 1?

2. Записати рівняння для розрахунку константи швидкості гідратації оцтового ангідриду і пояснити зміст величин, що до нього входять.

3. Константа швидкості деякої реакції першого порядку при $T = 298 \text{ K}$ $k = 2,06 \cdot 10^{-3} \text{ хв}^{-1}$. Визначити, скільки відсотків вихідної речовини розкладеться за 25 хв і скільки часу буде потрібно для розкладання 90%.

ВАРІАНТ 2

1. На підставі отриманих даних електричного опору розчину розрахувати константу швидкості реакції для кожного моменту, визначити її середнє значення і порівняти його із значенням константи, знайденим графічним методом.

2. По константам швидкості при двох температурах визначити енергію активації (E_A) і передекспоненційний множник B , якщо при $T_1 = 273 \text{ K}$ $k_1 = 2,73 \cdot 10^{-2} \text{ хв}^{-1}$.

№	Дані для розрахунків										$T_2, \text{ K}$
2	$\tau, \text{ хв}$	1	2	3	5	7	9	12	20	∞	283
	$R, \text{ Ом}$	441	393	357	305	269	244	218	178	135	

Контрольні питання до роботи 10/02

1. Що таке температурний коефіцієнт швидкості реакції? Чи може він бути менше 1?
2. Записати рівняння для розрахунку константи швидкості гідратації оцтового ангідриду і пояснити смисл величин, що до нього входять.
3. Константа швидкості деякої реакції першого порядку при $T = 298 \text{ K}$ $k = 2,06 \cdot 10^{-3} \text{ хв}^{-1}$. Визначити, скільки відсотків вихідної речовини розкладеться за 25 хв і скільки часу буде потрібно для розкладання 95%.

ВАРІАНТ 3

1. На підставі отриманих даних електричного опору розчину розрахувати константу швидкості реакції для кожного моменту, визначити її середнє значення і порівняти його із значенням константи, знайденим графічно.
2. По константам швидкості при двох температурах визначити енергію активації (E_A) і передекспоненційний множник B , якщо при $T_1 = 273 \text{ K}$, $k_1 = 2,73 \cdot 10^{-2} \text{ хв}^{-1}$.

№	Дані для розрахунків										$T_2, \text{ K}$
	$\tau, \text{ хв}$	0,5	1,5	2,5	3,5	6	8	10	15	∞	
3	$R, \text{ Ом}$	450	384	338	304	250	223	204	176	136	288

Контрольні питання до роботи 10/03

1. Як впливає температура на кінетику хімічних реакцій? Сформулювати емпіричне правило Вант-Гоффа.
2. Яка молекулярність і порядок реакції гідратації оцтового ангідриду? Чому для цієї простої реакції не збігаються їх чисельні значення?
3. Реакція розкладання $2\text{AsH}_3 = 2\text{As} + 3\text{H}_2$ є реакцією першого порядку. При $t = 310^\circ \text{ C}$ загальний тиск змінюється з часом:

$t, \text{ годин}$	0	5,5	6,5	8,0
$P, \text{ мм. рт. ст.}$	733,32	805,78	818,11	835,34

Визначити константу швидкості.

ВАРІАНТ 4

1. На підставі отриманих даних електричного опору розчину розрахувати константу швидкості реакції для кожного моменту, визначити її середнє значення і порівняти його із значенням константи, знайденим графічно.

2. По константам швидкості при двох температурах визначити енергію активації (E_A) і передекспоненційний множник B , якщо при $T_1 = 273\text{K}$, $k_1 = 2,73 \cdot 10^{-2} \text{хв}^{-1}$.

№	Дані для розрахунків										T_2, K
4	$\tau, \text{хв}$	1	2	3	5	7	9	12	20	∞	288
	$R, \text{Ом}$	413	359	320	268	235	213	191	161	136	

Контрольні питання до роботи 10/04

1. Що таке каталіз? Які існують види каталізу?
2. Написати стехіометричне і кінетичне рівняння реакції, яка досліджується в даній лабораторній роботі. Дати кінетичну характеристику цієї реакції.
3. Процес розпаду ізотопу полонію є реакцією першого порядку. Активність ізотопу полонію зменшується на 6,85% за 14 днів. Визначити константу розпаду, період напіврозпаду і час, протягом якого прореагує 90% початкової кількості.

ВАРІАНТ 5

1. На підставі отриманих даних електричного опору розчину розрахувати константу швидкості реакції для кожного моменту, визначити її середнє значення і порівняти його із значенням константи, знайденим графічно.

2. По константам швидкості при двох температурах визначити енергію активації (E_A) і передекспоненційний множник B , якщо при $T_1 = 273\text{K}$, $k_1 = 2,73 \cdot 10^{-2} \text{хв}^{-1}$.

№	Дані для розрахунків										T_2, K
5	$\tau, \text{хв}$	0,5	1,5	2,5	3,5	6	8	10	15	∞	293
	$R, \text{Ом}$	467	376	321	283	227	203	186	163	139	

Контрольні питання до роботи 10/05

1. Що таке молекулярність хімічної реакції? Порівняти це поняття з поняттям порядок реакції. У яких випадках можливий чисельний збіг цих величин?
2. Записати формулу для розрахунку передекспоненційного множника. Що враховує цей множник в рівнянні Арреніуса?
3. Під час реакції $\text{CH}_3\text{COOCH}_3 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4 + \text{H}_2 + \text{CO}$ загальний тиск змінюється з часом:

τ , хв	0	6,5	13,0	19,9
P , мм. рт. ст.	312	408	488	562

Показати, що ця реакція є реакцією першого порядку і знайти середнє значення константи швидкості.

ВАРІАНТ 6

1. На підставі отриманих даних електричного опору розчину розрахувати константу швидкості реакції для кожного моменту, визначити її середнє значення і порівняти його із значенням константи, знайденим графічним методом.
2. По константам швидкості при двох температурах визначити енергію активації (E_A) і передекспоненційний множник B , якщо при $T_1 = 273\text{K}$, $k_1 = 2,73 \cdot 10^{-2} \text{ хв}^{-1}$.

№	Дані для розрахунків										T_2 , К
	τ , хв	1	2	3	5	7	9	12	20	∞	
6	R , Ом	416	346	300	245	214	194	175	152	139	293

Контрольні питання до роботи 10/06

1. Що означає термін «псевдопорядок реакції»? Чи є порядок реакції величиною постійною, що не залежить від умов проведення реакцій?
2. Який вигляд має вираз для періоду напівперетворення вихідних речовин для реакції III порядку, якщо вихідні концентрації реагуючих речовин однакові?
3. Визначити, у скільки разів зросте швидкість реакції при підвищенні температури від 25° до 100°C , якщо енергія активації $E_A = 3 \cdot 10^4 \text{ кДж/моль}$?

ВАРІАНТ 7

1. На підставі отриманих даних електричного опору розчину розрахувати константу швидкості реакції для кожного моменту, визначити її середнє значення і порівняти його із значенням константи, знайденим графічно.

2. По константам швидкості при двох температурах визначити енергію активації (E_A) і передекспоненційний множник B , якщо при $T_1 = 273\text{K}$, $k_1 = 2,73 \cdot 10^{-2} \text{ хв}^{-1}$.

№	Дані для розрахунків										T_2, K
7	$\tau, \text{хв}$	0,5	1,5	2,5	3,5	6	8	10	15	∞	298
	$R, \text{Ом}$	842	511	382	310	231	201	184	162	146	

Контрольні питання до роботи 10/07

1. Дати визначення поняттю «порядок реакції». Які чисельні значення може приймати ця характеристика?

2. Який вигляд має графік залежності швидкості реакції від температури?

3. Константа швидкості розкладання NO за рівнянням $2\text{NO} \rightarrow \text{N}_2 + \text{O}_2$ $k_1 = 0,135$ при $t_1 = 694^\circ \text{C}$; $k_2 = 3,7$ при $t_2 = 812^\circ \text{C}$.

Визначити енергію активації і константу реакції при $t_3 = 550^\circ \text{C}$.

ВАРІАНТ 8

1. На підставі отриманих даних електричного опору розчину розрахувати константу швидкості реакції для кожного моменту, визначити її середнє значення і порівняти його із значенням константи, знайденим графічно.

2. По константам швидкості при двох температурах визначити енергію активації (E_A) і передекспоненційний множник B , якщо при $T_1 = 273\text{K}$. $k_1 = 2,73 \cdot 10^{-2} \text{ хв}^{-1}$.

№	Дані для розрахунків										T_2, K
8	$\tau, \text{хв}$	1	2	3	5	7	9	12	15	∞	298
	$R, \text{Ом}$	625	432	341	255	214	191	173	162	146	

Контрольні питання до роботи 10/08

1. Записати кінетичні рівняння для реакцій I, II, III порядків. Пояснити зміст величин, що входять в ці вирази.
2. Які експериментальні дані необхідні для визначення порядку реакції?
3. Температурний коефіцієнт швидкості реакції розкладання йодистого водню в області зазначених нижче температур дорівнює 2. Визначити константу швидкості цієї реакції при $t_2 = 374^\circ \text{C}$, якщо при $t_1 = 356^\circ \text{C}$ $k_1 = 809 \cdot 10^{-7} \text{ c}^{-1}$. Отриманий результат порівняти з експериментально знайденою величиною, $k_2 = 230 \cdot 10^{-6} \text{ c}^{-1}$.

ВАРІАНТ 9

1. На підставі отриманих даних електричного опору розчину розрахувати константу швидкості реакції для кожного моменту, визначити її середнє значення і порівняти його із значенням константи, знайденим графічно.
2. По константам швидкості при двох температурах визначити енергію активації (E_A) і передекспоненційний множник B , якщо при $T_1 = 273\text{K}$, $k_1 = 2,73 \cdot 10^{-2} \text{ хв}^{-1}$.

№	Дані для розрахунків										T_2, K
	$\tau, \text{хв}$	0,5	1,5	2,5	3,5	6	8	10	15		
9	$R, \text{Ом}$	506	351	281	242	193	175	165	153		303

Контрольні питання до роботи 10/09

1. Від яких факторів залежить константа швидкості хімічної реакції? Зіставити за цією ознакою швидкість і константу швидкості.
2. Який порядок реакції гідратації оцтового ангідриду, що протікає в разі надлишку води? Як за результатами експерименту перевірити правильність припущення, що у розведеному водному розчині вона протікає як реакція першого порядку?
3. Процес радіоактивного розпаду (еманації) радію є реакцією першого порядку. Константа розпаду $k = 2,16 \cdot 10^{-6} \text{ c}^{-1}$. Визначити, через скільки часу активність еманації становитиме 20% від початкової.

ВАРІАНТ 10

1. На підставі отриманих даних електричного опору розчину розрахувати константу швидкості реакції для кожного моменту, визначити її середнє значення і порівняти його із значенням константи, знайденим графічним методом.
2. По константам швидкості при двох температурах визначити енергію активації (E_A) і передекспоненційний множник B , якщо при $T_1 = 273\text{K}$, $k_1 = 2,73 \cdot 10^{-2} \text{ хв}^{-1}$.

№	Дані для розрахунків										T_2, K
10	$\tau, \text{хв}$	1	2	3	5	7	9	12	15	∞	303
	$R, \text{Ом}$	411	310	259	207	183	169	159	153	147	

Контрольні питання до роботи 10/10

1. Від яких факторів і як залежить швидкість хімічної реакції?
2. Які кінетичні особливості має реакція гідратації оцтового ангідриду?
3. У реакції, що протікає по мономолекулярному закону, період напіврозпаду дорівнює $\tau_{1/2} = 1 \text{ с}$. Визначити константу швидкості реакції і кількість речовини, що не прореагувала до кінця другої секунди.

ВАРІАНТ 11

1. На підставі отриманих даних електричного опору розчину розрахувати константу швидкості реакції для кожного моменту, визначити її середнє значення і порівняти його із значенням константи, знайденим графічним методом.
2. По константам швидкості при двох температурах визначити енергію активації (E_A) і передекспоненційний множник B , якщо при $T_1 = 273\text{K}$, $k_1 = 2,73 \cdot 10^{-2} \text{ хв}^{-1}$.

№	Дані для розрахунків										T_2, K
11	$\tau, \text{хв}$	0,5	1,5	2	3	6	8	12	20	∞	283
	$R, \text{Ом}$	471	416	393	357	284	255	218	178	135	

Контрольні питання до роботи 10/11

1. Як зміниться швидкість реакції синтезу аміаку $1/2\text{N}_2 + 3/2\text{H}_2 = \text{NH}_3$, якщо рівняння реакції записати у вигляді $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 = 2\text{NH}_3$?
2. Як в експерименті визначають початковий і кінцевий опір реакційної суміші (R_0 і R_∞)?
3. Визначити енергію активації лужного омилення етилового ефіру оцтової кислоти, якщо процес характеризується наступними константами швидкостей при різних температурах:

T, K	273	293
$k, \text{хв}^{-1} \cdot \text{дм}^3 \cdot \text{моль}^{-1}$	1,17	5,08

ВАРІАНТ 12

1. На підставі отриманих даних електричного опору розчину розрахувати константу швидкості реакції для кожного моменту, визначити її середнє значення і порівняти його із значенням константи, знайденим графічним методом.
2. По константам швидкості при двох температурах визначити енергію активації (E_A) і передекспоненційний множник B , якщо при $T_1 = 273\text{K}$, $k_1 = 2,73 \cdot 10^{-2} \text{ хв}^{-1}$.

№	Дані для розрахунків										T_2, K
	$\tau, \text{хв}$	0,5	1,5	3	5	6	8	12	20	∞	
12	$R, \text{Ом}$	450	384	320	268	250	223	191	161	136	288

Контрольні питання до роботи 10/12

1. В якому випадку константа швидкості іонної реакції в розчині $k_{\text{розч}}$ більше константи швидкості відповідної реакції в газовій фазі $k_{\text{газ}}$?
2. Пояснити, чому швидкість гідратації оцтового ангідриду не залежить від концентрації води. Чи знаходить це відображення в кінетичному рівнянні реакції і чи можна перевірити правильність цього припущення при проведенні розрахунків?
3. Розкладання N_2O_5 є реакцією першого порядку, константа швидкості якої $k = 2 \cdot 10^{-3} \text{ хв}^{-1}$. Визначити, скільки відсотків N_2O_5 розкладеться за 2 години.

ВАРІАНТ 13

1. На підставі отриманих даних електричного опору розчину розрахувати константу швидкості реакції для кожного моменту, визначити її середнє значення і порівняти його із значенням константи, знайденим графічним методом.

2. По константам швидкості при двох температурах визначити енергію активації (E_A) і передекспоненційний множник B , якщо при $T_1 = 273\text{K}$, $k_1 = 2,73 \cdot 10^{-2} \text{ хв}^{-1}$.

№	Дані для розрахунків										T_2, K
13	$\tau, \text{хв}$	0,5	1,5	3	5	6	8	12	20	∞	293
	$R, \text{Ом}$	467	376	300	245	227	203	175	152	139	

Контрольні питання до роботи 10/13

1. Що таке ентропія активації, і як її можна розрахувати?
2. Від яких факторів залежать швидкість і константа швидкості гідратації оцтового ангідриду?
3. В деякій мономолекулярній реакції половина взятої речовини розпадається за 10^3 с . Визначити, скільки часу потрібно для розкладання 0,9 початкової кількості і скільки часу (с) буде потрібно для завершення реакції на 90%.

ВАРІАНТ 14

1. На підставі отриманих даних електричного опору розчину розрахувати константу швидкості реакції для кожного моменту, визначити її середнє значення і порівняти його із значенням константи, знайденим графічним методом.

2. По константам швидкості при двох температурах визначити енергію активації (E_A) і передекспоненційний множник B , якщо при $T_1 = 273\text{K}$, $k_1 = 2,73 \cdot 10^{-2} \text{ хв}^{-1}$.

№	Дані для розрахунків										T_2, K
14	$\tau, \text{хв}$	0,5	1,5	3	5	6	8	12	15	∞	298
	$R, \text{Ом}$	842	511	341	255	231	201	173	162	146	

Контрольні питання до роботи 10/14

1. Для яких реакцій можна передбачити залежність швидкості реакції від концентрацій реагуючих речовин?
2. За рахунок чого відбувається активація молекул в мономолекулярних реакціях?
3. Визначити порядок реакції перетворення ціанату амонію в сечовину, якщо при $T = 35^\circ\text{C}$ були знайдені наступні періоди напіврозпаду при різних вихідних концентраціях.

c , моль/дм ³	0,2	0,1	0,05
$\tau_{1/2}$, годин	9,45	19,15	37,03

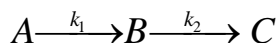
ВАРІАНТ 15

1. На підставі отриманих даних електричного опору розчину розрахувати константу швидкості реакції для кожного моменту, визначити її середнє значення і порівняти його із значенням константи, знайденим графічним методом.
2. По константам швидкості при двох температурах визначити енергію активації (E_A) і передекспоненційний множник B , якщо при $T_1 = 273\text{K}$, $k_1 = 2,73 \cdot 10^{-2} \text{ хв}^{-1}$.

№	Дані для розрахунків										T_2 , К
	τ , хв	0,5	1,5	3	5	6	8	12	15	∞	
15	R , Ом	506	351	259	207	193	175	159	153	147	303

Контрольні питання до роботи 10/15

1. Від чого залежить час досягнення максимальної концентрації проміжної речовини B у послідовній реакції першого порядку



2. Який вигляд має графік залежності логарифма константи швидкості реакції від T^{-1} ?
3. Константа швидкості бімолекулярної реакції $k = 0,1095 \text{ дм}^3/\text{моль} \cdot \text{с}$. Визначити час, необхідний для того, щоб початкова концентрація речовини $c = 0,0835 \text{ моль/дм}^3$ зменшилася наполовину. Речовини взяті в стехіометричному співвідношенні.

ВАРІАНТ 16

1. На підставі отриманих даних електричного опору розчину розрахувати константу швидкості реакції для кожного моменту, визначити її середнє значення і порівняти його із значенням константи, знайденим графічним методом.

2. По константам швидкості при двох температурах визначити енергію активації (E_A) і передекспоненційний множник B , якщо при $T_1 = 273\text{K}$, $k_1 = 2,73 \cdot 10^{-2} \text{ хв}^{-1}$.

№	Дані для розрахунків										T_2, K
16	$\tau, \text{хв}$	0,5	1,5	2,5	3,5	6	8	10	15	∞	278
	$R, \text{Ом}$	457	417	386	359	309	282	260	221	133	

Контрольні питання до роботи 10/16

1. Які обмеження в застосуванні методу стаціонарних концентрацій?
2. Яка з односторонніх реакцій закінчується швидше при однакових вихідних концентраціях ($c_0 = 0,1$ моль/л) і однакових константах швидкості: реакція 1-го, 2-го чи 3-го порядку?
3. Визначити порядок реакції між двома речовинами, якщо за періоди часу, який пройшов від початку реакції, – 5, 15, 30 хвилин вміст вихідної речовини, яка прореагувала, відповідно становить 19,8; 46,7 і 77,0 %.

ВАРІАНТ 17

1. На підставі отриманих даних електричного опору розчину розрахувати константу швидкості реакції для кожного моменту, визначити її середнє значення і порівняти його із значенням константи, знайденим графічним методом.

2. По константам швидкості при двох температурах визначити енергію активації (E_A) і передекспоненційний множник B , якщо при $T_1 = 273\text{K}$, $k_1 = 2,73 \cdot 10^{-2} \text{ хв}^{-1}$.

№	Дані для розрахунків										T_2, K
17	$\tau, \text{хв}$	1	2	3	5	7	9	12	20	∞	278
	$R, \text{Ом}$	436	401	372	328	295	270	242	198	133	

Контрольні питання до роботи 10/17

1. При якому співвідношенні констант швидкостей окремих стадій послідовної реакції 1-го порядку $A \xrightarrow{k_1} B \xrightarrow{k_2} C$ період індукції буде найбільшим?
2. Як експериментально визначити концентраційний (істинний) порядок реакції по даному компоненту?
3. Розклад N_2O_5 протікає як реакція першого порядку, константа швидкості якого дорівнює $k = 0,002 \text{ хв}^{-1}$ при $T = 300 \text{ К}$. Визначити % проходження реакції за 2 години від початку реакції.

ВАРІАНТ 18

1. На підставі отриманих даних електричного опору розчину розрахувати константу швидкості реакції для кожного моменту, визначити її середнє значення і порівняти його із значенням константи, знайденим графічним методом.
2. По константам швидкості при двох температурах визначити енергію активації (E_A) і передекспоненційний множник B , якщо при $T_1 = 273\text{К}$, $k_1 = 2,73 \cdot 10^{-2} \text{ хв}^{-1}$.

№	Дані для розрахунків										$T_2, \text{ К}$
18	$\tau, \text{ хв}$	0,5	1,5	3	5	6	8	12	20	∞	278
	$R, \text{ Ом}$	457	417	372	328	309	282	242	198	133	

Контрольні питання до роботи 10/18

1. Якої специфічної умови необхідно дотримуватися при використанні хімічних методів аналізу для вивчення швидкості реакції в порівнянні з фізико-хімічними методами аналізу?
2. Реакція $A \xrightarrow{k_1} B \xrightarrow{k_2} C$ першого порядку. Як виглядає графік зміни концентрації речовин А, В і С з часом, якщо $k_1 > k_2$?
3. Константа швидкості деякої реакції першого порядку при $T = 298 \text{ К}$ $k = 1,4 \cdot 10^{-2} \text{ хв}^{-1}$. Визначити, скільки відсотків вихідної речовини розкладеться за 30 хв і скільки часу буде потрібно для розкладання 80%.

ВАРІАНТ 19

1. На підставі отриманих даних електричного опору розчину розрахувати константу швидкості реакції для кожного моменту, визначити її середнє значення і порівняти його із значенням константи, знайденим графічним методом.
2. По константам швидкості при двох температурах визначити енергію активації (E_A) і передекспоненційний множник B , якщо при $T_1 = 273 \text{ K}$ $k_1 = 2,73 \cdot 10^{-2} \text{ хв}^{-1}$.

№	Дані для розрахунків										$T_2, \text{ K}$
19	$\tau, \text{ хв}$	0,5	1,5	2,5	3,5	6	8	10	15	∞	286
	$R, \text{ Ом}$	452	391	347	314	259	231	212	181	134	

Контрольні питання до роботи 10/19

1. Чи можливі умови, за якими реакція гідратації оцтового ангідриду буде протікати як реакція другого порядку?
2. Як зміниться швидкість реакції синтезу аміаку $1/2 \text{ N}_2 + 3/2 \text{ H}_2 = \text{NH}_3$, якщо рівняння реакції записати у вигляді $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 = 2\text{NH}_3$?
3. Реакція першого порядку проходить на 20,5 % за 45 хвилин. Скільки молів вихідної речовини вступить до реакції через 2 години, якщо початкова концентрація $c_0 = 0,5 \text{ моль/л}$, об'єм розчину – 15 літрів?

$\tau, \text{ хв}$	100	200	400	600
$P_\tau - P_0, \text{ мм. рт. ст.}$	11,0	22,0	38,0	53,0

Початковий тиск в системі $P_0 = 200 \text{ мм. рт. ст.}$ Визначити порядок реакції та константу швидкості реакції.

ВАРІАНТ 20

1. На підставі отриманих даних електричного опору розчину розрахувати константу швидкості реакції для кожного моменту, визначити її середнє значення і порівняти його із значенням константи, знайденим графічним методом.
2. По константам швидкості при двох температурах визначити енергію активації (E_A) і передекспоненційний множник B , якщо при $T_1 = 273 \text{ K}$, $k_1 = 2,73 \cdot 10^{-2} \text{ хв}^{-1}$.

№	Дані для розрахунків										T_2, K
	$\tau, \text{хв}$	1	2	3	5	7	9	12	20	∞	
20	$R, \text{Ом}$	419	367	330	278	245	221	197	165	134	286

Контрольні питання до роботи 10/20

1. Чи існують і які хімічні реакції, експериментальна енергія активації яких від'ємна?
2. Які кінетичні особливості має досліджувана реакція?
3. Реакція розкладання аміаку на гарячому вольфрамовому дроті протікає при $T = 1129K$ за рівнянням: $2 \text{NH}_3 = \text{N}_2 + 3 \text{H}_2$. Контроль за швидкістю реакції здійснювали щодо підвищення загального тиску системи $\Delta P = P_\tau - P_0$. З часом тиск у системі при постійному об'ємі і температурі підвищувався в такий спосіб:

$\tau, \text{с}$	100	200	400	600	800
$\Delta P = P_\tau - P_0, \text{Па}$	1466	2933	5970	8960	11721

Початковий тиск в системі дорівнює 26660 Па. Визначити порядок реакції і розрахувати константу швидкості (замість концентрацій можна брати тиск).

ВАРІАНТ 21

1. На підставі отриманих даних електричного опору розчину розрахувати константу швидкості реакції для кожного моменту, визначити її середнє значення і порівняти його із значенням константи, знайденим графічним методом.
2. По константам швидкості при двох температурах визначити енергію активації (E_A) і передекспоненційний множник B , якщо при $T_1 = 273K$, $k_1 = 2,73 \cdot 10^{-2} \text{ хв}^{-1}$.

№	Дані для розрахунків										T_2, K
	$\tau, \text{хв}$	0,5	1,5	2,5	3,5	6	8	10	15	∞	
21	$R, \text{Ом}$	485	395	338	299	240	213	195	169	138	291

Контрольні питання до роботи 10/21

1. Який вплив розчинника на енергію активації реакції, якщо її можна провести і в газовій фазі, і в розчині?
2. Напишіть кінетичне рівняння реакції, яка досліджується, та вкажіть всі фактори, які впливають на її швидкість.
3. Визначте енергію активації реакції на підставі даних про константи швидкості при наступних температурах:

$$T_1 = 398 \text{ К} \quad k_1 = 4,02 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1};$$

$$T_2 = 413 \text{ К} \quad k_2 = 19,88 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}.$$

ВАРІАНТ 22

1. На підставі отриманих даних електричного опору розчину розрахувати константу швидкості реакції для кожного моменту, визначити її середнє значення і порівняти його із значенням константи, знайденим графічним методом.
2. По константам швидкості при двох температурах визначити енергію активації (E_A) і передекспоненційний множник B , якщо при $T_1 = 273 \text{ К}$, $k_1 = 2,73 \cdot 10^{-2} \text{ хв}^{-1}$.

№	Дані для розрахунків										$T_2, \text{ К}$
	$\tau, \text{ хв}$	1	2	3	5	7	9	12	20	∞	
22	$R, \text{ Ом}$	434	364	317	259	225	203	182	156	138	291

Контрольні питання до роботи 10/22

1. Який фізичний смисл і розмірність константи швидкості хімічної реакції? Записати вирази для константи швидкості реакцій I і II порядку.
2. Поясніть, чому реакцію треба проводити в термостаті.
3. Реакція $2A = B$ в газовій фазі є реакцією другого порядку. Кінетика цього процесу вивчалася шляхом вимірювання в певні моменти часу тиску системи при постійному об'ємі. При $T = 600 \text{ К}$ були отримані наступні дані:

$\tau, \text{ хв}$	0	10,1	36,4	60,9
$P \cdot 10^{-3}, \text{ Н/м}^2$	84,2	78,9	69,5	64,4

Розрахуйте швидкість цієї реакції в початковий момент часу в (моль/м³ · хв).

ВАРІАНТ 23

1. На підставі отриманих даних електричного опору розчину розрахувати константу швидкості реакції для кожного моменту, визначити її середнє значення і порівняти його із значенням константи, знайденим графічним методом.
2. По константам швидкості при двох температурах визначити енергію активації (E_A) і передекспоненційний множник B , якщо при $T_1 = 273\text{K}$, $k_1 = 2,73 \cdot 10^{-2} \text{ хв}^{-1}$.

№	Дані для розрахунків										T_2, K
23	$\tau, \text{хв}$	0,5	1,5	2,5	3,5	6	8	10	15	∞	295
	$R, \text{Ом}$	505	389	324	282	223	198	182	160	141	

Контрольні питання до роботи 10/23

1. Чи впливає і як іонна сила на швидкість реакції між іонами в розчині?
2. Яка з односторонніх реакцій закінчується швидше при однакових вихідних концентраціях ($c_0 = 1 \text{ моль/л}$) і однакових константах швидкості: реакція 1-го, 2-го чи 3-го порядку?
3. При $T_1 = 323 \text{ K}$ при однаковій концентрації реагуючих речовин швидкість реакції в 10 разів вища, ніж при $T_2 = 293 \text{ K}$. Обчислити енергію активації цієї реакції.

ВАРІАНТ 24

1. На підставі отриманих даних електричного опору розчину розрахувати константу швидкості реакції для кожного моменту, визначити її середнє значення і порівняти його із значенням константи, знайденим графічним методом.
2. По константам швидкості при двох температурах визначити енергію активації (E_A) і передекспоненційний множник B , якщо при $T_1 = 273 \text{ K}$ $k_1 = 2,73 \cdot 10^{-2} \text{ хв}^{-1}$.

№	Дані для розрахунків										T_2, K
24	$\tau, \text{хв}$	1	2	3	5	7	9	12	20	∞	295
	$R, \text{Ом}$	438	352	300	241	209	189	171	151	141	

Контрольні питання до роботи 10/24

1. Які експериментальні дані необхідні для розрахунку енергії активації молекул? Записати рівняння для розрахунку енергії активації.
2. Чи існує зв'язок між константами прямої і зворотної реакції та максимальною роботою цього процесу?
3. Швидкість реакції 2-го порядку дорівнює $k = 6,9 \cdot 10^{-7}$ (моль/л·с) при концентрації одного реагенту $2,5 \cdot 10^{-2}$ моль/л, а другого $5,0 \cdot 10^{-3}$ мол/л. Розрахувати константу швидкості в (см³/моль·с).

ВАРІАНТ 25

1. На підставі отриманих даних електричного опору розчину розрахувати константу швидкості реакції для кожного моменту, визначити її середнє значення і порівняти його із значенням константи, знайденим графічним методом.
2. По константам швидкості при двох температурах визначити енергію активації (E_A) і передекспоненційний множник B , якщо при $T_1 = 273\text{K}$, $k_1 = 2,73 \cdot 10^{-2} \text{ хв}^{-1}$.

№	Дані для розрахунків										T_2 , К
	τ , хв	0,5	1,5	2	3	6	8	12	20	∞	
25	R , Ом	505	389	352	300	223	198	171	151	141	295

Контрольні питання до роботи 10/25

1. При підвищенні температури на 10 градусів і інших рівних умовах швидкість однієї гетерогенної реакції збільшилася в 3 рази, а іншої – в 1,4 рази. В якій області – дифузійній або кінетичній – протікає кожна з цих реакцій?
2. У чому перевага фізичних методів аналізу для вивчення швидкості хімічних реакцій в порівнянні з хімічним методом аналізу?
3. Дві реакції однакового порядку мають однакові передекспоненційні множники, але їх енергія активації різна: $E_2 - E_1 = 13,6$ кДж/моль. Розрахувати відношення їх констант швидкостей при $T = 298$ К.

ВАРІАНТ 26

1. На підставі отриманих даних електричного опору розчину розрахувати константу швидкості реакції для кожного моменту, визначити її середнє значення і порівняти його із значенням константи, знайденим графічним методом.
2. По константам швидкості при двох температурах визначити енергію активації (E_A) і передекспоненційний множник B , якщо при $T_1 = 273\text{K}$, $k_1 = 2,73 \cdot 10^{-2} \text{ хв}^{-1}$.

№	Дані для розрахунків										T_2, K
26	$\tau, \text{хв}$	2,5	3	3,5	4	5	6	8	9	∞	293
	$R, \text{Ом}$	340	330	315	295	265	245	215	205	142	

Контрольні питання до роботи 10/26

1. У чому полягає суть методу стаціонарних концентрацій?
2. Які методи визначення порядку реакцій вам відомі і на чому вони базуються?
3. При підвищенні температури з $T_1 = 300 \text{ K}$ до $T_2 = 330 \text{ K}$ швидкість деякої реакції збільшилася в 10 разів. Розрахувати енергію активації реакції, а також визначити середній температурний коефіцієнти даної реакції.

ВАРІАНТ 27

1. На підставі отриманих даних електричного опору розчину розрахувати константу швидкості реакції для кожного моменту, визначити її середнє значення і порівняти його із значенням константи, знайденим графічним методом.
2. По константам швидкості при двох температурах визначити енергію активації (E_A) і передекспоненційний множник B , якщо при $T_1 = 273\text{K}$, $k_1 = 2,73 \cdot 10^{-2} \text{ хв}^{-1}$.

№	Дані для розрахунків										T_2, K
27	$\tau, \text{хв}$	0,5	1,5	3	5	6	8	12	20	∞	288
	$R, \text{Ом}$	450	384	320	268	250	223	191	161	136	

Контрольні питання до роботи 10/27

1. В яких випадках швидкість реакції визначається зміною концентрації реагуючих речовин в одиницю часу?
2. Як розрахувати константу швидкості прямої реакції, якщо відома константа швидкості зворотної реакції?
3. Деяка реакція $A = B + C$ протікає як реакція першого порядку. Визначити константу швидкості цієї реакції, якщо за 20 хвилин вона проходить на 20%.

ВАРІАНТ 28

1. На підставі отриманих даних електричного опору розчину розрахувати константу швидкості реакції для кожного моменту, визначити її середнє значення і порівняти його із значенням константи, знайденим графічним методом.
2. По константам швидкості при двох температурах визначити енергію активації (E_A) і передекспоненційний множник B , якщо при $T_1 = 273 \text{ K}$ $k_1 = 2,73 \cdot 10^{-2} \text{ хв}^{-1}$.

№	Дані для розрахунків										$T_2, \text{ K}$
	$\tau, \text{ хв}$	0,5	1,5	3	5	6	8	12	20	∞	
28	$R, \text{ Ом}$	457	417	372	328	309	282	242	198	133	278

Контрольні питання до роботи 10/28

1. Що таке енергія активації? Які способи активації молекул відомі?
2. Які методи дослідження кінетики цієї реакції можна запропонувати?
3. Початкова концентрація вихідної речовини дорівнює $c_0 = 0,1$ моль/л. Визначити константу швидкості реакції $2A = B + C$, якщо за 20 хвилин вона проходить на 20%, а за 53 хвилини – на 40%.

ВАРІАНТ 29

1. На підставі отриманих даних електричного опору розчину розрахувати константу швидкості реакції для кожного моменту, визначити її середнє значення і порівняти його із значенням константи, знайденим графічним методом.
2. По константам швидкості при двох температурах визначити енергію активації (E_A) і передекспоненційний множник B , якщо при $T_1 = 273 \text{ K}$, $k_1 = 2,73 \cdot 10^{-2} \text{ хв}^{-1}$.

№	Дані для розрахунків										T_2, K
	$\tau, \text{хв}$	0,5	1,5	2	3	6	8	12	20	∞	
29	$R, \text{Ом}$	471	416	393	357	284	255	218	178	135	283

Контрольні питання до роботи 10/29

1. У чому полягає експериментальне визначення константи швидкості реакції?
2. Напишіть рівняння хімічної реакції, константу швидкості якої ви маєте визначити.
3. Деяка реакція першого порядку за 10 хвилин проходить на 30%. За скільки хвилин вона пройде на 70%? Визначити константу швидкості даної реакції.

ВАРІАНТ 30

1. На підставі отриманих даних електричного опору розчину розрахувати константу швидкості реакції для кожного моменту, визначити її середнє значення і порівняти його із значенням константи, знайденим графічним методом.
2. По константам швидкості при двох температурах визначити енергію активації (E_A) і передекспоненційний множник B , якщо при $T_1 = 273\text{K}$, $k_1 = 2,73 \cdot 10^{-2} \text{ хв}^{-1}$.

№	Дані для розрахунків										T_2, K
	$\tau, \text{хв}$	0,5	1,5	3	5	6	8	12	15	∞	
30	$R, \text{Ом}$	842	511	341	255	231	201	173	162	146	298

Контрольні питання до роботи 10/30

1. Який метод використовують для вимірювання електричного опору реакційної суміші?
2. Як можна розрахувати енергію активації реакції та передекспоненційний множник рівняння Арреніуса?
3. Константа швидкості розкладання деякої реакції в газовій фазі при температурі $T_1 = 340 \text{ K}$ ($k_{340} = 0,3 \text{ хв}^{-1}$). Енергія активації $E_A = 90 \text{ кДж/моль}$. Визначити період напіврозпаду реакції при $T_2 = 355 \text{ K}$.



ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 11

ВИЗНАЧЕННЯ КОНСТАНТИ ШВИДКОСТІ РОЗЧИНЕННЯ

Мета роботи: визначення константи швидкості розчинення твердої органічної кислоти у воді.

Теоретичні відомості

Процес розчинення твердого тіла у рідині відноситься до гетерогенних процесів, тому що протікає на поверхні поділу двох фаз.

Кінетика взаємодії в гетерогенних системах відрізняється від гомогенних реакцій. Швидкість гетерогенних процесів залежить від розміру і стану поверхні розділу фаз, а також від швидкості їх відносного руху. Гетерогенні процеси багатостадійні. Крім основного процесу, що протікає на поверхні розділу фаз, обов'язковими є стадії підведення до поверхні вихідних речовин і відведення від неї продуктів реакції. Оскільки ці стадії послідовні, швидкість сумарного процесу визначається швидкістю найповільнішої з них. Якщо найповільнішою є хімічна реакція, то гетерогенний процес в цілому описується законами хімічної кінетики, тобто протікає в «кінетичній області». Якщо найповільнішою стадією є підведення реагентів (або відведення продуктів реакції), то гетерогенний процес описується законами дифузії, тобто протікає у «дифузійній області».

Змінення температури впливає сильніше на швидкість хімічної реакції, ніж на дифузію, тому при збільшенні температури гетерогенна хімічна реакція може перейти з кінетичної області в дифузійну.

Для гетерогенної хімічної реакції, що протікає стаціонарно і складається тільки з двох послідовних стадій (самої хімічної реакції і процесу дифузії), швидкість реакції можна записати як:

$$\omega_p = \frac{c_0}{1/\beta + 1/k}, \quad (11.1)$$

де c_0 – концентрація на межі твердого тіла і розчину;

β – коефіцієнт масо передачі;

k – константа швидкості хімічного процесу.

Величини $1/\beta$ і $1/k$ називають відповідно дифузійним та хімічним опором. Якщо $k \gg \beta$, то швидкість реакції $\omega_p = \beta \cdot c_0$, тобто протікає в дифузійній області; якщо $k \ll \beta$, то $\omega_p = k \cdot c_0$, і тоді реакція протікає в кінетичній області. В інших випадках швидкість сумарного процесу залежить від швидкостей обох стадій. Простішим зразком процесу, що протікає у дифузійній області, є розчинення твердого тіла у рідині. О.Н. Щукарев експериментально довів таку залежність для швидкості розчинення:

$$\omega_p = k \cdot S(c_{нас.} - c), \quad (11.2)$$

де k – коефіцієнт пропорційності, що залежить від температури, природи тіл та умов розчинення;

S – величина поверхні зіткнення твердого тіла з рідиною;

$c_{нас.}$ – концентрація насиченого розчину;

c – концентрація речовини, що розчинюється, в глибині рідини.

Встановлено, що величина k пов'язана з коефіцієнтом дифузії і може бути записана як:

$$k = \frac{D}{\delta V}, \quad (11.3)$$

де D – коефіцієнт дифузії;

δ – товщина уявного шару, який забезпечував би перенесення речовин від поверхні (або до поверхні) тільки шляхом молекулярної дифузії;

V – загальний об'єм рідини.

Ефективна товщина дифузійного шару залежить від характеру руху фаз, які переміщуються (швидкості перемішування, наявності завихрювань і т.п.) та від природи самих речовин. Після підстановки виразу (11.3) у рівняння (11.2) одержимо:

$$\omega_p = k = \frac{DS}{\delta V}(c_{нас.} - c). \quad (11.4)$$

У випадку, коли об'єм рідини, швидкість перемішування і величина поверхні в процесі розчину залишаються постійними або змінюються в незначній мірі, рівняння (11.4) можна записати у такому вигляді:

$$\omega_p = k^0 (c_{нас.} - c) \quad (11.5)$$

або

$$-\frac{dc}{d\tau} = k^0 (c_{нас.} - c), \quad (11.5a)$$

де k_0 – константа швидкості розчинення.

Інтегрування рівняння (11.5a) приводить до залежності

$$k^0 = \frac{1}{\tau} \ln \frac{c_{нас.}}{c_{нас.} - c}, \quad (11.6)$$

яка і є основною розрахунковою формулою у даній роботі.

Порядок виконання роботи

На рис.2 надана схема установки для вивчення кінетики розчинення.

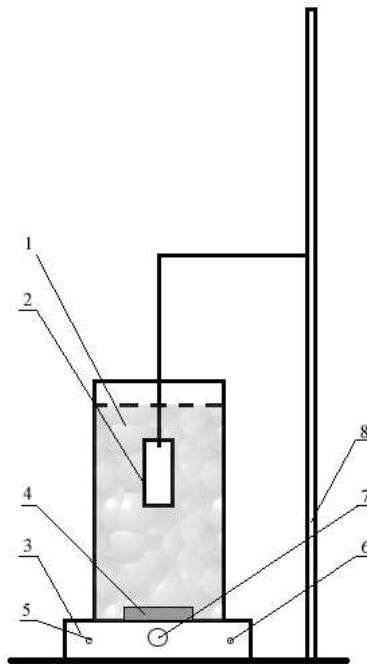


Рис.2. Схема установки для розчинення твердого тіла

1 – розчинник; 2 – тверде тіло, що розчинюється; 3 – магнітна мішалка; 4 – стрижень магнітної мішалки; 5 – тумблер включення обігрівання; 6 – тумблер включення обертання; 7 – ручка регулювання швидкості обертання; 8 – тримач зразка

Циліндрик твердої органічної кислоти (бензойної з позначкою Б.К. або саліцилової з позначкою С.К.), закріплений на штативі, вміщують у хімічну склянку з 120 мл дистильованої води, яку ставлять на поверхню магнітної мішалки. У склянку опускають металевий стрижень. Включають тумблер електродвигуна (положення «ВКЛ») і шляхом плавного повороту зліва направо регулювальної ручки підбирають оптимальний режим перемішування. Якщо стрижень у склянці почне «стрибати», необхідно зменшити швидкість перемішування рідини до нормального обертання. Всі досліди до закінчення роботи проводять з однією обраною швидкістю перемішування.

Після закінчення перемішування регулювальну ручку виводять у крайнє ліве положення, а електродвигун вимикають (положення «ВИКЛ»).

Розчинення зразка, який досліджується продовжують у відповідності до зазначеного у табл.1 часу, після чого із склянки відбирають дві проби по 50 мл кожна і титрують їх розчином $\text{Ba}(\text{OH})_2$.

У склянку наливають нову порцію дистильованої води (120 мл) і процес повторюють, причому час розчинення установлюють у відповідності з даними табл.2.

Таблиця 2

Речовина, що досліджується	Час розчинення, хв	Об'єм $\text{Ba}(\text{OH})_2$, який пішов на титрування, мл	Концентрація $\text{Ba}(\text{OH})_2$, моль/л	Концентрація кислоти, моль/л	Температура досліді, °С	Константа швидкості, хв^{-1}
	10					
	15					
	20					
	30					
	45					

Необхідну для розрахунку величину $c_{\text{нас}}$ при температурі дослідів знаходять шляхом інтерполяції наведених у табл. 3 даних.

Таблиця 3

Температура, °С	Концентрація насичення, моль/л	
	Бензойна кислота	Саліцилова кислота
10	0,1720	–
15	0,2005	0,1158
20	0,2380	0,1327
25	0,2810	0,1653

Всі одержані експериментальні дані вносять у табл.3.

За одержаними експериментальними даними розраховують середнє значення константи швидкості розчинення.

Контрольні питання

1. Яка роль дифузії при розчиненні твердої кислоти у воді?
2. Напишіть рівняння для константи швидкості розчинення твердої кислоти у воді.
3. Чи буде залежати константа швидкості розчинення від часу контакту кислоти з водою?
4. Чи залежить швидкість розчинення твердої кислоти у воді від швидкості перемішування?
5. Що називають дифузійним шаром і однакова чи ні концентрація кислоти на внутрішній та на зовнішній поверхнях дифузійного шару?
6. Який метод використовується у даній роботі для визначення концентрації твердої кислоти у воді?
7. Як визначають концентрацію насиченого розчину $c_{\text{нас}}$. та від яких факторів залежить ця величина?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 12

ВИЗНАЧЕННЯ ПОРЯДКУ ХІМІЧНОЇ РЕАКЦІЇ

Мета роботи: визначення порядку хімічної реакції.

Теоретичні відомості

Порядок хімічної реакції є однією з найважливіших її характеристик. Показник ступеня n_i при концентрації в кінетичному рівнянні (12.1) називається порядком реакції по даному реагенту. Він відображує характер участі реагентів у хімічній реакції. Загальний порядок дорівнює сумі порядків реакції за всіма реагентами (12.2).

$$w = -\frac{dc}{d\tau} = kc_1^{n_1} \cdot c_2^{n_2} \cdot c_3^{n_3} \dots \quad (12.1)$$

$$n = n_1 + n_2 + n_3 + \dots, \quad (12.2)$$

де $w = -\frac{dc}{d\tau}$ – швидкість хімічної реакції;

k – константа швидкості, тобто швидкість реакції при одиничних концентраціях реагентів;

c_1, c_2, c_3 – концентрація реагентів;

n_1, n_2, n_3 – порядок реакції по першому, другому, третьому реагенту, відповідно.

Порядок реакції може виражатися як цілим, так і дрібним числом і мати значення від 0 до 3 (**не більше**); дрібний порядок можуть мати складні хімічні реакції, що протікають через ряд проміжних стадій; в реакції нульового порядку швидкість реакції залишається постійною за часом.

Порядок реакції по кожному з реагентів у переважній більшості випадків (крім простих реакцій) не збігається з числом молекул, що приймають участь у реакції згідно із стехіометричним рівнянням, тому що останнє описує процес у цілому, тобто його матеріальний баланс, але не відображує дійсний механізм реакції.

Таким чином, визначення порядку реакції сприяє з'ясуванню її механізму.

Порядок реакції можна знайти за допомогою декількох методів:

- 1) підстановкою експериментальних значень концентрацій реагентів у кінетичне рівняння;
- 2) за часом половинного перетворення;
- 3) методом ізоляції (метод Оствальда);
- 4) методом побудування графічних (лінійних) залежностей концентрації реагентів від часу протікання реакції;
- 5) визначенням швидкостей реакції при різних початкових концентраціях реагентів (метод Вант-Гоффа).

В роботі використовують останній метод (метод Вант-Гоффа).

Кінетичні рівняння реакцій при різних концентраціях реагентів:

$$w_1 = kc_{01}^{n_1} \cdot c_{02}^{n_2}; \quad (12.3)$$

$$w_2 = kc_{11}^{n_1} \cdot c_{02}^{n_2}; \quad (12.4)$$

$$w_3 = kc_{01}^{n_1} \cdot c_{12}^{n_2}, \quad (12.5)$$

де w_1, w_2, w_3 – швидкість реакції при різних значеннях початкових концентрацій реагентів;

k – константа швидкості;

c_{01}, c_{02}, c_{03} – початкові концентрації реагентів;

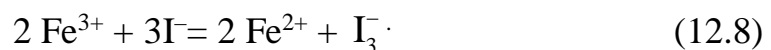
n_1, n_2 – порядки реакції по першому і другому реагентам.

Поділивши послідовно рівняння (12.3) на (12.4) і (12.5) і логарифмуючи, знаходимо значення n_1, n_2 :

$$n_1 = \frac{\ln w_1 / w_2}{\ln c_{01} / c_{11}}; \quad (12.6)$$

$$n_2 = \frac{\ln w_1 / w_3}{\ln c_{02} / c_{12}}. \quad (12.7)$$

Порядок реакції визначають для реакції, що протікає у водному розчині:



Сенс цієї реакції зводиться до відновлення іонів Fe^{3+} до Fe^{2+} іонами I^- , які при цьому окислюються до вільного I_2 . Молекулярний йод утворює з іонами йоду, що ще не прореагували, комплексні іони I_3^- .

Кінетичне рівняння цієї реакції:

$$w = -\frac{dc}{d\tau} = kc_{Fe^{3+}}^{n_1} c_{I^-}^{n_2}. \quad (12.9)$$

Для визначення порядку реакції по кожному з реагентів проводять три досліди з такими концентраціями реагентів: c_{01} , c_{02} та $c_{01}/2$, $c_{02}/2$.

В цьому випадку рівняння (12.6) і (12.7) одержують такий вигляд:

$$n_1 = \frac{\ln w_1 / w_2}{\ln 2}; \quad (12.10)$$

$$n_2 = \frac{\ln w_1 / w_3}{\ln 2}. \quad (12.11)$$

Швидкість реакції w визначають по збільшенню концентрації йоду за одиницю часу:

$$w = \frac{dc_{I_2}}{d\tau} = \frac{c_{I_2} - c_{0I_2}}{\tau_2 - \tau_1}, \quad (12.12)$$

де c_{I_2} – концентрація вільного йоду, що утворився на момент часу τ ;

c_{0I_2} – концентрація вільного йоду до початку реакції ($\tau = 0$).

Оскільки на початку реакції вільний йод відсутній ($c_{0, I_2} = 0$), швидкість реакції можна обчислити за формулою:

$$w = c_{I_2} / \tau. \quad (12.13)$$

При проведенні дослідів підбирають такі інтервали часу, за які у розчинах утворюється однакова кількість вільного йоду, тобто виконується умова:

$$c_{I_2,1} = c_{I_2,2} = c_{I_2,3}.$$

В цьому випадку підстановка залежності (12.13) у рівняння (12.10), (12.11) приводить до розрахункових формул:

$$n_1 = \frac{\ln \tau_2 / \tau_1}{\ln 2}; \quad (12.14)$$

$$n_2 = \frac{\ln \tau_3 / \tau_1}{\ln 2}, \quad (12.15)$$

де τ_1 , τ_2 , τ_3 – час від початку реакції до появи вільного йоду, що досягається шляхом додатку до реакційної суміші однакової для усіх трьох дослідів кількості гіпосульфїту натрію.

Гіпосульфїт натрію використовується для зв'язування йоду, який утворюється в реакції. Як тільки весь йод прореагує, надлишковий йод фарбує крохмаль, який додається у реакційну суміш як індикатор, у синій колір.

Порядок виконання роботи

У хімічних склянках на 150 мл готують реакційну суміш згідно з табл. 4.

Вказані у табл. 4 об'єми реагентів відміряють за допомогою бюреток, а крохмаль – циліндром.

Вміст обох склянок швидко зливають, одночасно з цим вмикають секундомір. Ретельно перемішуючи реакційну суміш, спостерігають за її кольором. При появі синього забарвлення зупиняють секундомір і записують у табл. 4 час протікання реакції τ . Для розрахунків беруть середній час трьох повторних дослідів $\tau_{\text{сер.}}$.

Таблиця 4

№ досліду	Номер склянки	Об'єм реагентів, мл					Час протікання реакції τ , с	Середній час протікання реакції $\tau_{\text{сер.}}$, с
		FeCl ₃	KI	Na ₂ S ₂ O ₃	Крохмаль	H ₂ O		
1	Склянка 1	20	-	-	-	-		
	Склянка 2	-	20	10	10	-		
2	Склянка 1	10	-	-	-	10		
	Склянка 2	-	20	10	10	-		
3	Склянка 1	20	-	-	-	-		
	Склянка 2	-	10	10	10	10		

Аналогічно проводять другий і третій досліди. Середній час протікання реакції підставляють у формули (12.14) і (12.15), розраховують порядок реакції по кожному з реагентів і загальний порядок реакції.

Контрольні питання

1. Дайте характеристику основних методів визначення порядку реакції.
2. Напишіть рівняння хімічної реакції, порядок якої ви визначаєте.
3. Які експериментальні дані треба одержати для знаходження порядку даної реакції?
4. Чи можна при визначенні порядку реакції за методом Вант-Гоффа змінювати кількість гіпосульфиту у кожному досліді?
5. Чому кожний дослід рекомендується повторювати три рази і брати середнє значення?



БАГАТОВАРІАНТНІ ЗАВДАННЯ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ 11

ВАРІАНТ 1

Лабораторна робота № 11

На підставі отриманих експериментальних даних титрування саліцилової кислоти, допускаючи, що товщина поверхневого шару δ і площа поверхні саліцилової кислоти в цих умовах лишалися незмінними, визначити середнє значення константи швидкості розчинення саліцилової кислоти у воді k (хв^{-1}).

Речовина	$t, ^\circ\text{C}$	Час розчинення τ , хв	V Ва(ОН) ₂ , мл	C Ва(ОН) ₂ , моль/дм ³	$C_{\text{кисл.}}$, моль/дм ³	k_t , хв ⁻¹	$k_{\text{сєр.}}$, хв ⁻¹
Саліцилова кислота	14	10	3,9	0,02			
		15	5,1				
		20	7,45				
		30	10,7				
		45	15,1				

Лабораторна робота № 12

За даними часу протікання реакції (для розрахунків беруть середній час трьох повторних дослідів $\tau_{\text{сєр.}}$). визначити порядок реакції по кожному компоненту реакції та загальний порядок реакції. Зробити висновок, чи виявляється вказана реакція за механізмом протікання простою реакцією, чи ні.

№ досліду	№ склянки	Об'єм реагентів, мл					Час перебігу реакції τ , с			$\tau_{\text{сєр.}}$, с	Порядок реакції n		
		FeCl ₃	KI	Na ₂ S ₂ O ₃	крохмаль	H ₂ O	1	2	3		$n(\text{FeCl}_3)$	$n(\text{KI})$	$n_{\text{заг.}}$
1	1	20					7	9	8				
	2		20	10	10								
2	1	10				10	17	16	18				
	2		20	10	10								
3	1	20					31	33	32				
	2		10	10	10	10							

Контрольні питання до роботи 11/12/01

1. Дайте визначення «загального порядку реакції» і «порядку реакції за даною речовиною». Чим ці поняття відрізняються одне від одного?
2. Спостереження за зміною концентрації якої речовини в лабораторній роботі 12 дозволяє зробити висновок про швидкість досліджуваної хімічної реакції?
3. Яким методом експериментально можна визначити концентрацію кислоти в воді?

ВАРІАНТ 2

Лабораторна робота № 11

На підставі отриманих експериментальних даних титрування саліцилової кислоти, допускаючи, що товщина поверхневого шару δ і площа поверхні саліцилової кислоти в цих умовах лишилися незмінними, визначити середнє значення константи швидкості розчинення саліцилової кислоти у воді k (хв^{-1}).

Речовина	$t, ^\circ\text{C}$	Час розчинення τ , хв	V $\text{Ba}(\text{OH})_2$, мл	C $\text{Ba}(\text{OH})_2$, моль/дм ³	$C_{\text{кисл.}}$, моль/дм ³	k_t , хв ⁻¹	$k_{\text{сєр.}}$, хв ⁻¹
Саліцилова кислота	20	10	3,5	0,03			
		15	5,2				
		20	6,85				
		30	9,7				
		45	14,4				

Лабораторна робота № 12

За даними часу протікання реакції (для розрахунків беруть середній час трьох повторних дослідів $\tau_{\text{сєр.}}$). визначити порядок реакції по кожному компоненту реакції та загальний порядок реакції. Зробити висновок, чи виявляється вказана реакція за механізмом протікання простою реакцією, чи ні.

№ досліду	№ склянки	Об'єм реагентів, мл					Час перебігу реакції τ , с			$\tau_{\text{сер.}}$, с	Порядок реакції n		
		FeCl ₃	KI	Na ₂ S ₂ O ₃	крохмаль	H ₂ O	1	2	3		$n(\text{FeCl}_3)$	$n(\text{KI})$	$n_{\text{заг.}}$
1	1	20					5	6	7				
	2		20	10	10								
2	1	10				10	13	12	13				
	2		20	10	10								
3	1	20					21	23	22				
	2		10	10	10	10							

Контрольні питання до роботи 11/12/2

1. Дайте визначення молекулярності. Які значення може приймати молекулярність?
2. Які експериментальні дані необхідно мати, щоб визначити порядок хімічної реакції за методом Вант-Гоффа?
3. Від чого залежить швидкість дифузії?

ВАРІАНТ 3

Лабораторна робота № 11

На підставі отриманих експериментальних даних титрування саліцилової кислоти, допускаючи, що товщина поверхневого шару δ і площа поверхні саліцилової кислоти в цих умовах лишалися незмінними, визначити середнє значення константи швидкості розчинення саліцилової кислоти у воді k (хв⁻¹).

Речовина	$t, ^\circ\text{C}$	Час розчинення τ , хв	V Ва(OH) ₂ , мл	C Ва(OH) ₂ , моль/дм ³	$C_{\text{кисл.}}$, моль/дм ³	k_t , хв ⁻¹	$k_{\text{сер.}}$, хв ⁻¹
Саліцилова кислота	22	10	12,3	0,15			
		15	16,2				
		20	20,6				
		30	27,0				
		45	35,1				

Лабораторна робота № 12

За даними часу протікання реакції (для розрахунків беруть середній час трьох повторних дослідів $\tau_{\text{сер}}$). визначити порядок реакції по кожному компоненту реакції та загальний порядок реакції. Зробити висновок, чи виявляється вказана реакція за механізмом протікання простою реакцією, чи ні.

№ досліду	№ склянки	Об'єм реагентів, мл					Час перебігу реакції τ , с			$\tau_{\text{сер.}}$ с	Порядок реакції n		
		FeCl ₃	KI	Na ₂ S ₂ O ₃	крохмаль	H ₂ O	1	2	3		$n(\text{FeCl}_3)$	$n(\text{KI})$	$n_{\text{заг.}}$
1	1	20					5	6	5				
	2		20	10	10								
2	1	10				10	11	10	10				
	2		20	10	10								
3	1	20					17	19	20				
	2		10	10	10	10							

Контрольні питання до роботи 11/12/03

1. Що називається процесом дифузії? Яка концентрація кислоти на зовнішній і внутрішній поверхні дифузійного шару?
2. Яким методом визначається порядок хімічної реакції в лабораторній роботі №12 та в чому його суть? Яку роль відіграє гіпосульфит натрію в цій роботі?
3. Чи залежить швидкість розчинення твердої кислоти у воді від швидкості перемішування? Відповідь обґрунтуйте.

ВАРІАНТ 4

Лабораторна робота № 11

На підставі отриманих експериментальних даних титрування саліцилової кислоти, допускаючи, що товщина поверхневого шару δ і площа поверхні саліцилової кислоти в цих умовах лишалися незмінними, визначити середнє значення константи швидкості розчинення саліцилової кислоти у воді k (хв⁻¹).

Речовина	$t, ^\circ\text{C}$	Час розчинення τ , хв	V Ba(OH) ₂ , мл	C Ba(OH) ₂ , моль/дм ³	$C_{\text{кисл.}}$, моль/дм ³	k_t , хв ⁻¹	$k_{\text{сер.}}$, хв ⁻¹
Саліцилова кислота	18	10	3,8	0,04			
		15	5,45				
		20	8,15				
		30	11,6				
		45	16,8				

Лабораторна робота № 12

За даними часу протікання реакції (для розрахунків беруть середній час трьох повторних дослідів $\tau_{\text{сер.}}$). визначити порядок реакції по кожному компоненту реакції та загальний порядок реакції. Зробити висновок, чи виявляється вказана реакція за механізмом протікання простою реакцією, чи ні.

№ досліду	№ склянки	Об'єм реагентів, мл					Час перебігу реакції τ , с			$\tau_{\text{сер.}}$, с	Порядок реакції n		
		FeCl ₃	KI	Na ₂ S ₂ O ₃	крохмаль	H ₂ O	1	2	3		$n(\text{FeCl}_3)$	$n(\text{KI})$	$n_{\text{заг.}}$
1	1	20					4	6	5				
	2		20	10	10								
2	1	10				10	12	9	10				
	2		20	10	10								
3	1	20					16	15	17				
	2		10	10	10	10							

Контрольні питання до роботи 11/12/04

1. Яка роль гіпосульфиту натрію в процесі роботи?
2. При підвищенні температури на 10° швидкість однієї реакції збільшується в 4 рази, а другої – в 1,5 рази. У якій області (дифузійній або кінетичній) протікає кожна із цих реакцій і чому?
3. Сформулюйте і запишіть перший закон Фіка. Що називають дифузійним шаром?

ВАРІАНТ 5

Лабораторна робота № 11

На підставі отриманих експериментальних даних титрування саліцилової кислоти, допускаючи, що товщина поверхневого шару δ і площа поверхні саліцилової кислоти в цих умовах лишилися незмінними, визначити середнє значення константи швидкості розчинення саліцилової кислоти у воді k (хв^{-1}).

Речовина	$t, ^\circ\text{C}$	Час розчинення τ , хв	V Ва(OH) ₂ , мл	C Ва(OH) ₂ , моль/дм ³	$C_{\text{кисл.}}$, моль/дм ³	k_t , хв ⁻¹	$k_{\text{ср.}}$, хв ⁻¹
Саліцилова кислота	16	10	5,0	0,03			
		15	7,65				
		20	9,6				
		30	14,15				
		45	19,4				

Лабораторна робота № 12

За даними часу протікання реакції (для розрахунків беруть середній час трьох повторних дослідів $\tau_{\text{ср.}}$). визначити порядок реакції по кожному компоненту реакції та загальний порядок реакції. Зробити висновок, чи виявляється вказана реакція за механізмом протікання простою реакцією, чи ні.

№ досліду	№ склянки	Об'єм реагентів, мл					Час перебігу реакції τ , с			$\tau_{\text{ср.}}$, с	Порядок реакції n		
		FeCl ₃	KI	Na ₂ S ₂ O ₃	крохмаль	H ₂ O	1	2	3		$n(\text{FeCl}_3)$	$n(\text{KI})$	$n_{\text{заг.}}$
1	1	20					8	6	7				
	2		20	10	10								
2	1	10				10	14	13	12				
	2		20	10	10								
3	1	20					28	26	24				
	2		10	10	10	10							

Контрольні питання до роботи 11/12/05

1. Як визначають концентрацію насиченого розчину $c_{\text{нас}}$. та від яких факторів залежить ця величина?
2. Чи можна при визначенні порядку реакції методом Вант-Гоффа змінювати кількість гіпосульфїту в кожному досліді?
3. Для яких реакцій співпадають поняття «порядок реакції» і «молекулярність»?

ВАРІАНТ 6

Лабораторна робота № 11

На підставі отриманих експериментальних даних титрування саліцилової кислоти, допускаючи, що товщина поверхневого шару δ і площа поверхні саліцилової кислоти в цих умовах лишалися незмінними, визначити середнє значення константи швидкості розчинення саліцилової кислоти у воді k (хв^{-1}).

Речовина	$t, ^\circ\text{C}$	Час розчинення τ , хв	V $\text{Ba}(\text{OH})_2$, мл	C $\text{Ba}(\text{OH})_2$, моль/дм ³	$C_{\text{кисл.}}$, моль/дм ³	k_t , хв^{-1}	$k_{\text{сер.}}$, хв^{-1}
Бензойна кислота	16	10	6,3	0,03			
		15	9,35				
		20	12,6				
		30	18,75				
		45	26,8				

Лабораторна робота № 12

За даними часу протікання реакції (для розрахунків беруть середній час трьох повторних дослідів $\tau_{\text{сер}}$). визначити порядок реакції по кожному компоненту реакції та загальний порядок реакції. Зробити висновок, чи виявляється вказана реакція за механізмом протікання простою реакцією, чи ні.

№ досліду	№ склянки	Об'єм реагентів, мл					Час перебігу реакції τ , с			$\tau_{\text{сер.}}$, с	Порядок реакції n		
		FeCl ₃	KI	Na ₂ S ₂ O ₃	крохмаль	H ₂ O	1	2	3		$n(\text{FeCl}_3)$	$n(\text{KI})$	$n_{\text{заг.}}$
1	1	20					9	10	11				
	2		20	10	10								
2	1	10				10	18	19	20				
	2		20	10	10								
3	1	20					31	33	34				
	2		10	10	10	10							

Контрольні питання до роботи 11/12/06

1. Чому кожний дослід в лабораторній роботі №12 рекомендується повторювати три рази і брати середнє значення часу протікання?
2. Який метод використовується у даній роботі для визначення концентрації твердої кислоти у воді?
3. У чому полягають особливості кінетики гетерогенних процесів?

ВАРІАНТ 7

Лабораторна робота № 11

На підставі отриманих експериментальних даних титрування саліцилової кислоти, допускаючи, що товщина поверхневого шару δ і площа поверхні саліцилової кислоти в цих умовах лишалися незмінними, визначити середнє значення константи швидкості розчинення саліцилової кислоти у воді k (хв⁻¹).

Речовина	$t, ^\circ\text{C}$	Час розчинення τ , хв	V Ва(OH) ₂ , мл	C Ва(OH) ₂ , моль/дм ³	$C_{\text{кисл.}}$, моль/дм ³	k_t , хв ⁻¹	$k_{\text{сер.}}$, хв ⁻¹
Бензойна кислота	22	10	5,3	0,06			
		15	8,3				
		20	11,6				
		30	16,5				
		45	24,8				

Лабораторна робота № 12

За даними часу протікання реакції (для розрахунків беруть середній час трьох повторних дослідів $\tau_{\text{сер}}$). визначити порядок реакції по кожному компоненту реакції та загальний порядок реакції. Зробити висновок, чи виявляється вказана реакція за механізмом протікання простою реакцією, чи ні.

№ досліду	№ склянки	Об'єм реагентів, мл					Час перебігу реакції τ , с			$\tau_{\text{сер}}$, с	Порядок реакції n		
		FeCl ₃	KI	Na ₂ S ₂ O ₃	крохмаль	H ₂ O	1	2	3		$n(\text{FeCl}_3)$	$n(\text{KI})$	$n_{\text{заг.}}$
1	1	20					9	10	11				
	2		20	10	10								
2	1	10				10	20	19	22				
	2		20	10	10								
3	1	20					35	37	34				
	2		10	10	10	10							

Контрольні питання до роботи 11/12/07

1. Що таке молекулярність? Які значення вона приймає?
2. Які експериментальні дані необхідно мати, щоб визначити порядок хімічної реакції за методом Вант-Гоффа?
3. За допомогою правила Вант-Гоффа обчисліть, при якій температурі реакція практично закінчується через 15 хвилин, якщо при $T_1 = 293 \text{ K}$ на це буде потрібно 2 години. Температурний коефіцієнт для цієї реакції дорівнює $\gamma = 3$.

ВАРІАНТ 8

Лабораторна робота № 11

На підставі отриманих експериментальних даних титрування саліцилової кислоти, допускаючи, що товщина поверхневого шару δ і площа поверхні саліцилової кислоти в цих умовах лишалися незмінними, визначити середнє значення константи швидкості розчинення саліцилової кислоти у воді k (хв⁻¹).

Речовина	$t, ^\circ\text{C}$	Час розчинення τ , хв	V Ва(OH) ₂ , мл	C Ва(OH) ₂ , моль/дм ³	$C_{\text{кисл.}}$, моль/дм ³	k_t , хв ⁻¹	$k_{\text{сер.}}$, хв ⁻¹
Бензойна кислота	15	10	24,3	0,008			
		15	36,3				
		20	47,6				
		30	68,5				
		45	97,8				

Лабораторна робота № 12

За даними часу протікання реакції (для розрахунків беруть середній час трьох повторних дослідів $\tau_{\text{сер.}}$). визначити порядок реакції по кожному компоненту реакції та загальний порядок реакції. Зробити висновок, чи виявляється вказана реакція за механізмом протікання простою реакцією, чи ні.

№ досліду	№ склянки	Об'єм реагентів, мл					Час перебігу реакції τ , с			$\tau_{\text{сер.}}$, с	Порядок реакції n		
		FeCl ₃	KI	Na ₂ S ₂ O ₃	крохмаль	H ₂ O	1	2	3		$n(\text{FeCl}_3)$	$n(\text{KI})$	$n_{\text{заг.}}$
1	1	20					6	5	8				
	2		20	10	10								
2	1	10				10	12	15	11				
	2		20	10	10								
3	1	20					21	22	24				
	2		10	10	10	10							

Контрольні питання до роботи 11/12/08

1. Реакція термічного розкладання етану є реакцією I порядку. При $T_1 = 823 \text{ K}$ константа швидкості цієї реакції дорівнює $2,5 \cdot 10^{-1} \text{ с}^{-1}$, а при $T_2 = 903 \text{ K}$ – $141,5 \cdot 10^5$. розрахуйте період напівперетворення для цієї реакції.
2. З яких стадій може складатися гетерогенний процес розчинення твердої кислоти у воді?
3. Яким методом визначається порядок хімічної реакції в лабораторній роботі №12 і в чому полягає його суть?

ВАРІАНТ 9

Лабораторна робота № 11

На підставі отриманих експериментальних даних титрування саліцилової кислоти, допускаючи, що товщина поверхневого шару δ і площа поверхні саліцилової кислоти в цих умовах лишилися незмінними, визначити середнє значення константи швидкості розчинення саліцилової кислоти у воді k (хв⁻¹).

Речовина	$t, ^\circ\text{C}$	Час розчинення τ , хв	V Ва(ОН) ₂ , мл	C Ва(ОН) ₂ , моль/дм ³	$C_{\text{кисл.}}$, моль/дм ³	k_t , хв ⁻¹	$k_{\text{ср.}}$, хв ⁻¹
Саліцилова кислота	15	10	5,3	0,02			
		15	7,3				
		20	10,2				
		30	14,5				
		45	20,8				

Лабораторна робота № 12

За даними часу протікання реакції (для розрахунків беруть середній час трьох повторних дослідів $\tau_{\text{ср.}}$). визначити порядок реакції по кожному компоненту реакції та загальний порядок реакції. Зробити висновок, чи виявляється вказана реакція за механізмом протікання простою реакцією, чи ні.

№ досліду	№ склянки	Об'єм реагентів, мл					Час перебігу реакції τ , с			$\tau_{\text{ср.}}$, с	Порядок реакції n		
		FeCl ₃	KI	Na ₂ S ₂ O ₃	крохмаль	H ₂ O	1	2	3		$n(\text{FeCl}_3)$	$n(\text{KI})$	$n_{\text{заг.}}$
1	1	20					6	5	7				
	2		20	10	10								
2	1	10				10	10	13	11				
	2		20	10	10								
3	1	20					21	21	22				
	2		10	10	10	10							

Контрольні питання до роботи 11/12/09

1. Як визначається час однакового виходу по йоду?
2. Що називають «температурним коефіцієнтом дифузії» та чому він дорівнює?
3. Як варіюються концентрації речовин, що реагують, при виконанні роботи?

ВАРІАНТ 10

Лабораторна робота № 11

На підставі отриманих експериментальних даних титрування саліцилової кислоти, допускаючи, що товщина поверхневого шару δ і площа поверхні саліцилової кислоти в цих умовах лишалися незмінними, визначити середнє значення константи швидкості розчинення саліцилової кислоти у воді k (хв⁻¹).

Речовина	$t, ^\circ\text{C}$	Час розчинення τ , хв	V Ва(ОН) ₂ , мл	C Ва(ОН) ₂ , моль/дм ³	$C_{\text{кисл.}}$, моль/дм ³	k_t , хв ⁻¹	$k_{\text{сер.}}$, хв ⁻¹
Саліцилова кислота	25	10	5,6	0,03			
		15	8,3				
		20	11,2				
		30	15,5				
		45	21,8				

Лабораторна робота № 12

За даними часу протікання реакції (для розрахунків беруть середній час трьох повторних дослідів $\tau_{\text{сер}}$). визначити порядок реакції по кожному компоненту реакції та загальний порядок реакції. Зробити висновок, чи виявляється вказана реакція за механізмом протікання простою реакцією, чи ні.

№ досліду	№ склянки	Об'єм реагентів, мл					Час перебігу реакції τ , с			$\tau_{\text{сер.}}$, с	Порядок реакції n		
		FeCl ₃	KI	Na ₂ S ₂ O ₃	крохмаль	H ₂ O	1	2	3		$n(\text{FeCl}_3)$	$n(\text{KI})$	$n_{\text{заг.}}$
1	1	20					11	12	13				
	2		20	10	10								
2	1	10				10	23	25	21				
	2		20	10	10								
3	1	20					41	43	42				
	2		10	10	10	10							

Контрольні питання до роботи 11/12/10

1. Чи відрізняються за величиною константи швидкості розчинення твердої кислоти у воді при розчиненні впродовж 10, 20 і 30 хвилин? Відповідь обґрунтуйте.
2. Для яких реакцій збігаються порядок і молекулярність?
3. Які чинники впливають на швидкість дифузії?

ВАРІАНТ 11

Лабораторна робота № 11

На підставі отриманих експериментальних даних титрування саліцилової кислоти, допускаючи, що товщина поверхневого шару δ і площа поверхні саліцилової кислоти в цих умовах лишалися незмінними, визначити середнє значення константи швидкості розчинення саліцилової кислоти у воді k (хв⁻¹).

Речовина	$t, ^\circ\text{C}$	Час розчинення τ , хв	V Ba(OH) ₂ , мл	C Ba(OH) ₂ , моль/дм ³	$C_{\text{кисл.}}$, моль/дм ³	k_t , хв ⁻¹	$k_{\text{сер.}}$, хв ⁻¹
Бензойна кислота	17	10	11	0,02			
		15					
		20	23				
		30					
		45	41				

Лабораторна робота № 12

За даними часу протікання реакції (для розрахунків беруть середній час трьох повторних дослідів $\tau_{\text{сер}}$). визначити порядок реакції по кожному компоненту реакції та загальний порядок реакції. Зробити висновок, чи виявляється вказана реакція за механізмом протікання простою реакцією, чи ні.

№ досліду	№ склянки	Об'єм реагентів, мл					Час перебігу реакції τ , с			$\tau_{\text{сер.}}$ с	Порядок реакції n		
		FeCl ₃	KI	Na ₂ S ₂ O ₃	крохмаль	H ₂ O	1	2	3		$n(\text{FeCl}_3)$	$n(\text{KI})$	$n_{\text{заг.}}$
1	1	20					13	12	13				
	2		20	10	10								
2	1	10				10	23	25	22				
	2		20	10	10								
3	1	20					41	43	44				
	2		10	10	10	10							

Контрольні питання до роботи 11/12/11

1. Який вигляд має графік залежності логарифма константи швидкості реакції від температури і від $1/T$?
2. Запишіть вирази для розрахунку n_1 і n_2 в лабораторній роботі. Які експериментальні дані потрібні для цього?
3. Чи можна змінювати кількість гіпосульфиту натрію в реакційній суміші в кожному із трьох дослідів при визначенні порядку реакції за методом Вант-Гоффа?

ВАРІАНТ 12

Лабораторна робота № 11

На підставі отриманих експериментальних даних титрування саліцилової кислоти, допускаючи, що товщина поверхневого шару δ і площа поверхні саліцилової кислоти в цих умовах лишалися незмінними, визначити середнє значення константи швидкості розчинення саліцилової кислоти у воді k (хв⁻¹).

Речовина	$t, ^\circ\text{C}$	Час розчинення τ , хв	V Ba(OH) ₂ , мл	C Ba(OH) ₂ , моль/дм ³	$C_{\text{кисл.}}$, моль/дм ³	k_t , хв ⁻¹	$k_{\text{сер.}}$, хв ⁻¹
Бензойна кислота	26	10	13,4	0,03			
		15	19,3				
		20	26,2				
		30	38,2				
		45	55,8				

Лабораторна робота № 12

За даними часу протікання реакції (для розрахунків беруть середній час трьох повторних дослідів $\tau_{\text{сер.}}$). визначити порядок реакції по кожному компоненту реакції та загальний порядок реакції. Зробити висновок, чи виявляється вказана реакція за механізмом протікання простою реакцією, чи ні.

№ досліду	№ склянки	Об'єм реагентів, мл					Час перебігу реакції τ , с			$\tau_{\text{сер.}}$, с	Порядок реакції n		
		FeCl ₃	KI	Na ₂ S ₂ O ₃	крохмаль	H ₂ O	1	2	3		$n(\text{FeCl}_3)$	$n(\text{KI})$	$n_{\text{заг.}}$
1	1	20					12	11	13				
	2		20	10	10								
2	1	10				10	23	25	26				
	2		20	10	10								
3	1	20					44	40	42				
	2		10	10	10	10							

Контрольні питання до роботи 11/12/12

1. Як графічно визначити значення константи швидкості реакції II порядку при рівних концентраціях реагуючих речовини?
2. Які розмірності мають константи швидкості хімічних реакцій різних порядків?
3. Який порядок має процес розчинення твердої органічної кислоти у воді? На підставі яких експериментальних даних можна підтвердити правильність припущення про порядок цієї реакції?

ВАРІАНТ 13

Лабораторна робота № 11

На підставі отриманих експериментальних даних титрування саліцилової кислоти, допускаючи, що товщина поверхневого шару δ і площа поверхні саліцилової кислоти в цих умовах лишалися незмінними, визначити середнє значення константи швидкості розчинення саліцилової кислоти у воді k (хв⁻¹).

Речовина	$t, ^\circ\text{C}$	Час розчинення τ , хв	V Ва(ОН) ₂ , мл	C Ва(ОН) ₂ , моль/дм ³	$C_{\text{кисл.}}$, моль/дм ³	k_t , хв ⁻¹	$k_{\text{ср.}}$, хв ⁻¹
Бензойна кислота	16	10	8,9	0,02			
		15	12,3				
		20	16,2				
		30	25,2				
		45	37,8				

Лабораторна робота № 12

За даними часу протікання реакції (для розрахунків беруть середній час трьох повторних дослідів $\tau_{\text{ср.}}$). визначити порядок реакції по кожному компоненту реакції та загальний порядок реакції. Зробити висновок, чи виявляється вказана реакція за механізмом протікання простою реакцією, чи ні.

№ досліду	№ склянки	Об'єм реагентів, мл					Час перебігу реакції τ , с			$\tau_{\text{ср.}}$, с	Порядок реакції n		
		FeCl ₃	KI	Na ₂ S ₂ O ₃	крохмаль	H ₂ O	1	2	3		$n(\text{FeCl}_3)$	$n(\text{KI})$	$n_{\text{заг.}}$
1	1	20					10	11	13				
	2		20	10	10								
2	1	10				10	22	19	23				
	2		20	10	10								
3	1	20					41	39	42				
	2		10	10	10	10							

Контрольні питання до роботи 11/12/13

1. Що мається на увазі при застосуванні терміну «час напівперетворення»? Які характеристики реакції можна визначити із залежності часу напівперетворення від вихідної концентрації речовини?
2. Чи залежить константа швидкості розчинення від часу контакту твердої кислоти з водою?
3. Як варіюють концентрації реагуючих речовин при виконанні роботи №12?

ВАРІАНТ 14

Лабораторна робота № 11

На підставі отриманих експериментальних даних титрування саліцилової кислоти, допускаючи, що товщина поверхневого шару δ і площа поверхні саліцилової кислоти в цих умовах лишилися незмінними, визначити середнє значення константи швидкості розчинення саліцилової кислоти у воді k (хв⁻¹).

Речовина	$t, ^\circ\text{C}$	Час розчинення τ , хв	V Ва(ОН) ₂ , мл	C Ва(ОН) ₂ , моль/дм ³	$C_{\text{кисл.}}$, моль/дм ³	k_t , хв ⁻¹	$k_{\text{сер.}}$, хв ⁻¹
Саліцилова кислота	16	10	3,9	0,03			
		15	6,1				
		20	8,2				
		30	12,2				
		45	17,4				

Лабораторна робота № 12

За даними часу протікання реакції (для розрахунків беруть середній час трьох повторних дослідів $\tau_{\text{сер.}}$), визначити порядок реакції по кожному компоненту реакції та загальний порядок реакції. Зробити висновок, чи виявляється вказана реакція за механізмом протікання простою реакцією, чи ні.

№ досліду	№ склянки	Об'єм реагентів, мл					Час перебігу реакції τ , с			$\tau_{\text{сер.}}$, с	Порядок реакції n		
		FeCl ₃	KI	Na ₂ S ₂ O ₃	крохмаль	H ₂ O	1	2	3		$n(\text{FeCl}_3)$	$n(\text{KI})$	$n_{\text{заг.}}$
1	1	20					13	11	13				
	2		20	10	10								
2	1	10				10	26	23	24				
	2		20	10	10								
3	1	20					45	43	42				
	2		10	10	10	10							

Контрольні питання до роботи 11/12/14

1. Які методи існують для визначення порядку реакції? У чому полягає метод Оствальда-Нойєса?
2. Період напівперетворення речовини в реакції I порядку при $T_1 = 298 \text{ K}$ дорівнює 120 хв, а при $T_2 = 318 \text{ K}$ – 15 хв. Визначте температурний коефіцієнт швидкості реакції γ .
3. Що називають «дифузійним шаром»? Від чого залежить товщина дифузійного шару?

ВАРІАНТ 15

Лабораторна робота № 11

На підставі отриманих експериментальних даних титрування саліцилової кислоти, допускаючи, що товщина поверхневого шару δ і площа поверхні саліцилової кислоти в цих умовах лишилися незмінними, визначити середнє значення константи швидкості розчинення саліцилової кислоти у воді k (хв⁻¹).

Речовина	$t, ^\circ\text{C}$	Час розчинення τ , хв	V Ва(OH) ₂ , мл	C Ва(OH) ₂ , моль/дм ³	$C_{\text{кисл.}}$, моль/дм ³	k_t , хв ⁻¹	$k_{\text{сер.}}$, хв ⁻¹
Саліцилова кислота	18	10	14,9	0,007			
		15	23,1				
		20	33,2				
		30	44,0				
		45	67,4				

Лабораторна робота № 12

За даними часу протікання реакції (для розрахунків беруть середній час трьох повторних дослідів $\tau_{\text{сер}}$). визначити порядок реакції по кожному компоненту реакції та загальний порядок реакції. Зробити висновок, чи виявляється вказана реакція за механізмом протікання простою реакцією, чи ні.

№ досліду	№ склянки	Об'єм реагентів, мл					Час перебігу реакції τ , с			$\tau_{\text{сер.}}$, с	Порядок реакції n		
		FeCl ₃	KI	Na ₂ S ₂ O ₃	крохмаль	H ₂ O	1	2	3		$n(\text{FeCl}_3)$	$n(\text{KI})$	$n_{\text{заг.}}$
1	1	20					8	7	9				
	2		20	10	10								
2	1	10				10	18	14	17				
	2		20	10	10								
3	1	20					32	34	30				
	2		10	10	10	10							

Контрольні питання до роботи 11/12/15

1. Реакція першого порядку проходить на 20% за 30 хв. Яка швидкість реакції, якщо початкова концентрація $c_0 = 0,01$ моль/л?
2. Запишіть рівняння Щукарева для розрахунку константи швидкості розчинення твердої органічної кислоти у воді. Як визначається концентрація кислоти в даний момент часу?
3. Поясніть, чому при визначенні порядку реакції взаємодії FeCl₃ із KI методом Вант-Гоффа час досягнення однакового виходу по йоду в трьох проведених дослідах відрізняється?

ВАРІАНТ 16

Лабораторна робота № 11

На підставі отриманих експериментальних даних титрування саліцилової кислоти, допускаючи, що товщина поверхневого шару δ та площа поверхні саліцилової кислоти в цих умовах лишалися незмінними, визначити середнє значення константи швидкості розчинення саліцилової кислоти у воді k (хв⁻¹).

Речовина	$t, ^\circ\text{C}$	Час розчинення τ , хв	V Ba(OH) ₂ , мл	C Ba(OH) ₂ , моль/дм ³	$C_{\text{кисл.}}$, моль/дм ³	k_t , хв ⁻¹	$k_{\text{сер.}}$, хв ⁻¹
Бензойна кислота	22	10	4,3	0,05			
		15	6,7				
		20	8,6				
		30	11,7				
		45	17,4				

Лабораторна робота № 12

За даними часу протікання реакції (для розрахунків беруть середній час трьох повторних дослідів $\tau_{\text{сер.}}$). визначити порядок реакції по кожному компоненту реакції та загальний порядок реакції. Зробити висновок, чи виявляється вказана реакція за механізмом протікання простою реакцією, чи ні.

№ досліду	№ склянки	Об'єм реагентів, мл					Час перебігу реакції τ , с			$\tau_{\text{сер.}}$, с	Порядок реакції n		
		FeCl ₃	KI	Na ₂ S ₂ O ₃	крохмаль	H ₂ O	1	2	3		$n(\text{FeCl}_3)$	$n(\text{KI})$	$n_{\text{заг.}}$
1	1	20					7	7	9				
	2		20	10	10								
2	1	10				10	15	14	17				
	2		20	10	10								
3	1	20					31	28	30				
	2		10	10	10	10							

Контрольні питання до роботи 11/12/16

1. Як визначається при виконанні лабораторної роботи №11 $C_{\text{нас}}$ і від чого залежить ця величина?
2. Яким законам підпорядковується гетерогенний процес, що перебігає в дифузійній області контролю?
3. Чому при визначенні порядку реакції взаємодії FeCl₃ з KI рекомендовано проводити кожний дослід тричі та брати середнє значення?

ВАРІАНТ 17

Лабораторна робота № 11

На підставі отриманих експериментальних даних титрування саліцилової кислоти, допускаючи, що товщина поверхневого шару δ і площа поверхні саліцилової кислоти в цих умовах лишалися незмінними, визначити середнє значення константи швидкості розчинення саліцилової кислоти у воді k (хв⁻¹).

Речовина	$t, ^\circ\text{C}$	Час розчинення τ , хв	V Ва(ОН) ₂ , мл	C Ва(ОН) ₂ , моль/дм ³	$C_{\text{кисл.}}$, моль/дм ³	k_t , хв ⁻¹	$k_{\text{ср.}}$, хв ⁻¹
Бензойна кислота	14	10	8,9	0,02			
		15	12,9				
		20	17,6				
		30	24,9				
		45	38,4				

Лабораторна робота № 12

За даними часу протікання реакції (для розрахунків беруть середній час трьох повторних дослідів $\tau_{\text{ср.}}$). визначити порядок реакції по кожному компоненту реакції та загальний порядок реакції. Зробити висновок, чи виявляється вказана реакція за механізмом протікання простою реакцією, чи ні.

№ досліду	№ склянки	Об'єм реагентів, мл					Час перебігу реакції τ , с			$\tau_{\text{ср.}}$, с	Порядок реакції n		
		FeCl ₃	KI	Na ₂ S ₂ O ₃	крохмаль	H ₂ O	1	2	3		$n(\text{FeCl}_3)$	$n(\text{KI})$	$n_{\text{заг.}}$
1	1	20					14	15	16				
	2		20	10	10								
2	1	10				10	28	29	27				
	2		20	10	10								
3	1	20					48	46	47				
	2		10	10	10	10							

Контрольні питання до роботи 11/12/17

1. Чи відрізняються за величиною константи швидкості розчинення твердої кислоти у воді, якщо розчинення проводили 10, 20, 30 хвилин?
2. Чи можна при визначенні порядку реакції методом Вант-Гоффа змінювати кількість гіпосульфїту натрію в кожному із трьох експериментів?
3. Що означає термін «напівперетворення»? Які характеристики реакції можна визначити за залежністю часу напівперетворення від вихідної концентрації?

ВАРІАНТ 18

Лабораторна робота № 11

На підставі отриманих експериментальних даних титрування саліцилової кислоти, допускаючи, що товщина поверхневого шару δ і площа поверхні саліцилової кислоти в цих умовах лишалися незмінними, визначити середнє значення константи швидкості розчинення саліцилової кислоти у воді k (хв^{-1}).

Речовина	$t, ^\circ\text{C}$	Час розчинення τ , хв	V Ва(ОН) ₂ , мл	C Ва(ОН) ₂ , моль/дм ³	$C_{\text{кисл.}}$, моль/дм ³	k_t , хв ⁻¹	$k_{\text{сєр.}}$, хв ⁻¹
Бензойна кислота	20	10	23,6	0,008			
		15	37,9				
		20	44,6				
		30	71,9				
		45	95,4				

Лабораторна робота № 12

За даними часу протікання реакції (для розрахунків беруть середній час трьох повторних дослідів $\tau_{\text{сєр.}}$). визначити порядок реакції по кожному компоненту реакції та загальний порядок реакції. Зробити висновок, чи виявляється вказана реакція за механізмом протікання простою реакцією, чи ні.

№ досліду	№ склянки	Об'єм реагентів, мл					Час перебігу реакції τ , с			$\tau_{\text{сер.}}$, с	Порядок реакції n		
		FeCl ₃	KI	Na ₂ S ₂ O ₃	крохмаль	H ₂ O	1	2	3		$n(\text{FeCl}_3)$	$n(\text{KI})$	$n_{\text{заг.}}$
1	1	20					13	15	14				
	2		20	10	10								
2	1	10				10	28	29	27				
	2		20	10	10								
3	1	20					49	46	47				
	2		10	10	10	10							

Контрольні питання до роботи 11/12/18

- Надайте характеристику інтегральних методів визначення порядку хімічної реакції. Як можна на підставі експериментальних даних підтвердити правильність передбачуваного порядку?
- Чому дорівнює температурний коефіцієнт дифузії?
- Визначити фізичний зміст енергії активації. Чи впливає величина енергії активації на швидкість реакції і чому?

ВАРІАНТ 19

Лабораторна робота № 11

На підставі отриманих експериментальних даних титрування саліцилової кислоти, допускаючи, що товщина поверхневого шару δ і площа поверхні саліцилової кислоти в цих умовах лишилися незмінними, визначити середнє значення константи швидкості розчинення саліцилової кислоти у воді k (хв⁻¹).

Речовина	$t, ^\circ\text{C}$	Час розчинення τ , хв	V Ва(OH) ₂ , мл	C Ва(OH) ₂ , моль/дм ³	$C_{\text{кисл.}}$, моль/дм ³	k_t , хв ⁻¹	$k_{\text{сер.}}$, хв ⁻¹
Бензойна кислота	29	10	7,6	0,05			
		15	14,1				
		20	16,2				
		30	26,9				
		45	35,4				

Лабораторна робота № 12

За даними часу протікання реакції (для розрахунків беруть середній час трьох повторних дослідів $\tau_{\text{сер}}$). визначити порядок реакції по кожному компоненту реакції та загальний порядок реакції. Зробити висновок, чи виявляється вказана реакція за механізмом протікання простою реакцією, чи ні.

№ досліду	№ склянки	Об'єм реагентів, мл					Час перебігу реакції τ , с			$\tau_{\text{сер.}}$, с	Порядок реакції n		
		FeCl ₃	KI	Na ₂ S ₂ O ₃	крохмаль	H ₂ O	1	2	3		$n(\text{FeCl}_3)$	$n(\text{KI})$	$n_{\text{заг.}}$
1	1	20					12	11	14				
	2		20	10	10								
2	1	10				10	25	24	23				
	2		20	10	10								
3	1	20					45	46	47				
	2		10	10	10	10							

Контрольні питання до роботи 11/12/19

1. Яка особливість кінетики гетерогенних реакцій? Від яких факторів залежить швидкість цих реакцій?
2. Надайте характеристику диференціальних методів визначення порядку хімічної реакції.
3. В чому полягає принцип незалежності елементарних стадій складних реакцій?

ВАРІАНТ 20

Лабораторна робота № 11

На підставі отриманих експериментальних даних титрування саліцилової кислоти, допускаючи, що товщина поверхневого шару δ і площа поверхні саліцилової кислоти в цих умовах лишалися незмінними, визначити середнє значення константи швидкості розчинення саліцилової кислоти у воді k (хв⁻¹).

Речовина	$t, ^\circ\text{C}$	Час розчинення τ , хв	V Ba(OH) ₂ , мл	C Ba(OH) ₂ , моль/дм ³	$C_{\text{кисл.}}$, моль/дм ³	k_t , хв ⁻¹	$k_{\text{сер.}}$, хв ⁻¹
Саліцилова кислота	19	10	5,3	0,03			
		15	7,1				
		20	9,2				
		30	15,9				
		45	21,4				

Лабораторна робота № 12

За даними часу протікання реакції (для розрахунків беруть середній час трьох повторних дослідів $\tau_{\text{сер.}}$). визначити порядок реакції по кожному компоненту реакції та загальний порядок реакції. Зробити висновок, чи виявляється вказана реакція за механізмом протікання простою реакцією, чи ні.

№ досліду	№ склянки	Об'єм реагентів, мл					Час перебігу реакції τ , с			$\tau_{\text{сер.}}$, с	Порядок реакції n		
		FeCl ₃	KI	Na ₂ S ₂ O ₃	крохмаль	H ₂ O	1	2	3		$n(\text{FeCl}_3)$	$n(\text{KI})$	$n_{\text{заг.}}$
1	1	20					4	5	7				
	2		20	10	10								
2	1	10				10	9	10	11				
	2		20	10	10								
3	1	20					19	21	23				
	2		10	10	10	10							

Контрольні питання до роботи 11/12/20

1. Чи залежить константа швидкості розчинення від часу контакту твердої кислоти з водою?
2. Які умови необхідні для проведення експерименту, щоб для опису процесу розчинення застосувати таке кінетичне рівняння, що за формою збігається з рівнянням реакції першого порядку?
3. В чому полягає принцип лімітуючої стадії складної реакції?

ВАРІАНТ 21

Лабораторна робота № 11

На підставі отриманих експериментальних даних титрування саліцилової кислоти, допускаючи, що товщина поверхневого шару δ і площа поверхні саліцилової кислоти в цих умовах лишалися незмінними, визначити середнє значення константи швидкості розчинення саліцилової кислоти у воді k (хв^{-1}).

Речовина	$t, ^\circ\text{C}$	Час розчинення τ , хв	V Ва(ОН) ₂ , мл	C Ва(ОН) ₂ , моль/дм ³	$C_{\text{кисл.}}$, моль/дм ³	k_t , хв ⁻¹	$k_{\text{ср.}}$, хв ⁻¹
Саліцилова кислота	27	10	5,3	0,05			
		15	7,1				
		20	9,6				
		30	15,1				
		45	21,4				

Лабораторна робота № 12

За даними часу протікання реакції (для розрахунків беруть середній час трьох повторних дослідів $\tau_{\text{ср.}}$). визначити порядок реакції по кожному компоненту реакції та загальний порядок реакції. Зробити висновок, чи виявляється вказана реакція за механізмом протікання простою реакцією, чи ні.

№ досліду	№ склянки	Об'єм реагентів, мл					Час перебігу реакції τ , с			$\tau_{\text{ср.}}$, с	Порядок реакції n		
		FeCl ₃	KI	Na ₂ S ₂ O ₃	крохмаль	H ₂ O	1	2	3		$n(\text{FeCl}_3)$	$n(\text{KI})$	$n_{\text{заг.}}$
1	1	20					7	9	8				
	2		20	10	10								
2	1	10				10	17	16	18				
	2		20	10	10								
3	1	20					31	33	32				
	2		10	10	10	10							

Контрольні питання до роботи 11/12/21

1. Які чинники (у порядку зниження значущості) впливають на швидкість хімічної реакції?
2. Визначити енергію активації реакції, для якої при підвищенні температури від 295 до 305 К швидкість реакції подвоюється?
3. За якою ознакою реакції поділяються на порядки? У чому відмінність порядку реакції від її молекулярності?

ВАРІАНТ 22

Лабораторна робота № 11

На підставі отриманих експериментальних даних титрування саліцилової кислоти, допускаючи, що товщина поверхневого шару δ і площа поверхні саліцилової кислоти в цих умовах лишалися незмінними, визначити середнє значення константи швидкості розчинення саліцилової кислоти у воді k (хв^{-1}).

Речовина	$t, ^\circ\text{C}$	Час розчинення τ , хв	V $\text{Ba}(\text{OH})_2$, мл	C $\text{Ba}(\text{OH})_2$, моль/дм ³	$C_{\text{кисл.}}$, моль/дм ³	k_t , хв^{-1}	$k_{\text{сер.}}$, хв^{-1}
Саліцилова кислота	17	10	5,8	0,02			
		15	7,9				
		20	9,3				
		30	15,8				
		45	24,4				

Лабораторна робота № 12

За даними часу протікання реакції (для розрахунків беруть середній час трьох повторних дослідів $\tau_{\text{сер}}$), визначити порядок реакції по кожному компоненту реакції та загальний порядок реакції. Зробити висновок, чи виявляється вказана реакція за механізмом протікання простою реакцією, чи ні.

№ досліду	№ склянки	Об'єм реагентів, мл					Час перебігу реакції τ , с			$\tau_{\text{сер.}}$, с	Порядок реакції n		
		FeCl ₃	KI	Na ₂ S ₂ O ₃	крохмаль	H ₂ O	1	2	3		$n(\text{FeCl}_3)$	$n(\text{KI})$	$n_{\text{заг.}}$
1	1	20					7	8	8				
	2		20	10	10								
2	1	10				10	13	16	15				
	2		20	10	10								
3	1	20					26	25	27				
	2		10	10	10	10							

Контрольні питання до роботи 11/12/22

- Сформулюйте основні принципи хімічної кінетики складних реакцій.
- Запишіть вираз для константи швидкості газофазних реакцій типу: $A \rightarrow B + C$ і $A \rightarrow B + C + D$ через величини початкового P_0 і загального P тиску газу в системі.
- Які чинники впливають на порядок реакції взаємодії FeCl₃ з KI? Чи може порядок змінитися під час перебігу реакції?

ВАРІАНТ 23

Лабораторна робота № 11

На підставі отриманих експериментальних даних титрування саліцилової кислоти, допускаючи, що товщина поверхневого шару δ і площа поверхні саліцилової кислоти в цих умовах лишилися незмінними, визначити середнє значення константи швидкості розчинення саліцилової кислоти у воді k (хв⁻¹).

Речовина	$t, ^\circ\text{C}$	Час розчинення τ , хв	V Ba(OH) ₂ , мл	C Ba(OH) ₂ , моль/дм ³	$C_{\text{кисл.}}$, моль/дм ³	k_t , хв ⁻¹	$k_{\text{сер.}}$, хв ⁻¹
Бензойна кислота	27	10	5,8	0,07			
		15	7,9				
		20	11,3				
		30	15,8				
		45	24,4				

Лабораторна робота № 12

За даними часу протікання реакції (для розрахунків беруть середній час трьох повторних дослідів $\tau_{\text{сер}}$). визначити порядок реакції по кожному компоненту реакції та загальний порядок реакції. Зробити висновок, чи виявляється вказана реакція за механізмом протікання простою реакцією, чи ні.

№ досліду	№ склянки	Об'єм реагентів, мл					Час перебігу реакції τ , с			$\tau_{\text{сер.}}$, с	Порядок реакції n		
		FeCl ₃	KI	Na ₂ S ₂ O ₃	крохмаль	H ₂ O	1	2	3		$n(\text{FeCl}_3)$	$n(\text{KI})$	$n_{\text{заг.}}$
1	1	20					9	8	7				
	2		20	10	10								
2	1	10				10	17	16	17				
	2		20	10	10								
3	1	20					29	25	28				
	2		10	10	10	10							

Контрольні питання до роботи 11/12/23

1. Запишіть рівняння Щукарева для розрахунку константи швидкості розчинення твердої органічної кислоти у воді. Як визначається концентрація кислоти в будь-який момент часу?
2. За яких умов для реакцій першого і другого порядків концентрація продукту буде лінійно змінюватись з часом?
3. Визначити енергію активації реакції, для якої при підвищенні температури від 295 до 305 К швидкість реакції потроєється?

ВАРІАНТ 24

Лабораторна робота № 11

На підставі отриманих експериментальних даних титрування саліцилової кислоти, допускаючи, що товщина поверхневого шару δ і площа поверхні саліцилової кислоти в цих умовах лишалися незмінними, визначити середнє значення константи швидкості розчинення саліцилової кислоти у воді k (хв⁻¹).

Речовина	$t, ^\circ\text{C}$	Час розчинення τ , хв	V Ba(OH) ₂ , мл	C Ba(OH) ₂ , моль/дм ³	$C_{\text{кисл.}}$, моль/дм ³	k_t , хв ⁻¹	$k_{\text{сер.}}$, хв ⁻¹
Бензойна кислота	19	10	8,8	0,03			
		15	10,9				
		20	17,1				
		30	22,8				
		45	34,4				

Лабораторна робота № 12

За даними часу протікання реакції (для розрахунків беруть середній час трьох повторних дослідів $\tau_{\text{сер.}}$). визначити порядок реакції по кожному компоненту реакції та загальний порядок реакції. Зробити висновок, чи виявляється вказана реакція за механізмом протікання простою реакцією, чи ні.

№ досліду	№ склянки	Об'єм реагентів, мл					Час перебігу реакції τ , с			$\tau_{\text{сер.}}$, с	Порядок реакції n		
		FeCl ₃	KI	Na ₂ S ₂ O ₃	крохмаль	H ₂ O	1	2	3		$n(\text{FeCl}_3)$	$n(\text{KI})$	$n_{\text{заг.}}$
1	1	20					9	10	11				
	2		20	10	10								
2	1	10				10	19	21	20				
	2		20	10	10								
3	1	20					32	34	36				
	2		10	10	10	10							

Контрольні питання до роботи 11/12/24

1. Запишіть стехіометричне рівняння реакції в роботі №12, для якої необхідно визначити порядок. Охарактеризуйте цю реакцію.
2. Коефіцієнт самодифузії бензолу при $T_1 = 298 \text{ K}$ дорівнює $2,15 \cdot 10^{-5}$, а при $T_2 = 318 \text{ K}$ – $2,67 \cdot 10^{-3} \text{ см}^2/\text{с}$. Чому дорівнює коефіцієнти самодифузії бензолу при $T_3 = 328 \text{ K}$?
3. Дайте характеристику аналітичної і графічної форм методу підстановки для визначення порядку реакції. Яким чином за допомогою цього методу можна визначити константу швидкості реакції?

ВАРІАНТ 25

Лабораторна робота № 11

На підставі отриманих експериментальних даних титрування саліцилової кислоти, допускаючи, що товщина поверхневого шару δ і площа поверхні саліцилової кислоти в цих умовах лишалися незмінними, визначити середнє значення константи швидкості розчинення саліцилової кислоти у воді k (хв^{-1}).

Речовина	$t, ^\circ\text{C}$	Час розчинення τ , хв	V Ва(ОН) ₂ , мл	C Ва(ОН) ₂ , моль/дм ³	$C_{\text{кисл.}}$, моль/дм ³	k_t , хв ⁻¹	$k_{\text{ср.}}$, хв ⁻¹
Бензойна кислота	24	10	9,8	0,03			
		15	15,9				
		20	19,1				
		30	28,8				
		45	41,4				

Лабораторна робота № 12

За даними часу протікання реакції (для розрахунків беруть середній час трьох повторних дослідів $\tau_{\text{ср.}}$). визначити порядок реакції по кожному компоненту реакції та загальний порядок реакції. Зробити висновок, чи виявляється вказана реакція за механізмом протікання простою реакцією, чи ні.

№ досліду	№ склянки	Об'єм реагентів, мл					Час перебігу реакції τ , с			$\tau_{\text{ср.}}$, с	Порядок реакції n		
		FeCl ₃	KI	Na ₂ S ₂ O ₃	крохмаль	H ₂ O	1	2	3		$n(\text{FeCl}_3)$	$n(\text{KI})$	$n_{\text{заг.}}$
1	1	20					12	13	14				
	2		20	10	10								
2	1	10				10	26	28	29				
	2		20	10	10								
3	1	20					42	44	46				
	2		10	10	10	10							

Контрольні питання до роботи 11/12/25

1. Що означають терміни «дифузійна», «кінетична» і «змішана області» в кінетиці гетерогенних реакцій? Як визначити, в якій області протікає ця реакція?
2. Чи буде залежати константа швидкості розчинення від часу контакту кислоти з водою?
3. За яких умов реакція першого порядку стає реакцією нульового порядку?

ВАРІАНТ 26

Лабораторна робота № 11

На підставі отриманих експериментальних даних титрування саліцилової кислоти, допускаючи, що товщина поверхневого шару δ і площа поверхні саліцилової кислоти в цих умовах лишалися незмінними, визначити середнє значення константи швидкості розчинення саліцилової кислоти у воді k (хв^{-1}).

Речовина	$t, ^\circ\text{C}$	Час розчинення τ , хв	V Ва(ОН) ₂ , мл	C Ва(ОН) ₂ , моль/дм ³	$C_{\text{кисл.}}$, моль/дм ³	k_t , хв ⁻¹	$k_{\text{сер.}}$, хв ⁻¹
Саліцилова кислота	22	10	4,2	0,06			
		15	6,2				
		20	8,4				
		30	12,8				
		45	18,7				

Лабораторна робота № 12

За даними часу протікання реакції (для розрахунків беруть середній час трьох повторних дослідів $\tau_{\text{сер}}$). визначити порядок реакції по кожному компоненту реакції та загальний порядок реакції. Зробити висновок, чи виявляється вказана реакція за механізмом протікання простою реакцією, чи ні.

№ досліду	№ склянки	Об'єм реагентів, мл					Час перебігу реакції τ , с			$\tau_{\text{сер.}}$, с	Порядок реакції n		
		FeCl ₃	KI	Na ₂ S ₂ O ₃	крохмаль	H ₂ O	1	2	3		$n(\text{FeCl}_3)$	$n(\text{KI})$	$n_{\text{заг.}}$
1	1	20					11	13	12				
	2		20	10	10								
2	1	10				10	21	24	22				
	2		20	10	10								
3	1	20					42	44	41				
	2		10	10	10	10							

Контрольні питання до роботи 11/12/26

1. Як впливає середовище, в якому протікає хімічна реакція, на константу швидкості хімічної реакції?
2. Дайте визначення поняттю «дифузійний шар». Від чого залежить товщина дифузійного шару та яким чином вона впливає на швидкість розчинення твердої кислоти у воді?
3. Чому при різних співвідношеннях концентрацій реагентів при титруванні в роботі №12 додається однаковий об'єм гіпосульфїту?

ВАРІАНТ 27

Лабораторна робота № 11

На підставі отриманих експериментальних даних титрування саліцилової кислоти, допускаючи, що товщина поверхневого шару δ і площа поверхні саліцилової кислоти в цих умовах лишалися незмінними, визначити середнє значення константи швидкості розчинення саліцилової кислоти у воді k (хв⁻¹).

Речовина	$t, ^\circ\text{C}$	Час розчинення τ , хв	V Ва(ОН) ₂ , мл	C Ва(ОН) ₂ , моль/дм ³	$C_{\text{кисл.}}$, моль/дм ³	k_t , хв ⁻¹	$k_{\text{сер.}}$, хв ⁻¹
Саліцилова кислота	24	10	6,2	0,02			
		15	9,2				
		20	12,4				
		30	18,8				
		45	25,7				

Лабораторна робота № 12

За даними часу протікання реакції (для розрахунків беруть середній час трьох повторних дослідів $\tau_{\text{сер}}$). визначити порядок реакції по кожному компоненту реакції та загальний порядок реакції. Зробити висновок, чи виявляється вказана реакція за механізмом протікання простою реакцією, чи ні.

№ досліду	№ склянки	Об'єм реагентів, мл					Час перебігу реакції τ , с			$\tau_{\text{сер.}}$ с	Порядок реакції n		
		FeCl ₃	KI	Na ₂ S ₂ O ₃	крохмаль	H ₂ O	1	2	3		$n(\text{FeCl}_3)$	$n(\text{KI})$	$n_{\text{заг.}}$
1	1	20					9	11	10				
	2		20	10	10								
2	1	10				10	17	19	20				
	2		20	10	10								
3	1	20					36	34	35				
	2		10	10	10	10							

Контрольні питання до роботи 11/12/27

1. Як залежить від вихідних концентрацій реагуючих речовин період напіврозкладу для реакцій другого порядку?
2. Механізм яких реакцій описується стехіометричним рівнянням? Відповідь обґрунтуйте.
3. З яких стадій складається процес розчинення твердої органічної кислоти у воді? Яка стадія є швидкістю визначальною? Чому?

ВАРІАНТ 28

Лабораторна робота № 11

На підставі отриманих експериментальних даних титрування саліцилової кислоти, допускаючи, що товщина поверхневого шару δ і площа поверхні саліцилової кислоти в цих умовах лишилися незмінними, визначити середнє значення константи швидкості розчинення саліцилової кислоти у воді k (хв⁻¹).

Речовина	$t, ^\circ\text{C}$	Час розчинення τ , хв	V Ba(OH) ₂ , мл	C Ba(OH) ₂ , моль/дм ³	$C_{\text{кисл.}}$, моль/дм ³	k_t , хв ⁻¹	$k_{\text{сер.}}$, хв ⁻¹
Саліцилова кислота	23	10	3,2	0,04			
		15	5,1				
		20	6,6				
		30	9,2				
		45	13,7				

Лабораторна робота № 12

За даними часу протікання реакції (для розрахунків беруть середній час трьох повторних дослідів $\tau_{\text{сер.}}$). визначити порядок реакції по кожному компоненту реакції та загальний порядок реакції. Зробити висновок, чи виявляється вказана реакція за механізмом протікання простою реакцією, чи ні.

№ досліду	№ склянки	Об'єм реагентів, мл					Час перебігу реакції τ , с			$\tau_{\text{сер.}}$, с	Порядок реакції n		
		FeCl ₃	KI	Na ₂ S ₂ O ₃	крохмаль	H ₂ O	1	2	3		$n(\text{FeCl}_3)$	$n(\text{KI})$	$n_{\text{заг.}}$
1	1	20					9	8	8				
	2		20	10	10								
2	1	10				10	17	16	14				
	2		20	10	10								
3	1	20					36	34	35				
	2		10	10	10	10							

Контрольні питання до роботи 11/12/28

1. Чи має розмірність і яку константа швидкості реакції?
2. Чи можна при визначенні порядку реакції методом Вант-Гоффа змінювати кількість гіпосульфиту натрію в кожному із трьох експериментів?
3. Надати графік залежності швидкості дифузії і швидкості хімічної реакції від температури для гетерогенної реакції і вказати, в якому інтервалі температур реакція протікає в дифузійній області, а в якому – в кінетичній.

ВАРІАНТ 29

Лабораторна робота № 11

На підставі отриманих експериментальних даних титрування саліцилової кислоти, допускаючи, що товщина поверхневого шару δ і площа поверхні саліцилової кислоти в цих умовах лишалися незмінними, визначити середнє значення константи швидкості розчинення саліцилової кислоти у воді k (хв⁻¹).

Речовина	$t, ^\circ\text{C}$	Час розчинення τ , хв	V Ва(ОН) ₂ , мл	C Ва(ОН) ₂ , моль/дм ³	$C_{\text{кисл.}}$, моль/дм ³	k_t , хв ⁻¹	$k_{\text{сер.}}$, хв ⁻¹
Бензойна кислота	25	10	7,1	0,щ4			
		15	9,2				
		20	14,3				
		30	19,4				
		45	28,3				

Лабораторна робота № 12

За даними часу протікання реакції (для розрахунків беруть середній час трьох повторних дослідів $\tau_{\text{сер}}$). визначити порядок реакції по кожному компоненту реакції та загальний порядок реакції. Зробити висновок, чи виявляється вказана реакція за механізмом протікання простою реакцією, чи ні.

№ досліду	№ склянки	Об'єм реагентів, мл					Час перебігу реакції τ , с			$\tau_{\text{сер.}}$, с	Порядок реакції n		
		FeCl ₃	KI	Na ₂ S ₂ O ₃	крохмаль	H ₂ O	1	2	3		$n(\text{FeCl}_3)$	$n(\text{KI})$	$n_{\text{заг.}}$
1	1	20					7	6	8				
	2		20	10	10								
2	1	10				10	13	12	14				
	2		20	10	10								
3	1	20					25	28	26				
	2		10	10	10	10							

Контрольні питання до роботи 11/12/29

1. Чи може швидкість реакції бути від'ємною величиною? Що означає запис: $W = -dc/dt$ для реакції $A \rightarrow B$?
2. Поясніть, чому при визначенні порядку реакції методом Вант-Гоффа у всіх трьох експериментах час досягнення однакового виходу по йоду буде різним?
3. При яких умовах для необоротних реакцій першого й другого порядків концентрація продукту лінійно змінюється з часом?

ВАРІАНТ 30

Лабораторна робота № 11

На підставі отриманих експериментальних даних титрування саліцилової кислоти, допускаючи, що товщина поверхневого шару δ і площа поверхні саліцилової кислоти в цих умовах лишалися незмінними, визначити середнє значення константи швидкості розчинення саліцилової кислоти у воді k (хв⁻¹).

Речовина	$t, ^\circ\text{C}$	Час розчинення τ , хв	V Ва(ОН) ₂ , мл	C Ва(ОН) ₂ , моль/дм ³	$C_{\text{кисл.}}$, моль/дм ³	k_t , хв ⁻¹	$k_{\text{сєр.}}$, хв ⁻¹
Бензойна кислота	21	10	8,2	0,03			
		15	11,1				
		20	16,1				
		30	23,2				
		45	33,7				

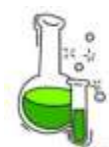
Лабораторна робота № 12

За даними часу протікання реакції (для розрахунків беруть середній час трьох повторних дослідів $\tau_{\text{сєр.}}$). визначити порядок реакції по кожному компоненту реакції та загальний порядок реакції. Зробити висновок, чи виявляється вказана реакція за механізмом протікання простою реакцією, чи ні.

№ досліду	№ склянки	Об'єм реагентів, мл					Час перебігу реакції τ , с			$\tau_{\text{сер.}}$, с	Порядок реакції n		
		FeCl ₃	KI	Na ₂ S ₂ O ₃	крохмаль	H ₂ O	1	2	3		$n(\text{FeCl}_3)$	$n(\text{KI})$	$n_{\text{заг.}}$
1	1	20					7	6	5				
	2		20	10	10								
2	1	10				10	13	12	11				
	2		20	10	10								
3	1	20					21	23	22				
	2		10	10	10	10							

Контрольні питання до роботи 11/12/30

1. За яких умов проведення експерименту для визначення порядку реакції розчинення твердої органічної кислоти можна застосовувати кінетичне рівняння, що за формою відповідає рівнянню реакції першого порядку? Чи залежить швидкість розчинення твердої кислоти у воді від швидкості перемішування?
2. Визначити енергію активації реакції, для якої при підвищенні температури від 295 до 305 К швидкість реакції подвоюється?
3. Яким чином визначається час однакового виходу по йоду в роботі №12?



ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 19
**ВИЗНАЧЕННЯ КОНСТАНТИ ШВИДКОСТІ РЕАКЦІЇ
ЙОДУВАННЯ АЦЕТОНУ**

Мета роботи: визначення середнього значення константи швидкості реакції йодування ацетону у кислому середовищі і енергії активації цієї реакції.

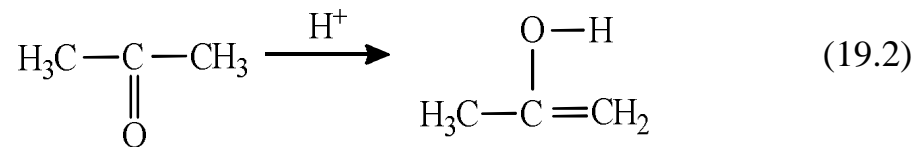
Теоретичні відомості

Реакція йодування ацетону у кислому середовищі, як то видно з рівняння реакції, є автокаталітичною, тобто вона репродуцирує іони водню, які і є каталізаторами:

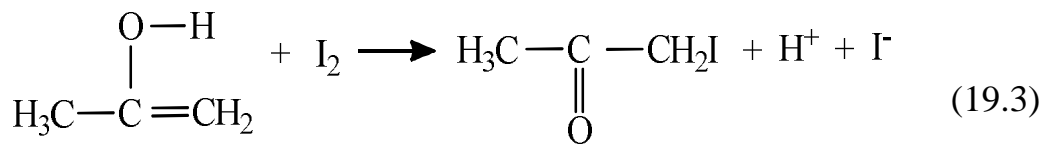


Іншою важливою особливістю вивчаємої реакції є її багатостадійність. Спостерігають дві стадії:

1. Кето-енольна таутомерія:



Взаємодія енольної форми з йодом



Перша реакція протікає відносно повільно, а друга – швидко і практично до кінця. Швидкість реакції в цілому визначається швидкістю повільної стадії (таутомірним перетворенням ацетону) і відповідно до закону дії мас пропорційна концентраціям ацетону і іонів водню, тобто визначається кінетичним рівнянням реакцій другого порядку:

$$-\frac{dc}{d\tau} = kc_{\text{ац}}c_{\text{H}^+}, \quad (19.4)$$

де $-\frac{dc}{d\tau}$ – швидкість реакції; k – константа швидкості; c_{ac} і c_{H^+} – концентрації ацетону і протону, відповідно.

Оскільки в ході реакції концентрація ацетону зменшується, а концентрація протонів збільшується на однакову величину, то кінетичне рівняння (19.4) можна записати у вигляді:

$$-\frac{dc}{d\tau} = k(c_{ac}^0 - c_x)(c_{H^+}^0 + c_x), \quad (19.5)$$

де c_{ac}^0 і $c_{H^+}^0$ – початкові концентрації ацетону і протону, відповідно; c_x – концентрація ацетону, що прореагував за час τ , або концентрація протонів, що утворилися за той же час.

Інтегруючи рівняння (19.5) у межах від $\tau=0$ до τ та від $c_x = 0$ до c_x , одержимо:

$$k = \frac{1}{\tau(c_{ac}^0 + c_{H^+}^0)} \ln \frac{c_{H^+}^0(c_{H^+}^0 + c_x)}{c_{H^+}^0(c_{ac}^0 - c_x)}. \quad (19.6)$$

Таким чином, для визначення константи швидкості реакції йодування ацетону необхідно знати початкові концентрації ацетону і протону та експериментально знайти величину c_x у задані інтервали часу.

Величину енергії активації знаходять за рівнянням Арреніуса:

$$\frac{d \ln k}{dT} = \frac{E_{акт}}{RT^2}, \quad (19.7)$$

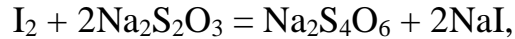
де $E_{акт}$ – енергія активації; R – універсальна газова стала; T – температура.

Інтегруючи рівняння (19.7) у межах від T_1 до T_2 та від k_{T_1} до k_{T_2} , одержимо:

$$E_{акт} = \frac{RT_1T_2}{T_2 - T_1} \ln \frac{k_{T_2}}{k_{T_1}}. \quad (19.8)$$

Порядок виконання роботи

У мірну колбу на 250 мл наливають 25 мл 1М розчину соляної кислоти, 25 мл 0,1 М розчину I_2 в КІ і доливають дистильовану воду з таким розрахунком, щоб до позначки залишалось 20 – 25 мл. Колбу вміщують у термостат, температура якого зазначена викладачем. Через 10 –15 хв у колбу за допомогою піпетки вводять 2 мл ацетону і вміст колби доводять до позначки дистильованою водою з температурою термостата. Суміш ретельно перемішують (збовтують) і відразу ж відбирають сухою піпеткою першу пробу (25 мл) для аналізу. Цю пробу виливають у підготовлений заздалегідь конус, який містить 25 мл 0,1 М розчину бікарбонату натрію. Час відбору проби приймають за час початку реакції ($\tau = 0$). Втрата кількох хвилин на перемішування не грає суттєвої ролі, тому що спочатку реакція йде дуже повільно. Колбу закривають пробкою і знову вміщують у термостат. Кількість йоду визначають титруванням розчином гіпосульфїту натрію згідно з реакцією:



в результаті якої утворюється тетраіонат натрію – безбарвна речовина.

Титрування проводять до одержання розчину світло-жовтого кольору, після чого до нього додають крохмаль і продовжують титрування до повного обезбарвлення.

За ходом реакції спостерігають шляхом відбору і аналізу проб реакційної суміші через означені викладачем інтервали часу.

Результати дослідів заносять у табл.5.

Таблиця 5

Температура досліду	Астрономічний час	τ , хв	Об'єм гіпосульфїту, мл	$c_{a_2}^0$	$c_{H^+}^0$	c_x	$c_{H^+}^0 + c_x$	$c_{a_2}^0 - c_x$	k
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Величину c_x визначають за рівнянням:

$$c_x = \frac{(V_0 - V_\tau)}{2 \cdot 25} \cdot c_{zin}, \quad (19.9)$$

де V_0 і V_τ – число мл розчину гіпосульфїту натрію, витраченого на титрування першої та даної проби, відповідно; c_{zin} – концентрація розчину гіпосульфїту натрію.

Ділимо на 2, оскільки за рівнянням реакції з 1 молям I_2 реагують 2 моля $Na_2S_2O_3$. Початкові концентрації іонів водню і ацетону визначаються за формулами:

$$c_{H^+}^0 = \frac{c_{HCl}^0 \cdot 25}{250}; \quad (19.10)$$

$$c_{acc}^0 = \frac{g_{acc} \cdot 1000}{M_{acc} \cdot 250}, \quad (19.11)$$

де g_{acc} – наважка ацетону, яка введена у мірну колбу; M_{acc} – молекулярна маса ацетону.

$$g_{acc} = V_{acc} \rho_{acc}, \quad (19.12)$$

де V_{acc} – об'єм введеного ацетону;

ρ_{acc} – густина ацетону при кімнатній температурі (при якій його відбирали перед вводом у мірну колбу), яка обчислюється за формулою:

$$\rho_{acc} = 0,81248 + 1,1142 \cdot 10^{-3}(273 - T) + 0,315 \cdot 10^{-6}(273 - T)^2, \quad (19.13)$$

де T – температура, при якій відбиралася проба.

Підставляючи у рівняння (19.6) значення c_{acc}^0 , $c_{H^+}^0$, c_x і τ , обчислюють константи швидкості k при різних концентраціях реагентів і вносять їх у табл.19.1, після чого розраховують середнє значення константи швидкості.

Для визначення енергії активації за рівнянням (19.8) користуються середнім значенням константи швидкості, визначеної студентами тієї ж групи, але при іншій температурі.

Контрольні питання

1. Напишіть рівняння реакції йодування ацетону в кислому середовищі і вкажіть кінетичні особливості цієї реакції.
2. Опишіть методику приготування реакційної суміші і вкажіть, як визначаються початкові концентрації реагентів.
3. Напишіть кінетичне рівняння реакції йодування ацетону і перерахуйте фактори, які впливають на швидкість цієї реакції.
4. Чому досліджувану реакцію відносять до складних реакцій?
5. Які процеси відносять до автокатолітичних, і чому дана реакція є автокатолітичною?
6. З якою метою константу швидкості визначають при двох температурах? Як обчислюють енергію активації?
7. Яку роль в досліджуваній реакції грає HCl? Чи впливає її концентрація на константу швидкості?
8. Поясніть необхідність термостатування суміші при проведенні роботи.
9. Чому проби для титрування відбирають через різні інтервали часу в залежності від температури проведення реакції?
10. Чому проба, відібрана для титрування, виливається в розчин бікарбонату натрію?
11. Як визначають концентрації реагуючих речовин в різні моменти часу?
12. Який індикатор використовують при титруванні, і як здійснюють титрування?



**БАГАТОВАІАНТНІ ЗАВДАННЯ
ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ № 19**

ВАРІАНТ 1

Використовуючи експериментальні дані, визначити:

1. Константу швидкості реакції $k_{сер}$, $(хв)^{-1}$ при заданій температурі;
2. Енергію активації E , кДж/моль даної реакції.

T , К	τ , хв	$V_{гип}$, мл	$c_{гип}$, М	$c_{ац}^0$	c_{H+}^0	c_x	$c_{H++}^0 - c_x$	$c_{ац}^0 - c_x$	k , $(хв \cdot М)^{-1}$	$k_{сер}$ $(хв \cdot М)^{-1}$
291	0	19,5	0,01							
	15	19								
	35	18,5								
	55	17,5								
	75	17,2								
313										$6,7 \cdot 10^{-3}$

Контрольні питання до роботи 19/01.

1. Як розраховується концентрація c_x у рівнянні для константи швидкості реакції?
2. Які методи визначення порядку реакції вам відомі, і на чому вони базуються?
3. У якому випадку константа швидкості реакції пов'язана із середньою тривалістю життя молекул?

ВАРІАНТ 2

Використовуючи експериментальні дані, визначити:

1. Константу швидкості реакції $k_{сер}$, $(хв)^{-1}$ при заданій температурі;
2. Енергію активації E , кДж/моль даної реакції.

T , К	τ , хв	$V_{гип}$, мл	$c_{гип}$, М	$c_{ац}^0$	c_{H+}^0	c_x	$c_{H++}^0 - c_x$	$c_{ац}^0 - c_x$	k , $(хв \cdot М)^{-1}$	$k_{сер}$ $(хв \cdot М)^{-1}$
286	0	18,2	0,01							
	20	17,7								
	40	17,2								
	60	16,7								
	80	16,2								
313										$6,7 \cdot 10^{-3}$

Контрольні питання до роботи 19/02.

1. Сформулюйте закон діючих мас і запишіть його для реакцій першого, другого, третього порядків.
2. Який індикатор використовується при титруванні проби? Коли він вводиться?
3. Дайте визначення поняттю «порядок реакції».

ВАРІАНТ 3

Використовуючи експериментальні дані, визначити:

1. Константу швидкості реакції $k_{сер}$, $(хв)^{-1}$ при заданій температурі;
2. Енергію активації E , кДж/моль даної реакції.

T , К	τ , хв	$V_{гип}$, мл	$c_{гип}$, М	$c_{ац}^0$	$c_{H^+}^0$	c_x	$c_{H^++c_x}^0$	$c_{ац-c_x}^0$	k , $(хв \cdot М)^{-1}$	$k_{сер}$ $(хв \cdot М)^{-1}$
293	0	19,2	0,01							
	15	18,1								
	35	16,5								
	55	15,6								
	75	13,9								
313										$6,7 \cdot 10^{-3}$

Контрольні питання до роботи 19/03.

1. Яка роль розчину $NaHCO_3$ при експериментальному вивченні кінетики йодування ацетону в цій роботі?
2. У чому полягають основні твердження теорії перехідного стану, що дозволяють вивести рівняння швидкості хімічної реакції?
3. Що називається молекулярністю реакції? Яких значень вона набуває?

ВАРІАНТ 4

Використовуючи експериментальні дані, визначити:

1. Константу швидкості реакції $k_{сер}$, $(хв)^{-1}$ при заданій температурі;
2. Енергію активації E , кДж/моль даної реакції.

T , К	τ , хв	$V_{\text{гін}}$, мл	$c_{\text{гін}}$, М	$c_{\text{ац}}^0$	$c_{\text{H}^+}^0$	c_x	$c_{\text{H}^+ + c_x}^0$	$c_{\text{ац}}^0 - c_x$	k , $(\text{хв} \cdot \text{М})^{-1}$	$k_{\text{сер}}$ $(\text{хв} \cdot \text{М})^{-1}$
313	0	17,2	0,01							
	10	13,3								
	20	10,8								
	30	5,8								
	40	3,9								
288									$8,3 \cdot 10^{-4}$	

Контрольні питання до роботи 19/04.

1. Як припиняють досліджувану реакцію в розглянутий момент часу?
2. З якою метою в цій роботі константа швидкості реакції визначається при двох температурах?
3. Що називається порядком реакції? Яких значень він набуває?

ВАРІАНТ 5

Використовуючи експериментальні дані, визначити:

1. Константу швидкості реакції $k_{\text{сер}}$, $(\text{хв})^{-1}$ при заданій температурі;
2. Енергію активації E , кДж/моль даної реакції.

T , К	τ , хв	$V_{\text{гін}}$, мл	$c_{\text{гін}}$, М	$c_{\text{ац}}^0$	$c_{\text{H}^+}^0$	c_x	$c_{\text{H}^+ + c_x}^0$	$c_{\text{ац}}^0 - c_x$	k , $(\text{хв} \cdot \text{М})^{-1}$	$k_{\text{сер}}$ $(\text{хв} \cdot \text{М})^{-1}$
304	0	18,6	0,01							
	15	15,9								
	25	14,2								
	35	12,9								
	45	10,9								
313									$6,7 \cdot 10^{-3}$	

Контрольні питання до роботи 19/05.

1. Яку роль в досліджуваній реакції грає HCl ? Чи впливає її концентрація на константу швидкості?
2. Напишіть кінетичне рівняння реакції йодування ацетону і перерахуйте фактори, які впливають на швидкість цієї реакції.
3. При одній і тій же концентрації реагуючих речовин швидкість реакції при $T_1 = 303 \text{ K}$ вдвічі менше, ніж при $T_2 = 293 \text{ K}$. Обчислити величину похідної $d \ln k / dT$ при $T_3 = 300 \text{ K}$.

ВАРІАНТ 6

Використовуючи експериментальні дані, визначити:

1. Константу швидкості реакції $k_{сер}$, $(хв)^{-1}$ при заданій температурі;
2. Енергію активації E , кДж/моль даної реакції.

T , К	τ , хв	$V_{гип}$, мл	$c_{гип}$, М	$c_{ац}^0$	$c_{H^+}^0$	c_x	$c_{H^+ + c_x}^0$	$c_{ац - c_x}^0$	k , $(хв \cdot М)^{-1}$	$k_{сер}$ $(хв \cdot М)^{-1}$
287	0	18,6	0,01							
	20	17,8								
	40	16,7								
	60	16,2								
	80	15,4								
313										$6,7 \cdot 10^{-3}$

Контрольні питання до роботи 19/06.

1. Чому досліджувана реакція в даній роботі належить до числа складних реакцій? Відповідь обґрунтуйте.
2. Як визначають зміну концентрації ацетону по мірі перебігу реакції?
3. Через які проміжки часу відбираються проби для титрування? Чому відбір проб при різних температурах роблять через різні проміжки часу?

ВАРІАНТ 7

Використовуючи експериментальні дані, визначити:

1. Константу швидкості реакції $k_{сер}$, $(хв)^{-1}$ при заданій температурі;
2. Енергію активації E , кДж/моль даної реакції.

T , К	τ , хв	$V_{гип}$, мл	$c_{гип}$, М	$c_{ац}^0$	$c_{H^+}^0$	c_x	$c_{H^+ + c_x}^0$	$c_{ац - c_x}^0$	k , $(хв \cdot М)^{-1}$	$k_{сер}$ $(хв \cdot М)^{-1}$
290	0	19,7	0,01							
	20	18,8								
	40	17,7								
	60	16,2								
	75	15,1								
313										$6,7 \cdot 10^{-3}$

Контрольні питання до роботи 19/07.

1. У чому полягає фізичний смисл швидкості й константи швидкості хімічної реакції? Дайте порівняльну характеристику цим поняттям.
2. Охарактеризуйте явище каталізу на прикладі досліджуваної реакції. Які види каталізу вам відомі? У чому їхні особливості?
3. Чому при розрахунку константи швидкості йодування ацетону використовується концентрація іонів водню?

ВАРІАНТ 8

Використовуючи експериментальні дані, визначити:

1. Константу швидкості реакції $k_{сер}$, $(хв)^{-1}$ при заданій температурі;
2. Енергію активації E , кДж/моль даної реакції.

T , К	τ , хв	$V_{гип}$, мл	$c_{гип}$, М	$c_{ац}^0$	$c_{H^+}^0$	c_x	$c_{H^+}^0 - c_x$	$c_{ац}^0 - c_x$	k , $(хв \cdot М)^{-1}$	$k_{сер}$ $(хв \cdot М)^{-1}$
307	0	18,7	0,01							
	15	15,1								
	25	13,7								
	35	11,2								
	45	9,1								
313										$6,7 \cdot 10^{-3}$

Контрольні питання до роботи 19/08.

1. Який механізм протікання досліджуваної реакції в кислому середовищі?
2. Напишіть вираз для константи швидкості досліджуваної реакції.
3. Який фізичний смисл константи швидкості хімічної реакції. Перелічте фактори, що впливають на неї.

ВАРІАНТ 9

Використовуючи експериментальні дані, визначити:

1. Константу швидкості реакції $k_{сер}$, $(хв)^{-1}$ при заданій температурі;
2. Енергію активації E , кДж/моль даної реакції.

T , К	τ , хв	$V_{\text{гип}}$, мл	$c_{\text{гип}}$, М	$c_{\text{ац}}^0$	$c_{\text{H}^+}^0$	c_x	$c_{\text{H}^+ + c_x}^0$	$c_{\text{ац}}^0 - c_x$	k , $(\text{хв} \cdot \text{М})^{-1}$	$k_{\text{сер}}$ $(\text{хв} \cdot \text{М})^{-1}$
288	0	21,7	0,01							
	20	20,7								
	40	20,2								
	60	18,8								
	80	18,1								
313									$6,7 \cdot 10^{-3}$	

Контрольні питання до роботи 19/09.

1. Як розраховується c_0 ацетону?
2. Напишіть закон діючих мас і рівняння для константи швидкості досліджуваної реакції.
3. Яку функцію у досліджуваній реакції відіграє HCl?

ВАРІАНТ 10

Використовуючи експериментальні дані, визначити:

1. Константу швидкості реакції $k_{\text{сер}}$, $(\text{хв})^{-1}$ при заданій температурі;
2. Енергію активації E , кДж/моль даної реакції.

T , К	τ , хв	$V_{\text{гип}}$, мл	$c_{\text{гип}}$, М	$c_{\text{ац}}^0$	$c_{\text{H}^+}^0$	c_x	$c_{\text{H}^+ + c_x}^0$	$c_{\text{ац}}^0 - c_x$	k , $(\text{хв} \cdot \text{М})^{-1}$	$k_{\text{сер}}$ $(\text{хв} \cdot \text{М})^{-1}$
295	0	20,3	0,01							
	15	19,1								
	35	17,1								
	55	16,2								
	75	14,8								
313									$6,7 \cdot 10^{-3}$	

Контрольні питання до роботи 19/10.

1. Що називається істинною й середньою швидкістю хімічної реакції? Від яких факторів залежить швидкість реакції і який вона має знак?
2. Чи залежить швидкість йодування ацетону від концентрації йоду? Відповідь аргументуйте.
3. Сформулюйте основний постулат хімічної кінетики. Напишіть кінетичні рівняння реакції другого порядку для випадку рівних концентрацій реагуючих речовин.

ВАРІАНТ 11

Використовуючи експериментальні дані, визначити:

1. Константу швидкості реакції $k_{сер}$, $(хв)^{-1}$ при заданій температурі;
2. Енергію активації E , кДж/моль даної реакції.

Т, К	τ , хв	$V_{гип}$, мл	$c_{гип}$, М	$c_{ац}^0$	$c_{H^+}^0$	c_x	$c_{H^+ + c_x}^0$	$c_{ац - c_x}^0$	k , $(хв \cdot М)^{-1}$	$k_{сер}$ $(хв \cdot М)^{-1}$
310	0	20,1	0,01							
	10	17,3								
	20	14,1								
	40	8,4								
	60	3,5								
299										$2,2 \cdot 10^{-3}$

Контрольні питання до роботи 19/11.

1. Яким методом вивчається кінетика йодування ацетону? Обґрунтуйте вибір методу дослідження, що використовується.
2. Що називається молекулярністю і порядком реакції? Дайте порівняльну характеристику цим поняттям. Чи можливі випадки збігу цих характеристик?
3. Яку функцію у досліджуваній реакції виконує кислота HCl? Чи впливає її концентрація на швидкість і константу швидкості реакції?

ВАРІАНТ 12

Використовуючи експериментальні дані, визначити:

1. Константу швидкості реакції $k_{сер}$, $(хв)^{-1}$ при заданій температурі;
2. Енергію активації E , кДж/моль даної реакції.

Т, К	τ , хв	$V_{гип}$, мл	$c_{гип}$, М	$c_{ац}^0$	$c_{H^+}^0$	c_x	$c_{H^+ + c_x}^0$	$c_{ац - c_x}^0$	k , $(хв \cdot М)^{-1}$	$k_{сер}$ $(хв \cdot М)^{-1}$
289	0	19,1	0,01							
	15	18,4								
	35	17,3								
	55	16,3								
	75	15,1								
313										$6,7 \cdot 10^{-3}$

Контрольні питання до роботи 19/12.

1. Опишіть методику виконання цієї роботи. За зміною концентрації якого реагенту вивчається кінетика цієї реакції?
2. Напишіть рівняння для константи швидкості реакцій першого та другого порядків. Яка розмірність констант?
3. Які характеристики хімічної реакції підлягають визначенню в цій роботі?

ВАРІАНТ 13

Використовуючи експериментальні дані, визначити:

1. Константу швидкості реакції $k_{сер}$, $(хв)^{-1}$ при заданій температурі;
2. Енергію активації E , кДж/моль даної реакції.

T , К	τ , хв	$V_{гип}$, мл	$c_{гип}$, М	$c_{ац}^0$	$c_{H^+}^0$	c_x	$c_{H^+}^0 + c_x$	$c_{ац}^0 - c_x$	k , $(хв \cdot М)^{-1}$	$k_{сер}$ $(хв \cdot М)^{-1}$
312	0	17,7	0,01							
	15	12,7								
	25	9,2								
	35	6,8								
	45	3,1								
299										$2,2 \cdot 10^{-3}$

Контрольні питання до роботи 19/13.

1. Як у цій роботі розраховується енергія активації?
2. Напишіть стехіометричне рівняння досліджуваної реакції та охарактеризуйте її.
3. Чому визначення константи швидкості реакції при кожній температурі необхідно робити кілька разів?

ВАРІАНТ 14

Використовуючи експериментальні дані, визначити:

1. Константу швидкості реакції $k_{сер}$, $(хв)^{-1}$ при заданій температурі;
2. Енергію активації E , кДж/моль даної реакції.

T , К	τ , хв	$V_{\text{гип}}$, мл	$c_{\text{гип}}$, М	$c_{\text{ац}}^0$	$c_{\text{H}^+}^0$	c_x	$c_{\text{H}^+ + c_x}^0$	$c_{\text{ац}}^0 - c_x$	k , $(\text{хв} \cdot \text{М})^{-1}$	$k_{\text{сер}}$ $(\text{хв} \cdot \text{М})^{-1}$
300	0	19,7	0,01							
	15	17,9								
	25	16,7								
	35	14,8								
	55	12,4								
313										$6,7 \cdot 10^{-3}$

Контрольні питання до роботи 19/14.

1. Виходячи з яких положень кінетики визначають швидкість складної хімічної реакції?
2. В чому полягає основний закон кінетики для простих реакцій (закон Гульдберга-Вааге)?
3. Як у цій роботі визначається концентрація I_2 , який не прореагував?

ВАРІАНТ 15

Використовуючи експериментальні дані, визначити:

1. Константу швидкості реакції $k_{\text{сер}}$, $(\text{хв})^{-1}$ при заданій температурі;
2. Енергію активації E , кДж/моль даної реакції.

T , К	τ , хв	$V_{\text{гип}}$, мл	$c_{\text{гип}}$, М	$c_{\text{ац}}^0$	$c_{\text{H}^+}^0$	c_x	$c_{\text{H}^+ + c_x}^0$	$c_{\text{ац}}^0 - c_x$	k , $(\text{хв} \cdot \text{М})^{-1}$	$k_{\text{сер}}$ $(\text{хв} \cdot \text{М})^{-1}$
303	0	21,7	0,01							
	15	18,9								
	25	17,7								
	35	15,8								
	55	14,4								
313										$6,7 \cdot 10^{-3}$

Контрольні питання до роботи 19/15.

1. На підставі аналізу кривої розподілу Максвелла-Больцмана дати якісне пояснення впливу температури та каталізатора на константу швидкості хімічної реакції.
2. Дайте кінетичну характеристику реакції йодування ацетону.
3. Як у цій роботі визначають кількість ацетону, що підлягає йодуванню?

ВАРІАНТ 16

Використовуючи експериментальні дані, визначити:

1. Константу швидкості реакції $k_{сер}$, $(хв)^{-1}$ при заданій температурі;
2. Енергію активації E , кДж/моль даної реакції.

T , К	τ , хв	$V_{гип}$, мл	$c_{гип}$, М	$c_{ац}^0$	c_{H+}^0	c_x	$c_{H+}^0 + c_x$	$c_{ац}^0 - c_x$	k , $(хв \cdot М)^{-1}$	$k_{сер}$ $(хв \cdot М)^{-1}$
306	0	21,7	0,01							
	15	18,2								
	25	16,3								
	35	15								
	55	11,5								
313										$6,7 \cdot 10^{-3}$

Контрольні питання до роботи 19/16.

1. Дайте визначення поняттям «прості» й «складні реакції». Які типи складних реакцій відомі?
2. Чому досліджувана реакція є автокаталітичною?
3. Сформулюйте основний постулат хімічної кінетики. Напишіть кінетичні рівняння реакції другого для випадку різних концентрацій реагуючих речовин.

ВАРІАНТ 17

Використовуючи експериментальні дані, визначити:

1. Константу швидкості реакції $k_{сер}$, $(хв)^{-1}$ при заданій температурі;
2. Енергію активації E , кДж/моль даної реакції.

T , К	τ , хв	$V_{гип}$, мл	$c_{гип}$, М	$c_{ац}^0$	c_{H+}^0	c_x	$c_{H+}^0 + c_x$	$c_{ац}^0 - c_x$	k , $(хв \cdot М)^{-1}$	$k_{сер}$ $(хв \cdot М)^{-1}$
294	0	19,3	0,01							
	15	18,2								
	30	16,4								
	55	15								
	70	13,9								
313										$6,7 \cdot 10^{-3}$

Контрольні питання до роботи 19/17.

1. Що називається порядком хімічної реакції? Який порядок досліджуваної реакції, і як це перевіряється результатами експерименту?
2. Чи можливий відбір паралельних проб у кінетичному експерименті з однієї й тієї ж реакційної суміші?
3. Для чого відібрану для титрування пробу вливають у розчин NaHCO_3 ?

ВАРІАНТ 18

Використовуючи експериментальні дані, визначити:

1. Константу швидкості реакції $k_{\text{сер}}$, $(\text{хв})^{-1}$ при заданій температурі;
2. Енергію активації E , кДж/моль даної реакції.

T , К	τ , хв	$V_{\text{гін}}$, мл	$c_{\text{гін}}$, М	$c_{\text{ац}}^0$	$c_{\text{H}^+}^0$	c_x	$c_{\text{H}^+}^0 + c_x$	$c_{\text{ац}}^0 - c_x$	k , $(\text{хв}\cdot\text{М})^{-1}$	$k_{\text{сер}}$ $(\text{хв}\cdot\text{М})^{-1}$
311	0	19,5	0,01							
	10	16,4								
	20	13,1								
	30	10,3								
	45	6,9								
299										$2,2\cdot 10^{-3}$

Контрольні питання до роботи 19/18.

1. Чи залежить константа швидкості реакції першого, другого й третього порядків від концентрації реагуючих речовин, від об'єму системи, від часу, від температури?
2. Що називається періодом напіврозпаду, і як він залежить від початкової концентрації реагуючих речовин для реакцій першого, другого й третього порядків?
3. Чи залежить константа швидкості реакції від енергії активації реакції, якщо так, то яким чином і чому?

ВАРІАНТ 19

Використовуючи експериментальні дані, визначити:

1. Константу швидкості реакції $k_{\text{сер}}$, $(\text{хв})^{-1}$ при заданій температурі;
2. Енергію активації E , кДж/моль даної реакції.

T , К	τ , хв	$V_{\text{гип}}$, мл	$c_{\text{гип}}$, М	$c_{\text{ац}}^0$	$c_{\text{Н}^+}^0$	c_x	$c_{\text{Н}^+ + c_x}^0$	$c_{\text{ац}}^0 - c_x$	k , $(\text{хв} \cdot \text{М})^{-1}$	$k_{\text{сер}}$ $(\text{хв} \cdot \text{М})^{-1}$
301	0	18,7	0,01							
	10	17,4								
	20	15,8								
	30	14,3								
	45	11,9								
313										$6,7 \cdot 10^{-3}$

Контрольні питання до роботи 19/19.

1. Чому досліджувана реакція в даній роботі належить до числа складних реакцій? Відповідь обґрунтуйте.
2. Що таке енергія активації? Які фактори на неї впливають?
3. Виходячи з яких положень визначають швидкість складної хімічної реакції?

ВАРІАНТ 20

Використовуючи експериментальні дані, визначити:

1. Константу швидкості реакції $k_{\text{сер}}$, $(\text{хв})^{-1}$ при заданій температурі;
2. Енергію активації E , кДж/моль даної реакції.

T , К	τ , хв	$V_{\text{гип}}$, мл	$c_{\text{гип}}$, М	$c_{\text{ац}}^0$	$c_{\text{Н}^+}^0$	c_x	$c_{\text{Н}^+ + c_x}^0$	$c_{\text{ац}}^0 - c_x$	k , $(\text{хв} \cdot \text{М})^{-1}$	$k_{\text{сер}}$ $(\text{хв} \cdot \text{М})^{-1}$
292	0	19,6	0,01							
	10	19								
	20	18,3								
	30	17,6								
	45	16,5								
313										$6,7 \cdot 10^{-3}$

Контрольні питання до роботи 19/20.

1. Які методи визначення порядку реакції вам відомі і на чому вони базуються?
2. Напишіть кінетичне рівняння досліджуваної реакції. Від концентрації яких речовин залежить швидкість реакції?
3. У чому полягає принцип незалежності елементарних стадій складних реакцій?

ВАРІАНТ 21

Використовуючи експериментальні дані, визначити:

1. Константу швидкості реакції $k_{сер}$, $(хв)^{-1}$ при заданій температурі;
2. Енергію активації E , кДж/моль даної реакції.

T , К	τ , хв	$V_{гип}$, мл	$c_{гип}$, М	$c_{ац}^0$	$c_{H^+}^0$	c_x	$c_{H^++c_x}^0$	$c_{ац-c_x}^0$	k , $(хв \cdot М)^{-1}$	$k_{сер}$ $(хв \cdot М)^{-1}$
296	0	21,6	0,01							
	15	20,2								
	35	18,3								
	55	17								
	75	14,6								
313										$6,7 \cdot 10^{-3}$

Контрольні питання до роботи 19/21.

1. Опишіть методику приготування реакційної суміші і вкажіть, як визначаються початкові концентрації реагентів.
2. Що таке енергія активації хімічної реакції, від чого вона залежить?
3. У чому полягає фізичний смисл сталої рівняння Арреніуса?

ВАРІАНТ 22

Використовуючи експериментальні дані, визначити:

1. Константу швидкості реакції $k_{сер}$, $(хв)^{-1}$ при заданій температурі;
2. Енергію активації E , кДж/моль даної реакції.

T , К	τ , хв	$V_{гип}$, мл	$c_{гип}$, М	$c_{ац}^0$	$c_{H^+}^0$	c_x	$c_{H^++c_x}^0$	$c_{ац-c_x}^0$	k , $(хв \cdot М)^{-1}$	$k_{сер}$ $(хв \cdot М)^{-1}$
309	0	18,6	0,01							
	10	15,8								
	25	11,7								
	40	8,3								
	55	6,4								
299										$2,2 \cdot 10^{-3}$

Контрольні питання до роботи 19/22.

2. Що таке стеричний фактор? Чим обумовлюється його виникнення?

3. На підставі яких даних розраховується енергія активації хімічних реакцій аналітично й графічно?

3. Напишіть рівняння реакції йодування ацетону в кислому середовищі і вкажіть кінетичні особливості цієї реакції.

ВАРІАНТ 23

Використовуючи експериментальні дані, визначити:

1. Константу швидкості реакції $k_{сер}$, $(хв)^{-1}$ при заданій температурі;
2. Енергію активації E , кДж/моль даної реакції.

T , К	τ , хв	$V_{гип}$, мл	$c_{гип}$, М	$c_{ац}^0$	$c_{H^+}^0$	c_x	$c_{H^+ + c_x}^0$	$c_{ац - c_x}^0$	k , $(хв \cdot М)^{-1}$	$k_{сер}$ $(хв \cdot М)^{-1}$
302	0	18,6	0,01							
	10	17,1								
	25	15,5								
	40	11,7								
	55	10,4								
313									$6,7 \cdot 10^{-3}$	

Контрольні питання до роботи 19/23.

1. Чому досліджувану реакцію відносять до складних реакцій?
2. Які процеси відносять до автокатолітичних, і чому дана реакція є автокатолітичною?
3. Як впливає ентропійний множник на швидкість хімічного процесу?

ВАРІАНТ 24

Використовуючи експериментальні дані, визначити:

1. Константу швидкості реакції $k_{сер}$, $(хв)^{-1}$ при заданій температурі;
2. Енергію активації E , кДж/моль даної реакції.

T , К	τ , хв	$V_{гип}$, мл	$c_{гип}$, М	$c_{ац}^0$	$c_{H^+}^0$	c_x	$c_{H^+ + c_x}^0$	$c_{ац - c_x}^0$	k , $(хв \cdot М)^{-1}$	$k_{сер}$ $(хв \cdot М)^{-1}$
308	0	20,8	0,01							
	10	19,1								
	20	15,5								
	30	11,7								
	45	10,4								
299									$2,2 \cdot 10^{-3}$	

Контрольні питання до роботи 19/34.

1. З якою метою константу швидкості визначають при двох температурах? Як обчислюють енергію активації?
2. Яку роль в досліджуваній реакції грає HCl? Чи впливає її концентрація на константу швидкості?
3. Напишіть кінетичне рівняння реакції йодування ацетону і перерахуйте фактори, які впливають на швидкість цієї реакції.

ВАРІАНТ 25

Використовуючи експериментальні дані, визначити:

1. Константу швидкості реакції $k_{сер}$, $(хв)^{-1}$ при заданій температурі;
2. Енергію активації E , кДж/моль даної реакції.

T , К	τ , хв	$V_{гип}$, мл	$c_{гип}$, М	$c_{ац}^0$	$c_{H^+}^0$	c_x	$c_{H^+}^0 + c_x$	$c_{ац}^0 - c_x$	k , $(хв \cdot М)^{-1}$	$k_{сер}$ $(хв \cdot М)^{-1}$
299	0	19,8	0,01							
	15	18,5								
	20	16,5								
	35	15,9								
	55	14								
313										$6,7 \cdot 10^{-3}$

Контрольні питання до роботи 19/25.

1. Чому при проведенні даної роботи необхідно термостатування суміші?
2. Сформулюйте закон діючих мас і запишіть його для реакцій третього порядку.
3. Як в даній роботі визначається початкова концентрація йоду?

ВАРІАНТ 26

Використовуючи експериментальні дані, визначити:

1. Константу швидкості реакції $k_{сер}$, $(хв)^{-1}$ при заданій температурі;
2. Енергію активації E , кДж/моль даної реакції.

T , К	τ , хв	$V_{\text{гип}}$, мл	$c_{\text{гип}}$, М	$c_{\text{ац}}^0$	$c_{\text{H}^+}^0$	c_x	$c_{\text{H}^+ + c_x}^0$	$c_{\text{ац}}^0 - c_x$	k , $(\text{хв} \cdot \text{М})^{-1}$	$k_{\text{сер}}$ $(\text{хв} \cdot \text{М})^{-1}$
305	0	19,8	0,01							
	10	18								
	20	15,8								
	35	13,2								
	55	9								
313										$6,7 \cdot 10^{-3}$

Контрольні питання до роботи 19/26.

1. Чому проби для титрування відбирають через різні інтервали часу в залежності від температури проведення реакції?
2. Які реакції називаються псевдомомолекулярними?
3. Як залежить константа швидкості реакції від температури?

ВАРІАНТ 27

Використовуючи експериментальні дані, визначити:

1. Константу швидкості реакції $k_{\text{сер}}$, $(\text{хв})^{-1}$ при заданій температурі;
2. Енергію активації E , кДж/моль даної реакції.

T , К	τ , хв	$V_{\text{гип}}$, мл	$c_{\text{гип}}$, М	$c_{\text{ац}}^0$	$c_{\text{H}^+}^0$	c_x	$c_{\text{H}^+ + c_x}^0$	$c_{\text{ац}}^0 - c_x$	k , $(\text{хв} \cdot \text{М})^{-1}$	$k_{\text{сер}}$ $(\text{хв} \cdot \text{М})^{-1}$
295	0	19,3	0,01							
	20	18,1								
	40	16,1								
	60	14,2								
	80	13,1								
313										$6,7 \cdot 10^{-3}$

Контрольні питання до роботи 19/27.

1. Чому проба, відібрана для титрування, виливається в розчин бікарбонату натрію?
2. Проаналізуйте інтегральну форму кінетичних рівнянь першого і другого порядків. За яких умов концентрація продукту змінюється з часом лінійно?
3. Як впливає присутність каталізатора на швидкість зворотної реакції?

ВАРІАНТ 28

Використовуючи експериментальні дані, визначити:

1. Константу швидкості реакції $k_{сер}$, $(хв)^{-1}$ при заданій температурі;
2. Енергію активації E , кДж/моль даної реакції.

T , К	τ , хв	$V_{гип}$, мл	$c_{гип}$, М	$c_{ац}^0$	c_{H+}^0	c_x	$c_{H+}^0 + c_x$	$c_{ац}^0 - c_x$	k , $(хв \cdot М)^{-1}$	$k_{сер}$ $(хв \cdot М)^{-1}$
292	0	19,6	0,01							
	20	18,3								
	35	17,3								
	50	16,9								
	65	14,8								
313										$6,7 \cdot 10^{-3}$

Контрольні питання до роботи 19/28.

1. Як в даній роботі визначають концентрації реагуючих речовин в різні моменти?
2. Які методи визначення порядку реакцій вам відомі і на чому вони засновані?
3. Як розрахувати константу швидкості прямої реакції, якщо відома константа швидкості зворотної реакції? Чи існує зв'язок між константами прямий і зворотної реакції і максимальної роботою цього процесу?

ВАРІАНТ 29

Використовуючи експериментальні дані, визначити:

1. Константу швидкості реакції $k_{сер}$, $(хв)^{-1}$ при заданій температурі;
2. Енергію активації E , кДж/моль даної реакції.

T , К	τ , хв	$V_{гип}$, мл	$c_{гип}$, М	$c_{ац}^0$	c_{H+}^0	c_x	$c_{H+}^0 + c_x$	$c_{ац}^0 - c_x$	k , $(хв \cdot М)^{-1}$	$k_{сер}$ $(хв \cdot М)^{-1}$
299	0	19,8	0,01							
	10	18,5								
	25	16,5								
	40	15,9								
	60	13,2								
313										$6,7 \cdot 10^{-3}$

Контрольні питання до роботи 19/29.

1. Який індикатор використовують при титруванні, і як здійснюють титрування?
2. У чому перевага фізичних методів дослідження кінетики реакцій в порівнянні з хімічним методом?
3. Чи залежить константа швидкості реакції від концентрації, від об'єму, від часу, від температури?

ВАРІАНТ 30

Використовуючи експериментальні дані, визначити:

1. Константу швидкості реакції $k_{сер}$, $(хв)^{-1}$ при заданій температурі;
2. Енергію активації E , кДж/моль даної реакції.

T , К	τ , хв	$V_{гип}$, мл	$c_{гип}$, М	$c_{ац}^0$	$c_{H^+}^0$	c_x	$c_{H^+ + c_x}^0$	$c_{ац}^0 - c_x$	k , $(хв \cdot М)^{-1}$	$k_{сер}$ $(хв \cdot М)^{-1}$
286	0	18,2	0,01							
	15	17,7								
	35	16,7								
	55	15,7								
	75	15,2								
313										$6,7 \cdot 10^{-3}$

Контрольні питання до роботи 19/30.

1. Який фізичний смисл константи швидкості і яка її розмірність?
2. Чим пояснюється прискорення протікання хімічних реакцій в присутності каталізатора?
3. Яку функцію у досліджуваній реакції відіграє HCl?



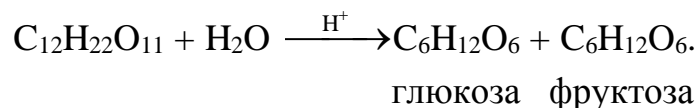
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 20
**ВИЗНАЧЕННЯ КОНСТАНТИ ШВИДКОСТІ ІНВЕРСІЇ
ТРОСТИННОГО ЦУКРУ**

Мета роботи: визначення константи швидкості інверсії сахарози і вплив каталізатора (іонів водню) на константу швидкості.

Теоретичні відомості

Інверсія сахарози вибрана як об'єкт дослідження, оскільки дана реакція має ряд особливостей і може бути прикладом застосування фізичних методів дослідження для вивчення хімічних перетворень.

Інверсія сахарози представляє собою гідролітичне розщеплення сахарози $C_{12}H_{22}O_{11}$ на глюкозу та фруктозу:



Ця реакція практично необоротна і за своїм механізмом є бімолекулярною, але із-за значного надлишку води (концентрація води в ході реакції практично не змінюється) вона протікає як реакція першого порядку, а її кінетичне рівняння може бути записано у вигляді:

$$-\frac{dc}{d\tau} = kc. \quad (20.1)$$

Після інтегрування цього рівняння одержимо:

$$k = \frac{1}{\tau} \ln \frac{c_0}{c_0 - c_\tau}, \quad (20.2)$$

де τ – час, що пройшов від початку реакції до даного виміру;

c_0 – концентрація сахарози у вихідному розчині;

c_τ – концентрація сахарози, що прореагувала за час τ .

У нейтральному середовищі швидкість інверсії сахарози дуже мала, але присутність іонів водню як каталізатора прискорює реакцію і робить її доступною для спостереження, причому швидкість реакції

пропорційна концентрації іонів водню у розчині. І сахароза, і продукти її гідролізу є оптично активними речовинами, тобто вони спроможні змінювати положення площини поляризації поляризованого світла, що проходить крізь них. Питоме обертання (кут обертання, виражений у градусах, у шарі товщиною 1 дм, що містить 1 кг речовини в 0,001 м³ розчину при 20° С, виміряний на довжині хвилі жовтої лінії спектра парів натрію) у водних розчинах тростинного цукру, постійне і може бути мірою визначення концентрації розчину цукру.

Тростинний цукор повертає площину поляризації праворуч ($[\alpha]=+66,55^\circ$), а суміш продуктів інверсії ліворуч, оскільки глюкоза повертає площину поляризації праворуч ($[\alpha]=+52,5^\circ$), а фруктоза – ліворуч ($[\alpha]=-91,9^\circ$). Тому по мірі протікання реакції кут обертання площини поляризації зменшується. Закінченню реакції відповідає від’ємне значення кута обертання, яке не змінюється від часу. Припустимо, що на момент часу τ залишилась частка сахарози, яка не проінвертувала, – y , тоді кут обертання цієї кількості сахарози дорівнює $\alpha_0 y$, де α_0 – кут обертання вихідної кількості сахарози. На той же момент частка продуктів інверсії складе $1-y$. В кінці реакції кут обертання цих продуктів дорівнював би α_∞ , отже, на момент τ він дорівнює $\alpha_\infty (1-y)$. В силу адитивності кут обертання реакційної суміші на момент τ :

$$\alpha_\tau = \alpha_0 y + \alpha_\infty (1-y), \text{ звідки } y = \frac{\alpha_\tau - \alpha_\infty}{\alpha_0 - \alpha_\infty}. \quad (20.3)$$

Підставляючи у рівняння (20.2) замість концентрації сахарози пропорційну їй величину y , одержуємо:

$$k = \frac{1}{\tau} \ln \frac{c_0}{yc_0} = \frac{1}{\tau} \ln \frac{\alpha_0 - \alpha_\infty}{\alpha_\tau - \alpha_\infty}; \quad (20.4)$$

Кут обертання площини поляризації визначають за допомогою поляриметра, основними частинами якого є поляризатор і аналізатор (рис.3).

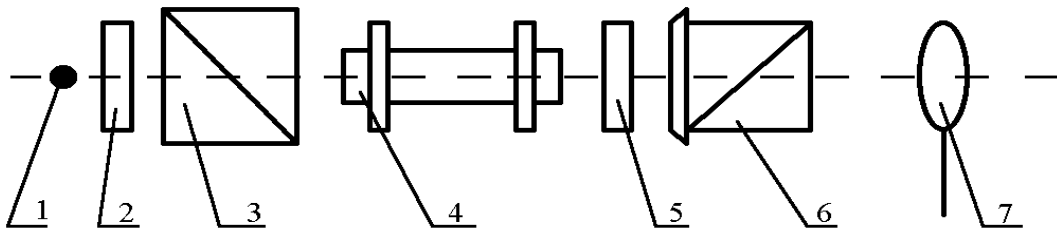


Рис.3 Схема поляриметра

- 1 – джерело світла; 2 – світлофільтр; 3 – поляризатор (призма Ніколя);
 4 – поляриметрична трубка; 5 – відліковий пристрій;
 6 – аналізатор (призма Ніколя); 7 – окуляр

Світло від джерела 1 проходить крізь світлофільтр 2 і поляризатор 3. Поляризований промінь проходить крізь поляриметричну трубку 4 з розчином, який досліджується і потрапляє в аналізатор 6, пов'язаний з відліковим пристроєм 5, а потім – в окуляр 7. Обертанням аналізатора можливо досягнути положення, при якому призми Ніколя будуть перехрещеними, а світло, що проходить, погаситься. Якщо між поляризатором і аналізатором розташований оптично активний зразок, то для гасіння світла необхідно додатково повернути аналізатор на деякий кут, який і відлічується за допомогою відлікового пристрою.

У напівтіньовому поляриметрі положення площини поляризації світла визначається по встановленню рівної слабкої освітленості всього поля зору (установка на півтінь). В інших положеннях аналізатора поле зору в окулярі різко розділено на дві частини за освітленістю або все поле зору освітлено яскраво. Якщо напівтіньове положення знайдено правильно (рис. 4), то найменший поворот аналізатора праворуч або ліворуч порушує рівномірність освітленості до різкого контрасту в освітленості обох половин поля зору.

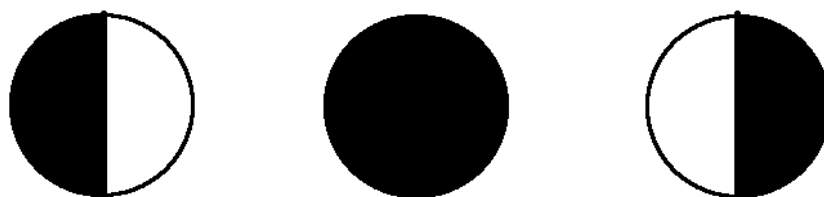
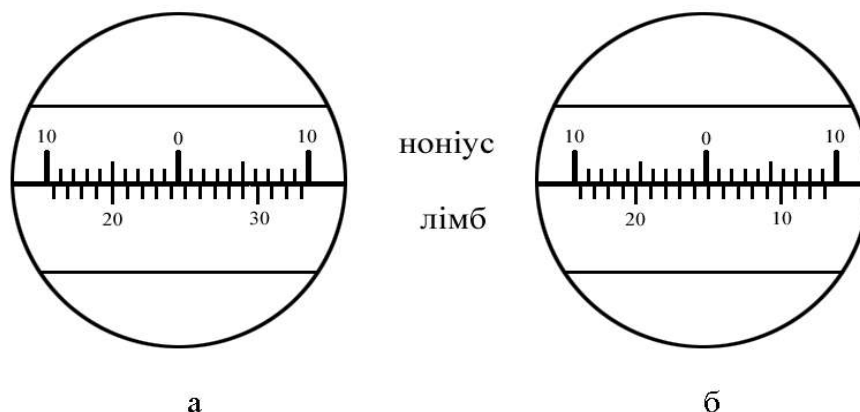


Рис. 4 Поле зору в окулярі напівтіньового поляриметра

Зразок відліку кута дається на рис. 5.



а) $\alpha = 24,5^\circ$; б) $\alpha = -15,2^\circ$

Рис. 5. Відлік по шкалі поляриметра:

Порядок виконання роботи

У дві плоскодонні колби заливають відповідно рівні об'єми (20 – 25 мл) розчинів кислоти і сахарози заданої концентрації. Потім виливають кислоту у розчин сахарози. Момент зливу кислоти з сахарозою відмічають по годиннику як момент початку реакції. Суміш ретельно перемішують і вливають у проміту поляриметричну трубку, яку заздалегідь обполіскують невеликою кількістю розчину, який досліджується. При наповненні трубки слід стежити за тим, щоб до неї не потрапило повітря. Для цього трубку наповнюють по вінця, щоб рідина утворила випуклий меніск, після чого обережно збоку насувають накривне скло та нагвинчують притискне кільце. Наповнену трубку обтирають зовні, звертаючи особливу увагу на чистоту, сухість і прозорість кожного скла, що закриває кінці трубки. Підготовлену трубку вміщують у поляриметр і проводять відлік величини кута. Кут виміряють три рази, повертаючи кожний раз після виміру ручку аналізатора ліворуч або праворуч, після третього виміру записують середнє значення кута і момент відліку за годинником. Наступні виміри проводять через певні, частіше всього рівні інтервали часу. Для визначення величини кута, який відповідає закінченню реакції, розчин, що залишився у колбі, з'єднують з оборотним холодильником і вміщують

у водяну баню з температурою 60 – 65°С (але не вище для запобігання осмолення сахарози), де його витримують протягом 1 часу. Потім розчин охолоджують до кімнатної температури.

Після всіх вимірів робочий розчин виливають з поляриметричної трубки, обполіскують її дистильованою водою і сумішшю кімнатної температури, що нагрівалася на водяній бані, заповнюють трубку і вимірюють кінцевий кут обертання α_{∞} , який повинен мати від’ємне значення.

Всі одержані результати записують у табл. 6.

Таблиця 6

Конц. сахарози	Конц. кислоти	№ виміру	Час від початку реакції	Кут обертання $\alpha_{сер}$	$\lg(\alpha_{\tau} - \alpha_{\infty})$	k швидкості інверсії
		1	∞			
		2				
		3				
		4				
		5				
		6				
		7				

Значення $\lg(\alpha_0 - \alpha_{\infty})$ знаходять екстраполяцією. Для цього на міліметровому папері будують графік у координатах $\lg(\alpha_{\tau} - \alpha_{\infty}) - \tau$ (рис. 6).

Одержану пряму екстраполують до $\tau = 0$ і визначають $\lg(\alpha_0 - \alpha_{\infty})$ (див. рис. 6). За даними табл. 6 розраховують значення константи швидкості реакції для кожного виміру, для чого формулу (20.4) записують у вигляді:

$$k = \frac{2,3}{\tau} [\lg(\alpha_0 - \alpha_{\infty}) - \lg(\alpha_{\tau} - \alpha_{\infty})]. \quad (20.5)$$

Порівнюючи значення константи швидкості, одержані для різних вихідних концентрацій кислоти, для чого беруть дані, одержані іншими студентами в групі, роблять висновок про вплив концентрації каталізатора на константу швидкості.

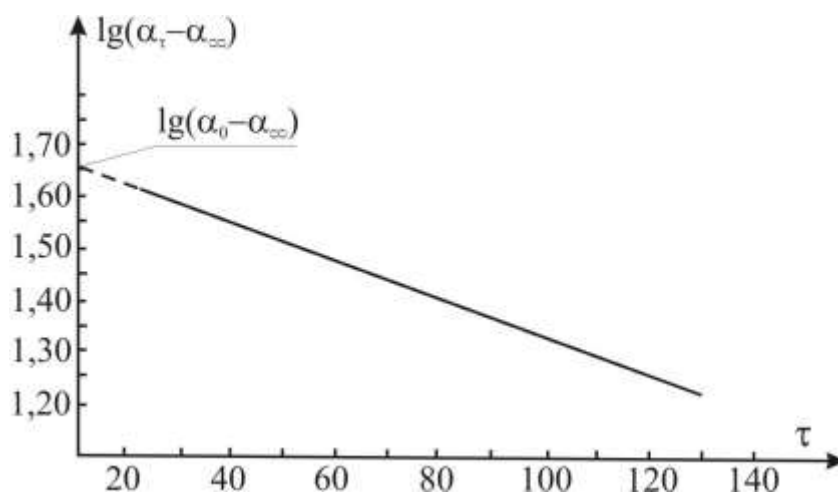


Рис. 6 Визначення величини $\lg(\alpha_0 - \alpha_\infty)$

Після закінчення роботи поляриметричну трубку промивають водою, оскільки кислота руйнує металеву оправу.

Контрольні питання

1. Написати кінетичне рівняння реакції інверсії сахарози і дати кінетичну характеристику цієї реакції (молекулярність, порядок, гомогенна або гетерогенна, каталітична або некаталітична реакція). Поясніть причину розбіжності молекулярності і порядку.

2. Від концентрації яких речовин залежить швидкість інверсії сахарози? Поясніть, чому концентрація води не впливає на швидкість реакції.

3. Від яких факторів залежить константа швидкості інверсії сахарози? Чи впливає концентрація речовин, що беруть участь у реакції (сахарози, води, соляної кислоти), на величину константи швидкості? В чому роль соляної кислоти в цій реакції?

4. Записати вираз для константи швидкості інверсії сахарози. Які дані необхідно мати для розрахунку цієї величини?

5. Як можна експериментально визначити кількість проінвертованої сахарози? Якою властивістю речовин, що реагують, при цьому користуються? Принцип роботи поляриметра.

6. Записати вираз для константи швидкості інверсії сахарози через кути обертання площини поляризації поляризованого світла. Поясніть смисл і знак кожного кута, що використовується в цьому виразі.

7. Чи можна експериментально виміряти дійсний початковий кут обертання в реакції інверсії сахарози і як його визначають?

8. Як у лабораторній роботі досягають закінчення реакції? Як визначають значення кута повертання, коли реакція пройшла до кінця?



БАГАТОВАРІАНТНІ ЗАВДАННЯ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ 20

ВАРІАНТ 1

1. На підставі отриманих експериментальних даних виміру кута обертання площини поляризації від часу розрахувати константу швидкості інверсії сахарози.
2. Підтвердити, чи підпорядковується дана реакція реакції першого порядку.
3. Розрахувати енергію активації даної реакції, використовуючи отримане значення середньої константи при $T = 298$ К та відому константу при $T = 313$ К ($k_{313} = 7,34 \cdot 10^{-2}$).
4. Вихідні дані: концентрація сахарози = 10%; $c_{\text{HCl}} = 1,5$ моль/л.

№ виміру	Час від початку реакції, хв	Кут обертання α_t	$\ln(\alpha_t - \alpha_\infty)$	k швидкості інверсії [хв^{-1}]
1	5	24,50		
2	17	21,40		
3	29	18,60		
4	42	15,90		
5	59	13,20		
6	62	12,35		
7	$\alpha_\infty = -5,5$			

Контрольні завдання до роботи 20/01

1. Що розуміють під термінами «швидкість хімічної реакції» і «швидкість хімічної реакції по даній речовині»?
2. Вказати розмірності констант швидкостей реакцій нульового, першого, другого і третього порядків. Як порівнювати константи швидкості реакцій різних порядків?
3. Визначити енергію активації $E_{\text{акт}}$ і передекспоненційний множник B реакції гідролізу розведеного розчину цукру



якщо при $T_1 = 294$ К константа швидкості $k_1 = 4,42 \cdot 10^{-4} \text{ хв}^{-1}$, а при $T_2 = 314$ К $k_2 = 7,4 \cdot 10^{-3} \text{ хв}^{-1}$.

ВАРІАНТ 2

1. На підставі отриманих експериментальних даних виміру кута обертання площини поляризації від часу розрахувати константу швидкості інверсії сахарози.
2. Підтвердити, чи підпорядковується дана реакція реакції першого порядку.
3. Розрахувати енергію активації даної реакції, використовуючи отримане значення середньої константи при $T = 298$ К та відому константу при $T = 313$ К ($k_{313} = 7,34 \cdot 10^{-2}$).
4. Вихідні дані: концентрація сахарози = 10%; $c_{\text{HCl}} = 1,5$ моль/л.

№ виміру	Час від початку реакції, хв	Кут обертання α_t	$\ln(\alpha_t - \alpha_\infty)$	k швидкості інверсії [хв^{-1}]
1	6	24,20		
2	10	23,14		
3	23	19,95		
4	33	17,75		
5	45	15,30		
6	59	12,85		
7	$\alpha_\infty = -5,5$			

Контрольні завдання до роботи 20/02

1. Чи може молекулярність бути більше або менше порядку реакції? Для яких реакцій порядок і молекулярність завжди збігаються?
2. Яка роль соляної кислоти в реакції інверсії сахарози? Чи впливає її концентрація на основні кінетичні характеристики реакції?
3. Константа швидкості інверсії тростинного цукру змінюється за температурою:

$t, ^\circ\text{C}$	20	30	50
$k \cdot 10^4, \text{хв}^{-1}$	2,76	10,98	137,4

Обчислити температурний коефіцієнт інверсії цукру для кожного температурного інтервалу і середній температурний коефіцієнт в межах $20 \div 50^\circ\text{C}$ і енергію активації.

ВАРІАНТ 3

1. На підставі отриманих експериментальних даних виміру кута обертання площини поляризації від часу розрахувати константу швидкості інверсії сахарози.
2. Підтвердити, чи підпорядковується дана реакція реакції першого порядку.
3. Розрахувати енергію активації даної реакції, використовуючи отримане значення середньої константи при $T=298\text{ K}$, та відому константу при $T = 313\text{ K}$ ($k_{313}= 7,34 \cdot 10^{-2}$).
4. Вихідні дані: концентрація сахарози = 10%; $c_{\text{HCl}} = 1,5$ моль/л.

№ виміру	Час від початку реакції, хв	Кут обертання α_t	$\ln(\alpha_t - \alpha_\infty)$	k швидкості інверсії [хв^{-1}]
1	9	23,40		
2	20	20,65		
3	35	17,30		
4	47	14,95		
5	53	13,85		
6	60	12,65		
7	$\alpha_\infty = -5,5$			

Контрольні завдання до роботи 20/03

1. Чи може швидкість реакції бути від'ємною величиною? Що означає запис: $W = -dc_A/dt$ для реакції $A \rightarrow B$?
2. Пояснити термін «молекулярність реакції». Чому молекулярність реакцій не перевищує трьох? У чому відмінність понять «порядок» і «молекулярність» хімічної реакції?
3. Константа швидкості реакції інверсії тростинного цукру $k = 5,3 \cdot 10^{-3} \text{ хв}^{-1}$. Визначити період напіврозпаду і час (хв), протягом якого прореагує 90% цукру.

ВАРІАНТ 4

1. На підставі отриманих експериментальних даних виміру кута обертання площини поляризації від часу розрахувати константу швидкості інверсії сахарози.

2. Підтвердити, чи підпорядковується дана реакція реакції першого порядку.
3. Розрахувати енергію активації даної реакції, використовуючи отримане значення середньої константи при $T = 298 \text{ K}$ та відому константу при $T = 313 \text{ K}$ ($k_{313} = 7,34 \cdot 10^{-2}$).
4. Вихідні дані: концентрація сахарози = 10%; $c_{\text{HCl}} = 1,5$ моль/л.

№ виміру	Час від початку реакції, хв	Кут обертання α_t	$\ln(\alpha_t - \alpha_\infty)$	k швидкості інверсії [хв^{-1}]
1	11	22,90		
2	22	20,20		
3	36	17,10		
4	44	15,50		
5	50	14,40		
6	58	13,00		
7	$\alpha_\infty = -5,5$			

Контрольні завдання до роботи 20/04

1. Які інші постулати (крім основного постулату) використовуються в хімічній кінетиці?
2. Нульовий порядок реакції вказує на незалежність швидкості реакції від концентрації реагуючої речовини. Коли така закономірність можлива?
3. Обчислити константу швидкості інверсії тростинного цукру при $t = 40^\circ \text{C}$ в присутності 0,002 М розчину HCl, якщо зміна кута обертання площини поляризації розчину цукру наступна:

τ , хв	40	150	∞
α , град	21,16	18,27	-5,37

Знайти кількість цукру, яка не прореагувала через 4 години після початку реакції.

ВАРІАНТ 5

1. На підставі отриманих експериментальних даних виміру кута обертання площини поляризації від часу розрахувати константу швидкості інверсії сахарози.
2. Підтвердити, чи підпорядковується дана реакція реакції першого порядку.

3. Розрахувати енергію активації даної реакції, використовуючи отримане значення середньої константи при $T = 298 \text{ K}$ та відому константу при $T = 313 \text{ K}$ ($k_{313} = 7,34 \cdot 10^{-2}$).

4. Вихідні дані: концентрація сахарози = 10%; $c_{\text{HCl}} = 1,5$ моль/л.

№ виміру	Час від початку реакції, хв	Кут обертання α_t	$\ln(\alpha_t - \alpha_\infty)$	k швидкості інверсії [хв^{-1}]
1	7	23,95		
2	13	22,37		
3	25	19,50		
4	37	16,90		
5	43	15,70		
6	52	14,05		
7	$\alpha_\infty = -5,5$			

Контрольні завдання до роботи 20/05

1. У чому полягає явище отруєння каталізаторів, які види отруєнь відомі?

2. Чи може молекулярність бути більше або менше порядку реакції? Для яких реакцій порядок і молекулярність збігаються?

3. Зміна кута обертання площини поляризації розчину бурякового цукру при $t = 25^\circ \text{ C}$ в присутності 0,5 N розчину HCl і надлишку води наступна:

τ , хв	20	176	∞
α , град	22,0	5,5	8,4

Визначити константу швидкості реакції і скільки цукру (мас.%) проінвертує протягом 250 хв.

ВАРІАНТ 6

1. На підставі отриманих експериментальних даних виміру кута обертання площини поляризації від часу розрахувати константу швидкості інверсії сахарози.

2. Підтвердити, чи підпорядковується дана реакція реакції першого порядку.

3. Розрахувати енергію активації даної реакції, використовуючи отримане значення середньої константи при $T = 298$ К та відому константу при $T = 313$ К ($k_{313} = 7,34 \cdot 10^{-2}$).

4. Вихідні дані: концентрація сахарози = 10%; $c_{\text{HCl}} = 1,5$ моль/л.

№ виміру	Час від початку реакції, хв	Кут обертання α_t	$\ln(\alpha_t - \alpha_\infty)$	k швидкості інверсії [хв^{-1}]
1	14	22,12		
2	27	19,05		
3	32	17,95		
4	41	16,10		
5	49	14,60		
6	55	13,50		
7	$\alpha_\infty = -5,5$			

Контрольні завдання до роботи 20/06

1. Чому при тривалому зберіганні H_2O_2 рекомендується стінки судини покривати парафіном?

2. Що називається явищем промотування, які типи промоторів існують?

3. Константа швидкості реакції інверсії тростинного цукру $k = 8,3 \cdot 10^{-3} \text{ хв}^{-1}$. Визначити період напівперетворення і час (хв), протягом якого прореагує 90% цукру.

ВАРІАНТ 7

1. На підставі отриманих експериментальних даних виміру кута обертання площини поляризації від часу розрахувати константу швидкості інверсії сахарози.

2. Підтвердити, чи підпорядковується дана реакція реакції першого порядку.

3. Розрахувати енергію активації даної реакції, використовуючи отримане значення середньої константи при $T = 298$ К та відому константу при $T = 313$ К ($k_{313} = 7,34 \cdot 10^{-2}$).

4. Вихідні дані: концентрація сахарози = 10%; $c_{\text{HCl}} = 1,5$ моль/л.

№ виміру	Час від початку реакції, хв	Кут обертання α_t	$\ln(\alpha_t - \alpha_\infty)$	k швидкості інверсії [хв^{-1}]
1	8	23,65		
2	19	20,90		
3	24	19,70		
4	39	16,50		
5	46	15,15		
6	56	13,35		
7	$\alpha_\infty = -5,5$			

Контрольні завдання до роботи 20/07

1. Що називається порядком реакції по речовині і загальним (повним) кінетичним порядком реакції?
2. Які молекулярність і порядок реакції інверсії тростинного цукру? Чи можна їх змінювати в ході дослідження?
3. Константа швидкості інверсії тростинного цукру змінюється з температурою:

$t, ^\circ\text{C}$	25	40	50	55
$k \cdot 10^3, \text{хв}^{-1}$	9,67	73,4	268	491

Обчислити температурний коефіцієнт інверсії цукру для кожного температурного інтервалу і середній температурний коефіцієнт в межах $20 \div 50^\circ\text{C}$ і енергію активації.

ВАРІАНТ 8

1. На підставі отриманих експериментальних даних виміру кута обертання площини поляризації від часу розрахувати константу швидкості інверсії сахарози.
2. Підтвердити, чи підпорядковується дана реакція реакції першого порядку.
3. Розрахувати енергію активації даної реакції, використовуючи отримане значення середньої константи при $T = 298\text{ K}$ та відому константу при $T = 313\text{ K}$ ($k_{313} = 7,34 \cdot 10^{-2}$).
4. Вихідні дані: концентрація сахарози = 10%; $c_{\text{HCl}} = 1,5$ моль/л.

№ виміру	Час від початку реакції, хв	Кут обертання α_t	$\ln(\alpha_t - \alpha_\infty)$	k швидкості інверсії [хв^{-1}]
1	12	22,60		
2	21	20,50		
3	31	18,15		
4	40	16,30		
5	49	14,60		
6	61	12,50		
7	$\alpha_\infty = -5,5$			

Контрольні завдання до роботи 20/08

1. Зобразити графічно залежності концентрації продукту реакції від часу в разі реакцій першого і другого порядку.
2. Чи зміниться константа швидкості інверсії сахарози, якщо додати до реакційної суміші розчин NaCl?
3. При вивченні кінетики реакції інверсії тростинного цукру за допомогою поляриметра при $t = 20^\circ \text{C}$ отримані дані:

τ , хв	30	40	∞
α , град	31,5	29,8	-11,7

Розрахувати середнє значення константи швидкості інверсії цукру при вказаній температурі і час, протягом якого прореагує 50% цукру.

ВАРІАНТ 9

1. На підставі отриманих експериментальних даних виміру кута обертання площини поляризації від часу розрахувати константу швидкості інверсії сахарози.
2. Підтвердити, чи підпорядковується дана реакція реакції першого порядку.
3. Розрахувати енергію активації даної реакції, використовуючи отримане значення середньої константи при $T = 298 \text{ K}$ та відому константу при $T = 313 \text{ K}$ ($k_{313} = 7,34 \cdot 10^{-2}$).
4. Вихідні дані: концентрація сахарози = 10%; $c_{\text{HCl}} = 1,5$ моль/л.

№ виміру	Час від початку реакції, хв	Кут обертання α_t	$\ln(\alpha_t - \alpha_\infty)$	k швидкості інверсії [хв ⁻¹]
1	15	21,90		
2	28	18,80		
3	29	18,60		
4	42	15,90		
5	54	13,70		
6	61	12,50		
7	$\alpha_\infty = -5,5$			

Контрольні завдання до роботи 20/09

1. Які експериментальні дані необхідні для визначення порядку реакції?
2. Показати на графіку, що називається енергією активації елементарного акту хімічного перетворення?
3. При $t = 20^\circ \text{C}$ константа швидкості інверсії тростинного цукру має середнє значення $k = 4,12 \cdot 10^{-3} \text{ хв}^{-1}$. Визначити процентний вміст цукру, що залишився в реакційній суміші через 4,5 години від початку реакції. Який буде кут обертання α_t на цей момент часу?

ВАРІАНТ 10

1. На підставі отриманих експериментальних даних виміру кута обертання площини поляризації від часу розрахувати константу швидкості інверсії сахарози.
2. Підтвердити, чи підпорядковується дана реакція реакції I порядку.
3. Розрахувати енергію активації даної реакції, використовуючи отримане значення середньої константи при $T = 298 \text{ K}$ та відому константу при $T = 313 \text{ K}$ ($k_{313} = 7,34 \cdot 10^{-2}$).
4. Вихідні дані: концентрація сахарози = 10%; $c_{\text{HCl}} = 1,5 \text{ моль/л}$.

№ виміру	Час від початку реакції, хв	Кут обертання α_t	$\ln(\alpha_t - \alpha_\infty)$	k швидкості інверсії [хв ⁻¹]
1	5	24,50		
2	17	21,40		
3	29	18,60		
4	42	15,90		
5	54	13,70		
6	60	12,65		
7	$\alpha_\infty = -5,5$			

Контрольні завдання до роботи 20/10

1. Від яких факторів залежить порядок даної реакції? Чи може порядок змінитися в ході реакції?
2. Привести графіки залежності $1/c^2 = f(\tau)$ для реакцій першого, другого, третього порядку.
3. Для вивчення реакції інверсії цукру змішали рівні об'єми розчину цукру і 1 M HCl. Визначити кількість цукру, який вступив в реакцію (в мас.%), і кут обертання через 2 години після початку реакції, якщо:

τ , хв	50	150	∞
α , град	26,7	12,9	-11,7

ВАРІАНТ 11

1. На підставі отриманих експериментальних даних виміру кута обертання площини поляризації від часу розрахувати константу швидкості інверсії сахарози.
2. Підтвердити, чи підпорядковується дана реакція реакції першого порядку.
3. Розрахувати енергію активації даної реакції, використовуючи отримане значення середньої константи при $T = 298$ K та відому константу при $T = 313$ K ($k_{313} = 7,34 \cdot 10^{-2}$).
4. Вихідні дані: концентрація сахарози = 10%; $c_{HCl} = 1,5$ моль/л.

№ виміру	Час від початку реакції, хв	Кут обертання α_τ	$\ln(\alpha_\tau - \alpha_\infty)$	k швидкості інверсії [хв^{-1}]
1	5	22,52		
2	17	19,15		
3	29	16,30		
4	42	13,60		
5	55	11,20		
6	64	9,75		
7	$\alpha_\infty = -6,7$			

Контрольні завдання до роботи 20/11

1. За яких умов для необоротних реакцій першого і другого порядків концентрація продукту змінюється лінійно з часом?

- Привести графіки залежності $1/c = f(\tau)$ для реакцій нульового, першого, другого, третього порядку.
- Початковий і кінцевий кут обертання площини поляризації 20% розчину тростинного цукру при $t = 25^\circ \text{C}$ дорівнює $\alpha_0 = +24,09^\circ$ і $\alpha_\infty = -10,74^\circ$, відповідно. Константа інверсії $k = 8,3 \cdot 10^{-5} \text{ c}^{-1}$. Знайти відсоток інвертованого цукру і кут обертання через 2 години після початку реакції.

ВАРІАНТ 12

- На підставі отриманих експериментальних даних виміру кута обертання площини поляризації від часу розрахувати константу швидкості інверсії сахарози.
- Підтвердити, чи підпорядковується дана реакція реакції першого порядку.
- Розрахувати енергію активації даної реакції, використовуючи отримане значення середньої константи при $T = 298 \text{ K}$ та відому константу при $T = 313 \text{ K}$ ($k_{313} = 7,34 \cdot 10^{-2}$).
- Вихідні дані: концентрація сахарози = 10%; $c_{\text{HCl}} = 1,5 \text{ моль/л}$.

№ виміру	Час від початку реакції, хв	Кут обертання α_τ	$\ln(\alpha_\tau - \alpha_\infty)$	k швидкості інверсії [хв^{-1}]
1	6	22,10		
2	15	19,65		
3	27	16,80		
4	42	15,90		
5	39	14,15		
6	57	10,85		
7	$\alpha_\infty = -6,7$			

Контрольні завдання до роботи 20/12

- Записати вираз для константи швидкості інверсії сахарози. Які дані необхідно мати для розрахунку цієї величини?
- Чи може збільшуватися порядок реакції при зміні температури?
- Константа швидкості інверсії тростинного цукру $k = 5,3 \cdot 10^{-5} \text{ c}^{-1}$. Визначити період напіврозпаду $\tau_{1/2}$ і час τ (хв), протягом якого прореагує 90% цукру.

ВАРІАНТ 13

1. На підставі отриманих експериментальних даних виміру кута обертання площини поляризації від часу розрахувати константу швидкості інверсії сахарози.
2. Підтвердити, чи підпорядковується дана реакція реакції першого порядку.
3. Розрахувати енергію активації даної реакції, використовуючи отримане значення середньої константи при $T = 298 \text{ K}$ та відому константу при $T = 313 \text{ K}$ ($k_{313} = 7,34 \cdot 10^{-2}$).
4. Вихідні дані: концентрація сахарози = 10%; $c_{\text{HCl}} = 1,5$ моль/л.

№ виміру	Час від початку реакції, хв	Кут обертання α_t	$\ln(\alpha_t - \alpha_\infty)$	k швидкості інверсії [хв^{-1}]
1	7	21,55		
2	20	18,40		
3	31	15,85		
4	45	13,00		
5	52	11,75		
6	68	9,10		
7	$\alpha_\infty = -6,7$			

Контрольні завдання до роботи 20/13

1. Що означає термін «період напіврозпаду $\tau_{1/2}$ »? Чи можна його застосовувати до реакцій другого і третього порядків?
2. У чому полягає принцип незалежності різних реакцій?
3. Визначити енергію активації $E_{\text{акт}}$ і передекспоненційний множник B реакції гідролізу розведеного розчину цукру $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, якщо константа швидкості гідролізу $k_1 = 4,42 \cdot 10^{-4} \text{ хв}^{-1}$ при $t_1 = 21^\circ \text{C}$, а при $t_2 = 41^\circ \text{C}$ $k_2 = 7,4 \cdot 10^{-3} \text{ хв}^{-1}$.

ВАРІАНТ 14

1. На підставі отриманих експериментальних даних виміру кута обертання площини поляризації від часу розрахувати константу швидкості інверсії сахарози.

2. Підтвердити, чи підпорядковується дана реакція реакції першого порядку.
3. Розрахувати енергію активації даної реакції, використовуючи отримане значення середньої константи при $T = 298 \text{ K}$ та відому константу при $T = 313 \text{ K}$ ($k_{313} = 7,34 \cdot 10^{-2}$).
4. Вихідні дані: концентрація сахарози = 10%; $c_{\text{HCl}} = 1,5 \text{ моль/л}$.

№ виміру	Час від початку реакції, хв	Кут обертання α_t	$\ln(\alpha_t - \alpha_\infty)$	k швидкості інверсії [хв^{-1}]
1	8	21,55		
2	13	20,20		
3	25	17,20		
4	33	15,35		
5	41	13,80		
6	51	11,95		
7	$\alpha_\infty = -6,7$			

Контрольні завдання до роботи 20/14

1. Чи може і в яких випадках ентропія активації бути менше нуля?
2. Як пов'язані період напіврозпаду і концентрація вихідної речовини для необоротних реакцій нульового, першого, другого, третього і n -го порядків в разі рівності концентрацій всіх вихідних речовин?
3. Речовина А змішана з В і С в рівних концентраціях ($c_0 = 1 \text{ моль / дм}^3$). Через $1 \cdot 10^3$ секунд залишилось 50% А. Скільки речовини А залишиться через $2 \cdot 10^3$ секунд, якщо реакція має нульовий, перший, другий, третій порядок?

ВАРІАНТ 15

1. На підставі отриманих експериментальних даних виміру кута обертання площини поляризації від часу розрахувати константу швидкості інверсії сахарози.
2. Підтвердити, чи підпорядковується дана реакція реакції першого порядку.

3. Розрахувати енергію активації даної реакції, використовуючи отримане значення середньої константи при $T = 298 \text{ K}$ та відому константу при $T = 313 \text{ K}$ ($k_{313} = 7,34 \cdot 10^{-2}$).

4. Вихідні дані: концентрація сахарози = 10%; $c_{\text{HCl}} = 1,5$ моль/л.

№ виміру	Час від початку реакції, хв	Кут обертання α_τ	$\ln(\alpha_\tau - \alpha_\infty)$	k швидкості інверсії [хв^{-1}]
1	9	21,50		
2	21	18,20		
3	29	18,60		
4	36	14,80		
5	48	12,45		
6	65	9,60		
7	$\alpha_\infty = -6,7$			

Контрольні завдання до роботи 20/15

1. Привести графіки залежності $\ln c = f(\tau)$ для реакцій нульового, першого, другого, третього порядку.
2. Який температурний коефіцієнт хімічної реакції? Як його можна визначити?
3. При зміні початкової концентрації з 1 до 3 моль/дм³ період напіврозпаду реакції зменшується з 3 годин до 20 хвилин. Знайти константу швидкості реакції.

ВАРІАНТ 16

1. На підставі отриманих експериментальних даних виміру кута обертання площини поляризації від часу розрахувати константу швидкості інверсії сахарози.
2. Підтвердити, чи підпорядковується дана реакція реакції першого порядку.
3. Розрахувати енергію активації даної реакції, використовуючи отримане значення середньої константи при $T = 298 \text{ K}$ та відому константу при $T = 313 \text{ K}$ ($k_{313} = 7,34 \cdot 10^{-2}$).
4. Вихідні дані: концентрація сахарози = 10%; $c_{\text{HCl}} = 1,5$ моль/л.

№ виміру	Час від початку реакції, хв	Кут обертання α_t	$\ln(\alpha_t - \alpha_\infty)$	k швидкості інверсії [хв^{-1}]
1	10	21,00		
2	22	17,90		
3	34	15,20		
4	43	13,40		
5	54	11,20		
6	67	9,30		
7	$\alpha_\infty = -6,7$			

Контрольні завдання до роботи 20/16

1. Чи може молекулярність бути більше або менше порядку реакції? Для яких реакцій порядок і молекулярність завжди збігаються?
2. Яка роль соляної кислоти в реакції інверсії сахарози? Чи впливає її концентрація на основні кінетичні характеристики реакції?
3. Константа швидкості інверсії цукру змінюється з температурою:

$t, ^\circ\text{C}$	20	30	50
$k \cdot 10^4, \text{хв}^{-1}$	2,76	10,98	137,4

Обчислити температурний коефіцієнт інверсії цукру для кожного температурного інтервалу і середній температурний коефіцієнт в межах $20 \div 50^\circ\text{C}$ і енергію активації.

ВАРІАНТ 17

1. На підставі отриманих експериментальних даних виміру кута обертання площини поляризації від часу розрахувати константу швидкості інверсії сахарози.
2. Підтвердити, чи підпорядковується дана реакція реакції першого порядку.
3. Розрахувати енергію активації даної реакції, використовуючи отримане значення середньої константи при $T = 298\text{ K}$ та відому константу при $T = 313\text{ K}$ ($k_{313} = 7,34 \cdot 10^{-2}$).
4. Вихідні дані: концентрація сахарози = 10%; $c_{\text{HCl}} = 1,5$ моль/л.

№ виміру	Час від початку реакції, хв	Кут обертання α_t	$\ln(\alpha_t - \alpha_\infty)$	k швидкості інверсії [хв^{-1}]
1	11	20,80		
2	23	17,70		
3	32	15,55		
4	46	12,80		
5	59	10,55		
6	66	9,45		
7	$\alpha_\infty = -6,7$			

Контрольні завдання до роботи 20/17

1. Що розуміють під терміном «швидкість хімічної реакції»? Чому введені два терміни – «швидкість хімічної реакції» і «швидкість хімічної реакції по даній речовині»?
2. Вказати розмірності констант швидкостей реакцій нульового, першого, другого і третього порядків. Як порівнювати константи швидкості реакцій різних порядків?
3. Визначити енергію активації $E_{\text{акт}}$ і передекспоненційний множник B реакції гідролізу розведеного розчину цукру $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, якщо константа швидкості $k_1 = 4,42 \cdot 10^{-4} \text{ хв}^{-1}$ при $T_1 = 294 \text{ К}$, а при $T_2 = 314 \text{ К}$ $k_2 = 7,4 \cdot 10^{-3} \text{ хв}^{-1}$.

ВАРІАНТ 18

1. На підставі отриманих даних виміру кута обертання площини поляризації від часу розрахувати константу швидкості інверсії сахарози.
2. Підтвердити, чи підпорядковується дана реакція реакції першого порядку.
3. Розрахувати енергію активації даної реакції, використовуючи отримане значення середньої константи при $T = 298 \text{ К}$ та відому константу при $T = 313 \text{ К}$ ($k_{313} = 7,34 \cdot 10^{-2}$).
4. Вихідні дані: концентрація сахарози = 10%; $c_{\text{HCl}} = 1,5 \text{ моль/л}$.

№ ви- міру	Час від початку реакції, хв	Кут обертання α_t	$\ln(\alpha_t - \alpha_\infty)$	k швидкості інверсії [хв^{-1}]
1	12	20,60		
2	24	17,45		
3	30	16,10		
4	44	13,15		
5	50	12,10		
6	62	10,10		
7	$\alpha_\infty = -6,7$			

Контрольні завдання до роботи 20/18

1. Чи може швидкість реакції бути від'ємною величиною? Що означає запис: $W = -dc_A/dt$ для реакції $A \rightarrow B$?
2. Пояснити термін «молекулярність реакції». Чому молекулярність реакцій не перевищує трьох? У чому відмінність понять «порядок» і «молекулярність» хімічної реакції?
3. Константа швидкості реакції інверсії тростинного цукру $k = 5,3 \cdot 10^{-3} \text{ хв}^{-1}$. Визначити період напіврозпаду і час (хв), протягом якого прореагує 90% цукру.

ВАРІАНТ 19

1. На підставі отриманих експериментальних даних виміру кута обертання площини поляризації від часу розрахувати константу швидкості інверсії сахарози.
2. Підтвердити, чи підпорядковується дана реакція реакції першого порядку.
3. Розрахувати енергію активації даної реакції, використовуючи отримане значення середньої константи при $T = 298 \text{ К}$ та відому константу при $T = 313 \text{ К}$ ($k_{313} = 7,34 \cdot 10^{-2}$).
4. Вихідні дані: концентрація сахарози = 10%; $c_{\text{HCl}} = 1,5 \text{ моль/л}$.

№ виміру	Час від початку реакції, хв	Кут обертання α_t	$\ln(\alpha_t - \alpha_\infty)$	k швидкості інверсії [хв^{-1}]
1	14	19,90		
2	26	17,00		
3	35	15,00		
4	42	13,60		
5	49	12,30		
6	60	10,40		
7	$\alpha_\infty = -6,7$			

Контрольні завдання до роботи 20/19

1. Які інші постулати (крім основного постулату) використовуються в хімічній кінетиці?
2. Нульовий порядок реакції вказує на незалежність швидкості реакції від концентрації реагуючої речовини. Коли така закономірність можлива?
3. Обчислити константу швидкості інверсії цукру при $t = 40^\circ\text{C}$ в присутності 0,002 М розчину HCl, якщо зміна кута обертання площини поляризації розчину цукру наступна:

t , хв	40	150	∞
α , град	21,16	18,27	-5,37

Знайти кількість цукру, яка не прореагувала через 3 години після початку реакції.

ВАРІАНТ 20

1. На підставі отриманих експериментальних даних виміру кута обертання площини поляризації від часу розрахувати константу швидкості інверсії сахарози.
2. Підтвердити, чи підпорядковується дана реакція реакції першого порядку.
3. Розрахувати енергію активації даної реакції, використовуючи отримане значення середньої константи при $T = 298\text{ K}$ та відому константу при $T = 313\text{ K}$ ($k_{313} = 7,34 \cdot 10^{-2}$).
4. Вихідні дані: концентрація сахарози = 10%; $c_{\text{HCl}} = 1,5$ моль/л.

№ виміру	Час від початку реакції, хв	Кут обертання α_t	$\ln(\alpha_t - \alpha_\infty)$	k швидкості інверсії [хв^{-1}]
1	7	21,80		
2	16	19,50		
3	28	16,55		
4	38	14,40		
5	47	12,60		
6	62	10,10		
7	$\alpha_\infty = -6,7$			

Контрольні завдання до роботи 20/19

1. У чому полягає явище отруєння каталізаторів, які види отруєнь відомі?
2. Чи може молекулярність бути більше або менше порядку реакції? Для яких реакцій порядок і молекулярність збігаються?
3. Зміна кута обертання площини поляризації розчину цукру при $t = 25^\circ \text{C}$ в присутності 0,5 N розчину HCl і надлишку води наступна:

t , хв	20	176	∞
α , град	22,0	5,5	8,4

Визначити константу швидкості реакції і скільки цукру (мас.%) проінвертує протягом 250 хв.

ВАРІАНТ 21

1. На підставі отриманих експериментальних даних виміру кута обертання площини поляризації від часу розрахувати константу швидкості інверсії сахарози.
2. Підтвердити, чи підпорядковується дана реакція реакції першого порядку.
3. Розрахувати енергію активації даної реакції, використовуючи отримане значення середньої константи при $T = 298 \text{ K}$ та відому константу при $T = 313 \text{ K}$ ($k_{313} = 7,34 \cdot 10^{-2}$).
4. Вихідні дані: концентрація сахарози = 10%; $c_{\text{HCl}} = 1,5$ моль/л.

№ виміру	Час від початку реакції, хв	Кут обертання α_t	$\ln(\alpha_t - \alpha_\infty)$	k швидкості інверсії [хв^{-1}]
1	4	32,80		
2	17	27,40		
3	29	23,15		
4	42	18,70		
5	59	14,05		
6	62	13,30		
7	$\alpha_\infty = -10,10$			

Контрольні завдання до роботи 20/21

1. Чому при тривалому зберіганні H_2O_2 рекомендується стінки посудини покривати парафіном?
2. Що називається явищем промотування, які типи промоторів існують?
3. Константа швидкості реакції інверсії тростинного цукру $k = 8,3 \cdot 10^{-3} \text{ хв}^{-1}$. Визначити період напівперетворення і час (хв), протягом якого прореагує 90% цукру.

ВАРІАНТ 22

1. На підставі отриманих експериментальних даних виміру кута обертання площини поляризації від часу розрахувати константу швидкості інверсії сахарози.
2. Підтвердити, чи підпорядковується дана реакція реакції I порядку.
3. Розрахувати енергію активації даної реакції, використовуючи отримане значення середньої константи при $T = 298 \text{ К}$ та відому константу при $T = 313 \text{ К}$ ($k_{313} = 7,34 \cdot 10^{-2}$).
4. Вихідні дані: концентрація сахарози = 10%; $c_{\text{HCl}} = 1,5 \text{ моль/л}$.

№ виміру	Час від початку реакції, хв	Кут обертання α_t	$\ln(\alpha_t - \alpha_\infty)$	k швидкості інверсії [хв^{-1}]
1	5	32,70		
2	14	28,60		
3	27	23,60		
4	39	19,50		
5	56	14,80		
6	63	12,95		
7	$\alpha_\infty = -10,10$			

Контрольні завдання до роботи 20/22

1. Що називається порядком реакції по речовині і загальним (повним) кінетичним порядком реакції?
2. Які молекулярність і порядок реакції інверсії тростинного цукру? Чи можна їх змінювати в ході дослідження?
3. Константа швидкості інверсії тростинного цукру змінюється з температурою:

$t, ^\circ\text{C}$	25	40	50	55
$k \cdot 10^3, \text{хв}^{-1}$	9,67	73,4	268	491

Обчислити температурний коефіцієнт інверсії цукру для кожного температурного інтервалу і середній температурний коефіцієнт в межах $20 \div 50^\circ\text{C}$ і енергію активації.

ВАРІАНТ 23

1. На підставі отриманих експериментальних даних виміру кута обертання площини поляризації від часу розрахувати константу швидкості інверсії сахарози.
2. Підтвердити, чи підпорядковується дана реакція реакції першого порядку.
3. Розрахувати енергію активації даної реакції, використовуючи отримане значення середньої константи при $T = 298\text{ K}$ та відому константу при $T = 313\text{ K}$ ($k_{313} = 7,34 \cdot 10^{-2}$).
4. Вихідні дані: концентрація сахарози = 10%; $c_{\text{HCl}} = 1,5$ моль/л.

№ виміру	Час від початку реакції, хв	Кут обертання α_t	$\ln(\alpha_t - \alpha_\infty)$	k швидкості інверсії [хв^{-1}]
1	6	31,00		
2	16	27,85		
3	25	24,35		
4	37	20,30		
5	48	16,95		
6	58	14,40		
7	$\alpha_\infty = -10,10$			

Контрольні завдання до роботи 20/23

1. Зобразити графічно залежності концентрації продукту реакції від часу в разі реакцій першого і другого порядку.
2. Чи зміниться константа швидкості інверсії сахарози, якщо додати до реакційної суміші розчин NaCl?
3. При вивченні кінетики реакції інверсії тростинного цукру за допомогою поляриметра при $t = 20^\circ \text{C}$ отримані дані:

τ , хв	30	40	∞
α , град	31,5	29,8	-11,7

Розрахувати середнє значення константи швидкості інверсії цукру при вказаній температурі і час, протягом якого прореагує 50% цукру.

ВАРІАНТ 24

1. На підставі отриманих експериментальних даних виміру кута обертання площини поляризації від часу розрахувати константу швидкості інверсії сахарози.
2. Підтвердити, чи підпорядковується дана реакція реакції I порядку.
3. Розрахувати енергію активації даної реакції, використовуючи отримане значення середньої константи при $T = 298 \text{ K}$ та відому константу при $T = 313 \text{ K}$ ($k_{313} = 7,34 \cdot 10^{-2}$).
4. Вихідні дані: концентрація сахарози = 10%; $c_{\text{HCl}} = 1,5$ моль/л.

№ виміру	Час від початку реакції, хв	Кут обертання α_τ	$\ln(\alpha_\tau - \alpha_\infty)$	k швидкості інверсії [хв^{-1}]
1	7	31,50		
2	15	28,10		
3	23	25,15		
4	34	21,30		
5	45	17,80		
6	53	15,60		
7	$\alpha_\infty = -10,10$			

Контрольні завдання до роботи 20/24

1. Які експериментальні дані необхідні для визначення порядку реакції?

2. Показати на графіку, що називається енергією активації елементарного акту хімічного перетворення?

3. При $t = 20^\circ \text{C}$ константа швидкості інверсії тростинного цукру має середнє значення $k = 4,12 \cdot 10^{-3} \text{ хв}^{-1}$. Визначити процентний вміст цукру, що залишився в реакційній суміші через 4,5 години від початку реакції. Який буде кут обертання α_t для цього моменту часу?

ВАРІАНТ 25

1. На підставі отриманих експериментальних даних виміру кута обертання площини поляризації від часу розрахувати константу швидкості інверсії сахарози.

2. Підтвердити, чи підпорядковується дана реакція реакції I порядку.

3. Розрахувати енергію активації даної реакції, використовуючи отримане значення середньої константи при $T = 298 \text{ K}$ та відому константу при $T = 313 \text{ K}$ ($k_{313} = 7,34 \cdot 10^{-2}$).

4. Вихідні дані: концентрація сахарози = 10%; $c_{\text{HCl}} = 1,5 \text{ моль/л}$.

№ виміру	Час від початку реакції, хв	Кут обертання α_t	$\ln(\alpha_t - \alpha_\infty)$	k швидкості інверсії [хв^{-1}]
1	8	31,10		
2	18	26,00		
3	30	22,60		
4	40	19,30		
5	52	15,80		
6	60	13,80		
7	$\alpha_\infty = -10,10$			

Контрольні завдання до роботи 20/25

1. Від яких факторів залежить порядок даної реакції? Чи може порядок змінитися в ході реакції?

2. Привести графіки залежності $1/c^2 = f(\tau)$ для реакцій першого, другого, третього порядку.

3. Для вивчення реакції інверсії цукру змішали рівні об'єми розчину цукру і 1M HCl. Визначити кількість цукру, який вступив в реакцію (в мас.%), і кут обертання через 2 години після початку реакції, якщо:

τ , хв	50	150	∞
α , град	26,7	12,9	-11,7

ВАРІАНТ 26

1. На підставі отриманих експериментальних даних виміру кута обертання площини поляризації від часу розрахувати константу швидкості інверсії сахарози.
2. Підтвердити, чи підпорядковується дана реакція реакції першого порядку.
3. Розрахувати енергію активації даної реакції, використовуючи отримане значення середньої константи при $T = 298 \text{ K}$ та відому константу при $T = 313 \text{ K}$ ($k_{313} = 7,34 \cdot 10^{-2}$).
4. Вихідні дані: концентрація сахарози = 10%; $c_{\text{HCl}} = 1,5$ моль/л.

№ виміру	Час від початку реакції, хв	Кут обертання α_τ	$\ln(\alpha_\tau - \alpha_\infty)$	k швидкості інверсії [хв^{-1}]
1	9	30,70		
2	20	26,20		
3	31	22,35		
4	41	19,05		
5	54	15,30		
6	63	12,95		
7	$\alpha_\infty = -10,10$			

Контрольні завдання до роботи 20/26

1. За яких умов для необоротних реакцій першого і другого порядків концентрація продукту змінюється лінійно з часом?
2. Привести графіки залежності $1/c = f(\tau)$ для реакцій нульового, першого, другого, третього порядків.
3. Початковий і кінцевий кут обертання площини поляризації 20% розчину цукру при $t=25^\circ \text{ C}$ дорівнює $\alpha_0 = +24,09^\circ$ і $\alpha_\infty = -10,74^\circ$, відповідно. Константа інверсії $k = 8,3 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$. Знайти відсоток інвертованого цукру і кут обертання через 2 години після початку реакції.

ВАРІАНТ 27

1. На підставі отриманих експериментальних даних виміру кута обертання площини поляризації від часу розрахувати константу швидкості інверсії сахарози.
2. Підтвердити, чи підпорядковується дана реакція реакції першого порядку.
3. Розрахувати енергію активації даної реакції, використовуючи отримане значення середньої константи при $T = 298 \text{ K}$ та відому константу при $T = 313 \text{ K}$ ($k_{313} = 7,34 \cdot 10^{-2}$).
4. Вихідні дані: концентрація сахарози = 10%; $c_{\text{HCl}} = 1,5$ моль/л.

№ виміру	Час від початку реакції, хв	Кут обертання α_t	$\ln(\alpha_t - \alpha_\infty)$	k швидкості інверсії [хв^{-1}]
1	10	29,95		
2	21	25,85		
3	28	23,35		
4	39	19,50		
5	47	17,20		
6	55	15,20		
7	$\alpha_\infty = -10,10$			

Контрольні завдання до роботи 20/27

1. Записати вираз для константи швидкості інверсії сахарози. Які дані необхідно мати для розрахунку цієї величини?
2. Чи може збільшуватися порядок реакції при зміні температури?
3. Константа швидкості реакції інверсії тростинного цукру $k = 5,3 \cdot 10^{-5} \text{ c}^{-1}$. Визначити період напіврозпаду $\tau_{1/2}$ і час τ (хв), протягом якого прореагує 90% цукру.

ВАРІАНТ 28

1. На підставі отриманих експериментальних даних виміру кута обертання площини поляризації від часу розрахувати константу швидкості інверсії сахарози.
2. Підтвердити, чи підпорядковується дана реакція реакції першого порядку.

3. Розрахувати енергію активації даної реакції, використовуючи отримане значення середньої константи при $T = 298 \text{ K}$ та відому константу при $T = 313 \text{ K}$ ($k_{313} = 7,34 \cdot 10^{-2}$).

4. Вихідні дані: концентрація сахарози = 10%; $c_{\text{HCl}} = 1,5$ моль/л.

№ виміру	Час від початку реакції, хв	Кут обертання α_t	$\ln(\alpha_t - \alpha_\infty)$	k швидкості інверсії [хв^{-1}]
1	11	29,80		
2	19	26,60		
3	27	23,60		
4	38	20,00		
5	46	17,50		
6	61	13,50		
7	$\alpha_\infty = -10,10$			

Контрольні завдання до роботи 20/28

1. Що означає термін «період напіврозпаду $\tau_{1/2}$ »? Чи можна його застосовувати до реакцій другого і третього порядків?

2. У чому полягає принцип незалежності різних реакцій?

3. Визначити енергію активації $E_{\text{акт}}$ і передекспоненційний множник B реакції гідролізу розведеного розчину цукру $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, якщо константа швидкості гідролізу $k_1 = 4,42 \cdot 10^{-4} \text{ хв}^{-1}$ при $t_1 = 21^\circ \text{C}$, а при $t_2 = 41^\circ \text{C}$ $k_2 = 7,4 \cdot 10^{-3} \text{ хв}^{-1}$.

ВАРІАНТ 29

1. На підставі отриманих експериментальних даних виміру кута обертання площини поляризації від часу розрахувати константу швидкості інверсії сахарози.

2. Підтвердити, чи підпорядковується дана реакція реакції першого порядку.

3. Розрахувати енергію активації даної реакції, використовуючи отримане значення середньої константи при $T = 298 \text{ K}$ та відому константу при $T = 313 \text{ K}$ ($k_{313} = 7,34 \cdot 10^{-2}$).

4. Вихідні дані: концентрація сахарози = 10%; $c_{\text{HCl}} = 1,5$ моль/л.

№ виміру	Час від початку реакції, хв	Кут обертання α_t	$\ln(\alpha_t - \alpha_\infty)$	k швидкості інверсії [хв^{-1}]
1	12	29,30		
2	22	25,50		
3	32	21,95		
4	44	18,10		
5	51	16,10		
6	64	12,80		
7	$\alpha_\infty = -10,10$			

Контрольні завдання до роботи 20/29

1. Чи може і в яких випадках ентропія активації бути менше нуля?
2. Як пов'язані період напіврозпаду і концентрація вихідної речовини для необоротних реакцій нульового, першого, другого, третього і n -го порядків в разі рівності концентрацій всіх вихідних речовин?
3. Речовина А змішана з В і С в рівних концентраціях ($c_0 = 1$ моль/дм³). Через $1 \cdot 10^3$ секунд залишилось 50% А. Скільки речовини А залишиться через $2 \cdot 10^3$ секунд, якщо реакція має нульовий, перший, другий, третій порядок?

ВАРІАНТ 30

1. На підставі отриманих експериментальних даних виміру кута обертання площини поляризації від часу розрахувати константу швидкості інверсії сахарози.
2. Підтвердити, чи підпорядковується дана реакція реакції першого порядку.
3. Розрахувати енергію активації даної реакції, використовуючи отримане значення середньої константи при $T = 298$ К та відому константу при $T = 313$ К ($k_{313} = 7,34 \cdot 10^{-2}$).
4. Вихідні дані: концентрація сахарози = 10%; $c_{\text{HCl}} = 1,5$ моль/л.

№ виміру	Час від початку реакції, хв	Кут обертання α_t	$\ln(\alpha_t - \alpha_\infty)$	k швидкості інверсії [хв^{-1}]
1	13	29,00		
2	24	24,75		
3	33	21,65		
4	42	18,70		
5	50	16,40		
6	65	12,55		
7	$\alpha_\infty = -10,10$			

Контрольні завдання до роботи 20/30

1. Привести графіки залежності $\ln c = f(t)$ для реакцій нульового, першого, другого, третього порядку.
2. Що є температурним коефіцієнтом реакції? Як він визначається?
3. При зміні початкової концентрації з 1 до 3 моль/дм³ період напіврозпаду реакції зменшується з 3 годин до 20 хвилин. Знайти константу швидкості реакції

ВАРІАНТ 31

1. На підставі отриманих експериментальних даних виміру кута обертання площини поляризації від часу розрахувати константу швидкості інверсії сахарози.
2. Підтвердити, чи підпорядковується дана реакція реакції I порядку.
3. Розрахувати енергію активації даної реакції, використовуючи отримане значення середньої константи при $T = 298 \text{ K}$ та відому константу при $T = 313 \text{ K}$ ($k_{313} = 7,34 \cdot 10^{-2}$).
4. Вихідні дані: концентрація сахарози = 10%; $c_{\text{HCl}} = 1,5$ моль/л.

№ виміру	Час від початку реакції, хв	Кут обертання α_t	$\ln(\alpha_t - \alpha_\infty)$	k швидкості інверсії [хв^{-1}]
1	5	23,40		
2	15	19,65		
3	25	17,20		
4	35	15,00		
5	45	13,00		
6	55	11,20		
7	$\alpha_\infty = -6,7$			

Контрольні завдання до роботи 20/31

1. Що розуміють під терміном «швидкість хімічної реакції»? Чому введені два терміни – «швидкість хімічної реакції» і «швидкість хімічної реакції по даній речовині»?
2. Вказати розмірності констант швидкостей реакцій нульового, першого, другого і третього порядків. Як порівнювати константи швидкості реакцій різних порядків?
3. Початковий кут обертання площини поляризації 20%-ного розчину цукру при $T = 300 \text{ K}$ дорівнює $+ 24,09^\circ$, кінцевий: $-10,74^\circ$. Середня константа швидкості інверсії дорівнює $1,116 \cdot 10^{-2} \text{ хв}^{-1}$. Знайти відсоток проінвертованого цукру і кут обертання через 100 хвилин після початку реакції.

ВАРІАНТ 32

1. На підставі отриманих експериментальних даних виміру кута обертання площини поляризації від часу розрахувати константу швидкості інверсії сахарози.
2. Підтвердити, чи підпорядковується дана реакція реакції першого порядку.
3. Розрахувати енергію активації даної реакції, використовуючи отримане значення середньої константи при $T = 298 \text{ K}$ та відому константу при $T = 313 \text{ K}$ ($k_{313} = 7,34 \cdot 10^{-2}$).
4. Вихідні дані: концентрація сахарози = 10%; $c_{\text{HCl}} = 1,5 \text{ моль/л}$.

№ виміру	Час від початку реакції, хв	Кут обертання α_τ	$\ln(\alpha_\tau - \alpha_\infty)$	k швидкості інверсії [хв^{-1}]
1	10	21,00		
2	20	18,40		
3	30	16,10		
4	40	14,00		
5	50	12,10		
6	60	10,40		
7	$\alpha_\infty = -6,7$			

Контрольні завдання до роботи 20/32

1. З якою метою проводять нагрівання реакційної суміші при вивченні кінетики інверсії сахарози і навіщо при цьому використовується зворотний холодильник?
2. Записати вираз для константи швидкості інверсії сахарози через кути обертання площини поляризації поляризованого світла. Поясніть смисл і знак кожного кута, що використовується в цьому виразі.
3. Константа швидкості гідролізу сахарози при 25°C дорівнює $8,2 \cdot 10^{-3} \text{ хв}^{-1}$. Розрахуйте час, за який гідролізу піддається 10% початкової кількості сахарози.

ВАРІАНТ 33

1. На підставі отриманих експериментальних даних виміру кута обертання площини поляризації від часу розрахувати константу швидкості інверсії сахарози.
2. Підтвердити, чи підпорядковується дана реакція реакції першого порядку.
3. Розрахувати енергію активації даної реакції, використовуючи отримане значення середньої константи при $T = 298 \text{ K}$ та відому константу при $T = 313 \text{ K}$ ($k_{313} = 7,34 \cdot 10^{-2}$).
4. Вихідні дані: концентрація сахарози = 10%; $c_{\text{HCl}} = 1,5 \text{ моль/л}$.

№ виміру	Час від початку реакції, хв	Кут обертання α_t	$\ln(\alpha_t - \alpha_\infty)$	k швидкості інверсії [хв^{-1}]
1	6	22,10		
2	17	19,15		
3	28	16,55		
4	38	14,40		
5	47	12,60		
6	64	9,75		
7	$\alpha_\infty = -6,7$			

Контрольні завдання до роботи 20/33

1. Константа швидкості реакції гідролізу сахарози при 25°C дорівнює $9,9 \cdot 10^{-3} \text{ хв}^{-1}$. Розрахуйте: а) яка частина сахарози піддається гідролізу через дві доби; б) період напівперетворення реакції.

2. Чи можна експериментально виміряти дійсний початковий кут обертання в реакції інверсії сахарози і як його визначають?
3. Як у лабораторній роботі досягають закінчення реакції? Як визначають значення кута обертання, коли реакція пройшла до кінця?



ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 13
**ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРОРУШІЙНОЇ СИЛИ (ЕРС)
ГАЛЬВАНІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ**

Мета роботи: визначення ЕРС хімічного гальванічного елемента та її залежності від концентрації активних розчинів електролітів, а також визначення стандартних електродних потенціалів металів.

Теоретичні відомості

Гальванічний елемент – це пристрій, в якому енергія хімічної реакції перетворюється в електричну енергію. Це можна здійснити завдяки тому, що у гальванічному елементі напівреакції загальної окислювально-відновлювальної реакції рознесені у просторі.

На поверхні поділу двох фаз, до складу яких входять іони, виникає стрибок потенціалу, величина якого залежить від природи фаз, що контактують, та концентрації розчину електроліту.

Потенціал металу, зануреного у розчин його солі, виражають рівнянням:

$$E_{Me} = E_{Me}^0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{a_{Me^{n+}}}{a_{ТВ}}, \quad (13.1)$$

де E – електродний потенціал;

E_{Me}^0 – стандартний електродний потенціал;

R – універсальна газова стала;

F – число Фарадея;

T – температура;

n – кількість електронів в елементарній реакції;

$a_{ТВ}$ – активність твердої фази;

$a_{Me^{n+}}$ – активність іонів металу у розчині.

Абсолютне значення електродного потенціалу визначити дуже важко. Теоретичні розрахунки ускладнює той факт, що перехід іонів через поверхню поділу фаз супроводжується не тільки електричною, але й хімічною роботою.

Безпосереднє експериментальне вимірювання потенціалу принципово не можна здійснити, бо не існує можливості дістатися контактами межі поділу фаз, на якій реалізується стрибок потенціалу, не змінивши будови подвійного електричного шару, тобто не змінивши величини стрибка потенціалу.

Тому замість абсолютного електродного потенціалу використовують ЕРС гальванічного елемента, що має, крім даного електроду, ще інший електрод – електрод порівняння. За стандартний електрод порівняння прийнято водневий електрод, потенціал якого (в умовах $a_{H^+} = 1$ і $P_{(H_2)} = 1,013 \cdot 10^5$ Па для всіх температур) прийнято за нуль, тобто стандартний водневий потенціал є потенціал водню, який знаходиться у контакті з іонами водню у розчині з активністю, рівною одиниці, та за умови, що відносний тиск газу дорівнює одиниці.

Електродним потенціалом (умовним потенціалом) по водневій шкалі називають величину, яка дорівнює ЕРС гальванічного елемента, складеного з даного електроду та стандартного водневого електроду. Електродний потенціал вважається додатним, якщо він є позитивним полюсом такого гальванічного елемента.

ЕРС гальванічного елемента дорівнює різниці електродних потенціалів:

$$E = E_2 - E_1. \quad (13.2)$$

Схематично металевий електрод записують у вигляді:

Me^{n+} / Me , де вертикальна риска означає межу поділу фаз. На електроді відбувається реакція: $Me^{n+} + n\bar{e} = Me$.

Електроди такого типу належать до електродів I роду (метали або неметали, що обмінюються своїми іонами). Беручи до уваги, що активність твердої фази металу можна прийняти за одиницю та позначаючи активність іонів у розчині $a_{Me^{n+}}$, значення електродного потенціалу можна обчислити за рівнянням Нернста:

$$E_{Me} = E_{Me}^0 + \frac{RT}{nF} \ln a_{Me^{n+}}. \quad (13.3)$$

На практиці зручно порівнювати електродні потенціали не з водневим електродом, бо його потенціал залежить від активності іонів

водню у розчині та тиску газу, а з такими електродами, потенціал яких при постійній температурі є сталою величиною. Такими електродами є електроди II роду, наприклад, хлорсрібний електрод: $\text{AgCl}, \text{KCl} | \text{Ag}$.

Рівновага в реакції відновлення іонів срібла



обумовлюється концентрацією іонів Ag^+ . У насиченому розчині хлориду срібла вона згідно з реакцією:



залежить від концентрації іонів Cl^- або концентрації KCl , тобто сумарну електродну реакцію можна записати у вигляді:



Електродний потенціал хлорсрібного електроду згідно з формулою (13.2) може бути розрахований як

$$E_{x.c.} = E_{\text{Ag}}^0 + \frac{RT}{F} \ln a_{\text{Ag}^+} \quad (13.4)$$

Активність іонів Ag^+ можна визначити з добутку розчинності $\text{ДР} = a_{\text{Ag}^+} \cdot a_{\text{Cl}^-}$.

Тоді рівняння (13.4) буде мати вигляд:

$$E_{x.c.} = E_{\text{Ag}}^0 + \frac{RT}{F} \ln \frac{\text{ДР}_{\text{AgCl}}}{a_{\text{Cl}^-}} \quad (13.5)$$

або, беручи до уваги, що E_{Ag}^0 і ДР_{AgCl} константи,

$$E_{x.c.} = E_{x.c.}^0 - \frac{RT}{F} \ln a_{\text{Cl}^-} \quad (13.6)$$

З формули (13.6) видно, що потенціал хлорсрібного електроду у випадку використання насиченого розчину KCl залежить тільки від температури. В залежності від температури його потенціал дорівнює:

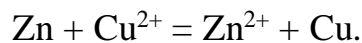
$$E_{x.c.} = 0,2224 - 4 \cdot 10^{-5} (t - 25) - 3,2 \cdot 10^{-6} (t - 25)^2.$$

Якщо гальванічний елемент складено з двох електродів різної природи, то такий елемент має назву хімічного. Прикладом такого елемента є мідь-цинковий гальванічний елемент (елемент Даніеля-Якобі). Схематично його можна записати так:



Через те, що ЕРС завжди додатна величина, негативним електродом буде той, який має менше значення електродного потенціалу. Дві паралельні риски означають, що дифузійний потенціал (потенціал, що виникає на межі поділу двох розчинів внаслідок різної рухомості іонів) ліквідовано або значно зменшено, наприклад, шляхом вміщення на межі двох розчинів соляного містка.

Сумарну реакцію в гальванічному елементі можна записати на підставі урахування зарядів окремих електродів і звідси напрямку електродних напівреакцій. На цинковому електроді буде відбуватися реакція окислення: $Zn - 2e = Zn^{2+}$ (еквівалентно $Zn = Zn^{2+} + 2e$, в реакції електрони вироблюються, електрод заряджається негативно), а на мідному – відновлення: $Cu^{2+} + 2e = Cu$ (електрони витрачаються, електрод заряджається позитивно). Сумарна реакція :



Зважаючи на заряди електродів, ЕРС цього елемента записується як

$$E = E_{Cu} - E_{Zn} \quad (13.7)$$

або, з урахуванням формули (13.3):

$$E = E_{Cu}^0 - E_{Zn}^0 + \frac{RT}{2F} \ln \frac{a_{Cu^{2+}}}{a_{Zn^{2+}}}. \quad (13.8)$$

Рівняння (13.8) дає можливість проаналізувати характер впливу концентрації електролітів на величину ЕРС гальванічного елемента. Щоб визначити E_{Me}^0 , треба скласти гальванічний елемент з цього металу, зануреного у розчин його солі відомої концентрації, та електроду порівняння, наприклад, хлорсрібного, і виміряти ЕРС такого гальванічного елемента. Наприклад, ЕРС елемента



буде дорівнювати

$$E = E_{x.c.} - E_{Zn}, \quad (13.9)$$

де $E_{x.c.}$ – потенціал хлорсрібного електроду.

Підставляючи до (13.9) величину E_{Zn} з формули (13.3), маємо:

$$E = E_{x.c.} - E_{Zn}^0 - \frac{RT}{2F} \ln a_{Zn^{2+}}, \text{ або}$$

$$E_{Zn}^0 = E_{x.c.} - E - \frac{RT}{2F} \ln a_{Zn^{2+}}. \quad (13.10)$$

Таким же чином для мідного електроду маємо:

$$E = E_{Cu} - E_{x.c.}$$

або

$$E = E_{Cu}^0 + \frac{RT}{2F} \ln a_{Cu^{2+}} - E_{x.c.}; \quad (13.11)$$

$$E_{Cu}^0 = E + E_{x.c.} - \frac{RT}{2F} \ln a_{Cu^{2+}}. \quad (13.12)$$

Активність іонів у розчині можна визначити з формули:

$$a = f \cdot c, \quad (13.13)$$

де f – коефіцієнт активності;

c – концентрація розчину електроліту, моль/л.

Значення коефіцієнтів активності беруть з довідника.

В загальному вигляді для електроліту типу K_xA_y іонні концентрації розраховуються з рівняння: $c_{\pm} = c \cdot (x^x y^y)^{\frac{1}{n}}$, де $n = x + y$.

Порядок виконання роботи

Послідовно готують цинковий та мідний напівелементи з концентраціями розчинів електролітів, що вказані викладачем. З напівелементів складають гальванічний елемент, використовуючи соляний місток, та вимірюють ЕРС.

Коли необхідно одержати рівноважне значення ЕРС, треба використовувати лише компенсаційний метод вимірювання. У випадках, коли вимоги до точності значення ЕРС, що вимірюється, не досить високі, як виняток, для виміру можна застосовувати сучасні високоомні вольтметри. Але в цьому разі необхідно брати до уваги похибку, яка виникає під час виміру. Ця похибка пов'язана з тим, що під час виміру крізь вольтметр і, відповідно, гальванічний елемент проті-

кає хоч і малий, але не нульовий електричний струм певного напрямку. Це викликає поляризацію електродів, величина якої залежить від їх природи, і, відповідно, вимірне значення ЕРС буде відрізнятися від рівноважного. В даній роботі ЕРС виміряють згідно з інструкцією, що розміщена на робочому місці. За вказівкою викладача по одному з напівелементів залишають для другої частини роботи.

Дані вимірювань записують у табл.13.1. За формулою Нернста обчислюють теоретичні значення ЕРС відповідних елементів, беручи з таблиць, що знаходяться на робочих місцях, значення стандартних потенціалів та коефіцієнти активності іонів металів у розчинах (див. табл.13.3). Обчислюють відносну помилку експерименту, порівнюючи експериментальні дані з теоретичними. Одержані результати розрахунків також вносять до табл. 13.1.

Приклад розрахунків до лабораторної роботи №13.

1. За рівнянням сумарної іонної реакції записати схему гальванічного елемента.
2. За рівнянням Нернста розрахувати при стандартних умовах електрорушійну силу гальванічного елемента E_0 для зазначених концентрацій.
3. Концентрації електролітів надані у моль/л. У газових електродах тиск газу дорівнює 1 атмосфері. Температура 298 К. Середні коефіцієнти активності та стандартні електродні потенціали взяти відповідно з додатків 1 та 2. Дифузійні потенціали не враховувати.



У таблиці наведені концентрації аніона і катіона, відповідно, для них і розрахувати електродні потенціали гальванічного елемента, що працює за рахунок наведеної реакції.

конц _{ан}	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5	1,0
конц _{кат}	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5	1,0

Додаток 1

Коефіцієнти активності γ_+ сильних електролітів при $T = 298 \text{ K}$

Електроліт	Концентрація, моль/1000 г води					
	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
ZnSO ₄	0,71	0,64	0,56	0,515	0,462	0,394
CuSO ₄	0,71	0,64	0,56	0,515	0,462	0,394

Додаток 2

№	Електрод	Реакція	E^0 , В
2	Zn ²⁺ Zn	Zn ²⁺ + 2e → Zn	-0,763
17	CuSO ₄ Cu	Cu ²⁺ + 2e → Cu	0,337

Таблиця 7

Схема електрохімічного елементу та концентрації розчинів у досліді	$E_{\text{досл.}}$, В	$E_{\text{теор.}}$, В	Відносна помилка, %
Zn ZnSO ₄ CuSO ₄ Cu			
1. $c_{11} = c_{21} =$			
2. $c_{12} = c_{22} =$			
3. $c_{13} = c_{23} =$			

Далі складають гальванічний елемент з одного з металевих електродів, що досліджуються, та хлорсрібного електроду. Виміряють ЕРС цього елементу та розраховують значення E_{Me}^0 . Таким же чином виміряють ЕРС елемента з іншим металом і розраховують його E_{Me}^0 . Обчислюють відносну помилку вимірювань, порівнюючи експериментальні дані з теоретичними значеннями E_{Me}^0 . Дані роботи записують у табл.13.2.

Таблиця 8

Схема електрохімічного елементу та концентрації розчинів	$E_{\text{досл.}}$	$E_{\text{досл.}}^0$	$E_{\text{теор.}}^0$	Відносна помилка, %
-Zn ZnSO ₄ KCl AgCl Ag+ c_{ZnSO_4}				
-Ag AgCl KCl CuSO ₄ Cu+ c_{CuSO_4}				

Таблиця 9. Коефіцієнти активності сильних електролітів у воді та стандартні електродні потенціали при $t=25^{\circ}\text{C}$

c	ZnSO ₄	CuSO ₄
0,001	0,700	0,700
0,01	0,387	0,387
0,02	0,298	0,298
0,05	0,202	0,202
0,1	0,148	0,148
0,2	0,104	0,104
0,5	0,0626	0,0626
0,75	0,0530	0,0530
1	0,0434	0,0434
$E_{\text{Zn}}^0 = -0,7636 \text{ B}$		
$E_{\text{Cu}}^0 = +0,337 \text{ B}$		
$E_{\text{х.с.}}^0 = 0,2224 - 0,4 \cdot 10^{-4}(t - 25) - 3,2 \cdot 10^{-6}(t - 25)^2$		

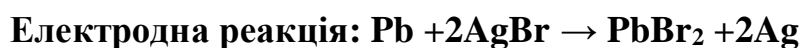
Приклади розрахунків до ЛР № 13

ВАРІАНТ

1. За рівнянням сумарної іонної реакції записати схему гальванічного елементу.
2. За рівнянням Нернста розрахувати при $T = 298 \text{ K}$ E для зазначених концентрацій.
3. Концентрації електролітів надані у моль/л. У газових електродах тиск газу дорівнює 1 атмосфері. Температура 298 K. Середні коефіцієнти активності та стандартні електродні потенціали взяти відповідно з додатків 2 та 3. Дифузійні потенціали не враховувати.
4. У таблиці 1 наведені концентрації аніону і катіона, відповідно, для них і розрахувати електродні потенціали гальванічного елементу, що працює за рахунок наведеної реакції.

Таблиця 1

конц. _{ан}	0,001	0,002	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
конц. _{кат}	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,005	0,002	0,001



Додаток 1.

Коефіцієнти активності γ_+ сильних електролітів при 298 К

Електроліт	Концентрація, моль/1000 г води								
	0,001	0,002	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
AgNO ₃	–	–	0,925	0,897	0,86	0,793	0,734	0,657	0,536
Pb(NO ₃) ₂	0,880	0,840	0,760	0,690	0,600	0,460	0,370	0,270	0,170

Додаток 2

№п/п	Електрод	Реакція	E^0 , В
1	Pb PbBr ₂ Br ⁻	PbBr ₂ + 2e → Pb + 2 Br ⁻	- 0,284
2	Ag AgBr Br ⁻	AgBr + e → Ag + Br ⁻	0,071

Рівняння Нернста складається з двох доданків і має вигляд:

$$E_{Ox,Red} = E_{Ox,Red}^0 + \frac{RT}{zF} \ln \frac{a_{Ox}}{a_{Red}}$$

Перший доданок розраховують як різницю стандартних потенціалів катоду та аноду, дані беруть з додатку 2, пом'ятемо, що ця різницяжди повина бути позитивною!

Для розрахунку другого доданку потрібно знати активність потенціалвизначаючих іонів.

Активність пов'язана з концентрацією рівнянням: $a = c \cdot \gamma \cdot L$, коефіцієнт ативності γ беремо з додатку 1 для вказаної концентрації,

а для розрахунку L використовуємо рівняння $L = \sqrt[3]{v_+^{v_+} \cdot v_-^{v_-}}$, де v_+ і v_- характеризують кількість катіонів та аніонів в формулі даного електроліту.

Наприклад, розглянемо електроліт CaCl₂, по кількості іонів цей електроліт відносять до електролітів типу 1:2. Число катіонів в цьому електроліті $v_+ = 1$, а число аніонів $v_- = 2$, тобто $v = v_+ + v_- = 3$. Другий приклад, Na₃PO₄ – цей електроліт відносять до електролітів типу 3; (або 1:3), тоді число катіонів в цьому електроліті $v_+ = 3$, а число аніонів $v_- = 1$, $v = v_+ + v_- = 1 + 3 = 4$.

Тому розрахунок L згідно з формулою $L = \sqrt[n]{v_+^+ \cdot v_-^-}$ зводиться до простих розрахунків. Так, для першого прикладу $L = \sqrt[3]{1 \cdot 2^2} = \sqrt[3]{4} = 1,59$, для другого прикладу $L = \sqrt[4]{3^3 \cdot 1} = \sqrt[4]{27} = 2,28$.

Розглянемо першу комбінацію нашого ланцюга: по-перше, він складається з обох електродів другого роду; по-друге визначимо, потенціал катоду, а по-третє – потенціал аноду. Для цього скористаємося рівнянням Нернста: концентрація електроліту в катодному просторі дорівнює 0,5 моль/л, коефіцієнт активності для цієї концентрації згідно додатку 1 дорівнює $\gamma = 0,536$, даний електроліт AgNO_3 належить до типу 1:1, тому $L = 1$. З урахуванням всього зазначеного вище, маємо:

$$\begin{aligned} E_{\text{Az}^-/\text{MA}/\text{M}} &= E_{\text{Az}^-/\text{MA}/\text{M}}^0 - \frac{RT}{zF} \ln a_- = \\ &= 0,071 - 0,059 \lg a_{\pm} = 0,071 - 0,059 \lg (0,5 \cdot 0,536) = \\ &= 0,071 - 0,059 \lg (0,268) = 0,071 - (-0,0337) = \\ &= 0,071 + 0,0337 = 0,1047 \text{ В.} \end{aligned}$$

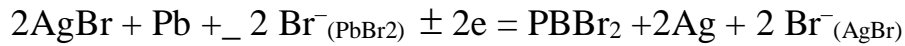
Аналогічно розрахуємо потенціал аноду: концентрація електроліту $c = 0,001$ моль/л, коефіцієнт активності для неї $\gamma = 0,880$, даний електроліт належить до типу 1:2, тому $L = 1,59$, число електронів в даному випадку $z=2$, треба також звернути увагу на те, що активності потенціал визначаючих іонів в рівнянні Нернста стоять в степенях, рівних їх стехіометричним коефіцієнтам, тому в даному випадку зникають обидві 2:

$$\begin{aligned} E_- &= -0,284 - \frac{0,059}{2} \lg (a_{\pm})^2 = -0,284 - \frac{0,059}{2} \lg (0,001 \cdot 0,880 \cdot 1,59)^2 = \\ &= -0,284 - \frac{0,059 \cdot 2}{2} \lg (0,0014) = -0,284 - 0,059(-2,854) = \\ &= -0,284 + 0,1684 = -0,1156 \text{ В.} \end{aligned}$$

Потенціал всього ланцюгу розраховують як різницю між потенціалом катоду та потенціалом аноду, тобто,

$$E = E_+ - E_- = 0,1047 - (-0,1156) = 0,2204 \text{ В.}$$

Цю ж задачу можна вирішити другим способом, виходячи з загального рівняння окислювально-відновної реакції, яка протікає в даному ланцюгу:



$$E = E_{+}^{0} - E_{-}^{0} + \frac{0,059}{2} \lg \frac{(0,001 \cdot 0,88 \cdot 1,59)^2}{(0,5 \cdot 0,536)} =$$

$$= 0,355 + 0,059 \lg(0,00522) =$$

$$= 0,355 - 0,1346 = 0,2204\text{В.}$$

Якщо розрахунки зроблені вірно, то обидва способи дадуть однакові результати.

Аналогічно розраховуємо потенціали ланцюгу для других концентрацій

Контрольні питання

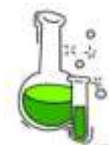
1. Що називається умовним значенням електродного потенціалу?
2. Напишіть і проаналізуйте рівняння Нернста для електродного потенціалу.
3. Які існують електроди порівняння?
4. Від яких параметрів залежить електродний потенціал металів? Газів?
5. Що таке електродний потенціал?
6. У чому особливість електродів II роду?
7. Від яких факторів залежить електродний потенціал електродів II роду?
8. Як можна експериментальним шляхом визначити величину електродного потенціалу?
9. За допомогою яких приладів вимірюють ЕРС гальванічних елементів? Які переваги має компенсаційний метод вимірювання ЕРС?
10. Для чого потрібний соляної місток? Як вибрати електроліт для соляного містка?
11. Чим зумовлена наявність дифузійного потенціалу на межі розділу двох розчинів?
12. Що таке хімічний гальванічний елемент?
13. Що таке концентраційний гальванічний елемент?

14. На якому принципі побудований ряд напруги?

15. Від яких параметрів залежить ЕРС хімічного гальванічного елемента?

16. Як, змінюючи концентрації електролітів, збільшити (зменшити) ЕРС елемента Якобі-Даніеля?

17. У яких умовах ЕРС гальванічного елемента дорівнює стандартному значенню? Чи є відмінність у цих умовах і умовах для стандартного значення окремого електрода?



БАГАТОВАІАНТНІ ЗАВДАННЯ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ № 13

ВАРІАНТ 1

1. За рівнянням сумарної іонної реакції записати схему гальванічного елемента.
2. За рівнянням Нернста розрахувати при $T = 298 \text{ K}$ ЕРС для зазначених концентрацій.
3. Концентрації електролітів надані у моль/л. У газових електродах тиск газу дорівнює 1 атмосфері. Температура 298 К. Середні коефіцієнти активності та стандартні електродні потенціали взяти відповідно з додатків 1 і 2. Дифузійні потенціали не враховувати.
4. У таблиці наведені концентрації аніона і катіона, відповідно, для них і розрахувати електродні потенціали гальванічного елемента, що працює за рахунок наведеної реакції.

конц.ан	0,001	0,002	0,001	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
конц.кат	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,005	0,002	0,001

Електродна реакція: $\text{Zn} + \text{Hg}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{ZnSO}_4 + 2\text{Hg}$

Додаток 1

Коефіцієнти активності γ_+ сильних електролітів при $T = 298 \text{ K}$

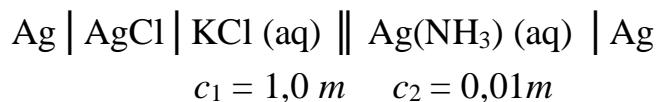
Електроліт	Концентрація, моль/1000 г води								
	0,001	0,002	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
ZnSO ₄	0,700	0,608	0,477	0,387	0,298	0,202	0,15	0,104	0,063

Додаток 2

№п/п	Електрод	Реакція	$E^0, \text{ В}$
1	$\text{Zn}^{2+} \text{Zn}$	$\text{Zn}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Zn}$	- 0,763
2	$\text{Hg} \text{Hg}_2\text{SO}_4 \text{SO}_4^{2-}$	$\text{Hg}_2\text{SO}_4 + 2e \rightarrow 2\text{Hg} + \text{SO}_4^{2-}$	0,615

Контрольні питання до роботи 13/01

1. Визначити ЕРС ланцюга при $T = 298 \text{ K}$:



якщо $E_0 (\text{Cl}^- | \text{AgCl} | \text{Ag}) = 0,222 \text{ В}$; $E_0 (\text{Ag} (\text{NH}_3) | \text{Ag}) = 0,799 \text{ В}$.

Середні коефіцієнти активності γ_+ (KCl) = 0,604 і ($\text{Ag}(\text{NH}_3)$) = 0,807.

2. Чи впливає і як присутність сторонніх індиферентних іонів на потенціал електроду першого роду?

3. Що таке концентраційний гальванічний елемент?

ВАРІАНТ 2

1. За рівнянням сумарної іонної реакції записати схему гальванічного елементу.

2. За рівнянням Нернста розрахувати при $T = 298 \text{ K}$ ЕРС для зазначених концентрацій.

3. Концентрації електролітів надані у моль/л. У газових електродах тиск газу дорівнює 1 атмосфері. Температура 298 К. Середні коефіцієнти активності та стандартні електродні потенціали взяти відповідно з додатків 1 та 2. Дифузійні потенціали не враховувати.

4. У таблиці наведені концентрації аніона і катіона, відповідно, для них і розрахувати електродні потенціали гальванічного елементу, що працює за рахунок наведеної реакції.

конц. _{ан}	0,001	0,002	0,001	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
конц. _{кат}	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,005	0,002	0,001

Електродна реакція: $\text{ZnCl}_2 + \text{Mg} \rightarrow \text{MgCl}_2 + \text{Zn}$

Додаток 1

Коефіцієнти активності γ_+ сильних електролітів при $T = 298 \text{ K}$

Електроліт	Концентрація, моль/1000 г води								
	0,001	0,002	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
ZnCl_2	0,880	0,840	0,770	0,710	0,640	0,560	0,515	0,462	0,394
MgSO_4	–	–	–	–	–	–	0,150	0,108	0,068

Додаток 2

№п/п	Електрод	Реакція	$E^0, \text{ В}$
1	$\text{Zn}^{2+} \text{Zn}$	$\text{Zn}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Zn}$	– 0,763
2	$\text{Mg}^{2+} \text{Mg}$	$\text{Mg}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Mg}$	– 2,363

Контрольні питання до роботи 13/02

1. Яку роль виконує елемент Вестона при вимірюванні ЕРС гальванічного елемента?
2. Що станеться, якщо помістити пластинку Zn в розчин CuSO₄? Записати електродну реакцію.
3. Визначити добуток розчинності ДР (AgBr) при $T = 323$ К, якщо при цій температурі стандартні потенціали $E_0(\text{Ag} | \text{AgBr} | \text{KBr}) = 0,046$ В і $E_0(\text{Ag} | \text{Ag}^+) = 0,749$ В.

ВАРІАНТ 3

1. За рівнянням сумарної іонної реакції записати схему гальванічного елемента.
2. За рівнянням Нернста розрахувати при $T = 298$ К ЕРС для зазначених концентрацій.
3. Концентрації електролітів надані у моль/л. У газових електродах тиск газу дорівнює 1 атмосфері. Температура 298 К. Середні коефіцієнти активності та стандартні електродні потенціали взяти відповідно з додатків 1 та 2. Дифузійні потенціали не враховувати.
4. У таблиці наведені концентрації аніона і катіона, відповідно, для них і розрахувати електродні потенціали гальванічного елемента, що працює за рахунок наведеної реакції.

конц.ан	0,001	0,002	0,001	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
конц.кат	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,005	0,002	0,001



Додаток 1

Коефіцієнти активності γ_+ сильних електролітів при $T = 298$ К

Електроліт	Концентрація, моль/1000 г води								
	0,001	0,002	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
AgNO ₃	–	–	0,925	0,897	0,86	0,793	0,734	0,657	0,536
Pb(NO ₃) ₂	0,880	0,840	0,760	0,690	0,600	0,460	0,370	0,270	0,170

Додаток 2

№п/п	Електрод	Реакція	E^0 , В
1	Pb PbBr ₂ Br ⁻	PbBr ₂ + 2e → Pb + 2 Br ⁻	- 0,284
2	Ag AgBr Br ⁻	AgBr + e → Ag + Br ⁻	0,071

Контрольні питання до роботи 13/03

1. Яким тепловим ефектом супроводжується робота елемента Данієля-Якобі?
2. Що являє собою дифузійний потенціал, як його виміряти, як його можна усунути в експерименті?
3. Чим визначається знак електродних потенціалів в концентраційному гальванічному елементі? Привести приклади.

ВАРІАНТ 4

1. За рівнянням сумарної іонної реакції записати схему гальванічного елемента.
2. За рівнянням Нернста розрахувати при $T = 298$ К ЕРС для зазначених концентрацій.
3. Концентрації електролітів надані у моль/л. У газових електродах тиск газу дорівнює 1 атмосфері. Температура 298 К. Середні коефіцієнти активності та стандартні електродні потенціали взяти відповідно з додатків 1 та 2. Дифузійні потенціали не враховувати.
4. У таблиці наведені концентрації аніона і катіона, відповідно, для них і розрахувати електродні потенціали гальванічного елемента, що працює за рахунок наведеної реакції.

конц. _{ан}	0,001	0,002	0,001	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
конц. _{кат}	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,005	0,002	0,001

Електродна реакція: $\text{Cd} + 2\text{AgCl} \rightarrow \text{CdCl}_2 + 2\text{Ag}$

Додаток 1

Коефіцієнти активності γ_+ сильних електролітів при $T = 298$ К

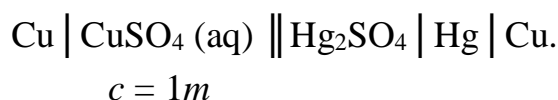
Електроліт	Концентрація, моль/1000 г води								
	0,001	0,002	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
CdCl ₂	0,819	0,743	0,623	0,524	0,456	0,304	0,228	0,161	0,101

Додаток 2

№п/п	Електрод	Реакція	E^0 , В
1	$\text{Cd}^{2+} \text{Cd}$	$\text{Cd}^{2+} + 2 e \rightarrow \text{Cd}$	- 0,403
2	$\text{Ag} \text{AgCl} \text{Cl}^-$	$\text{AgCl} + e \rightarrow \text{Ag} + \text{Cl}^-$	0,222

Контрольні питання до роботи 13/04

1. Користуючись даними довідника розрахувати при $T = 298 \text{ K}$ ЕРС гальванічного елементу:

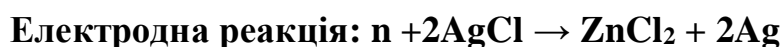


- Чи можна обчислити ЕРС гальванічного елементу з теплового ефекту реакції, яка протікає в ньому?
- Записати основне рівняння термодинаміки хімічної гальванічного елементу.

ВАРІАНТ 5

- За рівнянням сумарної іонної реакції записати схему гальванічного елементу.
- За рівнянням Нернста розрахувати при $T = 298 \text{ K}$ ЕРС для зазначених концентрацій.
- Концентрації електролітів надані у моль/л. У газових електродах тиск газу дорівнює 1 атмосфері. Температура 298 К. Середні коефіцієнти активності та стандартні електродні потенціали взяти відповідно з додатків 1 та 2. Дифузійні потенціали не враховувати.
- У таблиці наведені концентрації аніона і катіона, відповідно, для них і розрахувати електродні потенціали гальванічного елементу, що працює за рахунок наведеної реакції.

конц. _{ан}	0,001	0,002	0,001	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
конц. _{кат}	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,005	0,002	0,001



Додаток 1

Коефіцієнти активності γ_+ сильних електролітів при $T = 298 \text{ K}$

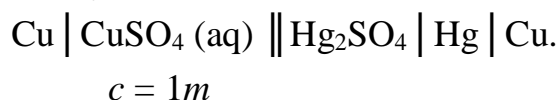
Електроліт	Концентрація, моль/1000 г води								
	0,001	0,002	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
KNO ₃	0,965	0,951	0,927	0,898	0,862	0,799	0,739	0,663	0,545
ZnCl ₂	0,880	0,840	0,770	0,710	0,640	0,560	0,515	0,462	0,394

Додаток 2

№п/п	Електрод	Реакція	$E^0, \text{ В}$
1	Zn ²⁺ Zn	Zn ²⁺ + 2e → Zn	-0,763
2	Ag AgCl Cl ⁻	AgCl + e → Ag + Cl ⁻	0,222

Контрольні питання до роботи 13/05

1. Користуючись даними довідника, розрахувати при $T = 298 \text{ K}$ ЕРС гальванічного елементу:



2. Чи можна обчислити ЕРС гальванічного елементу з теплового ефекту реакції, яка протікає в ньому?

3. Стандартний електродний потенціал літійового електроду при $T = 298 \text{ K}$ дорівнює $E^0 = -3,045 \text{ В}$. Як буде заряджена (позитивно чи негативно) поверхня металевого літію, якщо його опустити в розчин, який містить іони літію?

ВАРІАНТ 6

1. За рівнянням сумарної іонної реакції записати схему гальванічного елементу.

2. За рівнянням Нернста розрахувати при $T = 298 \text{ K}$ ЕРС для зазначених концентрацій.

3. Концентрації електролітів надані у моль/л. У газових електродах тиск газу дорівнює 1 атмосфері. Температура 298 К. Середні коефіцієнти активності та стандартні електродні потенціали взяти відповідно з додатків 1 та 2. Дифузійні потенціали не враховувати.

4. У таблиці наведені концентрації аніона і катіона, відповідно, для них і розрахувати електродні потенціали гальванічного елементу, що працює за рахунок наведеної реакції.

конц. _{ан}	0,001	0,002	0,001	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
конц. _{кат}	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,005	0,002	0,001

Електродна реакція: $\text{Fe} + \text{CuCl}_2 \rightarrow \text{FeCl}_2 + \text{Cu}$

Додаток 1

Коефіцієнти активності γ_+ сильних електролітів при $T = 298 \text{ K}$

Електроліт	Концентрація, моль/1000 г води								
	0,001	0,002	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
CdCl_2	0,819	0,743	0,623	0,524	0,456	0,304	0,228	0,161	0,101
FeCl_2	0,890	0,860	0,800	0,750	0,700	0,620	0,520	0,470	0,450

Додаток 2

№п/п	Електрод	Реакція	$E^0, \text{ В}$
1	$\text{Fe}^{2+} \text{Fe}$	$\text{Fe}^{2+} + 2 e \rightarrow \text{Fe}$	- 0,440
2	$\text{Cu}^{2+} \text{Cu}$	$\text{Cu}^{2+} + 2 e \rightarrow \text{Cu}$	0,337

Контрольні питання до роботи 13/06

1. Записати електрохімічний ланцюг гальванічного елементу Даніеля-Якобі. Вказати місця виникнення стрибків потенціалів.
2. У яких умовах ЕРС гальванічного елементу дорівнює стандартному значенню? Чи є відмінність у цих умовах і умовах для стандартного значення окремого електрода?
3. Стандартний електродний потенціал срібного електроду при $T = 298 \text{ K}$ дорівнює $E^0 = +0,799 \text{ В}$. Як буде заряджена (позитивно або негативно) поверхня металевого срібла, якщо його опустити в розчин, який містить іони срібла?

ВАРІАНТ 7

1. За рівнянням сумарної іонної реакції записати схему гальванічного елементу.

2. За рівнянням Нернста розрахувати при $T = 298 \text{ K}$ ЕРС для зазначених концентрацій.
3. Концентрації електролітів надані у моль/л. У газових електродах тиск газу дорівнює 1 атмосфері. Температура 298 К. Середні коефіцієнти активності та стандартні електродні потенціали взяти відповідно з додатків 1 та 2. Дифузійні потенціали не враховувати.
4. У таблиці наведені концентрації аніона і катіона, відповідно, для них і розрахувати електродні потенціали гальванічного елементу, що працює за рахунок наведеної реакції.

конц. _{ан}	0,001	0,002	0,001	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
конц. _{кат}	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,005	0,002	0,001

Електродна реакція: $\text{Cd} + \text{PbCl}_2 \rightarrow \text{CdCl}_2 + \text{Pb}$

Додаток 1

Коефіцієнти активності γ_+ сильних електролітів при $T = 298 \text{ K}$

Електроліт	Концентрація, моль/1000 г води								
	0,001	0,002	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
CdCl_2	0,819	0,743	0,623	0,524	0,456	0,304	0,228	0,161	0,101

Додаток 2

№п/п	Електрод	Реакція	$E^0, \text{ В}$
1	$\text{Cd}^{2+} \text{Cd}$	$\text{Cd}^{2+} + 2 e \rightarrow \text{Cd}$	- 0,403
2	$\text{Pb} \text{PbCl}_2 \text{Cl}^-$	$\text{PbCl}_2 + 2e \rightarrow \text{Pb} + 2 \text{Cl}^-$	- 0,268

Контрольні питання до роботи 13/07

1. Нехтуючи дифузійним потенціалом, порівняти за величиною ЕРС наступних гальванічних елементів, взятих при однаковій температурі:



$$c_1 = 0,1 \text{ m} \quad c_2 = 0,01 \text{ m}$$



$$c_1 = 1,0 \text{ m} \quad c_2 = 0,1 \text{ m}$$

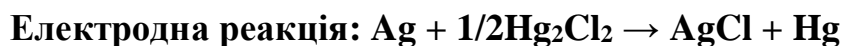
2. У чому полягає експериментальний метод визначення нормального електродного потенціалу металу?

3. Що називається умовним значенням електродного потенціалу?

ВАРІАНТ 8

1. За рівнянням сумарної іонної реакції записати схему гальванічного елементу.
2. За рівнянням Нернста розрахувати при $T = 298 \text{ K}$ ЕРС для зазначених концентрацій.
3. Концентрації електролітів надані у моль/л. У газових електродах тиск газу дорівнює 1 атмосфері. Температура 298 К. Середні коефіцієнти активності та стандартні електродні потенціали взяти відповідно з додатків 1 та 2. Дифузійні потенціали не враховувати.
4. У таблиці наведені концентрації аніона і катіона, відповідно, для них і розрахувати електродні потенціали гальванічного елементу, що працює за рахунок наведеної реакції.

конц. _{ан}	0,001	0,002	0,001	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
конц. _{кат}	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,005	0,002	0,001



Додаток 1

Коефіцієнти активності γ_+ сильних електролітів при $T = 298 \text{ K}$

Електроліт	Концентрація, моль/1000 г води								
	0,001	0,002	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
KCl	0,965	0,952	0,927	0,902	0,869	0,816	0,77	0,718	0,649

Додаток 2

№п/п	Електрод	Реакція	$E^0, \text{В}$
1	$\text{Ag} \mid \text{AgCl} \mid \text{Cl}^-$	$\text{AgCl} + e \rightarrow \text{Ag} + \text{Cl}^-$	0,222
2	$\text{Hg} \mid \text{Hg}_2\text{Cl}_2 \mid \text{Cl}^-$	$1/2 \text{Hg}_2\text{Cl}_2 + e \rightarrow \text{Hg} + \text{Cl}^-$	0,268

Контрольні питання до роботи 13/08.

1. Яка ЕРС ланцюга, складеного з Ag і Cu електродів, занурених у розчини їх азотнокислих розчинів з відношенням концентрацій 1:10, відповідно? Використовувати дані довідника.
2. Привести приклади хімічного гальванічного елементу і пояснити принцип його роботи.
3. Написати і проаналізувати рівняння Нернста для електродного потенціалу.

ВАРІАНТ 9

1. За рівнянням сумарної іонної реакції записати схему гальванічного елемента.
2. За рівнянням Нернста розрахувати при $T = 298 \text{ K}$ ЕРС для зазначених концентрацій.
3. Концентрації електролітів надані у моль/л. У газових електродах тиск газу дорівнює 1 атмосфері. Температура 298 К. Середні коефіцієнти активності та стандартні електродні потенціали взяти відповідно з додатків 1 та 2. Дифузійні потенціали не враховувати.
4. У таблиці наведені концентрації аніона і катіона, відповідно, для них і розрахувати електродні потенціали гальванічного елемента, що працює за рахунок наведеної реакції.

конц.-ан	0,001	0,002	0,001	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
конц.-кат	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,005	0,002	0,001

Електродна реакція: $\text{AgNO}_3 + \frac{1}{2} \text{H}_2 \rightarrow \text{Ag} + \text{HNO}_3$

Додаток 1

Коефіцієнти активності γ_+ сильних електролітів при $T = 298 \text{ K}$

Електроліт	Концентрація, моль/1000 г води								
	0,001	0,002	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
AgNO_3	–	–	0,925	0,897	0,86	0,793	0,734	0,657	0,536
HNO_3	0,965	0,951	0,927	0,902	0,871	0,823	0,791	0,754	0,720

Додаток 2

№п/п	Електрод	Реакція	$E^0, \text{В}$
1	$\text{H}^+ \text{H}_2$	$\text{H}^+ + e \rightarrow \frac{1}{2} \text{H}_2$	0,000
2	$\text{Ag}^+ \text{Ag}$	$\text{Ag}^+ + e \rightarrow \text{Ag}$	0,799

Контрольні питання до роботи 13/09

1. Які фактори впливають на величину електродного потенціалу? За якою формулою можна її розрахувати?
2. Яким тепловим ефектом супроводжується робота ланцюга з негативним температурним коефіцієнтом?

3. При $T = 298 \text{ K}$ потенціал мідного електроду при $a_{\text{Cu}^{2+}} = 0,005$ дорівнює $E(\text{Cu} \mid \text{Cu}^{2+}) = +0,269 \text{ В}$. Обчислити стандартний потенціал мідного електроду.

ВАРІАНТ 10

1. За рівнянням сумарної іонної реакції записати схему гальванічного елементу.
2. За рівнянням Нернста розрахувати при $T = 298 \text{ K}$ ЕРС для зазначених концентрацій.
3. Концентрації електролітів надані у моль/л. У газових електродах тиск газу дорівнює 1 атмосфері. Температура 298 К. Середні коефіцієнти активності та стандартні електродні потенціали взяти відповідно з додатків 1 та 2. Дифузійні потенціали не враховувати.
4. У таблиці наведені концентрації аніона і катіона, відповідно, для них і розрахувати електродні потенціали гальванічного елементу, що працює за рахунок наведеної реакції.

конц.ан	0,001	0,002	0,001	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
конц.кат	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,005	0,002	0,001

Електродна реакція: $\text{Zn} + \text{Hg}_2\text{Cl}_2 \rightarrow \text{ZnCl}_2 + 2\text{Hg}$

Додаток 1

Коефіцієнти активності γ_+ сильних електролітів при $T = 298 \text{ K}$

Електроліт	Концентрація, моль/1000 г води								
	0,001	0,002	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
ZnCl ₂	0,880	0,840	0,770	0,710	0,640	0,560	0,515	0,462	0,394

Додаток 2

№п/п	Електрод	Реакція	$E^0, \text{ В}$
1	$\text{Zn}^{2+} \mid \text{Zn}$	$\text{Zn}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Zn}$	- 0,763
2	$\text{Hg} \mid \text{Hg}_2\text{Cl}_2 \mid \text{Cl}^-$	$1/2 \text{Hg}_2\text{Cl}_2 + e \rightarrow \text{Hg} + \text{Cl}^-$	0,268

Контрольні питання до роботи 13/10

1. У гальванічному елементі протікає реакція в бік збільшення газоподібних продуктів з конденсованих вихідних речовин. Чи впливає і як збільшення зовнішнього тиску на величину ЕРС?

- Для яких гальванічних елементів величина ЕРС не залежить від величин стандартних електродних потенціалів? Привести приклади.
- Розрахувати E^0 ($\text{Ag} \mid \text{AgI} \mid \text{KI}$) при $T = 298 \text{ K}$, якщо при цій температурі додток розчинності ДР (AgI) = $8,1 \cdot 10^{-16}$, а E^0 ($\text{Ag} \mid \text{Ag}^+$) = + 0,799 В.

ВАРІАНТ 11

- За рівнянням сумарної іонної реакції записати схему гальванічного елементу.
- За рівнянням Нернста розрахувати при $T = 298 \text{ K}$ ЕРС для зазначених концентрацій.
- Концентрації електролітів надані у моль/л. У газових електродах тиск газу дорівнює 1 атмосфері. Температура 298 К. Середні коефіцієнти активності та стандартні електродні потенціали взяти відповідно з додатків 1 та 2. Дифузійні потенціали не враховувати.
- У таблиці наведені концентрації аніона і катіона, відповідно, для них і розрахувати електродні потенціали гальванічного елементу, що працює за рахунок наведеної реакції.

конц.ан	0,001	0,002	0,001	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
конц.кат	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,005	0,002	0,001

Електродна реакція: $\text{Pb} + 2\text{AgCl} \rightarrow \text{PbCl}_2 + 2\text{Ag}$

Додаток 1

Коефіцієнти активності γ_+ сильних електролітів при $T = 298 \text{ K}$

Електроліт	Концентрація, моль/1000 г води								
	0,001	0,002	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
HCl	0,965	0,952	0,928	0,904	0,875	0,83	0,796	0,767	0,757

Додаток 2

№п/п	Електрод	Реакція	E^0 , В
1	$\text{Pb}^{2+} \mid \text{Pb}$	$\text{Pb}^{2+} + e \rightarrow \text{Pb}$	- 0,126
2	$\text{Ag} \mid \text{AgCl} \mid \text{Cl}^-$	$\text{AgCl} + e \rightarrow \text{Ag} + \text{Cl}^-$	0,222

Контрольні питання до роботи 13/11

- Яким тепловим ефектом супроводжується робота ланцюга з позитивним температурним коефіцієнтом

2. ЕРС гальванічного елементу як функція температури виражається рівнянням $E = A + B\Delta T$. Виведіть рівняння для розрахунку ΔS , ΔG і ΔH при температурі T .

3. Напишіть рівняння Нернста для хлорного електроду.

ВАРІАНТ 12

1. За рівнянням сумарної іонної реакції записати схему гальванічного елементу.

2. За рівнянням Нернста розрахувати при $T = 298$ К ЕРС для зазначених концентрацій.

3. Концентрації електролітів надані у моль/л. У газових електродах тиск газу дорівнює 1 атмосфері. Температура 298 К. Середні коефіцієнти активності та стандартні електродні потенціали взяти відповідно з додатків 1 та 2. Дифузійні потенціали не враховувати.

4. У таблиці наведені концентрації аніона і катіона, відповідно, для них і розрахувати електродні потенціали гальванічного елементу, що працює за рахунок наведеної реакції.

конц. _{ан}	0,001	0,002	0,001	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
конц. _{кат}	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,005	0,002	0,001

Електродна реакція: $\text{Pb} + \text{Hg}_2\text{Br}_2 \rightarrow \text{PbBr}_2 + 2\text{Hg}$

Додаток 1

Коефіцієнти активності γ_+ сильних електролітів при $T = 298$ К

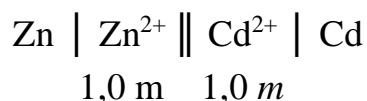
Електроліт	Концентрація, моль/1000 г води								
	0,001	0,002	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
HBr	0,966	–	0,93	0,906	0,879	0,838	0,805	0,782	0,789

Додаток 2

№п/п	Електрод	Реакція	E^0 , В
1	$\text{Pb} \mid \text{PbBr}_2 \mid \text{Br}^-$	$\text{PbBr}_2 + 2e \rightarrow \text{Pb} + 2 \text{Br}^-$	– 0,284
2	$\text{Hg} \mid \text{Hg}_2\text{Br}_2 \mid \text{Br}^-$	$1/2 \text{Hg}_2\text{Br}_2 + e \rightarrow \text{Hg} + \text{Br}^-$	0,140

Контрольні питання до роботи 13/12

1. Розрахувати ЕРС ланцюга на підставі величин електродних потенціалів:



$$E^0 (\text{Zn} \mid \text{Zn}^{2+}) = -0,763 \text{ В}, E^0 (\text{Cd} \mid \text{Cd}^{2+}) = -0,403 \text{ В}.$$

Який з електродів буде негативним полюсом?

2. Чи можливий електрохімічний ланцюг, який здійснює роботу виключно за рахунок поглинання теплоти з навколишнього середовища? Які параметри такого ланцюга?

3. Як впливає температура на ЕРС гальванічного елементу? Привести приклади.

ВАРІАНТ 13

1. За рівнянням сумарної іонної реакції записати схему гальванічного елементу.

2. За рівнянням Нернста розрахувати при $T = 298 \text{ К}$ ЕРС для зазначених концентрацій.

3. Концентрації електролітів надані у моль/л. У газових електродах тиск газу дорівнює 1 атмосфері. Температура 298 К. Середні коефіцієнти активності та стандартні електродні потенціали взяти відповідно з додатків 1 та 2. Дифузійні потенціали не враховувати.

4. У таблиці наведені концентрації аніона і катіона, відповідно, для них і розрахувати електродні потенціали гальванічного елементу, що працює за рахунок наведеної реакції.

конц. _{ан}	0,001	0,002	0,001	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
конц. _{кат}	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,005	0,002	0,001

Електродна реакція: $\text{Zn} + \text{CuSO}_4 \rightarrow \text{ZnSO}_4 + \text{Cu}$

Додаток 1

Коефіцієнти активності γ_+ сильних електролітів при $T = 298 \text{ К}$

Електроліт	Концентрація, моль/1000 г води								
	0,001	0,002	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
CuSO_4	0,74	–	0,573	0,438	0,317	0,217	0,154	0,104	0,062
ZnSO_4	0,700	0,608	0,477	0,387	0,298	0,202	0,15	0,104	0,063

Додаток 2

№п/п	Електрод	Реакція	E^0 , В
1	$\text{Zn}^{2+} \text{Zn}$	$\text{Zn}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Zn}$	- 0,763
2	$\text{Cu}^{2+} \text{Cu}$	$\text{Cu}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Cu}$	0,337

Контрольні питання до роботи 13/13

1. Чи буде протікати у водному розчині при $T = 298 \text{ К}$ реакція з рівняння: $\text{Ag}^0 + \text{Fe}^{3+} = \text{Fe}^{2+} + \text{Ag}^+$, якщо активності $a \text{ Ag}^+ = 1$, $a \text{ Fe}^{3+} = 0,1$, $a \text{ Fe}^{2+} = 0,01$? Визначити константу рівноваги цієї реакції при $T = 298 \text{ К}$ за даними довідника.
2. Як в лабораторній роботі проводиться визначення нормального потенціалу Cu електроду? Записати ланцюг.
3. Чи включає ЕРС ланцюга контактну різницю потенціалів?

ВАРІАНТ 14

1. За рівнянням сумарної іонної реакції записати схему гальванічного елемента.
2. За рівнянням Нернста розрахувати при $T = 298 \text{ К}$ ЕРС для зазначених концентрацій.
3. Концентрації електролітів надані у моль/л. У газових електродах тиск газу дорівнює 1 атмосфері. Температура 298 К. Середні коефіцієнти активності та стандартні електродні потенціали взяти відповідно з додатків 1 та 2. Дифузійні потенціали не враховувати.
4. У таблиці наведені концентрації аніона і катіона, відповідно, для них і розрахувати електродні потенціали гальванічного елемента, що працює за рахунок наведеної реакції.

конц. _{ан}	0,001	0,002	0,001	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
конц. _{кат}	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,005	0,002	0,001

Електродна реакція: $\text{Zn} + \text{NiSO}_4 \rightarrow \text{ZnSO}_4 + \text{Ni}$

Додаток 1

Коефіцієнти активності γ_+ сильних електролітів при $T = 298 \text{ K}$

Електроліт	Концентрація, моль/1000 г води								
	0,001	0,002	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
NiSO ₄	–	–	–	–	–	–	0,150	0,105	0,063
ZnSO ₄	0,700	0,608	0,477	0,387	0,298	0,202	0,15	0,104	0,063

Додаток 2

№п/п	Електрод	Реакція	$E^0, \text{ В}$
1	Zn ²⁺ Zn	Zn ²⁺ + 2e → Zn	– 0,763
2	Ni ²⁺ Ni	Ni ²⁺ + 2 e → Ni	– 0,250

Контрольні питання до роботи 13/14

1. Що означає термін «стандартний потенціал даного електроду»? Від чого він залежить? Що таке електрохімічний ряд напруги?

2. Визначити ЕРС елемента



якщо активності іонів нікелю і кадмію в розчинах дорівнюють 1 і $E^0(\text{Cd} \mid \text{Cd}^{2+}) = -0,403 \text{ В}$, $E^0(\text{Ni} \mid \text{Ni}^{2+}) = -0,250 \text{ В}$.

3. У чому суть компенсаційного методу вимірювання ЕРС?

ВАРІАНТ 15

1. За рівнянням сумарної іонної реакції записати схему гальванічного елемента.

2. За рівнянням Нернста розрахувати при $T = 298 \text{ K}$ ЕРС для зазначених концентрацій.

3. Концентрації електролітів надані у моль/л. У газових електродах тиск газу дорівнює 1 атмосфері. Температура 298 К. Середні коефіцієнти активності та стандартні електродні потенціали взяти відповідно з додатків 1 та 2. Дифузійні потенціали не враховувати.

4. У таблиці наведені концентрації аніона і катіона, відповідно, для них і розрахувати електродні потенціали гальванічного елемента, що працює за рахунок наведеної реакції.

конц.ан	0,001	0,002	0,001	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
конц.кат	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,005	0,002	0,001

Електродна реакція: $\text{Ni} + \text{CuSO}_4 \rightarrow \text{NiSO}_4 + \text{Cu}$

Додаток 1

Коефіцієнти активності γ_+ сильних електролітів при $T = 298 \text{ K}$

Електроліт	Концентрація, моль/1000 г води								
	0,001	0,002	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
NiSO_4	–	–	–	–	–	–	0,150	0,105	0,063
CuSO_4	0,74	–	0,573	0,438	0,317	0,217	0,154	0,104	0,062

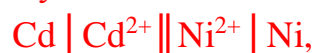
Додаток 2

№п/п	Електрод	Реакція	E^0 , В
1	$\text{Ni}^{2+} \text{Ni}$	$\text{Ni}^{2+} + 2 e \rightarrow \text{Ni}$	– 0,250
2	$\text{Cu}^{2+} \text{Cu}$	$\text{Cu}^{2+} + 2 e \rightarrow \text{Cu}$	0,337

Контрольні питання до роботи 13/15

1. За якою ознакою ви можете визначити наявність електроду другого роду в гальванічному ланцюгу?
2. Що означає термін «стандартний потенціал даного електроду»? Від чого він залежить?

3. Визначити ЕРС елемента



якщо активності іонів нікелю і кадмію в розчинах рівні $a = 1$; $E^0(\text{Cd} | \text{Cd}^{2+}) = -0,403 \text{ В}$, $E^0(\text{Ni} | \text{Ni}^{2+}) = -0,250 \text{ В}$.

ВАРІАНТ 16

1. За рівнянням сумарної іонної реакції записати схему гальванічного елемента.
2. За рівнянням Нернста розрахувати при $T = 298 \text{ K}$ ЕРС для зазначених концентрацій.
3. Концентрації електролітів надані у моль/л. У газових електродах тиск газу дорівнює 1 атмосфері. Температура 298 К. Середні коефіцієнти активності та стандартні електродні потенціали взяти відповідно з додатків 1 та 2. Дифузійні потенціали не враховувати.
4. У таблиці наведені концентрації аніона і катіона, відповідно, для них і розрахувати електродні потенціали гальванічного елемента, що працює за рахунок наведеної реакції.

конц. _{ан}	0,001	0,002	0,001	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
конц. _{кат}	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,005	0,002	0,001

Електродна реакція: $Zn + Hg_2Br_2 \rightarrow ZnBr_2 + 2Hg$

Додаток 1

Коефіцієнти активності γ_+ сильних електролітів при $T = 298\text{ K}$

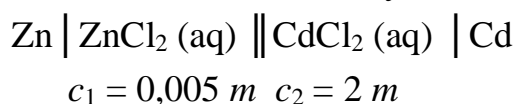
Електроліт	Концентрація, моль/1000 г води								
	0,001	0,002	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
ZnBr ₂	–	–	–	–	–	–	0,547	0,510	0,511

Додаток 2

№п/п	Електрод	Реакція	E^0 , В
1	$Zn^{2+} Zn$	$Zn^{2+} + 2e \rightarrow Zn$	– 0,763
2	$Hg Hg_2Br_2 Br^-$	$1/2 Hg_2Br_2 + e \rightarrow Hg + Br^-$	0,140

Контрольні питання до роботи 13/16

1. За якою ознакою ви можете визначити наявність окисно-відновлюваного електроду в гальванічному ланцюзі?
2. Чим визначається точність вимірювання ЕРС за допомогою потенціометра, вольтметра? Обґрунтувати відповідь.
3. При $T = 298\text{ K}$ обчислити ЕРС елемента:



Стандартні електродні потенціали відповідно: $E^0(Cd | Cd^{2+}) = -0,402\text{ В}$; $E^0(Zn | Zn^{2+}) = -0,763\text{ В}$. Середні коефіцієнти активності в розчинах зазначених концентрацій $\gamma_+(CdCl_2) = 0,044$ і $\gamma_+(ZnCl_2) = 0,77$. Чи можливо за рахунок зміни концентрацій іонів кадмію та цинку в розчинах змінити напрямок струму в елементі?

ВАРІАНТ 17

1. За рівнянням сумарної іонної реакції записати схему гальванічного елемента.
2. За рівнянням Нернста розрахувати при $T = 298\text{ K}$ ЕРС для зазначених концентрацій.

3. Концентрації електролітів надані у моль/л. У газових електродах тиск газу дорівнює 1 атмосфері. Температура 298 К. Середні коефіцієнти активності та стандартні електродні потенціали взяти відповідно з додатків 1 та 2. Дифузійні потенціали не враховувати.

4. У таблиці наведені концентрації аніона і катіона, відповідно, для них і розрахувати електродні потенціали гальванічного елементу, що працює за рахунок наведеної реакції.

конц. _{ан}	0,001	0,002	0,001	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
конц. _{кат}	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,005	0,002	0,001

Електродна реакція: $2\text{AgNO}_3 + \text{Ca} \rightarrow 2\text{Ag} + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$

Додаток 1

Коефіцієнти активності γ_+ сильних електролітів при $T = 298 \text{ K}$

Електроліт	Концентрація, моль/1000 г води								
	0,001	0,002	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
AgNO_3	–	–	0,925	0,897	0,86	0,793	0,734	0,657	0,536
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	0,880	0,840	0,770	0,710	0,640	0,545	0,485	0,426	0,363

Додаток 2

№п/п	Електрод	Реакція	$E^0, \text{ В}$
1	$\text{Ag}^+ \text{Ag}$	$\text{Ag}^+ + e \rightarrow \text{Ag}$	0,799
2	$\text{Ca}^{2+} \text{Ca}$	$\text{Ca}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Ca}$	– 2,866

Контрольні питання до роботи 13/17

1. Як в лабораторній роботі проводиться визначення нормального потенціалу Zn електроду? Який електричний ланцюг при цьому використовується?
2. У чому суть електролітичного рафінування металів?
3. Які існують електроди порівняння?

ВАРІАНТ 18

1. За рівнянням сумарної іонної реакції записати схему гальванічного елементу.
2. За рівнянням Нернста розрахувати при $T = 298 \text{ K}$ ЕРС для зазначених концентрацій.

3. Концентрації електролітів надані у моль/л. У газових електродах тиск газу дорівнює 1 атмосфері. Температура 298 К. Середні коефіцієнти активності та стандартні електродні потенціали взяти відповідно з додатків 1 та 2. Дифузійні потенціали не враховувати.

4. У таблиці наведені концентрації аніона і катіона, відповідно, для них і розрахувати електродні потенціали гальванічного елемента, що працює за рахунок наведеної реакції.

конц. _{ан}	0,001	0,002	0,001	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
конц. _{кат}	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,005	0,002	0,001

Електродна реакція: $\text{Pb} + 2\text{KNO}_3 \rightarrow \text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{K}$

Додаток 1

Коефіцієнти активності γ_+ сильних електролітів при $T = 298 \text{ K}$

Електроліт	Концентрація, моль/1000 г води								
	0,001	0,002	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
KNO_3	0,965	0,951	0,927	0,898	0,862	0,799	0,739	0,663	0,545
$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	0,880	0,840	0,760	0,690	0,600	0,460	0,370	0,270	0,170

Додаток 2

№п/п	Електрод	Реакція	$E^0, \text{В}$
1	$\text{K}^+ \text{K}$	$\text{K}^+ + e \rightarrow \text{K}$	- 2, 925
2	$\text{Pb}^{2+} \text{Pb}$	$\text{Pb}^{2+} + e \rightarrow \text{Pb}$	- 0,126

Контрольні питання до роботи 13/18

1. Від яких параметрів залежить електродний потенціал металів? Газів?
2. Яка термодинамічна умова відсутності заряду на поверхні металу, зануреного в розчин своєї солі?
3. Як можна експериментальним шляхом визначити величину електродного потенціалу?

ВАРІАНТ 19

1. За рівнянням сумарної іонної реакції записати схему гальванічного елемента.

2. За рівнянням Нернста розрахувати при $T = 298 \text{ K}$ ЕРС для зазначених концентрацій.

3. Концентрації електролітів надані у моль/л. У газових електродах тиск газу дорівнює 1 атмосфері. Температура 298 К. Середні коефіцієнти активності та стандартні електродні потенціали взяти відповідно з додатків 1 та 2. Дифузійні потенціали не враховувати.

4. У таблиці наведені концентрації аніона і катіона, відповідно, для них і розрахувати електродні потенціали гальванічного елементу, що працює за рахунок наведеної реакції.

конц. _{ан}	0,001	0,002	0,001	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
конц. _{кат}	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,005	0,002	0,001

Електродна реакція: $\text{Pb} + \text{Hg}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{PbSO}_4 + 2\text{Hg}$

Додаток 1

Коефіцієнти активності γ_+ сильних електролітів при $T = 298 \text{ K}$

Електроліт	Концентрація, моль/1000 г води								
	0,001	0,002	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
H_2SO_4	0,83	0,757	0,639	0,544	0,453	0,34	0,265	0,209	0,156

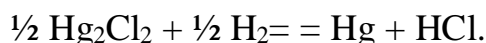
Додаток 2

№п/п	Електрод	Реакція	$E^0, \text{ В}$
1	$\text{Pb} \mid \text{PbSO}_4 \mid \text{SO}_4^{2-}$	$\text{PbSO}_4 + 2e \rightarrow \text{Pb} + \text{SO}_4^{2-}$	- 0,359
2	$\text{Hg} \mid \text{Hg}_2\text{SO}_4 \mid \text{SO}_4^{2-}$	$\text{Hg}_2\text{SO}_4 + 2e \rightarrow 2\text{Hg} + \text{SO}_4^{2-}$	0,615

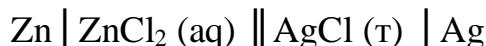
Контрольні питання до роботи 13/19

1. Від яких факторів залежить електродний потенціал електродів II роду?

2. Скласти елемент, в якому протікає наступна хімічна реакція:



3. Обчислити ЕРС гальванічного елементу



$$c = 0,01 \text{ м}$$

якщо середній коефіцієнт активності $ZnCl_2$ дорівнює 0,71, а стандартні потенціали електродів $E^0 (Zn^{2+} | Zn) = -0,763$ В і $E^0 (Ag | AgCl | Cl^-) = +0,222$ В.

ВАРІАНТ 20

1. За рівнянням сумарної іонної реакції записати схему гальванічного елементу.
2. За рівнянням Нернста розрахувати при $T = 298$ К ЕРС для зазначених концентрацій.
3. Концентрації електролітів надані у моль/л. У газових електродах тиск газу дорівнює 1 атмосфері. Температура 298 К. Середні коефіцієнти активності та стандартні електродні потенціали взяти відповідно з додатків 1 та 2. Дифузійні потенціали не враховувати.
4. У таблиці наведені концентрації аніона і катіона, відповідно, для них і розрахувати електродні потенціали гальванічного елементу, що працює за рахунок наведеної реакції.

конц.ан	0,001	0,002	0,001	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
конц.кат	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,005	0,002	0,001

Електродна реакція: $1/2H_2 + 1/2 Hg_2Cl_2 \rightarrow HCl + Hg$

Додаток 1

Коефіцієнти активності γ_+ сильних електролітів при $T = 298$ К

Електроліт	Концентрація, моль/1000 г води								
	0,001	0,002	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
HCl	0,965	0,952	0,928	0,904	0,875	0,83	0,796	0,767	0,757

Додаток 2

№п/п	Електрод	Реакція	E^0 , В
1	$H^+ H_2$	$H^+ + e \rightarrow 1/2 H_2$	0,000
2	$Hg Hg_2Cl_2 Cl^-$	$1/2 Hg_2Cl_2 + e \rightarrow Hg + Cl^-$	0,268

Контрольні питання до роботи 13/20

1. Що станеться, якщо в елементі Даніеля-Якобі прибрати розділову перегородку, перемішати розчини $ZnSO_4$ (1*m*) і $CuSO_4$ (1*m*), а потім спробувати виміряти ЕРС за допомогою потенціометра?

2. Які гальванічні елементи називаються концентраційними без переносу і з переносом? Привести приклади.
3. Чи може ЕРС гальванічного елементу бути негативною величиною? Обґрунтувати відповідь.

ВАРІАНТ 21

1. За рівнянням сумарної іонної реакції записати схему гальванічного елементу.
2. За рівнянням Нернста розрахувати при $T = 298 \text{ K}$ ЕРС для зазначених концентрацій.
3. Концентрації електролітів надані у моль/л. У газових електродах тиск газу дорівнює 1 атмосфері. Температура 298 К. Середні коефіцієнти активності та стандартні електродні потенціали взяти відповідно з додатків 1 та 2. Дифузійні потенціали не враховувати.
4. У таблиці наведені концентрації аніона і катіона, відповідно, для них і розрахувати електродні потенціали гальванічного елементу, що працює за рахунок наведеної реакції.

конц.ан	0,001	0,002	0,001	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
конц.кат	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,005	0,002	0,001

Електродна реакція: $\text{Pb} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{PbCl}_2$

Додаток 1

Коефіцієнти активності γ_+ сильних електролітів при $T = 298 \text{ K}$

Електроліт	Концентрація, моль/1000 г води								
	0,001	0,002	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
HCl	0,965	0,952	0,928	0,904	0,875	0,83	0,796	0,767	0,757

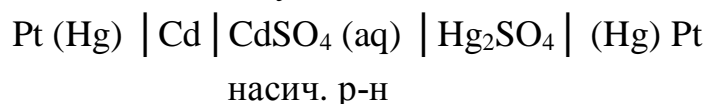
Додаток 2

№п/п	Електрод	Реакція	$E^0, \text{ В}$
1	$\text{Pb}^{2+} \text{Pb}$	$\text{Pb}^{2+} + e \rightarrow \text{Pb}$	-0,126
2	$\text{Cl}_2 \text{Cl}^-$	$1/2 \text{Cl}_2 + e \rightarrow \text{Cl}^-$	1,360

Контрольні питання до роботи 13/21

1. Для чого в гальванічному елементі Даніеля-Якобі використовують сольовий місток?

2. Схема нормального елемента Вестона:



Записати електродні реакції і визначити ЕРС.

3. Гальванічний елемент здійснює електричну роботу без зміни внутрішньої енергії. Який знак в цьому випадку має температурний коефіцієнт ЕРС?

ВАРІАНТ 22

1. За рівнянням сумарної іонної реакції записати схему гальванічного елемента.

2. За рівнянням Нернста розрахувати при $T = 298 \text{ K}$ ЕРС для зазначених концентрацій.

3. Концентрації електролітів надані у моль/л. У газових електродах тиск газу дорівнює 1 атмосфері. Температура 298 К. Середні коефіцієнти активності та стандартні електродні потенціали взяти відповідно з додатків 1 та 2. Дифузійні потенціали не враховувати.

4. У таблиці наведені концентрації аніона і катіона, відповідно, для них і розрахувати електродні потенціали гальванічного елемента, що працює за рахунок наведеної реакції.

конц.ан	0,001	0,002	0,001	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
конц.кат	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,005	0,002	0,001

Електродна реакція: $\text{Ag} + 1/2\text{Cl}_2 \rightarrow \text{AgCl}$

Додаток 1

Коефіцієнти активності γ_+ сильних електролітів при $T = 298 \text{ K}$

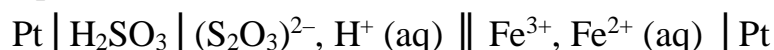
Електроліт	Концентрація, моль/1000 г води								
	0,001	0,002	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
KCl	0,965	0,952	0,927	0,902	0,869	0,816	0,77	0,718	0,649

Додаток 2

№п/п	Електрод	Реакція	$E^0, \text{ В}$
1	$\text{Ag} \text{AgCl} \text{Cl}^-$	$\text{AgCl} + e \rightarrow \text{Ag} + \text{Cl}^-$	0,222
2	$\text{Cl}_2 \text{Cl}^-$	$1/2 \text{Cl}_2 + e \rightarrow \text{Cl}^-$	1,360

Контрольні питання до роботи 13/22

1. Для електрохімічної схеми



записати електродні реакції і визначити ЕРС.

2. Записати схеми електродів, оборотних по відношенню до катіонів (аніонів).

3. Для чого застосовують процедуру амальгамування електродів?

ВАРІАНТ 23

1. За рівнянням сумарної іонної реакції записати схему гальванічного елементу.

2. За рівнянням Нернста розрахувати при $T = 298 \text{ K}$ ЕРС для зазначених концентрацій.

3. Концентрації електролітів надані у моль/л. У газових електродах тиск газу дорівнює 1 атмосфері. Температура 298 К. Середні коефіцієнти активності та стандартні електродні потенціали взяти відповідно з додатків 1 та 2. Дифузійні потенціали не враховувати.

4. У таблиці наведені концентрації аніона і катіона, відповідно, для них і розрахувати електродні потенціали гальванічного елементу, що працює за рахунок наведеної реакції.

конц.ан	0,001	0,002	0,001	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
конц.кат	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,005	0,002	0,001

Електродна реакція: $\text{Pb} + \text{HgO} \rightarrow \text{PbO} + \text{Hg}$

Додаток 1

Коефіцієнти активності γ_+ сильних електролітів при $T = 298 \text{ K}$

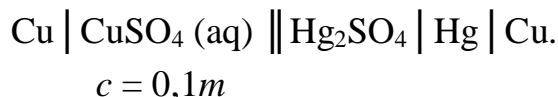
Електроліт	Концентрація, моль/1000 г води								
	0,001	0,002	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
NaOH	–	–	–	0,905	0,871	0,818	0,766	0,727	0,690

Додаток 2

№п/п	Електрод	Реакція	$E^0, \text{В}$
1	$\text{Pb} \mid \text{PbO} \mid \text{OH}^-$	$\text{PbO} + \text{H}_2\text{O} + 2e \rightarrow \text{Pb} + 2\text{OH}^-$	– 0,578
2	$\text{Hg} \mid \text{HgO} \mid \text{OH}^-$	$\text{HgO} + \text{H}_2\text{O} + 2e \rightarrow \text{Hg} + 2\text{OH}^-$	0,098

Контрольні питання до роботи 13/23

1. У чому особливість електродів II роду?
2. За даними довідника розрахувати при $T = 298 \text{ K}$ ЕРС гальванічного елемента:



3. Для чого потрібний соляної місток? Як вибрати електроліт для соляного містка?

ВАРІАНТ 24

1. За рівнянням сумарної іонної реакції записати схему гальванічного елемента.
2. За рівнянням Нернста розрахувати при $T = 298 \text{ K}$ ЕРС для зазначених концентрацій.
3. Концентрації електролітів надані у моль/л. У газових електродах тиск газу дорівнює 1 атмосфері. Температура 298 К. Середні коефіцієнти активності та стандартні електродні потенціали взяти відповідно з додатків 1 та 2. Дифузійні потенціали не враховувати.
4. У таблиці наведені концентрації аніона і катіона, відповідно, для них і розрахувати електродні потенціали гальванічного елемента, що працює за рахунок наведеної реакції.

конц.ан	0,001	0,002	0,001	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
конц.кат	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,005	0,002	0,001

Електродна реакція: $2\text{Al} + 3\text{ZnCl}_2 \rightarrow 2\text{AlCl}_3 + 3\text{Zn}$

Додаток 1

Коефіцієнти активності γ_+ сильних електролітів при $T = 298 \text{ K}$

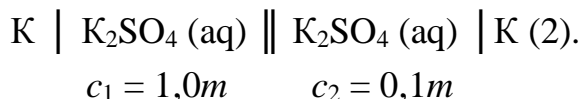
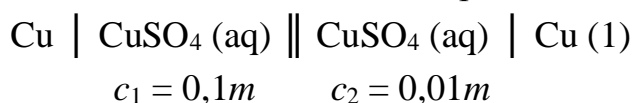
Електроліт	Концентрація, моль/1000 г води								
	0,001	0,002	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
AlCl_3	–	–	–	–	–	0,447	0,337	0,305	0,331
ZnCl_2	0,880	0,840	0,770	0,710	0,640	0,560	0,515	0,462	0,394

Додаток 2

№п/п	Електрод	Реакція	E^0 , В
1	$\text{Al}^{3+} \mid \text{Al}$	$\text{Al}^{3+} + 3e \rightarrow \text{Al}$	- 1,662
2	$\text{Zn}^{2+} \mid \text{Zn}$	$\text{Zn}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Zn}$	- 0,763

Контрольні питання до роботи 13/24

1. Нехтуючи дифузійним потенціалом, порівняти за величиною ЕРС наступних гальванічних елементів, взятих при однаковій температурі:



2. За якою ознакою ви можете визначити наявність електроду першого роду в гальванічному елементі?

3. ЕРС ланцюга, складеного з насиченого каломельного електроду (праворуч) і водневого електроду з тиском водню 1 атм, дорівнює $E = 0,337$ В. Визначте рН розчину електроліту в водневому електроді. ($E^0_{\text{нас кал}} = 0,2415$ В).

ВАРІАНТ 25

1. За рівнянням сумарної іонної реакції записати схему гальванічного елементу.

2. За рівнянням Нернста розрахувати при $T = 298$ К ЕРС для зазначених концентрацій.

3. Концентрації електролітів надані у моль/л. У газових електродах тиск газу дорівнює 1 атмосфері. Температура 298 К. Середні коефіцієнти активності та стандартні електродні потенціали взяти відповідно з додатків 1 та 2. Дифузійні потенціали не враховувати.

4. У таблиці наведені концентрації аніона і катіона, відповідно, для них і розрахувати електродні потенціали гальванічного елементу, що працює за рахунок наведеної реакції.

КОНЦ. _{ан}	0,001	0,002	0,001	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
КОНЦ. _{кат}	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,005	0,002	0,001

Електродна реакція: $\text{AgCl} + 1/2\text{H}_2 \rightarrow \text{Ag} + \text{HCl}$

Додаток 1

Коефіцієнти активності γ_+ сильних електролітів при $T = 298 \text{ K}$

Електроліт	Концентрація, моль/1000 г води								
	0,001	0,002	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
HCl	0,965	0,952	0,928	0,904	0,875	0,83	0,796	0,767	0,757

Додаток 2

№п/п	Електрод	Реакція	$E^0, \text{В}$
1	$\text{H}^+ \text{H}_2$	$\text{H}^+ + e \rightarrow 1/2 \text{H}_2$	0,000
2	$\text{Ag} \text{AgCl} \text{Cl}^-$	$\text{AgCl} + e \rightarrow \text{Ag} + \text{Cl}^-$	0,222

Контрольні питання до роботи 13/25

1. Розрахувати $E^0_{(\text{Ag} | \text{AgCl} | \text{KCl})}$ при $T = 298 \text{ K}$, якщо при цій температурі додаток розчинності ДР (AgCl) = $1,75 \cdot 10^{-10}$, а $E^0_{(\text{Ag} | \text{Ag}^+)}$ = + 0,799 В.
2. Чим зумовлена наявність дифузійного потенціалу (\parallel) на межі розділу двох розчинів?
3. Який елемент називають хімічним гальванічним елементом?

ВАРІАНТ 26

1. За рівнянням сумарної іонної реакції записати схему гальванічного елемента.
2. За рівнянням Нернста розрахувати при $T = 298 \text{ K}$ ЕРС для зазначених концентрацій.
3. Концентрації електролітів надані у моль/л. У газових електродах тиск газу дорівнює 1 атмосфері. Температура 298 К. Середні коефіцієнти активності та стандартні електродні потенціали взяти відповідно з додатків 1 та 2. Дифузійні потенціали не враховувати.
4. У таблиці наведені концентрації аніона і катіона, відповідно, для них і розрахувати електродні потенціали гальванічного елемента, що працює за рахунок наведеної реакції.

конц.ан	0,001	0,002	0,001	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
конц.кат	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,005	0,002	0,001

Електродна реакція: $\text{Mg} + \text{NiSO}_4 \rightarrow \text{MgSO}_4 + \text{Ni}$

Додаток 1

Коефіцієнти активності γ_+ сильних електролітів при $T = 298 \text{ K}$

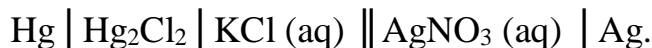
Електроліт	Концентрація, моль/1000 г води								
	0,001	0,002	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
NiSO_4							0,150	0,105	0,063
MgSO_4	–	–	–	–	–	–	0,150	0,108	0,068

Додаток 2

№п/п	Електрод	Реакція	E^0 , В
1	$\text{Ni}^{2+} \text{Ni}$	$\text{Ni}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Ni}$	– 0,250
2	$\text{Mg}^{2+} \text{Mg}$	$\text{Mg}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Mg}$	– 2,363

Контрольні питання до роботи 13/26

1. Який електрод в концентраційній схемі вважають позитивним?
2. При $T = 298 \text{ K}$ ЕРС електрохімічного елементу $E = 0,396 \text{ В}$.



$$c_1 = 0,1m \quad c_2 = 0,1m$$

Визначити стандартний електродний потенціал срібного електроду, якщо середній коефіцієнт активності в $0,1 m$ розчині AgNO_3 дорівнює $0,734$, а потенціал децимолярного каломельного електроду E ($\text{Hg} | \text{Hg}_2\text{Cl}_2 | \text{KCl (aq)}$) = $0,336 \text{ В}$.

3. Записати нормальний потенціал хлорсрібного електроду.

ВАРІАНТ 27

1. За рівнянням сумарної іонної реакції записати схему гальванічного елементу.
2. За рівнянням Нернста розрахувати при $T = 298 \text{ K}$ ЕРС для зазначених концентрацій.
3. Концентрації електролітів надані у моль/л. У газових електродах тиск газу дорівнює 1 атмосфері. Температура 298 K . Середні коефіцієнти активності та стандартні електродні потенціали взяти відповідно з додатків 1 та 2. Дифузійні потенціали не враховувати.

4. У таблиці наведені концентрації аніона і катіона, відповідно, для них і розрахувати електродні потенціали гальванічного елементу, що працює за рахунок наведеної реакції.

конц. _{ан}	0,001	0,002	0,001	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
конц. _{кат}	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,005	0,002	0,001

Електродна реакція: $\text{FeCl}_2 + \text{Zn} \rightarrow \text{Fe} + \text{ZnCl}_2$

Додаток 1

Коефіцієнти активності γ_+ сильних електролітів при $T = 298 \text{ K}$

Електроліт	Концентрація, моль/1000 г води								
	0,001	0,002	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
FeCl_2	0,890	0,860	0,800	0,750	0,700	0,620	0,520	0,470	0,450
ZnCl_2	0,880	0,840	0,770	0,710	0,640	0,560	0,515	0,462	0,394

Додаток 2

№п/п	Електрод	Реакція	$E^0, \text{ В}$
1	$\text{Fe}^{2+} \text{Fe}$	$\text{Fe}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Fe}$	- 0,440
2	$\text{Zn}^{2+} \text{Zn}$	$\text{Zn}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Zn}$	- 0,763

Контрольні питання до роботи 13/27

1. В елементі Даніеля-Якобі звичайного типу Cu має по відношенню до Zn позитивний заряд. Чи можлива зміна знаку ЕРС?
2. Записати рівняння хімічної реакції, розрахувати зміни ізобарно-ізо-термічного потенціалу ΔG і константу рівноваги K_d , елементу

$$\text{Hg} | \text{Hg}_2\text{Cl}_2 | \text{KCl (aq)} || \text{K}_2\text{SO}_4 \text{ (aq)} | \text{Hg}_2\text{SO}_4 | \text{Hg}$$
якщо при $T = 298 \text{ K}$ $E = 0,313 \text{ В}$.
3. Для чого потрібний соляний місток? Як вибрати електроліт для соляного містка?

ВАРІАНТ 28

1. За рівнянням сумарної іонної реакції записати схему гальванічного елементу.
2. За рівнянням Нернста розрахувати при $T = 298 \text{ K}$ ЕРС для зазначених концентрацій.

3. Концентрації електролітів надані у моль/л. У газових електродах тиск газу дорівнює 1 атмосфері. Температура 298 К. Середні коефіцієнти активності та стандартні електродні потенціали взяти відповідно з додатків 1 та 2. Дифузійні потенціали не враховувати.

4. У таблиці наведені концентрації аніона і катіона, відповідно, для них і розрахувати електродні потенціали гальванічного елементу, що працює за рахунок наведеної реакції.

конц. _{ан}	0,001	0,002	0,001	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
конц. _{кат}	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,005	0,002	0,001

Електродна реакція: $\text{HgO} + \text{H}_2\text{O} + 2\text{Na} \rightarrow \text{Hg} + 2\text{NaOH}$

Додаток 1

Коефіцієнти активності γ_+ сильних електролітів при $T = 298 \text{ K}$

Електроліт	Концентрація, моль/1000 г води								
	0,001	0,002	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
NaOH	–	–	–	0,905	0,871	0,818	0,766	0,727	0,690

Додаток 2

№п/п	Електрод	Реакція	$E^0, \text{В}$
1	$\text{Na}^+ \text{Na}$	$\text{Na}^+ + e \rightarrow \text{Na}$	– 2,714
2	$\text{Hg} \text{HgO} \text{OH}^-$	$\text{HgO} + \text{H}_2\text{O} + 2e \rightarrow \text{Hg} + 2\text{OH}^-$	0,098

Контрольні питання до роботи 13/28

1. Чи впливає і як присутність сторонніх іонів потенціал каломельного електроду?
2. Чи можлива зміна знаку ЕРС в мідно–срібному елементі?
3. Для гальванічного елементу, що працює в оборотних умовах, ЕРС при $T_2 = 298 \text{ K}$ більше, ніж при $T_1 = 273 \text{ K}$. Цей елемент працює з виділенням або поглинанням тепла?

ВАРІАНТ 29

1. За рівнянням сумарної іонної реакції записати схему гальванічного елементу.
2. За рівнянням Нернста розрахувати при $T = 298 \text{ K}$ ЕРС для зазначених концентрацій.

3. Концентрації електролітів надані у моль/л. У газових електродах тиск газу дорівнює 1 атмосфері. Температура 298 К. Середні коефіцієнти активності та стандартні електродні потенціали взяти відповідно з додатків 1 та 2. Дифузійні потенціали не враховувати.

4. У таблиці наведені концентрації аніона і катіона, відповідно, для них і розрахувати електродні потенціали гальванічного елемента, що працює за рахунок наведеної реакції.

конц. _{ан}	0,001	0,002	0,001	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
конц. _{кат}	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,005	0,002	0,001

Електродна реакція: $K + AgI \rightarrow KI + Ag$

Додаток 1

Коефіцієнти активності γ_+ сильних електролітів при $T = 298 K$

Електроліт	Концентрація, моль/1000 г води								
	0,001	0,002	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
KI	0,952	–	0,928	0,903	0,872	0,820	0,778	0,733	0,676

Додаток 2

№п/п	Електрод	Реакція	E^0 , В
1	$Ag AgI I^-$	$AgI + e \rightarrow Ag + I^-$	- 0,152
2	$K^+ K$	$K^+ + e \rightarrow K$	- 2, 925

Контрольні питання до роботи 13/29

1. За допомогою яких приладів вимірюють ЕРС гальванічних елементів? Які переваги має компенсаційний метод вимірювання ЕРС?

2. Розрахувати ЕРС ланцюга на основі величин електродних потенціалів:



$$c_{Zn^{2+}} = 1,0 \text{ м} \quad c_{Cd^{2+}} = 1,0 \text{ м}$$

$$E^0 (Zn | Zn^{2+}) = - 0,763 \text{ В}, \quad E^0 (Cd | Cd^{2+}) = - 0,403 \text{ В}.$$

Який з електродів буде негативним полюсом?

3. Від яких параметрів залежить ЕРС хімічного гальванічного елемента?

ВАРІАНТ 30

1. За рівнянням сумарної іонної реакції записати схему гальванічного елементу.
2. За рівнянням Нернста розрахувати при $T = 298 \text{ K}$ ЕРС для зазначених концентрацій.
3. Концентрації електролітів надані у моль/л. У газових електродах тиск газу дорівнює 1 атмосфері. Температура 298 К. Середні коефіцієнти активності та стандартні електродні потенціали взяти відповідно з додатків 1 та 2. Дифузійні потенціали не враховувати.
4. У таблиці наведені концентрації аніона і катіона, відповідно, для них і розрахувати електродні потенціали гальванічного елементу, що працює за рахунок наведеної реакції.

конц.-ан	0,001	0,002	0,001	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
конц.-кат	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,005	0,002	0,001

Електродна реакція: $\text{CdCl}_2 + 2\text{K} \rightarrow \text{Cd} + 2\text{KCl}$

Додаток 1

Коефіцієнти активності γ_+ сильних електролітів при $T = 298 \text{ K}$

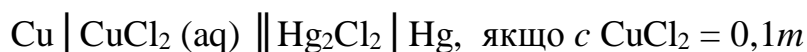
Електроліт	Концентрація, моль/1000 г води								
	0,001	0,002	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
CdCl_2	0,819	0,743	0,623	0,524	0,456	0,304	0,228	0,161	0,101
KCl	0,965	0,952	0,927	0,902	0,869	0,816	0,77	0,718	0,649

Додаток 2

№п/п	Електрод	Реакція	$E^0, \text{В}$
1	$\text{Cd}^{2+} \text{Cd}$	$\text{Cd}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Cd}$	- 0,403
2	$\text{K}^+ \text{K}$	$\text{K}^+ + e \rightarrow \text{K}$	- 2,925

Контрольні питання до роботи 13/30

1. Як, змінюючи концентрації електролітів, збільшити (зменшити) ЕРС елементу Якобі-Даніеля?
2. В яких умовах ЕРС гальванічного елементу дорівнює стандартному значенню? Чи є відмінність у цих умовах і умовах для стандартного значення окремого електроду?
3. За даними довідника розрахувати при $T = 298 \text{ K}$ ЕРС гальванічного елементу



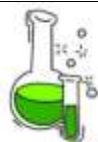
Додаток 1

Коефіцієнти активності γ_+ сильних електролітів при 298 К

Елект- роліт	Концентрація, моль/1000 г води								
	0,001	0,002	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
AgNO ₃	–	–	0,925	0,897	0,86	0,793	0,734	0,657	0,536
AlCl ₃	–	–	–	–	–	0,447	0,337	0,305	0,331
BaCl ₂	0,881	0,840	0,774	0,716	0,661	0,564	0,500	0,444	0,397
Ca(NO ₃) ₂	0,880	0,840	0,770	0,710	0,640	0,545	0,485	0,426	0,363
CdCl ₂	0,819	0,743	0,623	0,524	0,456	0,304	0,228	0,161	0,101
CdI ₂	–	–	0,49	0,379	0,281	0,167	0,106	0,0685	0,0376
CdSO ₄	0,726	0,639	0,505	0,399	0,307	0,206	0,15	0,102	0,061
CuCl ₂	0,888	0,849	0,783	0,723	0,659	0,577	0,508	0,455	0,411
CuSO ₄	0,74	–	0,573	0,438	0,317	0,217	0,154	0,104	0,062
NiSO ₄							0,150	0,105	0,063
HBr	0,966	–	0,93	0,906	0,879	0,838	0,805	0,782	0,789
HCl	0,965	0,952	0,928	0,904	0,875	0,83	0,796	0,767	0,757
H ₂ SO ₄	0,83	0,757	0,639	0,544	0,453	0,34	0,265	0,209	0,156
HNO ₃	0,965	0,951	0,927	0,902	0,871	0,823	0,791	0,754	0,720
KCl	0,965	0,952	0,927	0,902	0,869	0,816	0,77	0,718	0,649
KNO ₃	0,965	0,951	0,927	0,898	0,862	0,799	0,739	0,663	0,545
KI	0,952	–	0,928	0,903	0,872	0,820	0,778	0,733	0,676
KOH	–	–	–	–	–	0,824	0,798	0,76	0,723
LiCl	0,963	0,948	0,921	0,896	0,865	0,819	0,79	0,757	0,739
MgSO ₄	–	–	–	–	–	–	0,150	0,108	0,068
NaI	–	–	–	–	–	–	0,787	0,751	0,723
NaOH	–	–	–	0,905	0,871	0,818	0,766	0,727	0,690
NiSO ₄	–	–	–	–	–	–	0,150	0,105	0,063
Pb(NO ₃) ₂	0,880	0,840	0,760	0,690	0,600	0,460	0,370	0,270	0,170
FeCl ₂	0,890	0,860	0,800	0,750	0,700	0,620	0,520	0,470	0,450
ZnBr ₂	–	–	–	–	–	–	0,547	0,510	0,511
ZnSO ₄	0,700	0,608	0,477	0,387	0,298	0,202	0,15	0,104	0,063
ZnCl ₂	0,880	0,840	0,770	0,710	0,640	0,560	0,515	0,462	0,394

Додаток 2

№	Електрод	Реакція	$E^0, \text{В}$
1	$\text{H}^+ \text{H}_2$	$\text{H}^+ + \text{e} \rightarrow 1/2 \text{H}_2$	0,000
2	$\text{K}^+ \text{K}$	$\text{K}^+ + \text{e} \rightarrow \text{K}$	- 2, 925
3	$\text{Ca}^{2+} \text{Ca}$	$\text{Ca}^{2+} + 2\text{e} \rightarrow \text{Ca}$	- 2,866
4	$\text{Na}^+ \text{Na}$	$\text{Na}^+ + \text{e} \rightarrow \text{Na}$	- 2,714
4	$\text{Mg}^{2+} \text{Mg}$	$\text{Mg}^{2+} + 2\text{e} \rightarrow \text{Mg}$	- 2, 363
5	$\text{Al}^{3+} \text{Al}$	$\text{Al}^{3+} + 3\text{e} \rightarrow \text{Al}$	- 1,662
6	$\text{Zn}^{2+} \text{Zn}$	$\text{Zn}^{2+} + 2\text{e} \rightarrow \text{Zn}$	- 0,763
7	$\text{Fe}^{2+} \text{Fe}$	$\text{Fe}^{2+} + 2\text{e} \rightarrow \text{Fe}$	- 0,440
8	$\text{Cd}^{2+} \text{Cd}$	$\text{Cd}^{2+} + 2\text{e} \rightarrow \text{Cd}$	- 0,403
9	$\text{Ni}^{2+} \text{Ni}$	$\text{Ni}^{2+} + 2\text{e} \rightarrow \text{Ni}$	- 0,250
10	$\text{Cu}^{2+} \text{Cu}$	$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e} \rightarrow \text{Cu}$	0,337
11	$\text{Ag}^+ \text{Ag}$	$\text{Ag}^+ + \text{e} \rightarrow \text{Ag}$	0,799
12	$\text{Pb}^{2+} \text{Pb}$	$\text{Pb}^{2+} + \text{e} \rightarrow \text{Pb}$	- 0,126
12	$\text{Cl}_2 \text{Cl}^-$	$1/2 \text{Cl}_2 + \text{e} \rightarrow \text{Cl}^-$	1,360
13	$\text{H}_2 \text{OH}^- \text{Pt}$	$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e} \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$	-0,828
14	$\text{Pb} \text{PbO} \text{OH}^-$	$\text{PbO} + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e} \rightarrow \text{Pb} + 2\text{OH}^-$	- 0,578
15	$\text{Pb} \text{PbI}_2 \text{I}^-$	$\text{PbI}_2 + 2\text{e} \rightarrow \text{Pb} + 2\text{I}^-$	- 0,365
16	$\text{Pb} \text{PbSO}_4 \text{SO}_4^{2-}$	$\text{PbSO}_4 + 2\text{e} \rightarrow \text{Pb} + \text{SO}_4^{2-}$	- 0, 359
17	$\text{Pb} \text{PbBr}_2 \text{Br}^-$	$\text{PbBr}_2 + 2\text{e} \rightarrow \text{Pb} + 2\text{Br}^-$	- 0,284
18	$\text{Pb} \text{PbCl}_2 \text{Cl}^-$	$\text{PbCl}_2 + 2\text{e} \rightarrow \text{Pb} + 2\text{Cl}^-$	- 0,268
19	$\text{Ag} \text{AgI} \text{I}^-$	$\text{AgI} + \text{e} \rightarrow \text{Ag} + \text{I}^-$	- 0,152
20	$\text{Ag} \text{AgBr} \text{Br}^-$	$\text{AgBr} + \text{e} \rightarrow \text{Ag} + \text{Br}^-$	0,071
21	$\text{Hg} \text{HgO} \text{OH}^-$	$\text{HgO} + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e} \rightarrow \text{Hg} + 2\text{OH}^-$	0,098
22	$\text{Hg} \text{Hg}_2\text{Br}_2 \text{Br}^-$	$1/2 \text{Hg}_2\text{Br}_2 + \text{e} \rightarrow \text{Hg} + \text{Br}^-$	0,140
23	$\text{Ag} \text{AgCl} \text{Cl}^-$	$\text{AgCl} + \text{e} \rightarrow \text{Ag} + \text{Cl}^-$	0,222
24	$\text{Hg} \text{Hg}_2\text{Cl}_2 \text{Cl}^-$	$1/2 \text{Hg}_2\text{Cl}_2 + \text{e} \rightarrow \text{Hg} + \text{Cl}^-$	0,268
25	$\text{Hg} \text{Hg}_2\text{SO}_4 \text{SO}_4^{2-}$	$\text{Hg}_2\text{SO}_4 + 2\text{e} \rightarrow 2\text{Hg} + \text{SO}_4^{2-}$	0,615
26	$\text{Fe}^{3+}, \text{Fe}^{2+} \text{Pt}$	$\text{Fe}^{3+} + \text{e} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$	0,771



ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 14
**ВИЗНАЧЕННЯ КОНСТАНТИ ДИСОЦІАЦІЇ $K_{д,c}$ СЛАБКОЇ
КИСЛОТИ**

Мета роботи – визначення залежності питомої κ_c та еквівалентної λ_c електропровідності від концентрації розчину (c) слабкого електроліту і на підставі отриманих результатів обчислення константи дисоціації $K_{д,c}$, значення pK , λ_0 , а також стандартних термодинамічних функцій $\Delta G_{д}^0$, $\Delta H_{д}^0$, $\Delta S_{д}^0$.

Теоретичні відомості

У розчинах електролітів перенесення електрики здійснюється іонами, причому кількісно здатність електроліту проводити електричний струм характеризується величиною питомої електропровідності κ_c , ($\text{Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$), зворотної питомому опору, ρ , ($\text{Ом} \cdot \text{м}$)

$$\kappa_c = \frac{1}{\rho}, (\text{Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}). \quad (14.1)$$

Питома електропровідність і питомий опір залежать від температури, причому підвищення температури збільшує електропровідність і зменшує опір розчинів електролітів, тому електропровідність розчинів виміряють при постійній температурі. Питома електропровідність розчину електроліту розраховують за встановленим дослідним шляхом опором R_c та об'ємом електроліту, що знаходиться між електродами:

$$R_c = \rho \left(\frac{l}{S} \right), (\text{Ом}). \quad (14.2)$$

Оскільки силові лінії в електричному полі розподіляються нерівномірно в залежності від форми, розмірів і взаємного розташування електродів, то і щільність струму в різних перетинах розчину не однакова. Величину $\left(\frac{l}{S} \right)$, яку називають сталою електролітичної ячейки $K_{яч}$ (м^{-1}), знаходять експериментально. Вона показує, у скільки разів

опір об'єму розчину електроліту, виміряний у даній ячейці, відрізняється від питомого опору. Тому

$$R_c = K_{\text{яч}} \cdot \rho = \frac{K_{\text{яч}}}{\kappa_c}, \text{ (Ом)}, \quad (14.3)$$

звідки

$$\kappa_c = \frac{K_{\text{яч}}}{R_c}, \text{ (Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}\text{)}. \quad (14.4)$$

Звичайно для калібровки використовують розчин 0,01 N КСl, значення $\kappa_{\text{КСl}}$ для якого беруть з таблиці 14.1, тоді

$$K_{\text{яч}} = R_{\text{КСl}} \cdot \kappa_{\text{КСl}}, \text{ (м}^{-1}\text{)}. \quad (14.5)$$

Електропровідність розчинів електролітів залежить від таких факторів:

- 1) природи електроліту та розчинника (в'язкості і діелектричної сталості);
- 2) концентрації іонів;
- 3) заряду та радіусу гідратованих іонів, що визначають швидкості їх руху;
- 4) температури;
- 5) природи і концентрації сторонніх іонів-домішок.

Щоб уникнути електролізу, що викликає якісні та кількісні зміни електроліту, а також поляризації електродів ячейки, електропровідність необхідно вимірювати на перемінному струмі (в даній роботі частотою 1000 Гц).

Визначивши експериментально питому електропровідність електроліту κ_c (Ом⁻¹·м⁻¹), можна розрахувати еквівалентну електропровідність:

$$\lambda_c = 1000 \cdot \kappa_c / c, \text{ (Ом}^{-1} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{моль-екв}^{-1}\text{)}, \quad (14.6)$$

де c – концентрація електроліту, (моль-екв·м⁻³);

У нескінченно розведених розчинах еквівалентна електропровідність λ_c досягає межі і від концентрації більше не залежить, тому що в розчинах слабких електролітів настає повна дисоціація ($\alpha_c = 1$),

а у розчинах сильних електролітів міжйонна взаємодія зникає. Еквівалентна електропровідність нескінченно розведених розчинів називається електропровідністю при нескінченному розведенні і позначається λ_0 , ($\text{Ом}^{-1} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{моль-екв}^{-1}$).

Відповідно до закону незалежного руху іонів Кольрауша

$$\lambda_0 = \lambda_0^+ + \lambda_0^-, \quad (14.7)$$

де λ_0^+ і λ_0^- – рухливості катіона і аніона, відповідно, при нескінченному розведенні, ($\text{Ом}^{-1} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{моль-екв}^{-1}$), взяті з довідника (табл. 14.2).

Рухливість λ^\pm пов'язана з абсолютною швидкістю руху іонів u_\pm ($\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{В}^{-1}$) – швидкістю переміщення іонів в електричному полі з градієнтом потенціалу $= 1 \text{ В} \cdot \text{м}^{-1}$.

$$\lambda_+ = u_+ F; \lambda_- = u_- F; \lambda_0^+ = u_{0+} F; \lambda_0^- = u_{0-} F, \quad (14.8)$$

де F – число Фарадея, $96500 \text{ Кл} \cdot \text{моль-екв}^{-1}$.

Якщо слабкий електроліт дисоціює за схемою:



то константа рівноваги (дисоціації) має вигляд:

$$K_a = \frac{a_{\text{А}^-} \cdot a_{\text{Н}^+}}{a_{\text{АН}}}, \quad (14.10)$$

де a_i – активності відповідних компонентів.

Для розчину слабого електроліту з відносно малою концентрацією для розрахунків рівноваги замість активності можна використовувати концентрації:

$$K_{\text{д,с}} = \frac{c_{\text{А}^-} \cdot c_{\text{Н}^+}}{c_{\text{АН}}} = \frac{\alpha_c^2 c}{1 - \alpha_c}, \quad (14.11)$$

де α_c – ступінь електролітичної дисоціації, що являє собою відношення числа молекул, які розпалися на іони, до вихідного числа розчинених молекул електроліту;

c – концентрація слабого електроліту, ($\text{моль-екв} \cdot \text{м}^{-3}$).

Оскільки ступінь дисоціації

$$\alpha_c = \frac{\lambda_c}{\lambda_0}, \quad (14.12)$$

де λ_c – еквівалентна електропровідність розчину даної концентрації c ($\text{Ом}^{-1} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{моль-екв}^{-1}$);

λ_0 – еквівалентна електропровідність нескінченно розведеного розчину, то

$$K_{д,с} = \frac{\lambda_c^2 c}{\lambda_0 (\lambda_0 - \lambda_c)}. \quad (14.13)$$

$K_{д,с}$ називають класичною константою дисоціації, умовною константою дисоціації тощо. Вона має постійне значення тільки для дуже розведених розчинів, коли середній іонний коефіцієнт активності $\gamma_{\pm} \rightarrow 1$. При всіх інших концентраціях і в присутності в розчині інших електролітів $K_{д,с}$ – змінна величина на відміну від $K_{д,а}$, що не залежить в ізотермічних умовах від концентрації (активності). При введенні в розчин слабого електроліту однойменних іонів рівновага дисоціації порушується і зміщується у напрямку утворення недисоційованих молекул, так що ступінь дисоціації електроліту зменшується.

Рівняння (14.13) можна перетворити у рівняння прямої лінії в координатах $K_c = f\left(\frac{1}{\lambda_c}\right)$:

$$c\lambda_c = -K_{д,с} \lambda_0 + K_{д,с} \lambda_0^2 \frac{1}{\lambda_c}. \quad (14.14)$$

Оскільки відповідно до рівняння (14.6), $c\lambda_c = \alpha_c$, то

$$\alpha_c = -K_{д,с} \lambda_0 + K_{д,с} \lambda_0^2 \frac{1}{\lambda_c}. \quad (14.15)$$

За графіком прямої лінії (рис. 7) екстраполяцією можна визначити значення $\frac{1}{\lambda_0}$ та $K_{д,с}$.

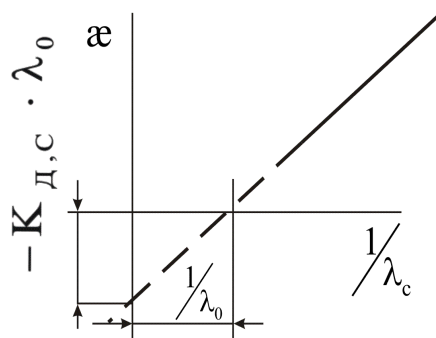


Рис. 7. Визначення еквівалентної електропровідності розчину слабого електроліту при нескінченному розведенні і умовної константи дисоціації

Для розрахунків, пов'язаних з дисоціацією кислот, часто зручно користуватися не константою $K_{д,с}$, а так званим показником константи дисоціації pK , що визначається співвідношенням

$$pK = -\lg K_{д,с}. \quad (14.16)$$

Із зростанням $K_{д,с}$, тобто збільшенням сили кислоти, значення pK зменшується. Чим більше pK , тим слабкіше кислота. У залежності від знака зміни ентальпії (ΔH) при електролітичній дисоціації температурний коефіцієнт константи дисоціації $K_{д,а}$ – додатна або від'ємна величина. Використовуючи константу дисоціації, розраховують стандартну зміну ізобарно-ізотермічного потенціалу (або енергії Гіббса) $\Delta G_{д}^0$ для стандартних умов, в яких $a_{K^+} = a_{A^-} = a_{KA} = 1$, за рівнянням:

$$\Delta G_{д}^0 = -RT \ln K_{д,а} = -2,303 RT \lg K_{д,а}, \quad (\text{Дж} \cdot \text{моль}^{-1}). \quad (14.17)$$

Стандартну зміну ентальпії $\Delta H_{д}^0$ обчислюють за значеннями $K_{д,с,T_1}$ і $K_{д,с,T_2}$, визначеними при температурах T_1 та T_2 :

$$\Delta H_{д}^0 = \frac{RT_1 T_2}{(T_2 - T_1)} \ln \left(\frac{K_{д,с,T_2}}{K_{д,с,T_1}} \right), \quad (\text{Дж} \cdot \text{моль}^{-1}). \quad (14.18)$$

Стандартну зміну ентропії $\Delta S_{д}^0$ обчислюють за отриманими значеннями $\Delta H_{д}^0$ і $\Delta G_{д}^0$:

$$\Delta S_{д}^0 = \frac{\Delta H_{д}^0 - \Delta G_{д}^0}{T}, \quad (\text{Дж} \cdot \text{моль}^{-1} \text{ K}^{-1}). \quad (14.19)$$

У випадку слабких електролітів, знаючи ступінь дисоціації α_c при різних концентраціях електроліту, можна визначити константу дисоціації $K_{д,с}$ або знаючи константу дисоціації, можна розрахувати ступінь дисоціації при будь-якій концентрації. Значення константи дисоціації $K_{д,с}$ залежить від складу розчину. Ця залежність тим слабкіша, чим менша концентрація електроліту (іонів у розчині). Звичайно, користуючись значеннями констант дисоціації $K_{д,с}$ при різних концентраціях розчинів електроліту, проводять екстраполяцію на нульову концентрацію електроліту.

Методика виміру електропровідності

Вимір електропровідності розчину базується на визначенні величини його опору змінному електричному струму заданої частоти методом автоматичного врівноваження вимірювального кола за допомогою автоматичного моста змінного струму з цифровим відліком Р 5058 (далі МІСТ). Після включення електроживлення внутрішній генератор МОСТа формує синусоїдальну напругу, що подається на об'єкт виміру. У режимі автоматичного запуску починається операція вибору діапазона, після завершення якої відбувається врівноваження МОСТа. На цифровому табло з'являється значення опору об'єкта виміру у виді мантиси з 4-х цифр, коми і позначення: Ω – опір в Ом, $k\Omega$ – опір у КОм ($1k\Omega = 10^3 \Omega$), $M\Omega$ – опір у МОм ($1M\Omega = 10^6 \Omega$).

Перед виміром МІСТ має бути підготовленим до роботи. У вихідному стані на панелі МОСТа у режимі вимірювання повинні бути натиснутими такі кнопки: 1. Вимір – $R_{LX,L}$; 2. Частота – 10^3 Гц; 3. Запуск – АВТ.

Об'єкт виміру підключається до МОСТа за чотиризаписною схемою. Далі необхідно включити тумблер «МЕРЕЖА» і через 1 хв МІСТ буде готовий до роботи. У режимі роботи з автоматичним запуском необхідно дочекатися стійкої індикації виміру і зафіксувати його. Нестійкі показання свідчать про неякісний контакт при підключенні вимірювальної ячейки.

Порядок виконання роботи

1. Визначити сталу електролітичної ячейки $K_{яч}$ по 0,01 N розчину КСІ.

Стандартний розчин КСІ налити у виміру і висушену вимірювальну комірку в строго визначеній, у всіх наступних дослідах однакової кількості (звичайно 2 піпетки по 15-20 мл), помістити в термостат, відрегульований на задану температуру ($25-50^{\circ}\text{C}$), а потім провести вимір опору $R_{КСІ}$ за допомогою МОСТа. Про встановлення заданої температури в розчині судять по незмінній величині опору $R_{КСІ}$. Оскільки підвищення температури на 1°C викликає збільшення питомої

електропровідності водних розчинів на 2–2,5%, необхідно стежити за постійністю температури. Сталу ячейки треба розрахувати за формулою (14.5), дані для $\kappa_{\text{КСІ}}^{25}$ взяти з таблиці 7.

2. Виміряти електричний опір вихідного розчину електроліту, для чого обполоскати обраним вихідним розчином електроліту комірку, заповнити її об'ємом електроліту, що дорівнює двом стандартним піпеткам, після термостатування виміряти електричний опір електроліту $R_{\text{НА}}$. Далі розчин вихідної концентрації розбавити у 2 рази, для чого вилити електроліт із ячейки у конус, відібрати 1 піпетку розчину і вилити його у склянку для зливів, до решти розчину додати 1 піпетку дистильованої води. Одержаний розчин заливають у комірку для вимірювання, термостатують і проводять вимірювання опору. Операції розведення послідовно виконати 5 разів, щоразу вимірюючи опір розчину $R_{\text{НА}}$.

3. Розрахувати питомі електропровідності за формулою (14.20):

$$\kappa_c = \frac{K_{\text{яч.}}}{R_{\text{он.}}}, (\text{Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}) \quad (14.20)$$

Використовуючи κ_c , розрахувати еквівалентні електропровідність λ_c за формулою (14.6), визначити значення $(1/\lambda_c)_T$. Дослідні та розрахункові дані занести в таблицю 12.

4. Побудувати графіки залежностей: $\kappa_c = f(c)_T$; $\lambda_c = f(c)_T$; $\kappa_c = f(1/\lambda_c)_T$, $K_{\text{д.с}} = f(c)_T$.

5. За графіком $\kappa_c = f(1/\lambda_c)_T$ екстраполяцією встановити значення $1/\lambda_0$, що дорівнює відрізку на абсцисі при $\kappa_c = 0$ і $(-K_{\text{д.с}} \cdot \lambda_0)$, що дорівнює відрізку на ординаті (див. рис.7.). Визначення цих параметрів можна провести за методом найменших квадратів.

6. Обчислити $K_{\text{д.с}}^{25}$, pK^{25} і λ_0^{25} , порівняти значення λ_0^{25} з довідниковими даними таблиці 10, а значення $K_{\text{д.с}}^{25}$ і pK^{25} – з даними таблиці 11.

7. Обчислити за рівняннями (14.17), (14.18), (14.19) стандартні зміни термодинамічних потенціалів при дисоціації $\Delta G_{\text{д}}^0$, $\Delta H_{\text{д}}^0$, $\Delta S_{\text{д}}^0$ і на основі одержаних значень пояснити особливості дисоціації електроліту, розчин якого було досліджено.

Таблиця 9.

Питома електропровідність водних 0,01N розчинів KCl в інтервалі 0 – 30°C

t, °C	0	5	10	15	20	25	30
κ , Ом ⁻¹ ·м ⁻¹	0,0776	0,0896	0,1020	0,1147	0,1278	0,1413	0,1552

Таблиця 10. Рухливості іонів при 25°C,

{ в інтервалі 15 – 35°C $\lambda_{\pm}^t = \lambda_{\pm}^{25} [1 + 0.02(t - 25)]$ }

Іон	Рухливість λ_{\pm}^{25} , (Ом ⁻¹ ·м ² ·моль-екв ⁻¹)
H ⁺	349,8
HCOO ⁻	54,6
CH ₃ COO ⁻	40,9
CH ₂ ClCOO ⁻	39,8
C ₂ H ₅ COO ⁻	35,8
(CH ₃) ₂ CHCOO ⁻	34,2
C ₆ H ₅ COO ⁻	32,3

Таблиця 11. Константи дисоціації слабких кислот у водних розчинах

Кислота	$K_{д,c}^{25}$	$K_{д,c}^{45}$	pK^{25}
Мурашина HCOOH	$1,77 \cdot 10^{-4}$	$1,68 \cdot 10^{-4}$	3,752
Оцтова CH ₃ COOH	$1,75 \cdot 10^{-5}$	$1,67 \cdot 10^{-5}$	4,756
Пропіонова C ₂ H ₅ COOH	$1,34 \cdot 10^{-5}$		4,874
Масляна C ₃ H ₇ COOH	$1,51 \cdot 10^{-5}$		4,820
Хлороцтова CH ₂ ClCOOH	$1,38 \cdot 10^{-3}$	$1,22 \cdot 10^{-3}$	2,865
Бензойна C ₆ H ₅ COOH	$6,14 \cdot 10^{-5}$		4,212

Таблиця 12.

Кислота	t, °C	c, моль-екв·м ⁻³	R _{нв} (Ом)	κ_c , (Ом ⁻¹ ·м ⁻¹)	λ_c , (Ом ⁻¹ ·м ² ·моль-екв ⁻¹)	1/λ _c	α_c	$K_{д,c}$	λ_0 , (Ом ⁻¹ ·м ² ·моль-екв ⁻¹)	$\Delta G_{д}^0$, (Дж·моль-екв ⁻¹)	$\Delta H_{д}^0$, (Дж·моль-екв ⁻¹)	$\Delta S_{д}^0$, (Дж·моль-екв ⁻¹ ·К ⁻¹)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

Приклади розрахунків до ЛР №14

Електропровідність металевого дроту залежить прямо пропорційно від його довжини, зворотно пропорційно від площі поперечного перерізу та від структури металу (параметрів його кристалічної решітки), тобто

$$R_c = \rho \left(\frac{l}{S} \right), \text{ (Ом)}.$$

Ячейка для виміру електропровідності розчинів має наступний вигляд – посудина, у середині якої знаходять два електроди з якоюсь площею поверхні та на певній відстані один від одного. Для кожної ячейки відношення відстані між електродами до їх площі - є величина постійна, і називається вона константою ячейки.

Будь-які кондуктометричні виміри можна проводити, якщо відома константа ячейки.

Визначають цю константу, вимірявши опір каліброваного розчину хлориду калію, питома електропровідність якого відома.

Звичайно для калібровки використовують розчин 0.01N KCl, значення κ_{KCl} для якого беруть з таблиць, тоді

$$K_{яч} = R_{KCl} \kappa_{KCl}, \text{ (м}^{-1}\text{)}.$$

Якщо відома константа ячейки, і з допомогою приладу для вимірювання опору розчинів визначено опір розчину с заданою концентрацією (R_c), розраховують питому електропровідність за рівнянням:

$$\kappa_c = \frac{K_{яч}}{R_c}, \text{ (Ом}^{-1}\text{· м}^{-1}\text{)}.$$

Далі розраховуємо молярну електропровідність за рівнянням:

$$\lambda_c = 1000 \cdot \kappa_c / c \text{ (Ом}^{-1}\text{· м}^2\text{· моль-екв}^{-1}\text{)}.$$

З довідника беремо дані про рухливість іонів при нескінченному розведенні.

Відповідно до закону незалежного руху іонів Кольрауша

$$\lambda_0 = \lambda_0^+ + \lambda_0^-,$$

Катіон у всіх однаковий, а рухливість аніону берете для заданої кислоти.

Далі розраховуємо степінь дисоціації заданого електроліту за формулою:

$$\alpha_c = \frac{\lambda_c}{\lambda_0},$$

І на останок розраховуємо константу дисоціації заданого електроліту за допомогою рівняння Оствальда:

$$K_{д,с} = \frac{c_{A^-} \cdot c_{H^+}}{c_{AH}} = \frac{\alpha_c^2 c}{1 - \alpha_c}.$$

Таким чином, послідовність розрахунків наступна:

$$R \rightarrow \kappa \rightarrow \lambda \rightarrow \lambda_0 \rightarrow \alpha \rightarrow K_d.$$

Подібні розрахунки треба зробити для кожної концентрації. Якщо отримані константи дисоціації однакові, це означає, що для даний електроліт підпорядковується закону розведення Оствальда (даний закон виконується тільки для слабких електролітів).

Для закріплення розраховуємо константу дисоціації з варіанту 7.

Питома електропровідність 0,01 розчину KCl при $T = 298\text{ K}$ $\kappa = 0,001413\text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$, граничні молярні електропровідності протона і аніонів ($\lambda_0 [\text{Ом}^{-1}\cdot\text{см}^2\text{ моль}^{-1}]$, $H^+ = 349,8$; $CH_3COO^- = 40,9$).

№	Кислота	конц. (с), моль/л	R, ом
7	CH ₃ COOH (оцтова)	0,15	561,3
		0,075	795,5
		0,0375	1128,6
		0,01875	1603,9
		0,00938	2279,1
	KCl	0,01	250,0

Розрахунок для першої концентрації $c = 0,15\text{ моль/л}$ $c = 0,15\text{ моль/л}$.

$$1) K_{яч} = R_{KCl} \kappa_{KCl} = 250,0 \cdot 0,001413 = 0,35325, (\text{м}^{-1})$$

$$2) \kappa_{0,15} = 0,35325/561,3 = 0,000629342, (\text{Ом}^{-1}\cdot\text{м}^{-1})$$

$$3) \lambda_{0,15} = 1000 \kappa_c / c = (1000 \cdot 0,000629342)/0,15 = 4,1956, (\text{Ом}^{-1}\cdot\text{м}^2\cdot\text{моль-екв}^{-1})$$

$$4) \lambda_0 = \lambda_0^+ + \lambda_0^- = 349,8 + 40,9 = 390,7$$

$$5) \alpha_{0,15} = \frac{\lambda_c}{\lambda_0} = 4,1956/390,7 = 0,0107$$

$$6) K_{д0,15} = \frac{\alpha_c^2 c}{1 - \alpha_c} = (0,0001153 \cdot 0,15) / (1 - 0,0107) = \\ = 0,0000175 = 1,75 \cdot 10^{-5}.$$

Аналогічний розрахунок для $c = 0,01$:

$$2) \alpha_{0,01} = 0,35325/2279,1 = 0,000155;$$

$$3) \lambda_{0,015} = (1000 \cdot 0,000155)/0,01 = 15,4995;$$

$$5) \alpha_{0,01} = 15,4995/390,7 = 0,397;$$

$$6) K_{д0,01} = 1,74 \cdot 10^{-5}.$$

Отримані дані підтверджують виконання закону розведення
Оствальда для даного електроліту.

БАГАТОВАРІАНТНІ ЗАВДАННЯ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ № 14

ВАРІАНТ 1

1. Визначити сталу електролітичної ячейки $K_{\text{яч}}$ по 0,01N розчину KCl.

2. При виконанні завдання на підставі значень питомого опору при різних концентраціях ($T = 298 \text{ K}$) необхідно:

- розрахувати питому і молярну електропровідності;
- побудувати графік залежності питомої і молярної електропровідностей від розведення ($\varphi = 1000/c$);
- розрахувати ступінь дисоціації для всіх концентрацій, побудувати графік залежності ступеня дисоціації від розведення;
- розрахувати константи дисоціації слабкої кислоти при заданих концентраціях і з'ясувати, чи підлягає цей електроліт закону розведення Оствальда;
- якщо розчин є розчином слабкої кислоти або слабкої основи, визначити, при якій концентрації ступінь дисоціації речовини в розчині буде дорівнює 10% ($\alpha = 0,1$) і визначити pH даного розчину.

Виконання кожного пункту індивідуальної завдання завершується аналізом отриманих величин.

Питома електропровідність 0,01 розчину KCl при $T = 298 \text{ K}$ $\kappa = 0,001413 \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$, граничні молярні електропровідності протона і аніонів ($\lambda_0 [\text{Ом}^{-1}\cdot\text{см}^2 \text{ моль}^{-1}]$, $H^+ = 349,8$; $HSO_3^- = 54,6$).

№	Кислота	Конц. (c), моль/л	R, Ом
1	НСООН (мурашина)	0,1	212,3
		0,05	302,1
		0,025	432,7
		0,0125	622,4
		0,00625	902,1
	KCl	0,01	250,0

Контрольні питання до роботи 14/01

1. Чи зміниться і як опір водного розчину лугу, якщо до нього додати розчин сильної кислоти? Привести графік.

2. Які характеристики електроліту можна розрахувати, якщо відомі питома електропровідність κ , концентрація c і гранична рухливість іонів u_{∞} ?

3 Ступінь дисоціації оцтової кислоти в $0,1M$ розчині дорівнює $\alpha = 1,32 \cdot 10^{-2}$. Знайти константу дисоціації кислоти K_d і значення pK .

ВАРІАНТ 2

1. Визначити сталу електролітичної ячейки $K_{яч}$ по $0,01 N$ розчину KCl.

2. При виконанні завдання на підставі значень питомого опору при різних концентраціях ($T = 298 K$) необхідно:

- розрахувати питому і молярну електропровідності;
- побудувати графік залежності питомої і молярної електропровідностей від розведення ($\varphi = 1000/c$);
- розрахувати ступінь дисоціації для всіх концентрацій, побудувати графік залежності ступеня дисоціації від розведення;
- розрахувати константи дисоціації слабкої кислоти при заданих концентраціях і з'ясувати, чи підлягає цей електроліт закону розведення Оствальда;
- якщо розчин є розчином слабкої кислоти або слабкої основи, визначити, при якій концентрації ступінь дисоціації речовини в розчині буде дорівнює 10% ($\alpha = 0,1$) і визначити pH даного розчину.

Виконання кожного пункту індивідуальної завдання завершується аналізом отриманих величин.

Питома електропровідність $0,01$ розчину KCl при $T = 298 K$ $\kappa = 0,001413 \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$, граничні молярні електропровідності протона і аніонів ($\lambda_0 [\text{Ом}^{-1}\cdot\text{см}^2 \text{ моль}^{-1}]$, $H^+ = 349,8$; $HCOO^- = 54,6$).

№	Кислота	Конц. (c), моль/л	R , ом
2	НСООН (мурашина)	0,15	172,2
		0,075	245,7
		0,0375	350,5
		0,01875	503,4
		0,00938	725,1
	KCl	0,01	250,0

Контрольні питання до роботи 14/02

1. Як змінюється термодинамічна константа дисоціації K_d і ступінь дисоціації α фенолу C_6H_5OH , якщо в розчин ввести 10^{-6} м³ NaOH?
2. Від яких факторів залежить константа дисоціації електроліту?
3. Константа дисоціації синильної кислоти дорівнює $K_d = 7,9 \cdot 10^{-10}$. Знайти ступінь дисоціації HCN в 0,001 М розчині.

ВАРІАНТ 3

1. Визначити сталу електролітичної ячейки $K_{яч}$ по 0,01 N розчину KCl.
2. При виконанні завдання на підставі значень питомого опору при різних концентраціях ($T = 298$ K) необхідно:
 - розрахувати питому і молярну електропровідності;
 - побудувати графік залежності питомої і молярної електропровідностей від розведення ($\varphi = 1000/c$);
 - розрахувати ступінь дисоціації для всіх концентрацій, побудувати графік залежності ступеня дисоціації від розведення;
 - розрахувати константи дисоціації слабкої кислоти при заданих концентраціях і з'ясувати, чи підлягає цей електроліт закону розведення Оствальда;
 - якщо розчин є розчином слабкої кислоти або слабкої основи, визначити, при якій концентрації ступінь дисоціації речовини в розчині буде дорівнює 10% ($\alpha = 0,1$) і визначити pH даного розчину.Виконання кожного пункту індивідуальної завдання завершується аналізом отриманих величин.

Питома електропровідність 0,01 розчину KCl при $T = 298$ K $\kappa = 0,001413$ Ом⁻¹см⁻¹, граничні молярні електропровідності протона і аніонів (λ_0 [Ом⁻¹·см² моль⁻¹], H⁺ = 349,8; HCOO⁻ = 54,6.

№	Кислота	Конц. (c), моль/л	R, ом
3	НСООН (мурашина)	0,2	149,1
		0,1	211,6
		0,05	302,6
		0,025	432,4
		0,0125	622,1
	KCl	0,01	250,0

Контрольні питання до роботи 14/03

1. Що таке гранична еквівалентна електропровідність електроліту λ_{∞} і як її розрахувати?
2. Які причини дисоціації електролітів на іони в розчині?
3. Обчислити концентрацію іонів водню в 0,1 М розчині хлорноватистої кислоти (HOC1), якщо $K_d = 5 \cdot 10^{-8}$.

ВАРІАНТ 4

1. Визначити сталу електролітичної ячейки $K_{яч}$ по 0,01N розчину KCl.
2. При виконанні завдання на підставі значень питомого опору при різних концентраціях ($T = 298$ K) необхідно:
 - розрахувати питому і молярну електропровідності;
 - побудувати графік залежності питомої і молярної електропровідностей від розведення ($\varphi = 1000/c$);
 - розрахувати ступінь дисоціації для всіх концентрацій, побудувати графік залежності ступеня дисоціації від розведення;
 - розрахувати константи дисоціації слабкої кислоти при заданих концентраціях і з'ясувати, чи підлягає цей електроліт закону розведення Оствальда;
 - якщо розчин є розчином слабкої кислоти або слабкої основи, визначити, при якій концентрації ступінь дисоціації речовини в розчині буде дорівнює 10% ($\alpha = 0,1$) і визначити рН даного розчину.

Виконання кожного пункту індивідуальної завдання завершується аналізом отриманих величин.

Питома електропровідність 0,01 розчину KCl при $T = 298$ K

$\kappa = 0,001413 \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$, граничні молярні електропровідності протона і аніонів ($\lambda_0 [\text{Ом}^{-1}\cdot\text{см}^2 \text{ моль}^{-1}]$, $\text{H}^+ = 349,8$; $\text{HCOO}^- = 54,6$.

№	Кислота	Конц. (c), моль/л	R, ом
4	HCOOH (мурашина)	0,25	132,8
		0,125	189,6
		0,0625	269,7
		0,03125	385,4
		0,01563	553,1
	KCl	0,01	250,0

Контрольні питання до роботи 14/04

1. Які дані про електропровідності розчину слабого електроліту необхідні для розрахунку теплоти дисоціації електроліту?
2. Сформулювати закон незалежного переміщення іонів (Кольрауша).
3. У скільки разів зміниться концентрація іонів водню в 0,2 М розчині мурашиної кислоти HCOOH ($K_d = 1,8 \cdot 10^{-4}$), якщо до 1 дм^3 додати 0,1 моль HCOONa ? Вважати, що сіль повністю дисоційована.

ВАРІАНТ 5.

1. Визначити сталу електролітичної ячейки $K_{\text{яч}}$ по 0,01N розчину KCl .
2. При виконанні завдання на підставі значень питомого опору при різних концентраціях ($T = 298 \text{ K}$) необхідно:
 - розрахувати питому і молярну електропровідності;
 - побудувати графік залежності питомої і молярної електропровідностей від розведення ($\varphi = 1000/c$);
 - розрахувати ступінь дисоціації для всіх концентрацій, побудувати графік залежності ступеня дисоціації від розведення;
 - розрахувати константи дисоціації слабкої кислоти при заданих концентраціях і з'ясувати, чи підлягає цей електроліт закону розведення Оствальда;
 - якщо розчин є розчином слабкої кислоти або слабкої основи, визначити, при якій концентрації ступінь дисоціації речовини в розчині буде дорівнює 10% ($\alpha = 0,1$) і визначити pH даного розчину.

Виконання кожного пункту індивідуальної завдання завершується аналізом отриманих величин.

Питома електропровідність 0,01 розчину KCl при $T = 298 \text{ K}$ $\kappa = 0,001413 \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$, граничні молярні електропровідності протона і аніонів ($\lambda_0 [\text{Ом}^{-1}\cdot\text{см}^2 \text{ моль}^{-1}]$, $\text{H}^+ = 349,8$; $\text{HCOO}^- = 54,6$).

№	Кислота	Конц. (c), моль/л	R, ом
5	HCOOH (мурашина)	0,3	121,4
		0,15	172,3
		0,075	245,4
		0,0375	350,6
		0,01875	502,8
	KCl	0,01	250,0

Контрольні питання до роботи 14/05

1. Чи зміниться і як константа дисоціації K_d слабкого електроліту, якщо в якості розчинника замість води взяти метанол? Хімічна взаємодія між розчиненою речовиною і розчинником відсутня.
2. Привести криву кондуктометричного титрування слабкої кислоти сильною основою і пояснити її.
3. Константа дисоціації масляної кислоти (C_3H_7COOH) $K_d = 1,5 \cdot 10^{-5}$. Обчислити ступінь її дисоціації α в 0,005 М розчині.

ВАРІАНТ 6

1. Визначити сталу електролітичної ячейки $K_{яч}$ по 0,01N розчину KCl.
2. При виконанні завдання на підставі значень питомого опору при різних концентраціях ($T = 298$ К) необхідно:
 - розрахувати питому і молярну електропровідності;
 - побудувати графік залежності питомої і молярної електропровідностей від розведення ($\varphi = 1000/c$);
 - розрахувати ступінь дисоціації для всіх концентрацій, побудувати графік залежності ступеня дисоціації від розведення;
 - розрахувати константи дисоціації слабкої кислоти при заданих концентраціях і з'ясувати, чи підлягає цей електроліт закону розведення Оствальда;
 - якщо розчин є розчином слабкої кислоти або слабкої основи, визначити, при якій концентрації ступінь дисоціації речовини в розчині буде дорівнює 10% ($\alpha = 0,1$) і визначити рН даного розчину.Виконання кожного пункту індивідуальної завдання завершується аналізом отриманих величин.

Питома електропровідність 0,01 розчину KCl при $T = 298$ К $\kappa = 0,001413$ Ом⁻¹см⁻¹, граничні молярні електропровідності протона і аніонів (λ_0 [Ом⁻¹·см² моль⁻¹], $H^+ = 349,8$; ; $CH_3COO^- = 40,9$).

№	Кислота	Конц. (c), моль/л	R, ом
6	CH ₃ COOH (оцтова)	0,1	687,3
		0,05	976,5
		0,025	1383,6
		0,0125	1969,9
		0,00625	2805,1
	KCl	0,01	250,0

Контрольні питання до роботи 14/06

1. Визначити константу повної дисоціації вугільної кислоти H_2CO_3 через ступінь дисоціації α і загальну концентрацію електроліту c .
2. Величини pK для хлорної і азотної кислот в оцтовій кислоті як розчиннику відповідно рівні 4,95 і 9,38. Яка з них в даному розчиннику є сильнішою?
3. Знайти ступінь дисоціації α хлорноватистої кислоти HOCl в 0,2 N розчині.

ВАРІАНТ 7

1. Визначити сталу електролітичної ячейки $K_{\text{яч}}$ по 0,01 N розчину KCl .
2. При виконанні завдання на підставі значень питомого опору при різних концентраціях ($T = 298 \text{ K}$) необхідно:

- розрахувати питому і молярну електропровідності;
- побудувати графік залежності питомої і молярної електропровідностей від розведення ($\varphi = 1000/c$);
- розрахувати ступінь дисоціації для всіх концентрацій, побудувати графік залежності ступеня дисоціації від розведення;
- розрахувати константи дисоціації слабкої кислоти при заданих концентраціях і з'ясувати, чи підлягає цей електроліт закону розведення Оствальда;
- якщо розчин є розчином слабкої кислоти або слабкої основи, визначити, при якій концентрації ступінь дисоціації речовини в розчині буде дорівнює 10% ($\alpha = 0,1$) і визначити pH даного розчину.

Виконання кожного пункту індивідуальної завдання завершується аналізом отриманих величин.

Питома електропровідність 0,01 розчину KCl при $T = 298 \text{ K}$

$\kappa = 0,001413 \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$, граничні молярні електропровідності протона і аніонів ($\lambda_0 [\text{Ом}^{-1}\cdot\text{см}^2 \text{ моль}^{-1}]$, $\text{H}^+ = 349,8$; $\text{CH}_3\text{COO}^- = 40,9$).

№	Кислота	Конц. (c), моль/л	R , ом
7	CH_3COOH (оцтова)	0,15	561,3
		0,075	795,5
		0,0375	1128,6
		0,01875	1603,9
		0,00938	2279,1
	KCl	0,01	250,0

Контрольні питання до роботи 14/07

1. Які основні положення теорії електролітичної дисоціації електролітів?
2. Які властивості розбавлених розчинів сильних електролітів типу 1–1 змінюються пропорційно кореню квадратному з молярної концентрації (α , λ , λ_∞ , $\lg \gamma$, k , π)?
3. Ступінь дисоціації мурашиної кислоти HCOOH в 0,2 N розчині дорівнює 0,03. Визначити константу дисоціації кислоти і значення pK .

ВАРІАНТ 8

1. Визначити сталу електролітичної ячейки $K_{яч}$ по 0,01N розчину KCl.
 2. При виконанні завдання на підставі значень питомого опору при різних концентраціях ($T = 298$ K) необхідно:
 - розрахувати питому і молярну електропровідності;
 - побудувати графік залежності питомої і молярної електропровідностей від розведення ($\varphi = 1000/c$);
 - розрахувати ступінь дисоціації для всіх концентрацій, побудувати графік залежності ступеня дисоціації від розведення;
 - розрахувати константи дисоціації слабкої кислоти при заданих концентраціях і з'ясувати, чи підлягає цей електроліт закону розведення Оствальда;
 - якщо розчин є розчином слабкої кислоти або слабкої основи, визначити, при якій концентрації ступінь дисоціації речовини в розчині буде дорівнює 10% ($\alpha = 0,1$) і визначити pH даного розчину.
- Виконання кожного пункту індивідуальної завдання завершується аналізом отриманих величин.

Питома електропровідність 0,01 розчину KCl при $T = 298$ K $\kappa = 0,001413$ Ом⁻¹см⁻¹, граничні молярні електропровідності протона і аніонів (λ_0 [Ом⁻¹·см² моль⁻¹], $H^+ = 349,8$; $CH_3COO^- = 40,9$).

№	Кислота	Конц. (c), моль/л	R, ом
8	CH ₃ COOH (оцтова)	0,2	485,3
		0,1	687,5
		0,05	976,6
		0,025	1384,9
		0,0125	1969,1
	KCl	0,01	250,0

Контрольні питання до роботи 14/08

1. Сформулювати закон розведення Оствальда (залежність константи дисоціації K_d від ступеня дисоціації α і розведення $\varphi = 1/c$ розчину слабого електроліту).
2. Яка властивість розчинника є визначальною в його здатності іонізувати розчинена речовина?
3. При якій концентрації розчину c ступінь дисоціації азотистої кислоти HNO_2 буде $\alpha = 0,2$ ($K_d = 4 \cdot 10^{-4}$)?

ВАРІАНТ 9

1. Визначити сталу електролітичної ячейки $K_{яч}$ по $0,01N$ розчину KCl .
 2. При виконанні завдання на підставі значень питомого опору при різних концентраціях ($T = 298 \text{ K}$) необхідно:
 - розрахувати питому і молярну електропровідності;
 - побудувати графік залежності питомої і молярної електропровідностей від розведення ($\varphi = 1000/c$);
 - розрахувати ступінь дисоціації для всіх концентрацій, побудувати графік залежності ступеня дисоціації від розведення;
 - розрахувати константи дисоціації слабкої кислоти при заданих концентраціях і з'ясувати, чи підлягає цей електроліт закону розведення Оствальда;
 - якщо розчин є розчином слабкої кислоти або слабкої основи, визначити, при якій концентрації ступінь дисоціації речовини в розчині буде дорівнює 10% ($\alpha = 0,1$) і визначити pH даного розчину.
- Виконання кожного пункту індивідуальної завдання завершується аналізом отриманих величин.

Питома електропровідність $0,01$ розчину KCl при $T = 298 \text{ K}$ $\kappa = 0,001413 \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$, граничні молярні електропровідності протона і аніонів ($\lambda_0 [\text{Ом}^{-1}\cdot\text{см}^2 \text{ моль}^{-1}]$, $\text{H}^+ = 349,8$; $\text{CH}_3\text{COO}^- = 40,9$).

№	Кислота	Конц. (c), моль/л	R , ом
9	CH_3COOH (оцтова)	0,25	434,2
		0,125	615,5
		0,0625	870,5
		0,03125	1236,4
		0,01563	1760,4
	KCl	0,01	250,0

Контрольні питання до роботи 14/09

1. Привести залежності питомої κ та еквівалентної λ електропровідностей від концентрації c для сильного і слабкого електроліту.
2. У чому переваги методу кондуктометричного титрування?
3. У 0,1 N розчині ступінь дисоціації оцтової кислоти CH_3COOH $\alpha_1 = 1,32 \cdot 10^{-2}$. При якій концентрації азотної кислоти HNO_2 її ступінь дисоціації α_2 буде такою ж?

ВАРІАНТ 10

1. Визначити сталу електролітичної ячейки $K_{\text{яч}}$ по 0,01N розчину KCl.
2. При виконанні завдання на підставі значень питомого опору при різних концентраціях ($T = 298 \text{ K}$) необхідно:
 - розрахувати питому і молярну електропровідності;
 - побудувати графік залежності питомої і молярної електропровідностей від розведення ($\varphi = 1000/c$);
 - розрахувати ступінь дисоціації для всіх концентрацій, побудувати графік залежності ступеня дисоціації від розведення;
 - розрахувати константи дисоціації слабкої кислоти при заданих концентраціях і з'ясувати, чи підлягає цей електроліт закону розведення Оствальда;
 - якщо розчин є розчином слабкої кислоти або слабкої основи, визначити, при якій концентрації ступінь дисоціації речовини в розчині буде дорівнює 10% ($\alpha = 0,1$) і визначити pH даного розчину.Виконання кожного пункту індивідуальної завдання завершується аналізом отриманих величин.

Питома електропровідність 0,01 розчину KCl при $T = 298 \text{ K}$ $\kappa = 0,001413 \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$, граничні молярні електропровідності протона і аніонів ($\lambda_0 [\text{Ом}^{-1}\cdot\text{см}^2 \text{ моль}^{-1}]$, $\text{H}^+ = 349,8$; $\text{CH}_3\text{COO}^- = 40,9$).

№	Кислота	Конц. (c), моль/л	R , ом
10	CH_3COOH (оцтова)	0,3	396,3
		0,15	560,7
		0,075	794,7
		0,0375	1129,4
		0,01875	1603,1
	KCl	0,01	250,0

Контрольні питання до роботи 14/10

1. Визначити концентрації H^+ и OH^- в розчині, у якого $p\text{H} = 6,2$.
2. Як зв'язані питома κ ($\text{ом}^{-1}\text{см}^{-1}$) та молярна ($\text{ом}^{-1}\text{см}^{-2}$ г-екв $^{-1}$) електропровідності розчинів електроліту?
3. Чому дорівнює концентрація іонів водню H^+ в водному розчині мурашиної кислоти, якщо ступінь дисоціації $\alpha = 0,03$ ($K_{\text{д}} = 1,8 \cdot 10^{-4}$)?

ВАРІАНТ 11

1. Визначити сталу електролітичної ячейки $K_{\text{яч}}$ по 0,01N розчину KCl.
2. При виконанні завдання на підставі значень питомого опору при різних концентраціях ($T = 298$ K) необхідно:
 - розрахувати питому і молярну електропровідності;
 - побудувати графік залежності питомої і молярної електропровідностей від розведення ($\varphi = 1000/c$);
 - розрахувати ступінь дисоціації для всіх концентрацій, побудувати графік залежності ступеня дисоціації від розведення;
 - розрахувати константи дисоціації слабкої кислоти при заданих концентраціях і з'ясувати, чи підлягає цей електроліт закону розведення Оствальда;
 - якщо розчин є розчином слабкої кислоти або слабкої основи, визначити, при якій концентрації ступінь дисоціації речовини в розчині буде дорівнює 10% ($\alpha = 0,1$) і визначити $p\text{H}$ даного розчину.Виконання кожного пункту індивідуальної завдання завершується аналізом отриманих величин.

Питома електропровідність 0,01 розчину KCl при $T = 298$ K $\kappa = 0,001413 \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$, граничні молярні електропровідності протона і аніонів (λ_0 [$\text{Ом}^{-1}\cdot\text{см}^2$ моль $^{-1}$], $\text{H}^+ = 349,8$; $\text{C}_2\text{H}_5\text{COO}^- = 35,8$).

№	Кислота	Конц. (c), моль/л	R, ом
11	$\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$ (пропіонова)	0,1	797,2
		0,05	1130,4
		0,025	1603,4
		0,0125	2278,1
		0,00625	2627,1
	KCl	0,01	249,0

Контрольні питання до роботи 14/11

1. Для вирішення яких питань можна використовувати метод вимірювання електропровідності електролітів?
2. Які з наступних факторів впливають на еквівалентну електропровідність електролітів: концентрація електроліту c , ступінь дисоціації α , температура T , в'язкість розчину η , постійна посудини для вимірювання електропровідності const , радіус іона r , площа електродів S ?
3. У скільки разів зміниться концентрація іонів водню, якщо до 1 дм³ 0,005 М розчину оцтової кислоти додати 0,05 моля ацетату натрію?

ВАРІАНТ 12

1. Визначити сталу електролітичної ячейки $K_{\text{яч}}$ по 0,01N розчину KCl.
2. При виконанні завдання на підставі значень питомого опору при різних концентраціях ($T = 298 \text{ K}$) необхідно:
 - розрахувати питому і молярну електропровідності;
 - побудувати графік залежності питомої і молярної електропровідностей від розведення ($\varphi = 1000/c$);
 - розрахувати ступінь дисоціації для всіх концентрацій, побудувати графік залежності ступеня дисоціації від розведення;
 - розрахувати константи дисоціації слабкої кислоти при заданих концентраціях і з'ясувати, чи підлягає цей електроліт закону розведення Оствальда;
 - якщо розчин є розчином слабкої кислоти або слабкої основи, визначити, при якій концентрації ступінь дисоціації речовини в розчині буде дорівнює 10% ($\alpha = 0,1$) і визначити рН даного розчину.

Виконання кожного пункту індивідуальної завдання завершується аналізом отриманих величин.

Питома електропровідність 0,01 розчину KCl при $T = 298 \text{ K}$ $\kappa = 0,001413 \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$, граничні молярні електропровідності протона і аніонів ($\lambda_0 [\text{Ом}^{-1}\cdot\text{см}^2 \text{ моль}^{-1}]$, $\text{H}^+ = 349,8$; $\text{C}_2\text{H}_5\text{COO}^- = 35,8$).

№	Кислота	Конц. (c), моль/л	R , ом
12	C ₂ H ₅ COOH (пропіонова)	0,15	970,4
		0,075	918,1
		0,0375	1301,4
		0,01875	1847,4
		0,00938	2627,1
	KCl	0,01	249,0

Контрольні питання до роботи 14/12

1. Привести залежності еквівалентної електропровідності від концентрації для слабких електролітів.
2. Яка головна відмінна особливість електричної схеми для вимірювання електропровідності розчинів електролітів від схеми для вимірювання електропровідності провідників 1-го роду?
3. Розрахувати концентрацію іонів CH_3COO^- в розчині, в 1 дм^3 якого знаходиться 1 моль CH_3COOH і 0,1 моля HCl , вважаючи дисоціацію останнього повною.

ВАРІАНТ 13

1. Визначити сталу електролітичної ячейки $K_{\text{яч}}$ по $0,01N$ розчину KCl .
2. При виконанні завдання на підставі значень питомого опору при різних концентраціях ($T = 298 \text{ K}$) необхідно:
 - розрахувати питому і молярну електропровідності;
 - побудувати графік залежності питомої і молярної електропровідностей від розведення ($\varphi = 1000/c$);
 - розрахувати ступінь дисоціації для всіх концентрацій, побудувати графік залежності ступеня дисоціації від розведення;
 - розрахувати константи дисоціації слабкої кислоти при заданих концентраціях і з'ясувати, чи підлягає цей електроліт закону розведення Оствальда;
 - якщо розчин є розчином слабкої кислоти або слабкої основи, визначити, при якій концентрації ступінь дисоціації речовини в розчині буде дорівнює 10% ($\alpha = 0,1$) і визначити pH даного розчину.

Виконання кожного пункту індивідуальної завдання завершується аналізом отриманих величин.

Питома електропровідність $0,01$ розчину KCl при $T = 298 \text{ K}$ $\kappa = 0,001413 \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$, граничні молярні електропровідності протона і аніонів ($\lambda_0 [\text{Ом}^{-1}\cdot\text{см}^2 \text{ моль}^{-1}]$, $\text{H}^+ = 349,8$; $\text{C}_2\text{H}_5\text{COO}^- = 35,8$).

№	Кислота	Конц. (c), моль/л	R, ом
13	$\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$ (пропіонова)	0,2	562,8
		0,1	797,2
		0,05	1130,4
		0,025	1603,4
		0,0125	2278,1
	KCl	0,01	250,0

Контрольні питання до роботи 14/13

1. Чому дорівнює концентрація гідроксид-іону в розчині з $pH = 10,8$?
2. Привести рівняння, яке пов'язує питому κ та молярну λ електропровідності розчину електроліту, константу ячейки $const$ і опір розчину R . Як змінюється питома електропровідність κ водного розчину слабого електроліту з ростом концентрації розчину c ?
3. Розрахувати іонну силу I та активність іонів a в розчині, в якому міститься $0,01 \text{ M MgSO}_4$ і $0,01 \text{ M MgCl}_2$.

ВАРІАНТ 14

1. Визначити сталу електролітичної ячейки $K_{яч}$ по $0,01 \text{ N}$ розчину KCl .
2. При виконанні завдання на підставі значень питомого опору при різних концентраціях ($T = 298 \text{ K}$) необхідно:
 - розрахувати питому і молярну електропровідності;
 - побудувати графік залежності питомої і молярної електропровідностей від розведення ($\varphi = 1000/c$);
 - розрахувати ступінь дисоціації для всіх концентрацій, побудувати графік залежності ступеня дисоціації від розведення;
 - розрахувати константи дисоціації слабкої кислоти при заданих концентраціях і з'ясувати, чи підлягає цей електроліт закону розведення Оствальда;
 - якщо розчин є розчином слабкої кислоти або слабкої основи, визначити, при якій концентрації ступінь дисоціації речовини в розчині буде дорівнює 10% ($\alpha = 0,1$) і визначити pH даного розчину.Виконання кожного пункту індивідуальної завдання завершується аналізом отриманих величин.

Питома електропровідність $0,01$ розчину KCl при $T = 298 \text{ K}$
 $\kappa = 0,001413 \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$, граничні молярні електропровідності протона і аніонів ($\lambda_0 [\text{Ом}^{-1}\cdot\text{см}^2 \text{ моль}^{-1}]$, $\text{H}^+ = 349,8$; $\text{C}_2\text{H}_5\text{COO}^- = 35,8$).

№	Кислота	Конц. (c), моль/л	R, ом
14	$\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$ (пропіонова)	0,25	505,2
		0,125	715,5
		0,0625	1014,5
		0,03125	1438,4
		0,01563	2042,4
	KCl	0,01	251,0

Контрольні питання до роботи 14/14

1. Знайти молярну концентрацію іонів OH^- у водному розчині, концентрація іонів H^+ в якому дорівнює 10^{-3} .
2. Зіставити іонні сили I двох розчинів AgNO_3 и $\text{Co}(\text{ClO}_4)_2$ при однаковій концентрації c . Для якого розчину іонна сила більша, у скільки разів?
3. Обчислити наближене значення активності іонів K^+ и SO_4^{2-} в $0,01\text{M}$ розчині K_2SO_4 .

ВАРІАНТ 15

1. Визначити сталу електролітичної ячейки $K_{\text{яч}}$ по $0,01\text{N}$ розчину KCl .
 2. При виконанні завдання на підставі значень питомого опору при різних концентраціях ($T = 298\text{ K}$) необхідно:
 - розрахувати питому і молярну електропровідності;
 - побудувати графік залежності питомої і молярної електропровідностей від розведення ($\varphi = 1000/c$);
 - розрахувати ступінь дисоціації для всіх концентрацій, побудувати графік залежності ступеня дисоціації від розведення;
 - розрахувати константи дисоціації слабкої кислоти при заданих концентраціях і з'ясувати, чи підлягає цей електроліт закону розведення Оствальда;
 - якщо розчин є розчином слабкої кислоти або слабкої основи, визначити, при якій концентрації ступінь дисоціації речовини в розчині буде дорівнює 10% ($\alpha = 0,1$) і визначити $p\text{H}$ даного розчину.
- Виконання кожного пункту індивідуальної завдання завершується аналізом отриманих величин.

Питома електропровідність $0,01$ розчину KCl при $T = 298\text{ K}$
 $\kappa = 0,001413\text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$, граничні молярні електропровідності протона і аніонів ($\lambda_0 [\text{Ом}^{-1}\cdot\text{см}^2\text{ моль}^{-1}]$, $\text{H}^+ = 349,8$; $\text{C}_2\text{H}_5\text{COO}^- = 35,8$).

№	Кислота	Конц. (c), моль/л	R, ом
15	$\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$ (пропіонова)	0,3	459,1
		0,15	650,3
		0,075	921,7
		0,0375	1306,4
		0,01875	1654,1
	KCl	0,01	250,0

Контрольні питання до роботи 14/15

1. Визначити pH 0,01 N розчину оцтової кислоти, в якому ступінь дисоціації кислоти $\alpha = 0,042$.
2. Як експериментально визначити зменшення молярної електропровідності, яке зумовлено електрорелаксаційним гальмуванням іонів?
3. Розрахувати іонну силу I і активність іонів a , в розчині якого знаходиться 0,01 М $Ca(NO_3)_2$ і 0,01М $CaCl_2$.

ВАРІАНТ 16

1. Визначити сталу електролітичної ячейки $K_{яч}$ по 0,01N розчину KCl .
2. При виконанні завдання на підставі значень питомого опору при різних концентраціях ($T = 298$ К) необхідно:
 - розрахувати питому і молярну електропровідності;
 - побудувати графік залежності питомої і молярної електропровідностей від розведення ($\varphi = 1000/c$);
 - розрахувати ступінь дисоціації для всіх концентрацій, побудувати графік залежності ступеня дисоціації від розведення;
 - розрахувати константи дисоціації слабкої кислоти при заданих концентраціях і з'ясувати, чи підлягає цей електроліт закону розведення Оствальда;
 - якщо розчин є розчином слабкої кислоти або слабкої основи, визначити, при якій концентрації ступінь дисоціації речовини в розчині буде дорівнює 10% ($\alpha = 0,1$) і визначити pH даного розчину.

Виконання кожного пункту індивідуальної завдання завершується аналізом отриманих величин.

Питома електропровідність 0,01 розчину KCl при $T = 298$ К $\kappa = 0,001413$ Ом⁻¹см⁻¹, граничні молярні електропровідності протона і аніонів (λ_0 [Ом⁻¹·см² моль⁻¹], $H^+ = 349,8$; $C_3H_7COO^- = 32,6$).

№	Кислота	Конц. (c), моль/л	R, ом
16	C ₃ H ₇ COOH (масляна)	0,1	755,1
		0,05	1070,5
		0,025	1519,6
		0,0125	2159,9
		0,00625	3077,1
	KCl	0,01	250,0

Контрольні питання до роботи 14/16

1. Чи змінюється ступінь дисоціації α слабкого електроліту у водному розчині з ростом температури T ?
2. Як змінюється константа дисоціації K_d електроліту з ростом діелектричної проникності розчинника ϵ , якщо порівнювати розчинники, близькі за властивостями?
3. Ступінь дисоціації слабкої одноосновної кислоти в $0,2 N$ розчині $\alpha = 0,03$. Обчислити значення H^+ , OH^- і pOH для цього розчину.

ВАРІАНТ 17

1. Визначити сталу електролітичної ячейки $K_{яч}$ по $0,01N$ розчину KCl .
2. При виконанні завдання на підставі значень питомого опору при різних концентраціях ($T = 298 K$) необхідно:
 - розрахувати питому і молярну електропровідності;
 - побудувати графік залежності питомої і молярної електропровідностей від розведення ($\varphi = 1000/c$);
 - розрахувати ступінь дисоціації для всіх концентрацій, побудувати графік залежності ступеня дисоціації від розведення;
 - розрахувати константи дисоціації слабкої кислоти при заданих концентраціях і з'ясувати, чи підлягає цей електроліт закону розведення Оствальда;
 - якщо розчин є розчином слабкої кислоти або слабкої основи, визначити, при якій концентрації ступінь дисоціації речовини в розчині буде дорівнює 10% ($\alpha = 0,1$) і визначити pH даного розчину.Виконання кожного пункту індивідуальної завдання завершується аналізом отриманих величин.

Питома електропровідність $0,01$ розчину KCl при $T = 298 K$
 $\kappa = 0,001413 \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$, граничні молярні електропровідності протона і аніонів ($\lambda_0 [\text{Ом}^{-1}\cdot\text{см}^2 \text{ моль}^{-1}]$, $H^+ = 349,8$; $C_3H_7COO^- = 32,6$).

№	Кислота	Конц. (c), моль/л	R, ом
17	C_3H_7COOH (масляна)	0,15	613,2
		0,075	869,4
		0,0375	1232,9
		0,01875	1750,4
		0,00938	2490,1
	KCl	0,01	249,0

Контрольні питання до роботи 14/17

1. Дві одноосновні органічні кислоти при деякій концентрації c мають різні ступені дисоціації: $\alpha_1 = 0,2$, $\alpha_2 = 0,5$. Константа дисоціації K_d якої кислоти більше і у скільки разів?
2. Чи залежить ступінь дисоціації α слабого електроліту в водному розчині від температури T і концентрації c ?
3. При нагріванні від $T_1 = 273$ К до $T_2 = 293$ К ступінь дисоціації α_1 слабого бінарного електроліту 1 у водному розчині збільшилася вдвічі, а ступінь дисоціації α_2 слабого бінарного електроліту 2 тієї ж концентрації – вчетверо. Для якого електроліту теплота дисоціації більше?

ВАРІАНТ 18

1. Визначити сталу електролітичної ячейки $K_{яч}$ по $0,01N$ розчину KCl .
2. При виконанні завдання на підставі значень питомого опору при різних концентраціях ($T = 298$ К) необхідно:

- розрахувати питому і молярну електропровідності;
- побудувати графік залежності питомої і молярної електропровідностей від розведення ($\varphi = 1000/c$);
- розрахувати ступінь дисоціації для всіх концентрацій, побудувати графік залежності ступеня дисоціації від розведення;
- розрахувати константи дисоціації слабкої кислоти при заданих концентраціях і з'ясувати, чи підлягає цей електроліт закону розведення Оствальда;
- якщо розчин є розчином слабкої кислоти або слабкої основи, визначити, при якій концентрації ступінь дисоціації речовини в розчині буде дорівнює 10% ($\alpha = 0,1$) і визначити pH даного розчину.

Виконання кожного пункту індивідуальної завдання завершується аналізом отриманих величин.

Питома електропровідність $0,01$ розчину KCl при $T = 298$ К

$\kappa = 0,001413$ Ом⁻¹см⁻¹, граничні молярні електропровідності протона і аніонів (λ_0 [Ом⁻¹·см² моль⁻¹], $H^+ = 349,8$; $C_3H_7COO^- = 32,6$).

№	Кислота	Конц. (c), моль/л	R , ом
18	C ₃ H ₇ COOH (маляна)	0,2	533,0
		0,1	755,2
		0,05	1070,6
		0,025	1519,4
		0,0125	2159,1
	KCl	0,01	250,0

Контрольні питання до роботи 14/18

1. Навести криву кондуктометричного титрування сильної кислоти сильною основою і пояснити її.
2. Чи зміниться і як питома електропровідність водного розчину сильної кислоти при додаванні розчину лугу?
3. Який об'єм 0,15 *N* розчину електроліту потрібно влити в судину з електродами, розташованими на відстані 1 см один від одного, щоб виміряна електропровідність κ відповідала еквівалентній електропровідності λ цього розчину?

ВАРІАНТ 191. Визначити сталу електролітичної ячейки $K_{\text{яч}}$ по 0,01*N* розчину KCl.

2. При виконанні завдання на підставі значень питомого опору при різних концентраціях ($T = 298$ К) необхідно:

- розрахувати питому і молярну електропровідності;
- побудувати графік залежності питомої і молярної електропровідностей від розведення ($\varphi = 1000/c$);
- розрахувати ступінь дисоціації для всіх концентрацій, побудувати графік залежності ступеня дисоціації від розведення;
- розрахувати константи дисоціації слабкої кислоти при заданих концентраціях і з'ясувати, чи підлягає цей електроліт закону розведення Оствальда;
- якщо розчин є розчином слабкої кислоти або слабкої основи, визначити, при якій концентрації ступінь дисоціації речовини в розчині буде дорівнює 10% ($\alpha = 0,1$) і визначити *pH* даного розчину.

Виконання кожного пункту індивідуальної завдання завершується аналізом отриманих величин.

Питома електропровідність 0,01 розчину KCl при $T = 298$ К $\kappa = 0,001413$ Ом⁻¹см⁻¹, граничні молярні електропровідності протона і аніонів (λ_0 [Ом⁻¹·см² моль⁻¹], H⁺ = 349,8; C₃H₇COO⁻ = 32,6.

№	Кислота	Конц. (<i>c</i>), моль/л	<i>R</i> , ом
19	C ₃ H ₇ COOH (масляна)	0,25	478,6
		0,125	677,4
		0,0625	960,5
		0,03125	1362,4
		0,01563	1936,4
	KCl	0,01	251,0

Контрольні питання до роботи 14/19

1. Сформулювати правило іонної сили (закон Дебая-Гюккеля).
2. Привести криву кондуктометричного титрування в координатах питомої електропровідності κ – об'єм лугу V для суміші мурашиної і соляної кислот.
3. Ступінь дисоціації 0,01 М розчину слабкої основи $\alpha = 0,2$; абсолютна швидкість руху катіона в розчині дорівнює $2,6 \cdot 10^{-4}$ см²/с. Користуючись довідковими даними про рухливості аніона, розрахуйте питому електропровідність розчину при $T = 298$ К.

ВАРІАНТ 20

1. Визначити сталу електролітичної ячейки $K_{\text{яч}}$ по 0,01N розчину KCl.
2. При виконанні завдання на підставі значень питомого опору при різних концентраціях ($T = 298$ К) необхідно:
 - розрахувати питому і молярну електропровідності;
 - побудувати графік залежності питомої і молярної електропровідностей від розведення ($\varphi = 1000/c$);
 - розрахувати ступінь дисоціації для всіх концентрацій, побудувати графік залежності ступеня дисоціації від розведення;
 - розрахувати константи дисоціації слабкої кислоти при заданих концентраціях і з'ясувати, чи підлягає цей електроліт закону розведення Оствальда;
 - якщо розчин є розчином слабкої кислоти або слабкої основи, визначити, при якій концентрації ступінь дисоціації речовини в розчині буде дорівнює 10% ($\alpha = 0,1$) і визначити рН даного розчину.

Виконання кожного пункту індивідуальної завдання завершується аналізом отриманих величин.

Питома електропровідність 0,01 розчину KCl при $T = 298$ К $\kappa = 0,001413$ Ом⁻¹см⁻¹, граничні молярні електропровідності протона і аніонів (λ_0 [Ом⁻¹·см² моль⁻¹], $\text{H}^+ = 349,8$; $\text{C}_3\text{H}_7\text{COO}^- = 32,6$).

№	Кислота	Конц. (с), моль/л	R, ом
20	C ₃ H ₇ COOH (масляна)	0,3	434,8
		0,15	615,7
		0,075	872,7
		0,0375	1237,9
		0,01875	1758,1
	KCl	0,01	250,0

Контрольні питання до роботи 14/20

1. В якому випадку питома електропровідність κ електроліту є і його еквівалентною електропровідністю λ ?
2. Чи залежить і як радіус іонної атмосфери від концентрації сильного електроліту?
3. При $T = 298 \text{ K}$ і розведенні 32 л молярна електропровідність солянокислого тетраетиларсина $\text{As}(\text{C}_2\text{H}_5)_4\text{Cl}$ дорівнює $85,5 \text{ Ом}^{-1}\cdot\text{см}^2\cdot\text{г}\cdot\text{екв}^{-1}$, а ступінь дисоціації $\alpha = 0,855$. Знайдіть граничні рухливості аніона і катіона в розчині, якщо число перенесення катіона дорівнює $t_+ = 0,298$.

ВАРІАНТ 21

1. Визначити сталу електролітичної ячейки $K_{\text{яч}}$ по $0,01N$ розчину KCl .
2. При виконанні завдання на підставі значень питомого опору при різних концентраціях ($T = 298 \text{ K}$) необхідно:
 - розрахувати питому і молярну електропровідності;
 - побудувати графік залежності питомої і молярної електропровідностей від розведення ($\varphi = 1000/c$);
 - розрахувати ступінь дисоціації для всіх концентрацій, побудувати графік залежності ступеня дисоціації від розведення;
 - розрахувати константи дисоціації слабкої кислоти при заданих концентраціях і з'ясувати, чи підлягає цей електроліт закону розведення Оствальда;
 - якщо розчин є розчином слабкої кислоти або слабкої основи, визначити, при якій концентрації ступінь дисоціації речовини в розчині буде дорівнює 10% ($\alpha = 0,1$) і визначити pH даного розчину.

Виконання кожного пункту індивідуальної завдання завершується аналізом отриманих величин.

Питома електропровідність $0,01$ розчину KCl при $T = 298 \text{ K}$ $\kappa = 0,001413 \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$, граничні молярні електропровідності протона і аніонів ($\lambda_0 [\text{Ом}^{-1}\cdot\text{см}^2 \text{ моль}^{-1}]$, $\text{H}^+ = 349,8$; $\text{C}_2\text{H}_2\text{ClCOO}^- = 39,8$).

№	Кислота	Конц. (c), моль/л	R , ом
21	$\text{C}_2\text{H}_3\text{CO}_2\text{Cl}$ (хлороцтова)	0,1	81,7
		0,05	118,6
		0,025	168,1
		0,0125	259,7
		0,00625	389,8
	KCl	0,01	250,0

Контрольні питання до роботи 14/21

1. Чи зміниться і як опір водного розчину луку, якщо до нього додати розчин сильної кислоти? Навести графік.
2. Чому за величиною еквівалентні електропровідності водних розчинів хлоридів металів першої групи розташовуються в порядку, зворотному порядку розташування цих самих солей у розплавах?
3. Ступінь дисоціації оцтової кислоти в 0,1 М розчині $\alpha = 1,32 \cdot 10^{-2}$. Знайти константу дисоціації кислоти K_d і значення pK_d .

ВАРІАНТ 22

1. Визначити сталу електролітичної ячейки $K_{яч}$ по 0,01N розчину KCl.
2. При виконанні завдання на підставі значень питомого опору при різних концентраціях ($T = 298$ К) необхідно:
 - розрахувати питому і молярну електропровідності;
 - побудувати графік залежності питомої і молярної електропровідностей від розведення ($\varphi = 1000/c$);
 - розрахувати ступінь дисоціації для всіх концентрацій, побудувати графік залежності ступеня дисоціації від розведення;
 - розрахувати константи дисоціації слабкої кислоти при заданих концентраціях і з'ясувати, чи підлягає цей електроліт закону розведення Оствальда;
 - якщо розчин є розчином слабкої кислоти або слабкої основи, визначити, при якій концентрації ступінь дисоціації речовини в розчині буде дорівнює 10% ($\alpha = 0,1$) і визначити pH даного розчину.Виконання кожного пункту індивідуальної завдання завершується аналізом отриманих величин.

Питома електропровідність 0,01 розчину KCl при $T = 298$ К $\kappa = 0,001413 \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$, граничні молярні електропровідності протона і аніонів ($\lambda_0 [\text{Ом}^{-1}\cdot\text{см}^2 \text{ моль}^{-1}]$, $\text{H}^+ = 349,8$; $\text{C}_2\text{H}_2\text{ClCOO}^- = 39,8$.

№	Кислота	Конц. (c), моль/л	R, ом
22	C ₂ H ₃ CO ₂ Cl (хлороцтова)	0,15	66,2
		0,075	95,4
		0,0375	139,7
		0,01875	204,1
		0,00938	305,2
	KCl	0,01	250,0

Контрольні питання до роботи 14/22

1. Які характеристики електроліту можна розрахувати, якщо відомі питома електропровідність κ , концентрація c і гранична рухливість іонів u_{∞} ?
2. Як пов'язані між собою питома κ ($\text{ом}^{-1}\cdot\text{см}^{-1}$) і еквівалентна λ ($\text{ом}^{-1}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{г}^{-1}\text{екв}^{-1}$) електропровідності розчину електроліту?
3. Константа дисоціації синильної кислоти дорівнює $7,9\cdot 10^{-10}$. Знайти ступінь дисоціації HCN в 0,0001M розчині.

ВАРІАНТ 23

1. Визначити сталу електролітичної ячейки $K_{\text{яч}}$ по 0,01N розчину KCl.
 2. При виконанні завдання на підставі значень питомого опору при різних концентраціях ($T = 298 \text{ K}$) необхідно:
 - розрахувати питому і молярну електропровідності;
 - побудувати графік залежності питомої і молярної електропровідностей від розведення ($\varphi = 1000/c$);
 - розрахувати ступінь дисоціації для всіх концентрацій, побудувати графік залежності ступеня дисоціації від розведення;
 - розрахувати константи дисоціації слабкої кислоти при заданих концентраціях і з'ясувати, чи підлягає цей електроліт закону розведення Оствальда;
 - якщо розчин є розчином слабкої кислоти або слабкої основи, визначити, при якій концентрації ступінь дисоціації речовини в розчині буде дорівнює 10% ($\alpha = 0,1$) і визначити pH даного розчину.
- Виконання кожного пункту індивідуальної завдання завершується аналізом отриманих величин.

Питома електропровідність 0,01 розчину KCl при $T = 298 \text{ K}$
 $\kappa = 0,001413 \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$, граничні молярні електропровідності протона і аніонів (λ_0 [$\text{Ом}^{-1}\cdot\text{см}^2 \text{ моль}^{-1}$], $\text{H}^+ = 349,8$; $\text{C}_2\text{H}_2\text{ClCOO}^- = 39,8$).

№	Кислота	Конц. (c), моль/л	R , ом
23	$\text{C}_2\text{H}_3\text{CO}_2\text{Cl}$ (хлороцтова)	0,2	56,9
		0,1	81,7
		0,05	118,6
		0,025	168,1
		0,0125	259,7
	KCl	0,01	250,0

Контрольні питання до роботи 14/23

1. Чи змінюється ступінь дисоціації α слабкого електроліту у водному розчині зі збільшенням температури T ?
2. Що таке гранична еквівалентна електропровідність електроліту λ_{∞} і як її розрахувати?
3. Обчислити концентрацію іонів водню в 0,1 М розчині хлорноватистої кислоти (HOC1), якщо $K_d = 5 \cdot 10^{-8}$.

ВАРІАНТ 24

1. Визначити сталу електролітичної ячейки $K_{яч}$ по 0,01N розчину KCl.
2. При виконанні завдання на підставі значень питомого опору при різних концентраціях ($T = 298$ К) необхідно:
 - розрахувати питому і молярну електропровідності;
 - побудувати графік залежності питомої і молярної електропровідностей від розведення ($\varphi = 1000/c$);
 - розрахувати ступінь дисоціації для всіх концентрацій, побудувати графік залежності ступеня дисоціації від розведення;
 - розрахувати константи дисоціації слабкої кислоти при заданих концентраціях і з'ясувати, чи підлягає цей електроліт закону розведення Оствальда;
 - якщо розчин є розчином слабкої кислоти або слабкої основи, визначити, при якій концентрації ступінь дисоціації речовини в розчині буде дорівнює 10% ($\alpha = 0,1$) і визначити рН даного розчину.

Виконання кожного пункту індивідуальної завдання завершується аналізом отриманих величин.

Питома електропровідність 0,01 розчину KCl при $T = 298$ К $\kappa = 0,001413 \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$, граничні молярні електропровідності протона і аніонів ($\lambda_0 [\text{Ом}^{-1}\cdot\text{см}^2 \text{ моль}^{-1}]$, $\text{H}^+ = 349,8$; $\text{C}_2\text{H}_2\text{ClCOO}^- = 39,8$.

№	Кислота	Конц. (c), моль/л	R, ом
24	C ₂ H ₃ CO ₂ Cl (хлороцтова)	0,25	50,6
		0,125	72,7
		0,0625	105,1
		0,03125	153,1
		0,01563	226,8
	KCl	0,01	250,0

Контрольні питання до роботи 14/24

1. Як змінюється константа дисоціації K_d електроліту зі збільшенням діелектричної проникності розчинника ϵ , якщо порівнювати розчинники, близькі за властивостями?
2. Сформулювати закон незалежного руху іонів (закон Кольрауша).
3. Дві одноосновні органічні кислоти при деякій концентрації c мають різні ступені дисоціації: $\alpha_1 = 0,1$, $\alpha_2 = 0,2$. Константа дисоціації K_d якої кислоти більша й у скільки разів?

ВАРІАНТ 25

1. Визначити сталу електролітичної ячейки $K_{яч}$ по 0,01N розчину KCl.
2. При виконанні завдання на підставі значень питомого опору при різних концентраціях ($T = 298$ K) необхідно:
 - розрахувати питому і молярну електропровідності;
 - побудувати графік залежності питомої і молярної електропровідностей від розведення ($\varphi = 1000/c$);
 - розрахувати ступінь дисоціації для всіх концентрацій, побудувати графік залежності ступеня дисоціації від розведення;
 - розрахувати константи дисоціації слабкої кислоти при заданих концентраціях і з'ясувати, чи підлягає цей електроліт закону розведення Оствальда;
 - якщо розчин є розчином слабкої кислоти або слабкої основи, визначити, при якій концентрації ступінь дисоціації речовини в розчині буде дорівнює 10% ($\alpha = 0,1$) і визначити рН даного розчину.Виконання кожного пункту індивідуальної завдання завершується аналізом отриманих величин.

Питома електропровідність 0,01 розчину KCl при $T = 298$ K $\kappa = 0,001413$ Ом⁻¹см⁻¹, граничні молярні електропровідності протона і аніонів (λ_0 [Ом⁻¹·см² моль⁻¹], $H^+ = 349,8$; $C_2H_2ClCOO^- = 39,8$).

№	Кислота	Конц. (c), моль/л	R, ом
25	C ₂ H ₃ CO ₂ Cl (хлороцтова)	0,3	46,1
		0,15	66,2
		0,075	95,4
		0,0375	139,7
		0,01875	204,1
	KCl	0,01	250,0

Контрольні питання до роботи 14/25

1. Чи зміниться і як константа дисоціації K_d слабкого електроліту, якщо як розчинник замість води взяти метанол? Хімічна взаємодія між розчиненою речовиною й розчинником відсутня.
2. Які основні положення теорії електролітичної дисоціації електролітів?
3. Ступінь дисоціації мурашиної кислоти HCOOH в $0,2 \text{ N}$ розчині дорівнює $0,03$. Визначити константу дисоціації кислоти й значення pH .

ВАРІАНТ 26

1. Визначити сталу електролітичної ячейки $K_{\text{яч}}$ по $0,01 \text{ N}$ розчину KCl .
 2. При виконанні завдання на підставі значень питомого опору при різних концентраціях ($T = 298 \text{ K}$) необхідно:
 - розрахувати питому і молярну електропровідності;
 - побудувати графік залежності питомої і молярної електропровідностей від розведення ($\varphi = 1000/c$);
 - розрахувати ступінь дисоціації для всіх концентрацій, побудувати графік залежності ступеня дисоціації від розведення;
 - розрахувати константи дисоціації слабкої кислоти при заданих концентраціях і з'ясувати, чи підлягає цей електроліт закону розведення Оствальда;
 - якщо розчин є розчином слабкої кислоти або слабкої основи, визначити, при якій концентрації ступінь дисоціації речовини в розчині буде дорівнює 10% ($\alpha = 0,1$) і визначити pH даного розчину.
- Виконання кожного пункту індивідуальної завдання завершується аналізом отриманих величин.

Питома електропровідність $0,01$ розчину KCl при $T = 298 \text{ K}$ $\kappa = 0,001413 \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$, граничні молярні електропровідності протона і аніонів ($\lambda_0 [\text{Ом}^{-1}\cdot\text{см}^2 \text{ моль}^{-1}]$, $\text{H}^+ = 349,8$; $\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^- = 32,3$).

№	Кислота	Конц. (c), моль/л	R, ом
26	$\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ (бензойна)	0,1	378,8
		0,05	537,1
		0,025	764,7
		0,0125	1094,6
		0,00625	1568,5
	KCl	0,01	250,0

Контрольні питання до роботи 14/26

1. Які причини дисоціації електролітів у розчині на іони?
2. Величини pK для хлорної й азотної кислот в оцтовій кислоті як розчиннику відповідно дорівнюють 4,95 і 9,38. Яка з них у цьому розчиннику є більш сильною?
3. Константа дисоціації масляної кислоти (C_3H_7COOH) $K_d = 1,5 \cdot 10^{-5}$. Обчислити ступінь її дисоціації α в 0,001 М розчині.

ВАРІАНТ 27

1. Визначити сталу електролітичної ячейки $K_{яч}$ по 0,01N розчину KCl.
 2. При виконанні завдання на підставі значень питомого опору при різних концентраціях ($T = 298$ К) необхідно:
 - розрахувати питому і молярну електропровідності;
 - побудувати графік залежності питомої і молярної електропровідностей від розведення ($\varphi = 1000/c$);
 - розрахувати ступінь дисоціації для всіх концентрацій, побудувати графік залежності ступеня дисоціації від розведення;
 - розрахувати константи дисоціації слабкої кислоти при заданих концентраціях і з'ясувати, чи підлягає цей електроліт закону розведення Оствальда;
 - якщо розчин є розчином слабкої кислоти або слабкої основи, визначити, при якій концентрації ступінь дисоціації речовини в розчині буде дорівнює 10% ($\alpha = 0,1$) і визначити pH даного розчину.
- Виконання кожного пункту індивідуальної завдання завершується аналізом отриманих величин.

Питома електропровідність 0,01 розчину KCl при $T = 298$ К $\kappa = 0,001413 \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$, граничні молярні електропровідності протона і аніонів ($\lambda_0 [\text{Ом}^{-1}\cdot\text{см}^2 \text{ моль}^{-1}]$, $H^+ = 349,8$; $C_6H_5COO^- = 32,3$).

№	Кислота	Конц. (c), моль/л	R, ом
27	C ₆ H ₅ COOH (бензойна)	0,15	307,8
		0,075	437,1
		0,0375	621,4
		0,01875	885,7
		0,00938	1268,7
	KCl	0,01	250,0

Контрольні питання до роботи 14/27

1. Яка властивість розчинника є визначальною у його здатності іонізувати розчинену речовину?
2. Сформулювати правило іонної сили (закон Дебая – Хюккеля).
3. Який об'єм 0,15 N розчину електроліту потрібно влити в посудину з електродами, розташованими на відстані 1 см один від одного, щоб обмірювана питома електропровідність κ відповідала еквівалентній електропровідності λ цього розчину?

ВАРІАНТ 28

1. Визначити сталу електролітичної ячейки $K_{\text{яч}}$ по 0,01N розчину KCl.
2. При виконанні завдання на підставі значень питомого опору при різних концентраціях ($T = 298 \text{ K}$) необхідно:
 - розрахувати питому і молярну електропровідності;
 - побудувати графік залежності питомої і молярної електропровідностей від розведення ($\varphi = 1000/c$);
 - розрахувати ступінь дисоціації для всіх концентрацій, побудувати графік залежності ступеня дисоціації від розведення;
 - розрахувати константи дисоціації слабкої кислоти при заданих концентраціях і з'ясувати, чи підлягає цей електроліт закону розведення Оствальда;
 - якщо розчин є розчином слабкої кислоти або слабкої основи, визначити, при якій концентрації ступінь дисоціації речовини в розчині буде дорівнює 10% ($\alpha = 0,1$) і визначити рН даного розчину.Виконання кожного пункту індивідуальної завдання завершується аналізом отриманих величин.

Питома електропровідність 0,01 розчину KCl при $T = 298 \text{ K}$
 $\kappa = 0,001413 \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$, граничні молярні електропровідності протона і аніонів ($\lambda_0 [\text{Ом}^{-1}\cdot\text{см}^2 \text{ моль}^{-1}]$, $\text{H}^+ = 349,8$; $\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^- = 32,3$).

№	Кислота	Конц. (c), моль/л	R, ом
28	C ₆ H ₅ COOH (бензойна)	0,2	266,3
		0,1	378,8
		0,05	537,1
		0,025	764,7
		0,0125	1094,6
	KCl	0,01	250

Контрольні питання до роботи 14/28

1. Визначити H^+ і OH^- у розчині, у якого $pH = 6,2$.
2. У чому полягає основна відмінність електричної схеми для виміру електропровідності розчинів електролітів від схеми для виміру електропровідності провідників 1-го роду?
3. Ступінь дисоціації слабкої одноосновної кислоти в $0,2 N$ розчині $\alpha = 0,03$. Обчислити значення H^+ , OH^- і pOH для цього розчину.

ВАРІАНТ 29

1. Визначити сталу електролітичної ячейки $K_{яч}$ по $0,01N$ розчину KCl .
2. При виконанні завдання на підставі значень питомого опору при різних концентраціях ($T = 298 K$) необхідно:
 - розрахувати питому і молярну електропровідності;
 - побудувати графік залежності питомої і молярної електропровідностей від розведення ($\varphi = 1000/c$);
 - розрахувати ступінь дисоціації для всіх концентрацій, побудувати графік залежності ступеня дисоціації від розведення;
 - розрахувати константи дисоціації слабкої кислоти при заданих концентраціях і з'ясувати, чи підлягає цей електроліт закону розведення Оствальда;
 - якщо розчин є розчином слабкої кислоти або слабкої основи, визначити, при якій концентрації ступінь дисоціації речовини в розчині буде дорівнює 10% ($\alpha = 0,1$) і визначити pH даного розчину.Виконання кожного пункту індивідуальної завдання завершується аналізом отриманих величин.

Питома електропровідність $0,01$ розчину KCl при $T = 298 K$
 $\kappa = 0,001413 \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$, граничні молярні електропровідності протона і аніонів ($\lambda_0 [\text{Ом}^{-1}\cdot\text{см}^2 \text{ моль}^{-1}]$, $H^+ = 349,8$; $C_6H_5COO^- = 32,3$).

№	Кислота	Конц. (c), моль/л	R, ом
29	C ₆ H ₅ COOH (бензойна)	0,25	237,8
		0,125	337,2
		0,0625	479,5
		0,03125	682,2
		0,01563	973,2
	KCl	0,01	250,0

Контрольні питання до роботи 14/29

1. Чому дорівнює концентрація гідроксид-іонів у розчині з $pH = 10,8$?
2. Обчислити іонну силу I і активність іонів a у розчині, що містить $0,01 \text{ M Ca(NO}_3)_2$ і $0,01 \text{ M CaCl}_2$.
3. При нагріванні від 273 до 293 K ступінь дисоціації α_1 слабкого бінарного електроліту 1 у водному розчині збільшилася вдвічі, а ступінь дисоціації α_2 слабкого бінарного електроліту 2 тієї ж концентрації – учетверо. Для якого електроліту теплота дисоціації більше?

ВАРІАНТ 30

1. Визначити сталу електролітичної ячейки $K_{\text{яч}}$ по $0,01 \text{ N}$ розчину KCl .
2. При виконанні завдання на підставі значень питомого опору при різних концентраціях ($T = 298 \text{ K}$) необхідно:
 - розрахувати питому і молярну електропровідності;
 - побудувати графік залежності питомої і молярної електропровідностей від розведення ($\varphi = 1000/c$);
 - розрахувати ступінь дисоціації для всіх концентрацій, побудувати графік залежності ступеня дисоціації від розведення;
 - розрахувати константи дисоціації слабкої кислоти при заданих концентраціях і з'ясувати, чи підлягає цей електроліт закону розведення Оствальда;
 - якщо розчин є розчином слабкої кислоти або слабкої основи, визначити, при якій концентрації ступінь дисоціації речовини в розчині буде дорівнює 10% ($\alpha = 0,1$) і визначити pH даного розчину.Виконання кожного пункту індивідуальної завдання завершується аналізом отриманих величин.

Питома електропровідність $0,01$ розчину KCl при $T = 298 \text{ K}$ $\kappa = 0,001413 \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$, граничні молярні електропровідності протона і аніонів ($\lambda_0 [\text{Ом}^{-1}\cdot\text{см}^2 \text{ моль}^{-1}]$, $\text{H}^+ = 349,8$; $\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^- = 32,3$).

№	Кислота	Конц. (c), моль/л	R , ом
30	$\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ (бензойна)	0,3	216,9
		0,15	307,8
		0,075	437,1
		0,0375	621,4
		0,01875	885,7
	KCl	0,01	250,0

Контрольні питання до роботи 14/30

1. Як залежить радіус іонної атмосфери від концентрації сильного електроліту?
2. Чим обумовлюється збільшення істинного ступеня дисоціації з розведенням у слабких електролітів і уявного – в сильних?
3. Що таке іонна сила розчину? Розрахуйте величину іонної сили для 0,01 М розчину $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.



ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 25
**ВИЗНАЧЕННЯ ДИПОЛЬНИХ МОМЕНТІВ ОРГАНІЧНИХ
МОЛЕКУЛ**

Мета роботи: визначити дипольний момент складної молекули та ознайомитися з векторною схемою розрахунку дипольних моментів.

Теоретичні відомості

Дипольний момент характеризує електронну симетрію молекул. Якщо електронний заряд симетрично розподілений по молекулі, її дипольний момент дорівнює нулю, а вона має назву неполярної (наприклад, H_2 , CH_4 , C_6H_6 , CO_2); молекули з несиметричним розподілом заряду мають назву полярних або дипольних молекул (наприклад, HCl , CH_3Cl , $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$, CO та інші). Характер розподілу електронного заряду можна визначити за допомогою квантовохімічних розрахунків та відобразити за допомогою молекулярних діаграм.

Для двоатомних молекул дипольний момент (ДМ) можна розрахувати, як добуток заряду на атомі (q) на відстань між ними:

$$\vec{\mu} = q\vec{l}. \quad (25.1)$$

В хімії прийнято визначати ДМ як вектор, спрямований від позитивного до негативного заряду.

Для складних молекул ДМ визначають як векторну суму ДМ окремих зв'язків:

$$\vec{\mu} = \sum q_i \vec{l}_i, \quad (25.2)$$

де $\vec{\mu}$ – дипольний момент;

q_i – частковий заряд на атомі i ;

\vec{l}_i – радіус-вектор, проведений від вибраного довільно початку координат до i -того атома.

У міжнародній системі одиниць ДМ вимірюють у Кл·м, але історично склалося визначати ДМ у Дебаях (D). $1D = 3,336 \cdot 10^{-30}$ Кл·м.

Векторні властивості ДМ дозволяють кожному хімічному зв'язку або групі атомів приписати свій дипольний момент. В залежності від електронної природи замісника X вектор групового ДМ може бути спрямованим в бік замісника – електроноакцепторної групи ($-\text{NO}_2$, $-\text{CN}$ та ін.) або в протилежний бік – електронодонорної групи ($-\text{OH}$, $-\text{OCH}_3$, $-\text{NH}_2$, $-\text{Cl}$ та ін.).

Векторна адитивна схема розрахунку дипольних моментів

Групові ДМ використовують при розрахунку ДМ складних молекул органічних речовин.

Дипольний момент багатоатомної молекули $\vec{\mu}$ є результатом векторного додавання моментів, що належать окремим зв'язкам:

$$\vec{\mu} = \sum_i \vec{\mu}_i, \quad (25.3)$$

де $\vec{\mu}_i$ – момент, що характеризує i -тий зв'язок.

Якщо вектор ДМ замісника спрямовано вздовж лінії зв'язку, така група має назву регулярної (NO_2 , CH_3 , CN , Cl та ін.). Якщо напрямок вектору ДМ замісника не збігається з напрямком зв'язку, така група має назву нерегулярної (NH_2 , OH , OCH_3 та ін.) – рис. 8.

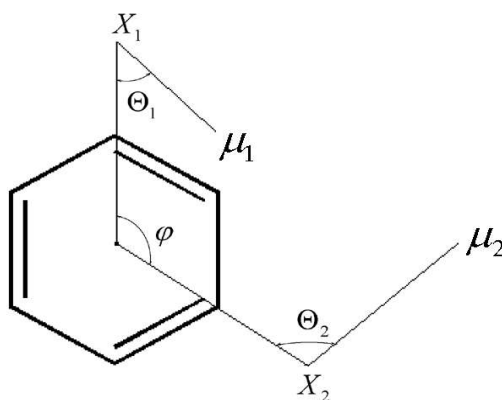


Рис. 8. Векторна схема розрахунку дипольного моменту молекули з двома замісниками

Для органічних молекул, що мають два замісника X_1 і X_2 , які вільно обертаються навколо своїх осей, значення ДМ можна визначити за формулою:

$$\mu = (\mu_1^2 + \mu_2^2 + 2 \mu_1 \mu_2 \cos \theta_1 \cos \theta_2 \cos \varphi)^{1/2}, \quad (25.4)$$

де μ_1 та μ_2 – групові моменти замісників;

θ_1 та θ_2 – кути нерегулярності групи;

φ – кут між напрямками зв'язків обох замісників (рис. 9).

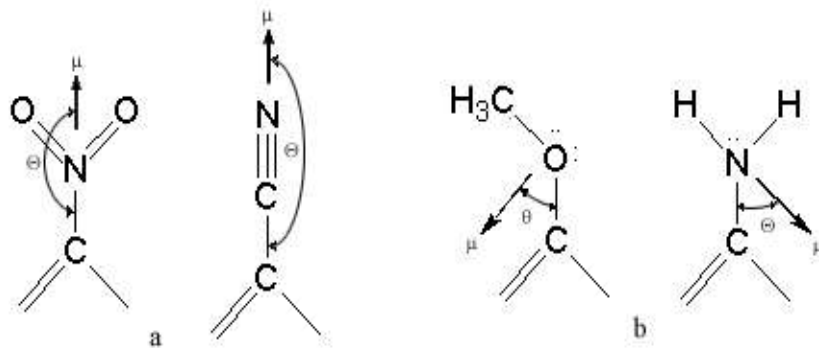


Рис. 9. Регулярні (а) та нерегулярні (б) замісники (групи)

Формулу (25.4) можна спростити у випадку одного жорстко закріпленого

($\theta_1 = 0$) і одного замісника, що вільно обертається:

$$\mu = (\mu_1^2 + \mu_2^2 + 2\mu_1\mu_2 \cos \theta_2 \cos \varphi)^{1/2}. \quad (25.5)$$

Якщо молекула містить дві жорстко закріплені полярні групи, то знаходження векторної суми зводиться до складання двох векторів, орієнтованих один відносно другого під деяким кутом φ :

$$\mu = (\mu_1^2 + \mu_2^2 + 2\mu_1\mu_2 \cos \varphi)^{1/2}. \quad (25.6)$$

І найпростіший випадок – вільне обертання двох однакових полярних груп відносно однієї осі: $\mu_1 = \mu_2$, $\theta_1 = \theta_2 = \theta$, $\varphi = 180^\circ$. Тоді рівняння (25.4) перетворюється у рівняння Уільямса:

$$\mu = \sqrt{2}\mu_1 \sin \theta. \quad (25.7)$$

Порівняння значень ДМ молекул, розрахованих за векторною схемою, та експериментальних значень дає можливість виявляти особливості тонкої хімічної структури.

Експериментальні методи визначення ДМ

Експериментальні методи визначення ДМ базуються на вивченні взаємодії молекули із статичним електричним полем.

Неполярна молекула (центри ваги позитивних та негативних зарядів збігаються) під впливом електричного поля поляризується – позитивні заряди зміщуються в бік негативного полюсу, а негативні заряди – в бік позитивного полюсу (рис. 10).

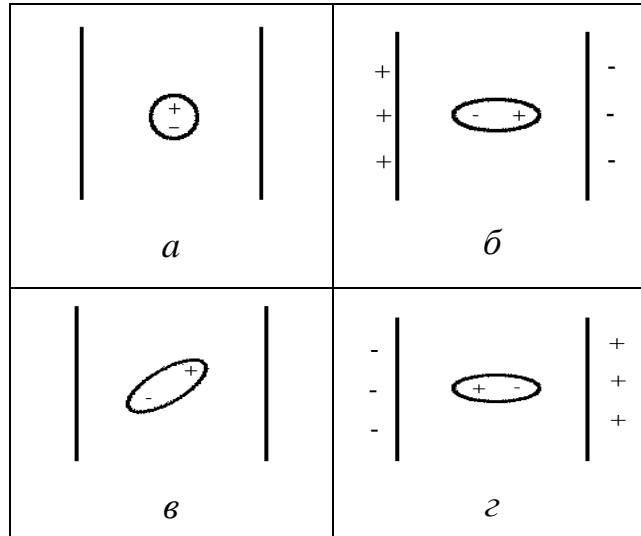


Рис. 10. Поведінка неполярної та полярної молекул у статичному електричному полі; а, в – поле відсутнє; б, г – поле накладене

Внаслідок цього центри ваги зарядів зміщуються у протилежні боки, і молекула набуває наведений ДМ:

$$\mu = el, \quad (25.8)$$

де e – елементарний заряд;

l – відстань між центрами ваги.

Величина наведеного ДМ залежить від властивостей молекули та напруження прикладеного поля:

$$\mu = \alpha E, \quad (25.9)$$

де α – поляризованість (здатність до поляризації);

E – напруження поля.

Порівняння формул (25.8) та (25.9) дає можливість визначити вимірність поляризованості:

$$\alpha = \frac{el}{E} = \left[\frac{\text{Кл} \cdot \text{м}}{\text{Кл} / \text{м}^2} \right] = [\text{м}^3]. \quad (25.10)$$

Якщо у статичному електричному полі розташувати полярну молекулу (молекула має свій власний ДМ), то вона під впливом поля буде прагнути орієнтуватися вздовж напрямку поля (орієнтаційна поляризованість) (див. рис. 25.3 з). Орієнтаційній поляризованості буде заважати тепловий рух молекул, тому $\alpha_{\text{ор.}}$ пропорційна власному ДМ та обернено пропорційна температурі:

$$\alpha_{\text{ор.}} = \frac{\mu^2}{3kT}, \quad (25.11)$$

де μ – власний ДМ; k – постійна Больцмана; T – температура.

Крім того, під впливом поля буде відбуватися зміщення зарядів, тобто електронна та ядерна поляризованість ($\alpha_{\text{ел}}$ та $\alpha_{\text{яд}}$). Загальна поляризованість буде складатися з суми окремих видів поляризованості:

$$\alpha = \alpha_{\text{ел.}} + \alpha_{\text{яд.}} + \alpha_{\text{ор.}}. \quad (25.12)$$

Якщо полярну молекулу розташувати у змінному електричному полі високої частоти, то буде мати місце лише електронна поляризованість, бо молекула не буде встигати переорієнтуватися за час зміни напрямку поля, крім того, важкі ядра також не будуть встигати за полем. Таким високочастотним електричним полем є поле світлової хвилі. У такому полі, як вже вказувалося, буде спостерігатися тільки електронна поляризованість. Поляризованість є властивістю однієї молекули – мікрровластивістю. Здібність до поляризації одного моля молекул характеризується макрровластивістю – поляризацією:

$$P = \frac{4}{3} \pi N_A \alpha, \quad (25.13)$$

де P – поляризація; α – поляризованість; N_A – стала Авогадро.

Поляризація, як макрровластивість, пов'язана з іншою властивістю, яка характеризує загальну поведінку молекул в електричному полі, – діелектричною сталою. Цей зв'язок відображається рівнянням Клаузіуса-Моссотті:

$$P = \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} \cdot \frac{M}{d}, \quad (25.14)$$

де ε – відносна діелектрична стала; M – молярна вага; d – густина.

З рівнянь (25.11), (25.12), (25.13) та (25.14) можна отримати рівняння Дебая, яке лежить в основі експериментальних методів визначення ДМ:

$$P = \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} \cdot \frac{M}{d} = \frac{4}{3} \pi N_A \left(\alpha_{ел.} + \alpha_{яд.} + \frac{\mu^2}{3kT} \right). \quad (25.15)$$

Рівняння (25.15) являє собою пряму залежність поляризації від $1/T$, де тангенс кута нахилу дорівнює $\frac{4}{3} \pi N_A \frac{\mu^2}{3kT}$.

Таким чином, вимірюючи значення поляризації, можна визначити скалярне значення ДМ. Цей метод має назву першого методу Дебая і його застосовують лише для газів, де можна нехтувати міжмолекулярною взаємодією.

Якщо ж ці вимірювання здійснювати при сталій температурі, то

$$\mu = \sqrt{\frac{9kT(P - P_{ел.} - P_{яд.})}{4\pi N_A}}. \quad (25.16)$$

Враховуючи, що $\alpha_{яд.}$ складає не більш 5% від $\alpha_{ел.}$, цією величиною можна знехтувати.

Беручи до уваги, що діелектрична стала пов'язана з показником заломлення світлової хвилі співвідношенням:

$$\varepsilon = n_{\infty}^2, \quad (25.17)$$

де n_{∞} – показник заломлення нескінченно довгих хвиль,

а також що показник заломлення майже не залежить від довжини хвилі, можна записати формулу Лоренца-Лорентца:

$$P \approx \frac{n_D^2 - 1}{n_D^2 + 2} \cdot \frac{M}{d} = R, \quad (25.18)$$

де n_D – показник заломлення, що відповідає довжині хвилі жовтої лінії натрію; R – молярна рефракція.

Рефракція є адитивною величиною і може бути складена з рефракцій окремих атомів та атомних зв'язків. Ці величини наведені у довідниках (див. табл. 25.2). Тоді остаточно

$$\mu = 0,0128 \sqrt{(P - R)T}. \quad (25.19)$$

Але у цьому випадку треба підставляти у формулу таке значення поляризації, коли відсутня взаємодія між молекулами досліджуємої речовини. Це можливо зробити, якщо поляризацію розведених розчинів досліджуємої речовини виміряти у неполярних розчинниках. Цей метод має назву другого методу Дебая.

У розведених розчинах у неполярних розчинниках молекули досліджуємих речовин знаходяться на значній відстані одна від одної, тому їх взаємодією можна нехтувати.

Поляризацію розчину (P_{12}) можна прийняти рівною сумі поляризацій розчинника та розчиненої речовини:

$$P_{12} = P_1 N_1 + P_2 N_2, \quad (25.20)$$

де P_1 та P_2 – поляризація розчинника та розчиненої речовини, відповідно; N_1 та N_2 – їх мольні частки.

З рівняння (25.20) випливає, що

$$P_2 = \frac{P_{12} - P_1 N_1}{N_2}. \quad (25.21)$$

Для того, щоб повністю виключити взаємодію молекул у розчині, потрібно визначити величину P_2 у нескінченно розведеному розчині. Для цього треба визначити величину P_2 при різних концентраціях (мольних частках) розчину, побудувати графік залежності $P_2 = f(N_2)$ та винайти $P_2 \infty$ шляхом екстраполяції до $N_2 = 0$ (рис. 11).

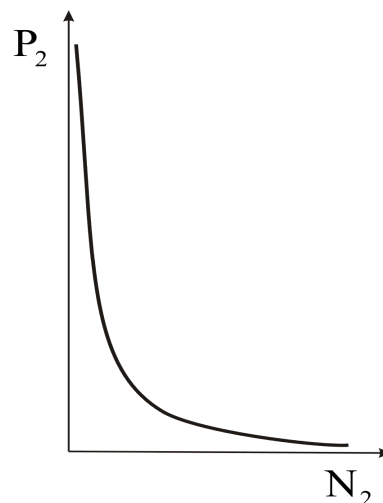


Рис. 11. Залежність поляризації розчиненої речовини P_2 від концентрації N_2

Внаслідок нелінійного характеру залежності P_2 від N_2 екстраполяція не може бути точною. Тому зручно користуватися методом, запропонованим Гедестрантом, згідно з яким визначають кут нахилу лінійних залежностей діелектричної сталої (ϵ) та густини (d) від мольної частки (N_2) (рис.12):

$$\epsilon_{1,2} = \epsilon_1 + \alpha N_2 \quad (25.22)$$

$$d_1 = d_1 + \beta N_2, \quad (25.23)$$

де $\alpha = \frac{\Delta\epsilon}{\Delta N_2}$; $\beta = \frac{\Delta d}{\Delta N_2}$.

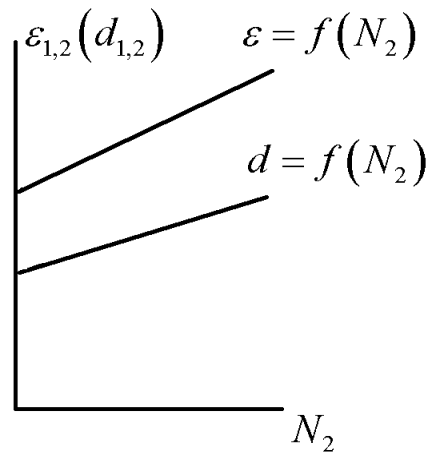


Рис. 12 Залежність діелектричної сталої $\epsilon_{1,2}$ та густини $d_{1,2}$ від концентрації N_2

Згідно з методом Гедестранта

$$P_{2\infty} = A(M_2 - \beta \frac{M_1}{d_1}) + B\alpha, \quad (25.24)$$

де $A = \frac{(\epsilon_1 - 1)}{(\epsilon_1 + 2)d_1}$; $B = \frac{3M_1}{d_1(\epsilon_1 + 2)^2}$.

Знайдене за формулою (25.24) значення $P_{2\infty}$ підставляють до формули (25.19) та розраховують ДМ.

Порядок виконання роботи

Експериментальне визначення ДМ зводиться до вимірювання діелектричної сталої та густини розчинів відомої концентрації.

Густину можна визначити пікнометричним методом, а відносну діелектричну сталу – шляхом вимірювання ємності конденсатора. Ємність конденсатора можна записати як

$$C_0 = k\varepsilon_0 + C_n; C_1 = k\varepsilon_1 + C_n; C_{12} = k\varepsilon_{12} + C_n, \quad (25.22)$$

де C_0, C_1, C_{12} – ємність конденсатора, заповненого повітрям, розчинником та розчином, відповідно;

$\varepsilon_0, \varepsilon_1, \varepsilon_{12}$ – відносна діелектрична стала повітря, розчинника та розчину, відповідно;

C_n – ємність проводів.

Із співвідношень (25.22), беручи до уваги, що відносна діелектрична стала повітря $\varepsilon_0=1$, можна отримати формулу для розрахунку діелектричної сталої розчину:

$$\varepsilon_{12} = \frac{\varepsilon_1 - 1}{C_1 - C_0} (C_{12} - C_0) + 1 \quad (25.27)$$

або

$$\varepsilon_{12} = k(C_{12} - C_0) + 1, \quad (25.28)$$

де

$$k = \frac{\varepsilon_1 - 1}{C_1 - C_0}. \quad (25.29)$$

Таким чином, визначивши ємність конденсаторів – порожнього (C_0), з розчинником (C_1) та з розчином, що досліджується (C_{12}), можна обчислити діелектричну проникність розчину (ε_{12}).

У роботі використовують розчини органічних речовин в одному з неполярних розчинників п'яти концентрацій (по вказівці викладача). Вимір ємностей проводять за допомогою моста змінного струму з цифровим відліком Р 5058 (далі МІСТ).

Вимір ємності розчину базується на визначенні величини його опору змінному електричному струму заданої частоти методом автоматичного врівноваження вимірювального кола за допомогою МОСТа. Після включення електроживлення внутрішній генератор МОСТа формує синусоїдальну напругу, що подається на об'єкт виміру, у режимі автоматичного запуску починається операція вибору діапазона, після

завершення якої відбувається врівноваження МОСТа. На цифровому табло з'являється значення ємності об'єкта у pF (пікофарадах).

Перед виміром МОСТ має бути підготовленим до роботи. У вихідному стані на панелі МОСТа у режимі вимірювання повинні бути натиснутими такі кнопки:

1. Вимір – C_x , $\text{tg } \delta$;
2. Частота – 10^3 Гц;
3. Запуск – АВТ.

Об'єкт виміру підключається до МОСТа по чотиризитискній схемі. Далі необхідно включити тумблер «МЕРЕЖА» і через 1 хв. МІСТ буде готовий до роботи. У режимі роботи з автоматичним запуском необхідно дочекатися стійкої індикації виміру і зафіксувати його. Нестійкі показання свідчать про неякісний контакт при підключенні вимірювальної ячейки.

Вимірюють ємність порожнього конденсатора C_0 , конденсатора з розчинником C_1 і розчинами п'яти концентрацій $C_{1,2}$.

Для цього в конденсаторну комірку наливають рідину так, щоб вона повністю покрила його пластини. Після кожного виміру комірку промивають і висушують.

Розраховують $\epsilon_{1,2}$ для розчинів п'яти концентрацій .

Будують графіки залежностей $d = f(N_2)$ та $\epsilon_{1,2} = f(N_2)$ для визначення $P_{2\infty}$ за формулою (25.24).

Розраховують значення рефракції R , користуючись табл. 13.

Таблиця 13. Атомні рефракції R ($\text{см}^3/\text{г-атом}$)

Н	1,100	N	
C	2,418	Перв. аліфатичні аміни	2,322
CH ₂ -група	4,618	Втор. аліфатичні аміни	2,502
O гідроксильний	1,525	Трет. аліфатичні аміни	2,840
O карбонільний	2,211	Перв. ароматичні аміни	3,016
F	0,997	Нітрили	3,118
Cl	5,967	Іміди	3,776
Br	8,865	У аміаку	2,48
I	13,900	NO ₂ -група в алкілнітратах	7,59
S в R-SH	7,69	NO ₂ -група в нітроарилах	7,30

Інкременти

Подвійного зв'язку.....1,733

Потрійного зв'язку.....2,398

Розраховують значення дипольного моменту за формулою (25.19).

Проводять векторний розрахунок дипольного моменту молекули досліджуємої речовини, користуючись табл. 14, та порівнюють із значенням, одержаним експериментально. Оцінюють відносну помилку експерименту.

Таблиця 14 Групові моменти (бензол, 25° C)

Група X	$\mu_{C_6H_5-X}, D$	$\theta, ^\circ$	μ_{CH_3-X}, D	$\theta, ^\circ$
CH ₃	0,37	0	0	0
Cl	-1,59	0	-1,87	0
Br	-1,57	0	-1,82	0
NO ₂	-4,01	0	-3,10	0
NH ₂	1,53	48,5	1,46	91

Контрольні питання

1. Що характеризує дипольний момент молекули?
2. В яких одиницях вимірюють дипольний момент?
3. Які групи відносяться до регулярних?
4. Які методи знаходження дипольного моменту вам відомі?
5. Які недоліки має перший метод Дебая знаходження дипольного моменту?
6. Чому потрібно проводити екстраполяцію поляризації для знаходження дипольного моменту другим методом Дебая?
7. Як взаємодіють із зовнішнім полем неполярні і полярні молекули?
8. Що таке рефракція, і як можна її розрахувати?
9. У чому суть методу Гедестранта?
10. Як можна виміряти діелектричну постійну розчинів?
11. Що таке поляризованість?
12. Чому можна замість показника заломлення нескінченно довгих хвиль користуватися показником заломлення видимих довжин хвиль?

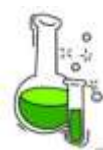
Література

1. Руднева С.І., Сахненко М.Д., Некрасов О.П., Дженюк А.В., Фізична хімія ONLINE. Ч.ІІ Термодинаміка та рівноваги: Навчальний посібник для студентів інженерно-хімічних спеціальностей. –Харків: ФОП Панов А.М., 2023. –308 с.

2. Руднева С.І., Сахненко М.Д., Дженюк А.В., Желавська Ю.А. Фізична хімія ONLINE. Ч.1: Навчальний посібник для студентів інженерно-хімічних напрямів освіти. –Харків: ФОП Панов А.М., 2021. –338 с.

3. Руднева С.І., Дженюк А.В., Сахненко М.Д. Фізична хімія: навчальний посібник для самостійної та дистанційної підготовки до лабораторних робіт з курсу фізичної хімії для студентів хімічних спеціальностей. – Харків: ФОП Панов А.М., 2020. – 270 с.

4. Фізична хімія. Хімічна термодинаміка [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» / уклад.: Т.А. Каменська, Г.А. Рудницька, М.Є. Пономарьов ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 2,594 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 257 с.
<https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/48492/1/Fizychna.pdf>



БАГАТОВАРІАНТНІ ЗАВДАННЯ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ 25

ВАРІАНТ 1

Використовуючи дані про ємності конденсаторів – порожнього (C_0), з розчинником (C_1) та з розчинами, що досліджуються (C_{12}):

1. Розрахувати діелектричну проникність для розчинів п'яти концентрацій (ϵ_{12}); 2. за допомогою графіків залежностей $d = f(N_2)$ та $\epsilon_{12} = f(N_2)$ визначити $P_{2\infty}$ за формулою (25.24);
3. Користуючись даними, наведеними в табл., розрахувати значення рефракції R ;
4. Визначити дипольний момент речовини за формулою (25.19), результат представити у одиницях (D) і (Кл·нм), зіставити з дипольним моментом цієї речовини, розрахованим за векторною схемою.

1,2-дінитробензол $o\text{-C}_6\text{H}_4(\text{NO}_2)_2$ $M_2 = 168,11$ в бензолі (C_6H_6) $M_1 = 78,12$

№	$g_1, \text{Г}$	$g_2, \text{Г}$	N_2	$d, \text{г/см}^3$	ϵ	$C, \text{пф}$	$T, \text{К} = 298$	
0					1,0	23,3	$A =$	
1	1000	0		0,874	2,275	53,0	$B =$	
2	995	5		0,876		55,6	$\alpha =$	
3	993	7		0,877		56,7	$\beta =$	
4	975	25		0,884		66,6	$R_D =$	
5	963	37		0,889		73,4	$P_{2\infty} =$	
6	954	46		0,893		78,7	$\mu =$	
7	0	1000		1,565			$n_D =$	1,640

Контрольні питання до роботи 25/01

1. Чому другий метод Дебая не застосовується для визначення дипольних моментів концентрованих розчинів та індивідуальних рідин?
2. Обчислити дипольний момент $\mu(D)$ $\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$ у парах, якщо молярна поляризація $P_1 = 81,5$ ($\text{см}^3/\text{моль}$) при $T_1 = 20^\circ \text{C}$, а при $T_2 = 40^\circ \text{C}$, $P_2 = 77,6$ ($\text{см}^3/\text{моль}$).

ВАРІАНТ 2

Використовуючи дані про ємності конденсаторів – порожнього (C_0), з розчинником (C_1) та з розчинами, що досліджуються (C_{12}):

1. Розрахувати діелектричну проникність для розчинів п'яти концентрацій (ϵ_{12}); 2. за допомогою графіків залежностей $d = f(N_2)$ та $\epsilon_{12} = f(N_2)$ визначити $P_{2\infty}$ за формулою (25.24);

3. Користуючись даними, наведеними в табл., розрахувати значення рефракції R ;

4. Визначити дипольний момент речовини за формулою (25.19), результат представити у одиницях (D) і (Кл·нм), зіставити з дипольним моментом цієї речовини, розрахованим за векторною схемою.

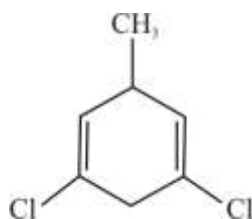
1,3-дінітробензол m - $C_6H_4(NO_2)_2$ $M_2 = 168,11$ в бензолі (C_6H_6) $M_1 = 78,12$

№	g_1, Γ	g_2, Γ	N_2	$d, \Gamma/\text{cm}^3$	ϵ	$C, \text{пф}$	$T, \text{K} = 298$	
0					1,0	20,6	$A =$	
1	1000	0		0,874	2,275	46,9	$B =$	
2	995	5		0,876		47,8	$\alpha =$	
3	990	10		0,878		48,8	$\beta =$	
4	975	25		0,885		51,7	$R_D =$	
5	962	38		0,890		54,3	$P_{2\infty} =$	
6	950	50		0,896		56,6	$\mu =$	
7	0	1000		1,565			$n_D =$	1,640

Контрольні питання до роботи 25/02

1. У чому полягає експериментальне визначення діелектричної проникності рідин?

2. Використовуючи групові моменти, розрахувати дипольний момент молекули



ВАРІАНТ 3

Використовуючи дані про ємності конденсаторів – порожнього (C_0), з розчинником (C_1) та з розчинами, що досліджуються (C_{12}):

1. Розрахувати діелектричну проникність для розчинів п'яти концентрацій (ϵ_{12}); 2. за допомогою графіків залежностей $d = f(N_2)$ та $\epsilon_{1,2} = f(N_2)$ визначити $P_{2\infty}$ за формулою (25.24);
3. Користуючись даними, наведеними в табл., розрахувати значення рефракції R ;
4. Визначити дипольний момент речовини за формулою (25.19), результат представити у одиницях (D) і (Кл·нм), зіставити з дипольним моментом цієї речовини, розрахованим за векторною схемою.

1,4-дінітробензол $n\text{-C}_6\text{H}_4(\text{NO}_2)_2$ $M_2 = 168,11$ в бензолі (C_6H_6) $M_1 = 78,12$

№	g_1 , Г	g_2 , Г	N_2	d , г/см ³	ϵ	C , пф	T , К = 298	
0					1,0	21,4	$A =$	
1	1000	0		0,874	2,275	48,7	$B =$	
2	993	7		0,877		48,8	$\alpha =$	
3	989	11		0,879		48,9	$\beta =$	
4	973	27		0,886		49,1	$R_D =$	
5	961	39		0,892		49,3	$P_{2\infty} =$	
6	951	49		0,896		49,5	$\mu =$	
7	0	1000		1,565			$n_D =$	1,640

Контрольні питання до роботи 25/03

1. У чому сутність методу екстраполяції поляризації розчину $P_{2\infty}$, запропонованого Гедестрантом?
2. Як виражається дипольний момент молекули в системі одиниць SI і CGSE? Який між ними зв'язок?

ВАРІАНТ 4

Використовуючи дані про ємності конденсаторів – порожнього (C_0), з розчинником (C_1) та з розчинами, що досліджуються (C_{12}):

1. Розрахувати діелектричну проникність для розчинів п'яти концентрацій (ϵ_{12}); 2. за допомогою графіків залежностей $d = f(N_2)$ та $\epsilon_{1,2} = f(N_2)$ визначити $P_{2\infty}$ за формулою (25.24);

3. Користуючись даними, наведеними в табл., розрахувати значення рефракції R ;

4. Визначити дипольний момент речовини за формулою (25.19), результат представити у одиницях (D) і (Кл·нм), зіставити з дипольним моментом цієї речовини, розрахованим за векторною схемою.

1,2-нітрофенол ($o\text{-NO}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{OH}$) $M_2 = 139,12$ в бензолі (C_6H_6) $M_1 = 78,12$

№	g_1, Γ	g_2, Γ	N_2	$d, \Gamma/\text{cm}^3$	ϵ	$C, \text{пф}$	$T, \text{K} = 298$	
0					1,0	24,3	$A =$	
1	1000	0		0,874	2,275	55,3	$B =$	
2	993	7		0,877		56,5	$\alpha =$	
3	989	11		0,879		57,3	$\beta =$	
4	973	27		0,886		60,6	$R_D =$	
5	961	39		0,892		63,0	$P_{2\infty} =$	
6	951	49		0,897		65,0	$\mu =$	
7	0	1000		1,296			n_D	1,547

Контрольні питання до роботи 25/04

1. Обчислити дипольний момент $\mu(D)$ $\text{C}_6\text{H}_5\text{F}$ у парах, якщо молярна поляризація $P_1 = 96,5$ ($\text{cm}^3/\text{моль}$) при $T_1 = 71^\circ\text{C}$, а при $T_2 = 234^\circ\text{C}$, $P_2 = 82,4$ ($\text{cm}^3/\text{моль}$).

2. Як визначають дипольний момент молекул газу за 1 методом Дебая?

ВАРІАНТ 5

Використовуючи дані про ємності конденсаторів – порожнього (C_0), з розчинником (C_1) та з розчинами, що досліджуються (C_{12}):

1. Розрахувати діелектричну проникність для розчинів п'яти концентрацій (ϵ_{12}); 2. за допомогою графіків залежностей $d = f(N_2)$ та $\epsilon_{1,2} = f(N_2)$ визначити $P_{2\infty}$ за формулою (25.24);

3. Користуючись даними, наведеними в табл., розрахувати значення рефракції R ;

4. Визначити дипольний момент речовини за формулою (25.19), результат представити у одиницях (D) і (Кл·нм), зіставити з дипольним моментом цієї речовини, розрахованим за векторною схемою.

1,3-нітрофенол ($m\text{-NO}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{OH}$) $M_2 = 139,12$ в бензолі (C_6H_6) $M_1 = 78,12$

№	$g_1, \text{Г}$	$g_2, \text{Г}$	N_2	$d, \text{Г/см}^3$	ε	$C, \text{пф}$	$T, \text{К} = 298$	
0					1,0	21,1	$A =$	
1	1000	0		0,874	2,275	48,0	$B =$	
2	985	15		0,890		52,2	$\alpha =$	
3	975	25		0,900		54,9	$\beta =$	
4	965	35		0,911		57,9	$R_D =$	
5	955	45		0,922		60,9	$P_{2\infty} =$	
6	945	55		0,933		64,0	$\mu =$	
7	0	1000		1,485			$n_D =$	1,647

Контрольні питання до роботи 25/05

1. Яке явище покладене в основу методів виміру показників заломлення різних речовин?
2. Обчислити дипольний момент $\mu(D)$ $\text{C}_6\text{H}_5\text{Br}$ у парах, якщо молярна поляризація $P_1 = 85,6$ ($\text{см}^3/\text{моль}$) при $T_1 = 25^\circ \text{C}$, а при $T_2 = 45^\circ \text{C}$ $P_2 = 81,5$ ($\text{см}^3/\text{моль}$).

ВАРІАНТ 6

Використовуючи дані про ємності конденсаторів – порожнього (C_0), з розчинником (C_1) та з розчинами, що досліджуються (C_{12}):

1. Розрахувати діелектричну проникність для розчинів п'яти концентрацій (ε_{12}); 2. за допомогою графіків залежностей $d = f(N_2)$ та $\varepsilon_{1,2} = f(N_2)$ визначити $P_{2\infty}$ за формулою (25.24);
3. Користуючись даними, наведеними в табл., розрахувати значення рефракції R ;
4. Визначити дипольний момент речовини за формулою (25.19), результат представити у одиницях (D) і (Кл·нм), зіставити з дипольним моментом цієї речовини, розрахованим за векторною схемою.

1,4-нітрофенол ($n\text{-NO}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{OH}$) $M_2 = 139,12$ в бензолі (C_6H_6) $M_1 = 78,12$

№	$g_1, \text{Г}$	$g_2, \text{Г}$	N_2	$d, \text{Г/см}^3$	ε	$C, \text{пф}$	$T, \text{К} = 298$
0					1,0	19,8	$A =$
1	1000	0		0,874	2,275	45,0	$B =$
2	990	10		0,876		49,0	$\alpha =$
3	980	20		0,878		53,2	$\beta =$
4	970	30		0,880		57,0	$R_D =$
5	960	40		0,882		61,2	$P_{2\infty} =$
6	950	50		0,885		65,4	$\mu =$
7	0	1000		1,479			$n_D =$ 1,645

Контрольні питання до роботи 25/06

1. Як експериментально можна визначити рефракцію? Для чого вона застосовується?
2. Обчислити по адитивній схемі молярну рефракцію 1,4-нітроаніліну й нафталіну.

ВАРІАНТ 7

Використовуючи дані про ємності конденсаторів – порожнього (C_0), з розчинником (C_1) та з розчинами, що досліджуються (C_{12}):

1. Розрахувати діелектричну проникність для розчинів п'яти концентрацій (ε_{12}); 2. за допомогою графіків залежностей $d = f(N_2)$ та $\varepsilon_{1,2} = f(N_2)$ визначити $P_{2\infty}$ за формулою (25.24);
3. Користуючись даними, наведеними в табл., розрахувати значення рефракції R ;
4. Визначити дипольний момент речовини за формулою (25.19), результат представити у одиницях (D) і (Кл·нм), зіставити з дипольним моментом цієї речовини, розрахованим за векторною схемою.

1,2-нітротолуол ($o\text{-NO}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{CH}_3$) $M_2 = 137,15$ в бензолі (C_6H_6) $M_1 = 78,12$

№	$g_1, \text{Г}$	$g_2, \text{Г}$	N_2	$d, \text{Г/см}^3$	ε	$C, \text{пф}$	$T, \text{К} = 298$
---	-----------------	-----------------	-------	--------------------	---------------	----------------	---------------------

0					1,0	22,1	$A =$	
1	1000	0		0,874	2,275	50,3	$B =$	
2	988	12		0,876		53,2	$\alpha =$	
3	976	24		0,879		56,1	$\beta =$	
4	964	36		0,881		59,2	$R_D =$	
5	952	48		0,884		62,1	$P_{2\infty} =$	
6	940	60		0,886		65,2	$\mu =$	
7	0	1000		1,164			$n_D =$	1,543

Контрольні питання до роботи 25/07

1. Як відбувається поляризація молекул у змінному електричному полі? У яких випадках виконується рівняння Лоренц-Лорентца?
2. Чи можна використовувати дані з вимірів діелектричної проникності й показника переломлення як міру чистоти цієї речовини?

ВАРІАНТ 8

Використовуючи дані про ємності конденсаторів – порожнього (C_0), з розчинником (C_1) та з розчинами, що досліджуються (C_{12}):

1. Розрахувати діелектричну проникність для розчинів п'яти концентрацій (ϵ_{12}); 2. за допомогою графіків залежностей $d = f(N_2)$ та $\epsilon_{1,2} = f(N_2)$ визначити $P_{2\infty}$ за формулою (25.24);
3. Користуючись даними, наведеними в табл., розрахувати значення рефракції R ;

4. Визначити дипольний момент речовини за формулою (25.19), результат представити у одиницях (D) і (Кл·нм), зіставити з дипольним моментом цієї речовини, розрахованим за векторною схемою.

1,3-нітротолуол ($m\text{-NO}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{CH}_3$) $M_2 = 137,15$ в бензолі (C_6H_6) $M_1 = 78,12$

№	g_1, Γ	g_2, Γ	N_2	$d, \Gamma/\text{cm}^3$	ϵ	$C, \text{пф}$	$T, \text{K} = 298$
0					1,0	22,1	$A =$

1	1000	0		0,874	2,275	50,3	$B =$	
2	988	12		0,876		53,2	$\alpha =$	
3	976	24		0,879		56,1	$\beta =$	
4	964	36		0,881		59,2	$R_D =$	
5	952	48		0,884		62,1	$P_{2\infty} =$	
6	940	60		0,886		65,2	$\mu =$	
7	0	1000		1,164			$n_D =$	1,543

Контрольні питання до роботи 25/08

1. Як з рівняння Дебая можна визначити дипольний момент?
2. Як поведуться полярні молекули в статичному електричному полі?
У яких випадках виконується рівняння Дебая?

ВАРІАНТ 9

Використовуючи дані про ємності конденсаторів – порожнього (C_0), з розчинником (C_1) та з розчинами, що досліджуються (C_{12}):

1. Розрахувати діелектричну проникність для розчинів п'яти концентрацій (ϵ_{12}); 2. за допомогою графіків залежностей $d = f(N_2)$ та $\epsilon_{1,2} = f(N_2)$ визначити $P_{2\infty}$ за формулою (25.24);
3. Користуючись даними, наведеними в табл., розрахувати значення рефракції R ;
4. Визначити дипольний момент речовини за формулою (25.19), результат представити у одиницях (D) і (Кл·нм), зіставити з дипольним моментом цієї речовини, розрахованим за векторною схемою.

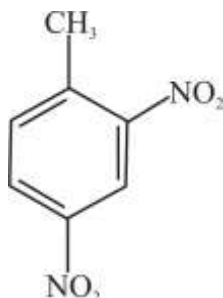
1,4-нітротолуол ($n\text{-NO}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{CH}_3$) $M_2 = 137,15$ в бензолі (C_6H_6) $M_1 = 78,12$

№	g_1, Γ	g_2, Γ	N_2	$d, \Gamma/\text{cm}^3$	ϵ	$C, \text{пф}$	$T, \text{K} = 298$
0					1,0	20,7	$A =$
1	1000	0		0,874	2,275	47,1	$B =$
2	990	10		0,876		50,4	$\alpha =$
3	980	20		0,879		53,8	$\beta =$

4	970	30		0,881		57,1	$R_D =$	
5	960	40		0,883		60,3	$P_{2\infty} =$	
6	950	50		0,886		63,8	$\mu =$	
7	0	1000		1,283			$n_D =$	1,613

Контрольні питання до роботи 25/09

1. Чому для визначення $P_{2\infty}$ не можна використовувати залежність P_2 від N_2 ?
2. Використовуючи групові моменти, розрахувати дипольний момент молекули



ВАРІАНТ 10

Використовуючи дані про ємності конденсаторів – порожнього (C_0), з розчинником (C_1) та з розчинами, що досліджуються (C_{12}):

1. Розрахувати діелектричну проникність для розчинів п'яти концентрацій (ϵ_{12});
2. за допомогою графіків залежностей $d = f(N_2)$ та $\epsilon_{1,2} = f(N_2)$ визначити $P_{2\infty}$ за формулою (25.24);
3. Користуючись даними, наведеними в табл., розрахувати значення рефракції R ;
4. Визначити дипольний момент речовини за формулою (25.19), результат представити у одиницях (D) і (Кл·нм), зіставити з дипольним моментом цієї речовини, розрахованим за векторною схемою.

1,2- нітроанілін ($o\text{-NO}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{NH}_2$) $M_2 = 138,13$ в бензолі (C_6H_6) $M_1 = 78,12$

№	g_1, Γ	g_2, Γ	N_2	$d, \Gamma/\text{cm}^3$	ϵ	$C, \text{пф}$	$T, \text{K} = 298$
0					1,0	22,2	$A =$
1	1000	0		0,874	2,275	50,5	$B =$
2	990	10		0,876		54,6	$\alpha =$

3	980	20		0,877		59,1	$\beta =$	
4	970	30		0,879		63,4	$R_D =$	
5	960	40		0,881		67,8	$P_{2\infty} =$	
6	950	50		0,883		72,2	$\mu =$	
7	0	1000		1,442			$n_D =$	1,691

Контрольні питання до роботи 25/10

1. Як поведуться неполярні молекули в статичному електричному полі? У яких випадках виконується рівняння Клаузіуса – Моссоті?
2. Як орієнтаційна поляризованість залежить від температури?

ВАРІАНТ 11

Використовуючи дані про ємності конденсаторів – порожнього (C_0), з розчинником (C_1) та з розчинами, що досліджуються (C_{12}):

1. Розрахувати діелектричну проникність для розчинів п'яти концентрацій (ϵ_{12}); 2. за допомогою графіків залежностей $d = f(N_2)$ та $\epsilon_{1,2} = f(N_2)$ визначити $P_{2\infty}$ за формулою (25.24);
3. Користуючись даними, наведеними в табл., розрахувати значення рефракції R ;
4. Визначити дипольний момент речовини за формулою (25.19), результат представити у одиницях (D) і (Кл·нм), зіставити з дипольним моментом цієї речовини, розрахованим за векторною схемою.

1,3-нітроанілін ($m\text{-NO}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{NH}_2$) $M_2 = 138,13$ в бензолі (C_6H_6) $M_1 = 78,12$

№	$g_1, \text{Г}$	$g_2, \text{Г}$	N_2	$d, \text{г/см}^3$	ϵ	$C, \text{пф}$	$T, \text{К} = 298$
0					1,0	19,8	$A =$
1	1000	0		0,874	2,275	45,0	$B =$
2	990	10		0,881		48,9	$\alpha =$
3	980	20		0,888		52,9	$\beta =$
4	970	30		0,895		56,8	$R_D =$
5	960	40		0,902		60,7	$P_{2\infty} =$

6	950	50		0,909		64,7	$\mu =$	
7	0	1000		1,430			$n_D =$	1,683

Контрольні питання до роботи 25/11

1. Обчислити за адитивною схемою молярну рефракцію антрацену й тринітротолуолу.
2. Як визначають дипольний момент молекул полярної речовини, що перебуває в рідкому або твердому агрегатному стані? 2 метод Дебая.

ВАРІАНТ 12

Використовуючи дані про ємності конденсаторів – порожнього (C_0), з розчинником (C_1) та з розчинами, що досліджуються (C_{12}):

1. Розрахувати діелектричну проникність для розчинів п'яти концентрацій (ϵ_{12});
2. за допомогою графіків залежностей $d = f(N_2)$ та $\epsilon_{1,2} = f(N_2)$ визначити $P_{2\infty}$ за формулою (25.24);
3. Користуючись даними, наведеними в табл., розрахувати значення рефракції R ;
4. Визначити дипольний момент речовини за формулою (25.19), результат представити у одиницях (D) і (Кл·нм), зіставити з дипольним моментом цієї речовини, розрахованим за векторною схемою.

1,4- нітроанілін ($n\text{-NO}_2\text{C}_6\text{H}_4\text{NH}_2$) $M_2 = 138,13$ в бензолі (C_6H_6) $M_1 = 78,12$

№	g_1, Γ	g_2, Γ	N_2	$d, \Gamma/\text{cm}^3$	ϵ	$C, \text{пф}$	$T, \text{K} = 298$	
0					1,0	24,2	$A =$	
1	1000	0		0,874	2,275	55,1	$B =$	
2	990	10		0,879		62,2	$\alpha =$	
3	980	20		0,885		69,9	$\beta =$	
4	970	30		0,891		77,5	$R_D =$	
5	960	40		0,897		85,4	$P_{2\infty} =$	
6	950	50		0,903		93,0	$\mu =$	
7	0	1000		1,424			$n_D =$	1,679

Контрольні питання до роботи 25/12

1. Що таке «деформаційна поляризація»? З яких внесків вона складається?

2. Електричні моменти диполя молекул CO_2 і CS_2 дорівнюють нулю. Чому момент молекули COS досить високий ($6,61 \cdot 10^{-30}$ Кл·м)?

ВАРІАНТ 13

Використовуючи дані про ємності конденсаторів – порожнього (C_0), з розчинником (C_1) та з розчинами, що досліджуються (C_{12}):

1. Розрахувати діелектричну проникність для розчинів п'яти концентрацій (ϵ_{12}); 2. за допомогою графіків залежностей $d = f(N_2)$ та $\epsilon_{1,2} = f(N_2)$ визначити $P_{2\infty}$ за формулою (25.24);

3. Користуючись даними, наведеними в табл., розрахувати значення рефракції R ;

4. Визначити дипольний момент речовини за формулою (25.19), результат представити у одиницях (D) і (Кл·нм), зіставити з дипольним моментом цієї речовини, розрахованим за векторною схемою.

1,2-хлортолуол ($o\text{-CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{Cl}$) $M_2 = 126,59$ в бензолі (C_6H_6) $M_1 = 78,12$

№	$g_1, \text{г}$	$g_2, \text{г}$	N_2	$d, \text{г/см}^3$	ϵ	$C, \text{пф}$	$T, \text{К} = 298$	
0					1,0	25,3	$A =$	
1	1000	0		0,874	2,275	57,6	$B =$	
2	990	10		0,876		58,1	$\alpha =$	
3	980	20		0,878		58,7	$\beta =$	
4	970	30		0,881		59,3	$R_D =$	
5	960	40		0,883		59,9	$P_{2\infty} =$	
6	950	50		0,885		60,5	$\mu =$	
7	0	1000		1,082			$n_D =$	1,523

Контрольні питання до роботи 25/13

1. У чому полягає метод векторного розрахунку дипольного моменту?
2. Які існують методи визначення величини рефракції досліджуваної речовини? Який її фізичний смисл?

ВАРІАНТ 14

Використовуючи дані про ємності конденсаторів – порожнього (C_0), з розчинником (C_1) та з розчинами, що досліджуються (C_{12}):

1. Розрахувати діелектричну проникність для розчинів п'яти концентрацій (ϵ_{12}); 2. за допомогою графіків залежностей $d = f(N_2)$ та $\epsilon_{1,2} = f(N_2)$ визначити $P_{2\infty}$ за формулою (25.24);
3. Користуючись даними, наведеними в табл., розрахувати значення рефракції R ;
4. Визначити дипольний момент речовини за формулою (25.19), результат представити у одиницях (D) і (Кл·нм), зіставити з дипольним моментом цієї речовини, розрахованим за векторною схемою.

1,3-хлортолуол ($m\text{-CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{Cl}$) $M_2 = 126,59$ в бензолі (C_6H_6) $M_1 = 78,12$

№	g_1 , Г	g_2 , Г	N_2	d , г/см ³	ϵ	C , пф	T , К = 298	
0					1,0	24,6	$A =$	
1	1000	0		0,874	2,275	56,0	$B =$	
2	990	10		0,876		56,7	$\alpha =$	
3	980	20		0,879		57,4	$\beta =$	
4	970	30		0,881		58,2	$R_D =$	
5	960	40		0,884		58,9	$P_{2\infty} =$	
6	950	50		0,887		59,7	$\mu =$	
7	0	1000		1,072			$n_D =$	1,518

Контрольні питання до роботи 25/14

1. Розрахувати за векторною схемою дипольний момент хлороцтової кислоти ClCH_2COOH , взявши кут між зв'язками $\text{C} - \text{Cl}$ і C рівним $109,5^\circ$.
2. Як визначити поляризацію розчиненої речовини?

ВАРІАНТ 15

Використовуючи дані про ємності конденсаторів – порожнього (C_0), з розчинником (C_1) та з розчинами, що досліджуються (C_{12}):

1. Розрахувати діелектричну проникність для розчинів п'яти концентрацій (ϵ_{12}); 2. за допомогою графіків залежностей $d = f(N_2)$ та $\epsilon_{1,2} = f(N_2)$ визначити $P_{2\infty}$ за формулою (25.24);

3. Користуючись даними, наведеними в табл., розрахувати значення рефракції R ;

4. Визначити дипольний момент речовини за формулою (25.19), результат представити у одиницях (D) і (Кл·нм), зіставити з дипольним моментом цієї речовини, розрахованим за векторною схемою.

1,4-хлортолуол ($n\text{-CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{Cl}$) $M_2 = 126,59$ в бензолі (C_6H_6) $M_1 = 78,12$

№	g_1, Γ	g_2, Γ	N_2	$d, \Gamma/\text{cm}^3$	ε	$C, \text{пф}$	$T, \text{K} = 298$	
0					1,0	24,2	$A =$	
1	1000	0		0,874	2,275	55,1	$B =$	
2	990	10		0,877		56,2	$\alpha =$	
3	980	20		0,880		57,2	$\beta =$	
4	970	30		0,882		58,3	$R_D =$	
5	960	40		0,885		59,4	$P_{2\infty} =$	
6	950	50		0,888		60,5	$\mu =$	
7	0	1000		1,069			$n_D =$	1,515

Контрольні питання до роботи 25/15

1. Як розрахувати мольну частку компонентів по ваговій концентрації розчину?

2. Чому електричний момент диполя молекули 1, 4-діхлорбензолу дорівнює нулю, а молекули дігідроксибензолу (гідрохінону) дорівнює $5,48 \cdot 10^{-30}$ Кл·м?

ВАРІАНТ 16

Використовуючи дані про ємності конденсаторів – порожнього (C_0), з розчинником (C_1) та з розчинами, що досліджуються (C_{12}):

1. Розрахувати діелектричну проникність для розчинів п'яти концентрацій (ε_{12}); 2. за допомогою графіків залежностей $d = f(N_2)$ та $\varepsilon_{1,2} = f(N_2)$ визначити $P_{2\infty}$ за формулою (25.24);

3. Користуючись даними, наведеними в табл., розрахувати значення рефракції R ;

4. Визначити дипольний момент речовини за формулою (25.19), результат представити у одиницях (D) і (Кл·нм), зіставити з дипольним моментом цієї речовини, розрахованим за векторною схемою.

1,2-хлоранілін ($o\text{-ClC}_6\text{H}_4\text{NH}_2$) $M_2 = 127,58$ в бензолі (C_6H_6) $M_1 = 78,12$

№	$g_1, \text{Г}$	$g_2, \text{Г}$	N_2	$d, \text{Г/см}^3$	ε	$C, \text{пф}$	$T, \text{К} = 298$	
0					1,0	18,2	$A =$	
1	1000	0		0,874	2,275	41,4	$B =$	
2	975	25		0,882		42,8	$\alpha =$	
3	950	50		0,888		44,1	$\beta =$	
4	925	75		0,896		45,5	$R_D =$	
5	900	100		0,902		46,9	$P_{2\infty} =$	
6	875	125		0,910		48,3	$\mu =$	
7	0	1000		1,213			$n_D =$	1,586

Контрольні питання до роботи 25/16

1. Полярні й неполярні молекули. Дипольний момент як міра полярності молекул. Одиниці виміру. Навести приклади.
2. Як розрахувати діелектричну проникність речовини на підставі вимірів ємності конденсатора із цією речовиною?

ВАРІАНТ 17

Використовуючи дані про ємності конденсаторів – порожнього (C_0), з розчинником (C_1) та з розчинами, що досліджуються (C_{12}):

1. Розрахувати діелектричну проникність для розчинів п'яти концентрацій (ε_{12}); 2. за допомогою графіків залежностей $d = f(N_2)$ та $\varepsilon_{12} = f(N_2)$ визначити $P_{2\infty}$ за формулою (25.24);
3. Користуючись даними, наведеними в табл., розрахувати значення рефракції R ;
4. Визначити дипольний момент речовини за формулою (25.19), результат представити у одиницях (D) і (Кл·нм), зіставити з дипольним моментом цієї речовини, розрахованим за векторною схемою.

1,3-хлоранілін ($m\text{-ClC}_6\text{H}_4\text{NH}_2$) $M_2 = 127,58$ в бензолі (C_6H_6) $M_1 = 78,12$

№	g_1, Γ	g_2, Γ	N_2	$d, \Gamma/\text{cm}^3$	ϵ	$C, \text{пф}$	$T, \text{K} = 298$	
0					1,0	18,2	$A =$	
1	1000	0		0,874	2,275	41,4	$B =$	
2	975	25		0,882		44,3	$\alpha =$	
3	950	50		0,890		47,4	$\beta =$	
4	925	75		0,899		50,2	$R_D =$	
5	900	100		0,907		53,3	$P_{2\infty} =$	
6	875	125		0,915		56,4	$\mu =$	
7	0	1000		1,216			$n_D =$	1,587

Контрольні питання до роботи 25/17

1. У чому особливості визначення дипольного моменту за методом Дебая (вимір у газовій фазі)?
2. Що таке власний і індукований дипольний момент? Навести приклад.

ВАРІАНТ 18

Використовуючи дані про ємності конденсаторів – порожнього (C_0), з розчинником (C_1) та з розчинами, що досліджуються (C_{12}):

1. Розрахувати діелектричну проникність для розчинів п'яти концентрацій (ϵ_{12}); 2. за допомогою графіків залежностей $d = f(N_2)$ та $\epsilon_{12} = f(N_2)$ визначити $P_{2\infty}$ за формулою (25.24);
3. Користуючись даними, наведеними в табл., розрахувати значення рефракції R ;
4. Визначити дипольний момент речовини за формулою (25.19), результат представити у одиницях (D) і (Кл·нм), зіставити з дипольним моментом цієї речовини, розрахованим за векторною схемою.

1,4-хлоранілін (*n*-ClC₆H₄NH₂) M₂ = 127,58 в бензолі (C₆H₆) M₁ = 78,12

№	g ₁ , г	g ₂ , г	N ₂	d, г/см ³	ε	C, пф	T, К = 298	
0					1,0	18,2	A =	
1	1000	0		0,874	2,275	41,4	B =	
2	975	25		0,882		44,9	α =	
3	950	50		0,889		48,5	β =	
4	925	75		0,897		52,3	R _D =	
5	900	100		0,905		56,1	P _{2∞} =	
6	875	125		0,913		59,9	μ =	
7	0	1000		1,427			n _D =	1,719

Контрольні питання до роботи 25/18

1. Яку структуру мають ізомери трихлорбензолу, якщо вони мають такі дипольні моменти: 0,0 Кл·м; 4,21·10⁻³⁰ Кл·м; 7,78·10⁻³⁰ Кл·м?
2. Обчислити молярну рефракцію речовини А, якщо при температурі T = 293 К густина a %-го розчину речовини А в розчиннику В дорівнює d, показник заломлення розчину дорівнює n. Густина розчинника В дорівнює d₀, а його показник заломлення n₀.

ВАРІАНТ 19

Використовуючи дані про ємності конденсаторів – порожнього (C₀), з розчинником (C₁) та з розчинами, що досліджуються (C₁₂):

1. Розрахувати діелектричну проникність для розчинів п'яти концентрацій (ε₁₂);
2. за допомогою графіків залежностей d = f(N₂) та ε₁₂ = f(N₂) визначити P_{2∞} за формулою (25.24);
3. Користуючись даними, наведеними в табл., розрахувати значення рефракції R;
4. Визначити дипольний момент речовини за формулою (25.19), результат представити у одиницях (D) і (Кл·нм), зіставити з дипольним моментом цієї речовини, розрахованим за векторною схемою.

1,2-нітрохлорбензол (*o*-ClC₆H₄NO₂) M₂=157,56 в бензолі (C₆H₆) M₁=78,12

№	g_1 , г	g_2 , г	N_2	d , г/см ³	ϵ	C , пф	T , К = 298	
0					1,0	19,6	$A =$	
1	1000	0		0,874	2,275	44,6	$B =$	
2	975	25		0,879		52,3	$\alpha =$	
3	950	50		0,884		59,4	$\beta =$	
4	925	75		0,889		67,4	$R_D =$	
5	890	110		0,897		77,4	$P_{2\infty} =$	
6	850	150		0,907		90,9	$\mu =$	
7	0	1000		1,368			$n_D =$	1,544

Контрольні питання до роботи 25/19

1. Що називається молярною поляризацією полярних молекул? У яких одиницях вона вимірюється?
2. Електричні моменти диполів молекул галогеноводнів мають такі значення, К·м

HF	$6,38 \cdot 10^{-30}$	HBr	$2,67 \cdot 10^{-30}$
HCl	$3,61 \cdot 10^{-30}$	HI	$1,40 \cdot 10^{-30}$

Чому електричні моменти диполів цих молекул при переході елементів уздовж по підгрупі зменшуються (хоча відстані між ядрами атомів у молекулах зростають)?

ВАРІАНТ 20

Використовуючи дані про ємності конденсаторів – порожнього (C_0), з розчинником (C_1) та з розчинами, що досліджуються (C_{12}):

1. Розрахувати діелектричну проникність для розчинів п'яти концентрацій (ϵ_{12});
2. за допомогою графіків залежностей $d = f(N_2)$ та $\epsilon_{1,2} = f(N_2)$ визначити $P_{2\infty}$ за формулою (25.24);
3. Користуючись даними, наведеними в табл., розрахувати значення рефракції R ;
4. Визначити дипольний момент речовини за формулою (25.19), результат представити у одиницях (D) і (Кл·нм), зіставити з дипольним моментом цієї речовини, розрахованим за векторною схемою.

1,3-нітрохлорбензол ($m\text{-ClC}_6\text{H}_4\text{NO}_2$) $M_2=157,56$ в бензолі (C_6H_6) $M_1=78,12$

№	g_1, Γ	g_2, Γ	N_2	$d, \Gamma/\text{cm}^3$	ϵ	$C, \text{пф}$	$T, \text{K} = 298$	
0					1,0	19,6	$A =$	
1	1000	0		0,874	2,275	44,6	$B =$	
2	975	25		0,879		49,4	$\alpha =$	
3	950	50		0,883		54,3	$\beta =$	
4	925	75		0,887		58,8	$R_D =$	
5	890	110		0,894		65,7	$P_{2\infty} =$	
6	850	150		0,902		74,3	$\mu =$	
7	0	1000		1,534			$n_D =$	1,648

Контрольні питання до роботи 25/20

1. Молекула NF_3 має менший електричний момент диполя, ніж молекула NH_3 (відповідно $0,70 \cdot 10^{-30}$ і $4,88 \cdot 10^{-30}$ Кл·м). Чим пояснюється така розбіжність в значеннях моментів цих молекул?
2. Що називається поляризованістю полярних молекул? У яких одиницях вона вимірюється? Які види поляризованості розрізняють?

ВАРІАНТ 21

Використовуючи дані про ємності конденсаторів – порожнього (C_0), з розчинником (C_1) та з розчинами, що досліджуються (C_{12}):

1. Розрахувати діелектричну проникність для розчинів п'яти концентрацій (ϵ_{12}); 2. за допомогою графіків залежностей $d = f(N_2)$ та $\epsilon_{1,2} = f(N_2)$ визначити $P_{2\infty}$ за формулою (25.24);
3. Користуючись даними, наведеними в табл., розрахувати значення рефракції R ;
4. Визначити дипольний момент речовини за формулою (25.19), результат представити у одиницях (D) і (Кл·нм), зіставити з дипольним моментом цієї речовини, розрахованим за векторною схемою.

1,4-нітрохлорбензол ($n\text{-ClC}_6\text{H}_4\text{NO}_2$) $M_2 = 57,56$ в бензолі (C_6H_6) $M_1 = 78,12$

№	g_1, Γ	g_2, Γ	N_2	$d, \Gamma/\text{cm}^3$	ϵ	$C, \text{пф}$	$T, \text{K} = 298$	
0					1,0	19,6	$A =$	
1	1000	0		0,874	2,275	44,6	$B =$	
2	975	25		0,878		47,0	$\alpha =$	

3	950	50		0,880		49,6	$\beta =$	
4	925	75		0,885		52,4	$R_D =$	
5	890	110		0,890		56,6	$P_{2\infty} =$	
6	850	150		0,896		61,0	$\mu =$	
7	0	1000		1,520			$n_D =$	1,520

Контрольні питання до роботи 25/21

1. Як визначити питому й молярну рефракцію розчиненої речовини?
2. Яку структуру мають ізомери $C_2H_2Cl_2$, якщо вони мають такі дипольні моменти: $0,0$ Кл·м; $4,01 \cdot 10^{-30}$ Кл·м; $6,34 \cdot 10^{-30}$ Кл·м?

Таблиця 15. Значення групових моментів для розрахунку дипольних моментів молекул за векторною схемою (бензол, $T = 298$ K)

Група (X)	$\mu_{C_6H_5-X}, D$		$\theta, ^\circ$	$\mu_{C_6H_5-X}, D$		$\theta, ^\circ$
	газ	розчин		газ	розчин	
CH ₃	0,37	0,37	0	0	0	–
CN	4,39	4,05	180		3,40	180
CHO		2,96	146	2,72	2,49	125
COOH		1,64	106	1,73	1,63	106
COCH ₃	3,00	2,96	132	2,90	2,75	120
COOCH ₃		1,83	110	1,67	1,75	110
OH	1,40	1,60	90	1,70	1,70	118
OCH ₃	1,35	1,28	72	1,30	1,28	124
NH ₂	1,48	1,53	48,5	1,28	1,46	91
NO ₂	4,19	4,01	180	3,50	3,10	180
N(CH ₃) ₂	1,61	1,58	30	0,61	0,86	109
F	1,61	1,47	180	1,85	1,79	180
Cl	1,76	1,59	180	1,86	1,87	180
Br	1,64	1,57	180	1,82	1,82	180
I	1,71	1,40	180	1,70	1,65	180

Кут $\theta, ^\circ$ утворений напрямком моменту даної групи і напрямком зв'язку між цією функціональною групою (X) і атомом вуглецю, до якого вона приєднана.

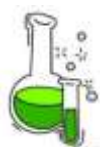
Якщо (X) служить негативним кінцем диполя, то значення кута θ завжди більше 90° , і навпаки.

Таблиця 16. Значення атомних рефракцій

Атом	R_D , $\text{cm}^3/\text{г-атом}$
C	2,418
H	1,100
N	2,322
Cl	5,967
Br	8,865
I	13,900
група CO (ефірна)	4,061
група CO (карбонільна)	4,629
група NO ₂	7,300
група CH ₂	4,618
група CH ₃	5,718
група OH	2,625

Таблиця 17. Значення інкрементів зв'язків

Зв'язки	R_D , $\text{cm}^3/\text{г-атом}$
Подвійний ($C = C$)	1,733
Потрійний ($C \equiv C$)	2,398



<i>ПІБ</i>	<i>№ варіанта</i>	<i>ПІБ</i>	<i>№ варіанта</i>
	1		16
	2		17
	3		18
	4		19
	5		20
	6		21
	7		22
	8		23
	9		24
	10		25
	11		26
	12		27
	13		28
	14		29
	15		30

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 23

МОЛЕКУЛЯРНА СПЕКТРОСКОПІЯ

Мета роботи: знайомство з природою і особливостями електронних та коливальних спектрів поглинання органічних молекул та прикладами застосування цих спектрів для вирішення хімічних задач.

Теоретичні відомості

Молекули, як відомо, можуть здійснювати поступовий рух, обертатися. Атоми, з яких вони утворені, весь час коливаються. Так само безперервно рухаються електрони. Тобто для молекули ми можемо позначити чотири відносно незалежних за природою види рухів і відповідні до них енергії: поступову, обертальну, коливальну та електронну. Тільки поступовий рух молекули можна описати законами класичної механіки. Щодо останніх трьох, то вони підпорядковуються законам квантової механіки. Це означає, що обертальна, коливальна та електронна енергії молекули можуть набувати не довільних значень, а лише дозволених, тобто квантуються. Дозволене значення енергії молекули одержало назву енергетичного рівня. Низка таких дозволених рівнів, кожний з яких відповідає певному набору квантових чисел, складає енергетичний спектр молекули. Енергетичний спектр молекули залежить від її будови, внутрішніх та зовнішніх взаємодій і є суто індивідуальним. Принципова схема такого енергетичного спектра наведена на рис.23.1.

Обертальну ($E_{об}$), коливальну ($E_{кол}$) та електронну ($E_{ел}$) енергії у першому наближенні можна вважати незалежними одна від одної. Тобто повна енергія молекули ($E_{пов}$) є простою сумою складових частин:

$$E_{пов} = E_{об} + E_{кол} + E_{ел} . \quad (23.1)$$

При цьому $E_{об} < E_{кол} \ll E_{ел}$, що приблизно відтворено на схемі.

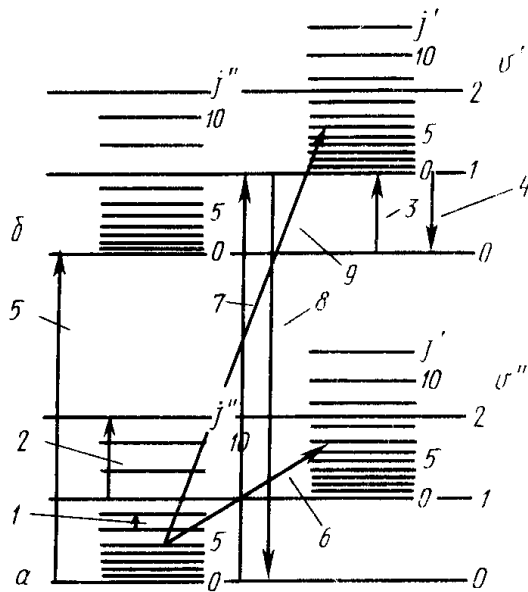


Рис.23.1. Схема енергетичних рівнів двохатомної молекули та переходів між ними
a, б – електронні рівні; *v', v''* – квантові числа коливальних рівнів;
j', j'' – квантові числа обертельних рівнів

Згідно з законами квантової механіки молекула може знаходитися тільки на дозволених рівнях енергії. При переході молекули з одного рівня енергії на інший повинен виконуватися закон збереження енергії, тобто такі переходи супроводжуються поглинанням або випромінюванням енергії. За правилом частот Бора перехід між дозволеними рівнями здійснюється шляхом поглинання або випромінювання монохроматичного кванту електромагнітної енергії, частота якого визначається як

$$\nu = \frac{E_2 - E_1}{h}, \quad (23.2)$$

де ν – частота електромагнітної хвилі, E_1, E_2 – енергії рівнів, між якими здійснюється перехід, h – стала Планка.

Як видно з схеми енергетичних рівнів, кожній молекулі згідно з рівнянням (23.2) відповідає строго однозначний і індивідуальний набір частот квантів, що можуть поглинатися або випромінюватися при переходах. Цей набір частот і складає спектр молекули (молекуляр-

ний спектр). Молекулярні спектри називаються спектрами випромінювання або емісійними спектрами, якщо реєструються частоти переходів з вищих енергетичних рівнів на нижчі. В разі поглинання молекулами електромагнітної енергії здійснюються переходи з рівнів, що лежать нижче, на більш високі, внаслідок чого спостерігаються спектри поглинання або абсорбційні спектри.

Для одержання спектрів випромінювання молекулу треба попередньо перевести у збуджений стан тим чи іншим шляхом (дія полум'я, дуговий або іскровий розряд). Така дія є досить жорстокою і часто приводить до руйнування молекул на радикали і навіть окремі атоми. Тому спектри випромінювання частіше використовуються в атомній спектроскопії для якісного і кількісного елементного аналізу речовин і значно менше у молекулярному аналізі. Одержання спектрів поглинання не супроводжується такими недоліками, тому такі спектри дуже широко використовуються в хімії, і надалі мова буде йти саме про молекулярні спектри поглинання.

Молекулярні спектри поглинання виникають, як відзначалось, при поглинанні квантів електромагнітної енергії, що приводить до переходів молекули з нижчих енергетичних рівнів на верхні. Залежно від довжини хвилі випромінювання, що поглинається, збуджуються різні рівні енергії і виникають відповідно обертальний, коливально-обертальний або електронно-коливально-обертальний спектри (табл.23.1).

Таблиця 23.1

Області довжин хвиль різних областей електромагнітного спектра

Область електромагнітного спектра	Довжини хвиль, м	Вид спектра
Мікрохвильова	$0,3 - 6 \cdot 10^{-4}$	Обертальний
Інфрачервона	$6 \cdot 10^{-4} - 7,8 \cdot 10^{-7}$	Коливально-обертальний
Видима	$7,8 \cdot 10^{-7} - 3,8 \cdot 10^{-7}$	Електронно-коливально-обертальний
Ультрафіолетова	$3,8 \cdot 10^{-7} - 10^{-8}$	

Виходячи з цього, кожний конкретний молекулярний спектр можна назвати як за місцем його розташування у загальній шкалі електромагнітного випромінювання, так і за природою енергетичних рівнів, між якими здійснюються переходи. Тільки мікрохвильові спектри можуть бути “чистими”. При поглинанні енергії у інфрачервоній області одночасно збуджуються коливальні і обертальні рівні. Відповідно, при поглинанні у видимій та ультрафіолетовій областях виникають електронно-коливально-обертальні спектри. Принциповий вигляд молекулярного спектра представлено на рис.23.2.

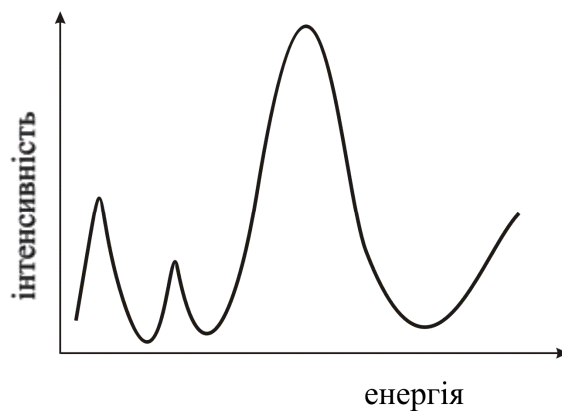


Рис.23.2 Загальний вигляд молекулярного спектра

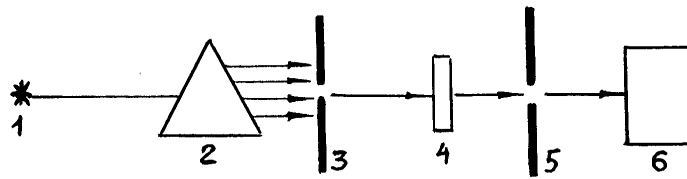
Згідно з рівнянням (23.1) кожному переходу у спектрі відповідає вузька лінія поглинання. Тобто спектр складається із серії ліній. Саме такими є мікрохвильові спектри. Із збільшенням енергії поглинаючих квантів збуджується все більше рівнів; лінії важко відрізнити одна від одної, і вони зливаються у смуги і групи смуг. Тому інфрачервоні і видимі спектри мають смугастий вигляд.

1. Одержання молекулярних спектрів поглинання

1.1. Принципова схема спектрального приладу

Зараз існує значна кількість спектральних приладів, які відрізняються за конструкцією або конкретним призначенням. Але кожний такий прилад має однакові принципові блоки: джерело випромінювання, робочий блок із зразком, реєструючий блок.

Найбільш поширені джерела – це джерела, які мають випромінювання приблизно рівної інтенсивності у широкому діапазоні хвиль. Якщо використовується таке джерело, необхідно мати монохроматор (призма, дифракційна решітка), який розкладає випромінювання за довжинами хвиль. Для того, щоб у певний час на зразок потрапляло випромінювання певної довжини хвилі, використовується вхідна щілина (рис.23.3).



1 – джерело випромінювання, 2 – монохроматор, 3 – вхідна щілина, 4 – зразок, 5 – вихідна щілина, 6 – реєстратор
Принципова схема спектральних приладів

Блок роботи із зразком виконується за схемою з одним променем або за схемою з двома променями. У разі використання першої схеми одержується сумарний спектр зразка (всіх речовин, що входять до його складу). За схемою з двома променями із спектра, що реєструється, можна вилучити спектр однієї або кількох речовин, що входять до складу суміші, наприклад, розчинника. У цьому разі у канал порівняння ставлять ті речовини (і в тій кількості, що і в основному зразку), спектри яких бажано виключити із загальної картинки.

2.2. Основний закон поглинання

При дослідженні спектрів поглинання часто нам бажано знати не тільки якість (число та довжини хвиль смуг поглинання), але і кількість випромінювання, що поглинуто (інтенсивність). Формально закон поглинання виконується для будь-яких частот – від інфрачервоних до ультрафіолетових.

Основний закон поглинання є об'єднанням законів, відкритих Ламбертом, Бугером і Бером. У математичній формі закон записується як

$$I = I_0 e^{-kcl}, \quad (23.3)$$

де I_0 – інтенсивність випромінювання, що падає на зразок; I – інтенсивність випромінювання, що пройшло крізь зразок; k – коефіцієнт поглинання, який залежить від природи середовища, що поглинає, довжини хвилі і температури; c – концентрація; l – товщина шару, що поглинає.

Цей закон виконується для паралельного пучка монохроматичного випромінювання за умови відсутності взаємодії між частками.

Частіше закон використовують у логарифмічній формі:

$$D = \lg I_0/I = \varepsilon cl, \quad (23.4)$$

де D – оптична густина; ε – молярний коефіцієнт екстинкції; якщо використовується десятичний логарифм, а $[c]$ = моль/л; $[l]$ = см.

Окрім оптичної густини, на практиці часто користуються величиною пропускання $T = I/I_0$.

2.3. Відображення спектрів та основні характеристики смуг поглинання

Спектри поглинання відображують за допомогою двох пов'язаних величин – фактора інтенсивності і фактора енергії. Як фактор інтенсивності використовують T , D , ε , $\lg \varepsilon$. Як фактор енергії: ν – частота, λ – довжина хвилі, $\tilde{\nu}$ – хвильове число. Використання тих чи інших величин зумовлено зручностями і традиціями. Основним структурним елементом спектра є смуга поглинання (рис.23.4).

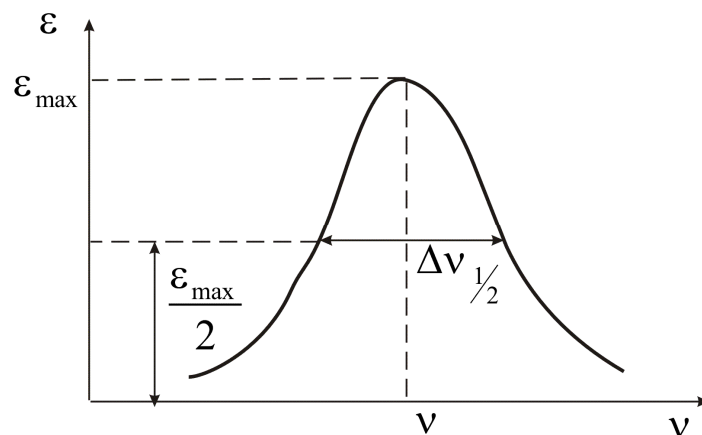


Рис.23.4. Смуга поглинання

Кожну смугу поглинання можна описати за допомогою основних спектральних характеристик.

Положення смуги в спектрі.

Це найважливіша характеристика смуги поглинання. Положення смуги визначають по довжині хвилі або хвильовому числу у максимумі поглинання, що відповідає даній смузі (ν_{max} , рис.23.4). Положення смуги прямо залежить від різниці енергій рівнів, між якими здійснюється перехід, і визначається з умов частот Бора (23.1). Знання спектра, таким чином, дає можливість відтворити картину дозволених енергетичних рівнів молекули.

Напівширина смуги.

Напівширина визначається як ширина смуги на висоті, що дорівнює половині інтенсивності у максимумі поглинання ($\Delta\nu_{1/2}$, рис.23.4). Напівширина є найважливішою характеристикою форми смуги. З одного боку, вона характеризує розмитість енергетичних рівнів (природну або внаслідок міжмолекулярної взаємодії). З другого боку, напівширина несе інформацію про час життя молекули у збудженому стані. У відповідності до принципу невизначеності Гейзенберга чим більше напівширина смуги, тим менше час життя молекули у збудженому стані і навпаки.

Інтенсивність смуги поглинання.

Інтенсивність смуги, як і положення, є дуже важливою характеристикою смуги поглинання. Інтенсивність характеризує імовірність даного переходу. Розрізняють пікову і інтегральну інтенсивність. Під піковою інтенсивністю розуміють максимальне значення коефіцієнта екстинкції у межах даної смуги (ϵ_{max} , рис.23.4). ϵ_{max} – це перша, найбільш груба, оцінка імовірності переходу. Коефіцієнти екстинкції окремих смуг змінюються у межах кількох порядків.

Більш точно імовірність переходу визначають інтегральною інтенсивністю A (площа під кривою поглинання в межах смуги), в якій облічується форма смуги. Інтегральну інтенсивність визначають як

$$A = \int_{\tilde{\nu}_1}^{\tilde{\nu}_2} \epsilon(\tilde{\nu}) d\tilde{\nu}, \quad (23.5)$$

де $\tilde{\nu}_1$, $\tilde{\nu}_2$ – межі інтегрування (координати початку і кінця смуги).

Для смуг, що мало перекриваються, за межі інтегрування вибирають хвильові числа мінімального поглинання між смугами. У випадку сильного перекривання перед інтегруванням використовують спеціальні методики розділу смуг.

Приблизно інтегральна інтенсивність може бути обчислена з використанням напівширини смуги за формулою:

$$A = 1,07 \varepsilon_{max} \Delta \tilde{\nu}_{1/2}. \quad (23.6)$$

Для найбільш точного визначення імовірності електронних переходів обчислюють силу осцилятора:

$$f = 4,315 \cdot 10^{-9} \varphi(n) \int_{\tilde{\nu}_1}^{\tilde{\nu}_2} \varepsilon d\tilde{\nu}, \quad (23.7)$$

де $\varphi(n) = \frac{9n}{(n^2 + 2)^2}$ входить до формули у випадку, якщо спектр одержано для розчину (n – показник заломлення розчинника).

У випадку наближеного розрахунку інтегральної інтенсивності сила осцилятора дорівнює:

$$f = 4,315 \cdot 10^{-9} \varphi(n) A. \quad (23.8)$$

Сила осцилятора для різних смуг має різні значення. Для малоімовірних переходів $f \leq 10^{-3}$. Переходи з $f \geq 10^{-1}$ вважаються імовірними. В деяких випадках f може наближатися до 1 і навіть перевищувати її, якщо є можливість внутрішньомолекулярного переносу заряду.

2.Обертальна спектроскопія. Мікрохвильові спектри

Згідно з законами квантової механіки енергія обертального руху молекули є функцією обертального квантового числа:

$$E_{об.} = \frac{h^2}{8\pi^2 I} j(j+1), \quad (23.9)$$

де $j = 0, 1, 2, \dots$ – оберতальне квантове число, $I = \sum m_i \vec{r}_i^2$ – момент інерції молекули.

Згідно з правилами відбору для оберতальних переходів дозволені є тільки ті, для яких оберতальне квантове число змінюється на 1. З урахуванням цього маємо:

$$\nu = \frac{\Delta E_{об.}}{h} = \frac{h}{8\pi^2 I} 2(j+1) = 2B(j+1), \quad (23.10)$$

де $B = h / (8\pi^2 I)$ – оберতальна стала молекули.

Тобто оберতальний спектр молекули зображується серією ліній, що відстоять одна від одної на $2B$. Оберতальна стала B молекули прямо залежить від моменту інерції молекули, тобто її геометричної будови. Ці обставини використовують для дослідження геометрії молекул. Задаючися певною геометрією, обчислюють момент інерції і порівнюють його з тим, що знайдено із оберতального спектра. Рівність обчисленого і експериментального моментів інерції буде означати, що запропонована геометрія відповідає дійсній будові молекули.

3. Коливальна спектроскопія. Інфрачервоні спектри

Атоми в молекулах або кристалах весь час знаходяться у коливальному русі. Енергія цього руху квантується. В гармонічному наближенні енергія осцилятора виражається формулою:

$$E_{кол.} = h\nu_0(\nu + 1/2), \quad (23.11)$$

де E – дозволена коливальна енергія; ν_0 – властива частота коливання; $\nu = 0, 1, 2, \dots$ – коливальне квантове число.

В силу цього в разі переходу молекули з одного коливального стану в інший поглинається або випромінюється квант енергії з частотою, що відповідає відстані між енергетичними рівнями. Для гармонічного осцилятора правилами відбору дозволені переходи тільки між сусідніми рівнями ($\Delta\nu = \pm 1$). Зважаючи на це, одержуємо чудову особливість: частота поглинання гармонічного осцилятора дорівнює його властивій частоті коливання:

$$\nu_{\text{погл.}} = \frac{E_1 - E_0}{h} = \frac{h\nu_0 \left[(v+1+1/2) - (v+1/2) \right]}{h} = \nu_0. \quad (23.12)$$

При цьому коливальні рівні відстоять один від одного на однакову відстань.

Реальні коливання в дійсності є ангармонічними. В цьому випадку енергія описується іншим рівнянням, в якому до уваги береться коефіцієнт ангармонічності (x_e), який знаходять експериментально:

$$E_{\text{кол.}} = h\nu_0(v+1/2) - h\nu_0 x_e (v+1/2)^2. \quad (23.13)$$

Тепер відстань між коливальними рівнями не є постійною величиною, а зменшується в міру зростання квантового числа. Частота поглинання кванта при цьому не дорівнює властивій частоті коливання. Однак з'являється інша цікава властивість. Правила відбору тепер вже дозволяють переходити не тільки між сусідніми, але і між більш віддаленими рівнями. При цьому частота поглинання для переходів з нульового рівня на дозволених визначається співвідношенням:

$$\nu_{\text{погл.}} = \nu_0 v' [1 - x_e (v' + 1)], \quad (23.14)$$

де v' – квантове число рівня, на який відбувається перехід.

Як легко бачити із (23.14), внаслідок ангармонічності стали можливими переходи з приблизно подвоєною, потроєною і т.д. частотою. Вони одержали назву обертонів. Більш того, наявність ангармонічності в складних молекулах дозволяє наявність складових частот, тобто таких, які викликані одночасовим збудженням двох або більше коливань.

Складний багаточастковий коливальний рух багатоатомної молекули, як і будь-яке складне коливання, можна розкласти на прості складові гармонічні коливання, пов'язані з геометрією молекули, яка дозволяє певні ступені коливальної свободи, тобто певну кількість фізично і математично незалежних гармонічних коливань. Такі коливання одержали назву нормальних і тісно пов'язані, як відзначено вище, з геометрією молекули.

Нелінійна молекула з n атомами має $3n-6$ нормальних коливань. Число нормальних коливань для лінійної n -атомної молекули розраховують як $3n-5$.

Слід пам'ятати, що число смуг у повному коливальному спектрі внаслідок виродження коливальних енергій для високосиметричних молекул може виявитися меншим, ніж число дозволених нормальних коливань. Сильна ангармонічність, навпаки, може привести до появи інтенсивних обертонів і складових частот, тобто до збільшення числа спостерігаємих смуг.

Нормальні коливання багатоатомних молекул розподіляють на дві групи: валентні (позначаються ν), що пов'язані із зміною довжини зв'язку, і деформаційні (позначаються δ), які супроводжуються зміною кутів між зв'язками. Кожне з коливань може бути симетричним і антисиметричним. Для складних молекул можливі більш тонкі класифікації нормальних коливань.

Існують два типи коливальних спектрів – інфрачервоні (ІЧ) і комбінаційного розсіяння (КР). Вони відрізняються природою виникнення, умовами одержання і реєстрації. Щоб мати повну коливальну картину молекули або кристала, треба мати обидва спектри. При цьому в ІЧ-спектрах проявляються (активні) лише ті коливання, що приводять до зміни дипольного моменту молекули. Навпаки, в КР-спектрах активними є коливання, що викликають зміну поляризованості (об'єму) молекули.

3.1. Інфрачервоні спектри

ІЧ-спектри виникають при вибіркового поглинанні речовиною електромагнітної енергії ІЧ-діапазону (2,5 – 20 мкм), що падає на зразок від широкосмужного випромінювання. При цьому реєструється відносна інтенсивність випромінювання, що пройшло крізь зразок, в залежності від енергії.

Останнім часом енергію падаючого випромінювання частіше всього виміряють у хвильових числах ($\tilde{\nu} = 1/\lambda$ [см⁻¹]), які пов'язані з нею лінійним співвідношенням:

$$E = h\nu = hc \frac{1}{\lambda} = hc\tilde{\nu}.$$

ІЧ-спектри відтворюють, як описано вище, картину коливальних рівнів молекули. Оскільки коливальна енергія порівняно невелика, картина коливальних рівнів виявляється дуже чутливою до будови молекули. Чутливість настільки висока, що система рівнів виявляється різною не тільки для різних молекул, але часто і для різних конформаційних ізомерів однієї і тієї ж молекули, не говорячи вже про структурні ізомери. Це означає, що настільки ж різними є коливальні спектри різних речовин. Ця властивість ІЧ-спектрів робить їх одним із найпотужніших і зручних засобів для ідентифікації речовин. Більш того, коливальні рівні чутливі не тільки до будови молекул, але й до їх оточення, яке впливає на молекули речовини, що досліджується, і приводить до зсуву рівнів і, відповідно, смуг поглинання. Це дає неоціниму користь досліднику, який вивчає вплив на властивості речовини характеру внутрішнього– і міжмолекулярної взаємодії, зумовленої різним агрегатним станом або різним середовищем, в якому знаходяться молекули, що досліджуються.

Разом з тим виявилось, що у більшості молекул існує частина рівнів, що володіють достатньо високим консерватизмом. Ці рівні пов'язані з наявністю в молекулах відповідних структурних елементів (груп атомів), коливання яких в суттєво меншій мірі залежать від оточення (як зовнішнього, так і внутрішнього, тобто складу решти молекули). Природно, що смуги поглинання, що відповідають переходам між цими рівнями, проявляються практично в одній і тій же частині коливального спектра. Ця властивість окремих функціональних груп, незалежно від того, в яку молекулу вони входять, зберігати достатньо незмінними частоти своїх коливань, а значить положення відповідних смуг в спектрі, одержала назву характеристичності. Відповідні частоти коливань (смуг в спектрі) називаються характеристичними і для багатьох функціональних груп наводяться в спеціальних довідниках.

4. Електронна спектроскопія. Спектри у видимій та ультрафіолетовій областях

Електронні спектри поглинання виникають при поглинанні квантів електромагнітного випромінювання у видимій та ультрафіолетовій областях. Це приводить до збудження електронів і їх переходу на більш високі енергетичні рівні.

Усі електрони в молекулах умовно можна поділити на дві групи: атомні і молекулярні (валентні). Атомні електрони розташовані на внутрішніх орбіталах і не беруть участь в утворенні хімічного зв'язку молекули. Молекулярні (інакше валентні) електрони належать до зовнішніх орбіталей, утворюють хімічний зв'язок, охоплюючи ядра кількох атомів.

Розрізняють σ -, π - і n -молекулярні орбіталі. Електрони, що знаходяться на цих орбіталах, називаються відповідно σ -, π - і n -електронами. σ -електрони утворюють одинарний зв'язок. При цьому електронні оболонки перекриваються вздовж осі, що з'єднує ядра атомів. π -електрони утворюють кратний зв'язок (подвійний, потрійний). При утворенні π -зв'язку перекриття електронних оболонок здійснюється поза межами осі одинарного зв'язку. σ - і π -орбіталі можуть бути зв'язуючими (приводять до зниження загальної енергії) і розпушуючими (збільшують загальну енергію). Розпушуючі орбіталі позначають зірочкою (σ^* , π^*). n -електрони (неподілені пари), хоч і належать до зовнішніх орбіталей, локалізовані поблизу окремих атомів, охоплюють незв'язуючі орбіталі і в утворенні ковалентного зв'язку участі не беруть. За енергіями означені молекулярні орбіталі розміщують в ряд, що показано на рис 23.5

При поглинанні квантів енергії можливі такі переходи: $\sigma \rightarrow \sigma^*$, $\pi \rightarrow \pi^*$, $n \rightarrow \pi^*$, $n \rightarrow \sigma^*$. Як видно з рис.23.5, електронні переходи різняться за енергіями і відповідно місцем у спектрі. Найбільша енергія потрібна для $\sigma \rightarrow \sigma^*$ -переходів. Тому насичені органічні сполуки поглинають електромагнітне випромінювання в області вакуумного ультрафіолету ($\lambda < 170$ нм) і для нашого зору безкольорові.

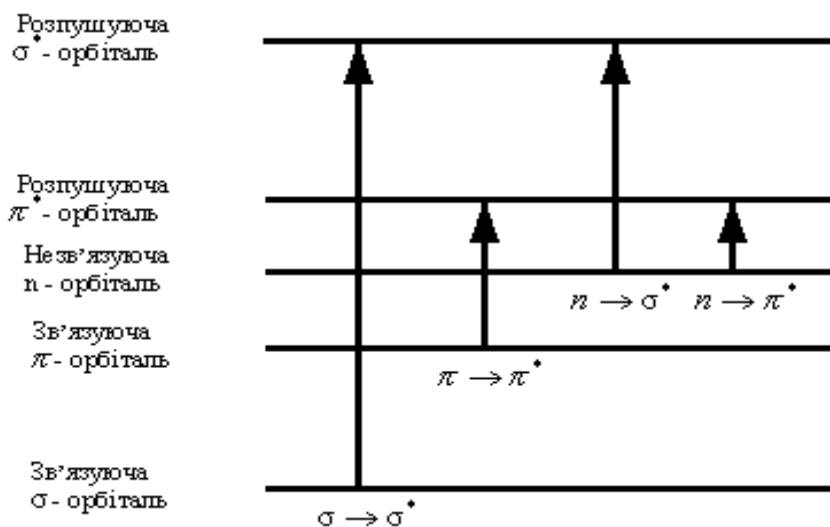


Рис. 23.5. Типи молекулярних орбіталей та електронних переходів між ними

Наявність у насичених сполуках атомів з неподіленою парою дає імовірність $n \rightarrow \sigma^*$ -переходів, що здійснюються на довгих хвилях. $\pi \rightarrow \pi^*$ -переходи виникають в молекулах, що мають кратний зв'язок. Переходи $n \rightarrow \pi^*$ спостерігаються у тих сполуках, де гетероатом (O, N, S) зв'язується кратним зв'язком з іншим атомом. У простих несполучених системах ці переходи є найбільш довгохвильовими. При сполученні кратних зв'язків вища зв'язуюча π -орбіталь може мати більшу енергію, ніж незв'язуюча n -орбіталь, і тоді найбільш довгохвильовою буде $\pi \rightarrow \pi^*$ смуга. Таким чином, знаючи будову молекули, можна передбачити можливість того чи іншого переходу. Але це ще не означає, що смуга, яка йому відповідає, буде інтенсивною, бо інтенсивність визначається такою характеристикою, як імовірність електронного переходу (найбільш точно оцінюється величиною сили осцилятора), яка може змінюватись у межах кількох порядків.

З викладеного вище ясно, що наявність певних груп атомів у молекулах зумовлює поглинання в тій чи іншій області спектра і таким чином – кольоровість сполуки. Групи атомів, що зумовлюють поглинання у видимій частині спектра, одержали назву хромофорів. Крім того, наявність в молекулах деяких груп (OH, NH₂, SH), які самі не поглинають у видимій частині спектра, але дають можливість зсуву

в спектрі основної групи поглинання та збільшення його інтенсивності, називаються ауксохромами. Ці обставини беруть до уваги, синтезуючи сполуки, що використовуються як барвники.

Електронні спектри молекул знайшли широке використання в кількісному і якісному аналізі, при вивченні міжмолекулярної взаємодії.

5.Методика використання молекулярних спектрів

5.1.Якісний аналіз

Молекулярна спектроскопія – один з найпотужніших методів якісного аналізу. Підставою для її застосування для цього є той факт, що молекулярний спектр будь-якої сполуки є суто індивідуальним. Для якісного аналізу можна використовувати всі види молекулярних спектрів. Але найбільше розповсюдження знайшли коливальні, зокрема, інфрачервоні спектри. Це пов'язано з тим, що інфрачервоні спектри дуже чутливі до структури молекул і мають зручні для аналізу особливості, наприклад, характеристичні частоти. Крім того, техніка одержання інфрачервоних спектрів достатньо проста.

Інфрачервоні спектри можуть використовуватися для якісного аналізу як окремо, так і в комплексі з іншими методами. Зрозуміло, що останній варіант має перевагу. При цьому висновки, що робляться про будову сполуки на підставі аналізу інфрачервоних спектрів, часто є остаточними.

За допомогою інфрачервоних спектрів вирішуються дві задачі якісного аналізу: ідентифікація хімічної сполуки і структурний аналіз. Ідентифікація полягає у з'ясуванні остаточного складу і молекулярної будови сполуки. Структурний аналіз може використовуватися як окрема задача або як старт на шляху ідентифікації сполуки і полягає в установленні в молекулі певних структурних елементів. Зрозуміло, що використання тієї чи іншої процедури залежить від вихідних даних.

Якщо речовина, що підлягає аналізу, належить до відомих сполук, то методика вирішення задачі ідентифікації досить проста. Вона складається з двох етапів.

Перший – одержання інфрачервоного спектра речовини, що досліджується. У разі відсутності таких даних попереднім етапом ідентифікації є структурний аналіз. При цьому треба мати на увазі, що для одержання кращого розділення смуг поглинання спектри речовини у різних областях інфрачервоного діапазону треба вимірювати в різних умовах експерименту (концентрація, товщина кювети, швидкість сканування). Звичайно спектр вимірюють у два етапи. На першому одержують оглядовий спектр для всієї інфрачервоної області. А на другому одержують детальні спектри для найбільш насичених смугами областей спектра. Для органічних речовин, наприклад, інфрачервоний спектр має три характерні області: 2500-4000 cm^{-1} – область валентних коливань зв'язків елемент-водень; 1500-2500 cm^{-1} – область «відбитків пальців», в яку попадають валентні коливання одинарних зв'язків без водню, а також більшість деформаційних коливань. Звичайно найбільш насичена смугами область 600-1800 cm^{-1} . Тому бажано у цій області мати найбільш якісний спектр з найбільшим розділенням смуг.

Другий етап – порівняння одержаного спектра із спектрами відомих сполук, які наводяться у атласі інфрачервоних спектрів. Підставою для висновку, чим є речовина, що досліджується, є повний збіг у всіх деталях (кількість смуг поглинання, їх положення та інтенсивність) її спектра і спектра із атласу.

Задача пошуку спектра у атласі суттєво полегшується, якщо відомі якісь попередні дані. Наприклад, є припущення або дані про належність речовини, що досліджується, до певного класу або групи відомих речовин.

У разі відсутності таких даних попереднім етапом ідентифікації є структурний аналіз. Як і у випадку ідентифікації, по-перше, треба одержати спектр речовини, що досліджується.

Другий етап полягає в аналізі спектра. Часто при вирішенні задачі структурного аналізу попередньо відомо бруто-склад речовини. Якщо це так, записують можливі хімічні формули сполук, що можуть відповідати даному бруто-складу. На підставі цього з'ясовуються можливі класи сполук, до яких може належати речовина, що досліджується. Це дає можливість припустити наявність у молекулі певних

структурних груп. Далі використовується одна з найважливіших властивостей інфрачервоних спектрів – характеристичність частот коливання. Для цього спектр аналізується на наявність у ньому смуг поглинання, що відповідають заданим групам. З цією метою перш за все аналізується область $1500 - 4000 \text{ см}^{-1}$, в якій аналізуються валентні коливання зв'язків за участю водню і подвійних та потрійних зв'язків, які мають найвищу характеристичність. Здебільшого, наявність таких смуг у спектрі дає можливість уже на цьому етапі зробити досить однозначний висновок щодо будови сполуки і, таким чином, вирішити задачу структурного аналізу. Для остаточного висновку порівнюють спектр, що досліджується, із спектром речовини, яка припускається на підставі структурного аналізу із атласу інфрачервоних спектрів відомих речовин.

У випадку, коли про речовину, що досліджується, попередньо нічого не відомо, вирішення задачі ідентифікації або структурного аналізу нічим не відрізняється від викладених вище випадків. Вони лише ускладнюються необхідністю розглядання більшої кількості можливих варіантів.

5.2. Кількісний аналіз

В основі використання молекулярних спектрів для кількісного аналізу лежить закон поглинання Ламберта–Бугера–Бера (див. (23.4)). З цією метою можуть використовуватися як електронні, так і коливальні спектри. Вибір залежить від наявності відповідних приладів. На практиці частіше використовують електронні спектри поглинання. Кілька загальних зауважень щодо методики кількісного аналізу.

Для дослідження, як правило, вибирають смугу поглинання з найбільшою інтенсивністю. Для визначення концентрації речовини найчастіше використовують метод калібровочного графіка. Для цього виміряють інтенсивність поглинання зразків кількох відомих концентрацій. По осі ординат краще відкладати оптичну густину, що приведена до однієї товщини зразка. В цьому випадку залежність від концентрації має лінійний характер, що полегшує використання графіка і збільшує точність визначення концентрації.

Однією з переваг використання молекулярних спектрів для кількісного аналізу є можливість у багатьох випадках дослідження сумішей без їх розділення. Для цього для дослідження вибирають таку смугу поглинання речовини, що досліджується, яка не перекривається смугами поглинання інших складових речовин, присутніх у суміші.

Але слід мати на увазі, що для кількісного аналізу зразки у твердому стані треба використовувати дуже обережно. Це пов'язано з тим, що при визначенні інтенсивності поглинання зразків у твердому стані необхідно враховувати ефекти відбиття і розсіяння. Щоб їх уникнути або зрівняти у серії досліджень, використовують спеціальні методи. Але найкраще перевести зразок у розчин.

23.1. ВІДНЕСЕННЯ СМУГ ПОГЛИНАННЯ

Мета роботи: визначення типу електронного переходу, що відповідає даній смузі.

Теоретичні відомості

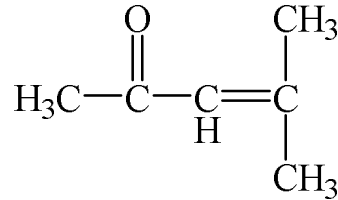
Електронні спектри поглинання складних органічних молекул, які вимірюються в близькій ультрафіолетовій та видимій областях спектра, зумовлені здебільшого $n \rightarrow \pi^*$ та $\pi \rightarrow \pi^*$ переходами. Віднесення смуг поглинання до певних типів переходів – досить складна задача. Для простих молекул існує можливість квантово-хімічного розрахунку спектрів поглинання і визначення на цій підставі типу переходу. Спектри складних молекул теоретичному розрахунку зараз не піддаються. Тому віднесення смуг поглинання складних молекул проводять за емпіричними ознаками, наведеними в табл. 23.2.

Таблиця 23.2

Ознаки	$n \rightarrow \pi^*$	$\pi \rightarrow \pi^*$
Положення смуги в спектрі, ν_{max}	25000-35000 cm^{-1} 280-350 нм	35000-45000 cm^{-1} 220-275 нм
Пікова інтенсивність, ϵ	50-150	5000-15000
Зсув максимуму при збільшенні полярності розчинника	до менших довжин хвиль	до більших довжин хвиль

Порядок виконання роботи

Розглянувши будову молекули окису мезитилу,



можна вказати можливі електронні переходи в цій молекулі.

На спектрах, виданих викладачем, визначають ν_{\max} смуг поглинання у гексані, етанолі і воді. На підставі аналізу положення, інтенсивності і напрямку зсуву смуг поглинання в різних розчинниках, використовуючи табл. 23.2, роблять висновок щодо належності смуг поглинання окису мезитилу до певних типів електронних переходів.

Визначають основні характеристики (ν_{\max} , $\Delta\nu_{1/2}$, A , f) смуги поглинання, вказаної викладачем. Роблять висновок щодо імовірності даного електронного переходу.

23.2. ВПЛИВ РОЗЧИННИКІВ НА ЕЛЕКТРОННІ СПЕКТРИ ПОГЛИНАННЯ

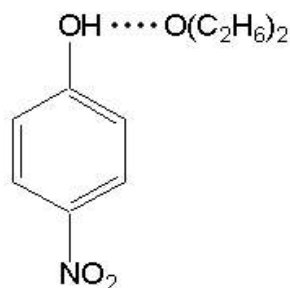
Мета роботи: вивчення міжмолекулярної взаємодії у розчинах за допомогою електронних спектрів.

Теоретичні відомості

Міжмолекулярна взаємодія у розчинах має значний вплив на електронні спектри поглинання. Наявність значної міжмолекулярної взаємодії у розчині приводить до зникнення коливальної структури смуги поглинання. У випадку сильної міжмолекулярної взаємодії смуга поглинання при цьому може ще і зсуватися, тобто змінюється положення її максимуму. Це пояснюється тим, що під впливом розчинника змінюється відстань між основним і збудженим рівнями молекули. Особливо різкий зсув смуг поглинання спостерігається при утворенні стійких міжмолекулярних комплексів, наприклад, водневого зв'язку.

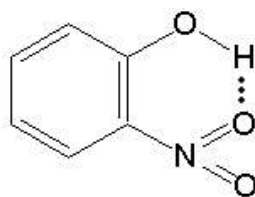
Величина зсуву максимуму поглинання, як правило, виявляється пропорційною енергії (силі) міжмолекулярної взаємодії. Ці обставини часто використовують для розпізнавання орто– і пара-ізомерів похідних бензолу, наприклад, орто– і пара-нітрофенолів.

Пара-нітрофенол в ефірі утворює сильний міжмолекулярний водневий зв'язок:



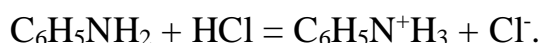
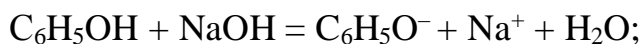
Тому при переході від інертного розчинника до ефіру смуга поглинання зсувається в бік більших довжин хвиль.

В орто-нітрофенолі атом водню ОН-групи вже бере участь у утворенні внутрішньо молекулярного водневого зв'язку



Тому при його розчиненні в ефірі міжмолекулярний водневий зв'язок не утворюється. Це приводить до того, що орто-нітрофенол взаємодіє з ефіром в незначній мірі, і смуга поглинання при зміні інертного розчинника на ефір зсувається в меншій мірі.

Метод заміни розчинника зручно використовувати для виявлення фенолів та анілінів. Аніліни – слабкі основи, а феноли – слабкі кислоти, тому ці сполуки можуть взаємодіяти з розчиненими кислотами і лугами, переходячи в іонну форму:



Ця взаємодія наочно проявляється в електронних спектрах по зсуву смуг поглинання. При заміні нейтрального розчинника на лужний смуга поглинання фенолу зсувається в бік більших довжин хвиль. У випадку анілінів заміна нейтрального розчинника на підкислений зсуває смугу поглинання в бік менших довжин хвиль.

Порядок виконання роботи

Завдання 1. Визначення міжмолекулярної взаємодії між розчинником і розчиненою речовиною

Одержують у викладача спектри однієї з таких сполук: фенолу в гексані і етанолі, піразину в циклогексані і воді, ацетофенону в гептані і метанолі.

Розглядають структуру і положення максимумів смуг поглинання даної речовини в першому і другому розчиннику. На цій підставі роблять висновок, в якому з розчинників має місце сильна міжмолекулярна взаємодія.

Потім визначають основні характеристики (v_{\max} , $\Delta v_{1/2}$, A , f) смуги поглинання, вказаної викладачем. Оцінюють імовірність даного електронного переходу.

Завдання 2. Ідентифікація ізомерів нітрофенолів

На спектрах, виданих викладачем, визначають положення максимумів смуг поглинання нітрофенолів в ізооктані і ефірі.

На підставі порівняння величин зсуву максимумів смуг поглинання нітрофенолів в ефірі в порівнянні з ізооктаном визначають, який спектр відповідає орто-нітрофенолу, а який – пара-нітрофенолу.

Визначають основні характеристики (v_{\max} , $\Delta v_{1/2}$, A , f) смуги поглинання, вказаної викладачем, оцінюють імовірність даного електронного переходу.

Завдання 3. Ідентифікація фенолу і аніліну

На спектрах, виданих викладачем, визначають положення максимумів смуг поглинання $C_6H_5AN_x$ в воді і лужному розчині, в воді і кислотному розчині. На підставі зіставлення положення максимумів смуг поглинання в двох розчинниках визначають, який зі спектрів відповідає фенолу, а який – аніліну.

Визначають основні характеристики (v_{\max} , $\Delta v_{1/2}$, A , f) смуги поглинання, вказаної викладачем, та оцінюють імовірність даного електронного переходу.

23.3. ЯКІСНИЙ АНАЛІЗ РЕЧОВИН ЗА ДОПОМОГОЮ ІНФРАЧЕРВОНИХ СПЕКТРІВ

Мета роботи: ідентифікувати речовини за допомогою ІЧ-спектрів.

Завдання І.

Описати запропонований викладачем спектр нітрофенолу. За допомогою наведених на рис.23.6 спектрів о-, м-, п-нітрофенолів та 2,4-дінітрофенолу визначити, який нітрофенол запропоновано до вашої уваги.

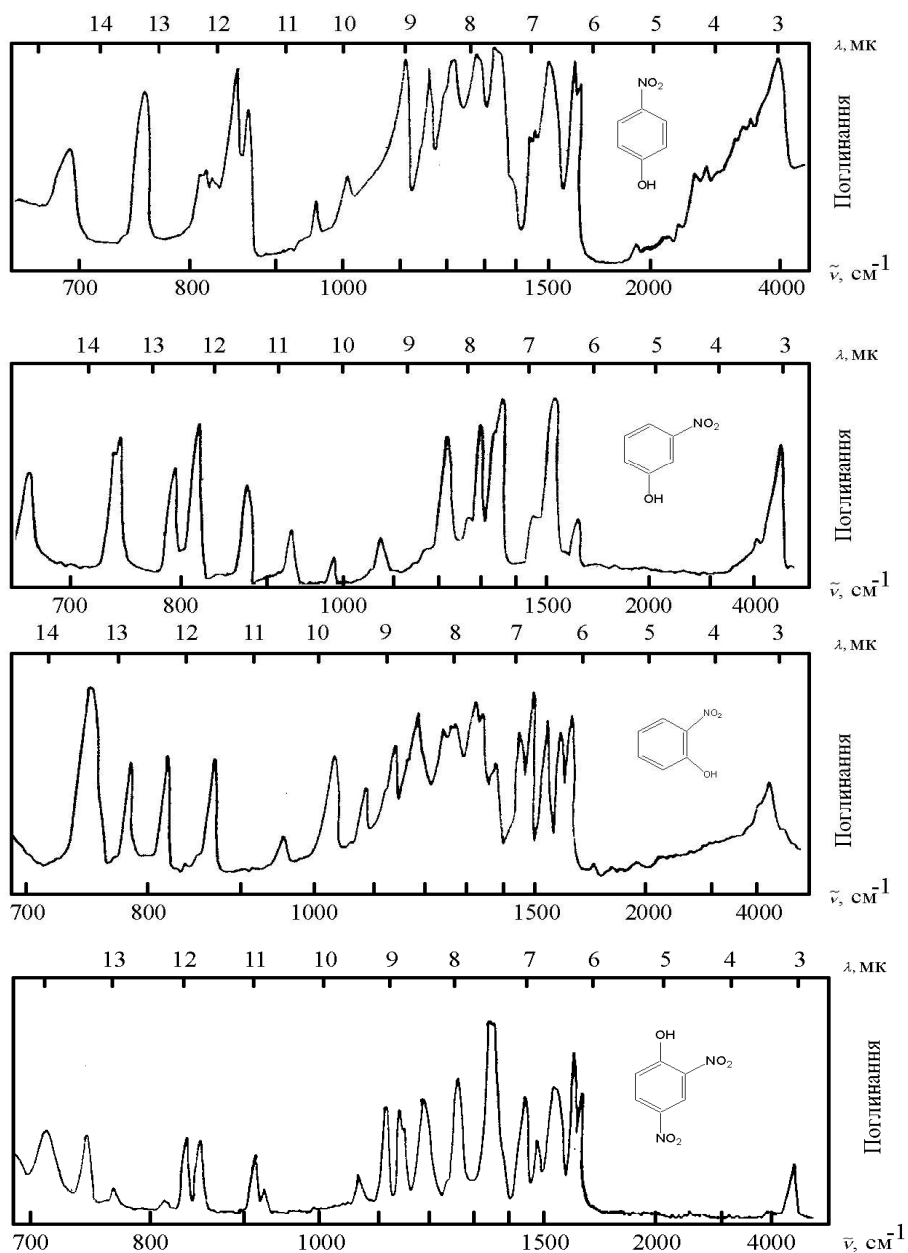


Рис.23.6. ІЧ-спектри нітрофенолів

Завдання 2.

Описати запропонований викладачем спектр галогенованого вуглеводню. За допомогою наведених на рис.23.7 спектрів різних галогенованих вуглеводнів визначити, яка сполука вам запропонована.

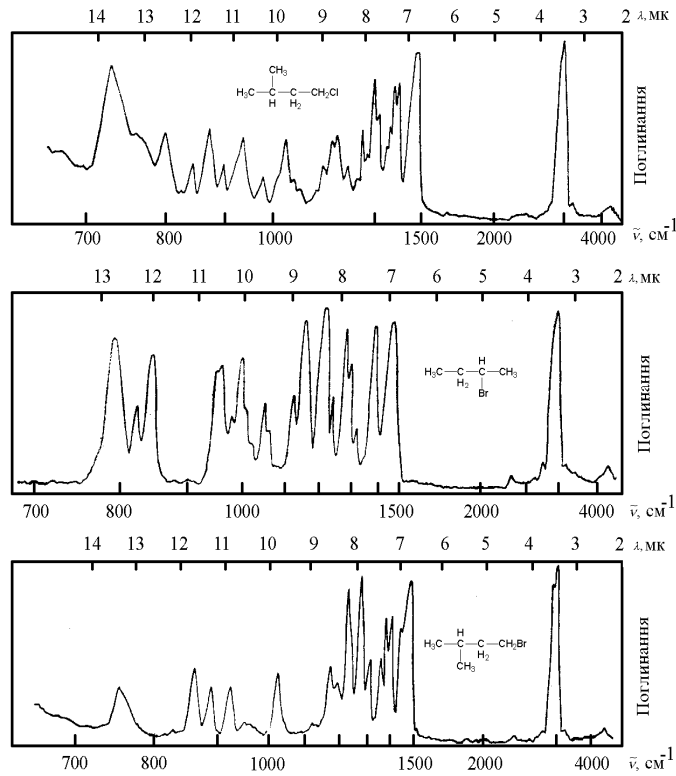


Рис.23.7. ІЧ-спектри галогенованих вуглеводнів

Завдання 3.

За допомогою наведених на рис.23.8 спектрів (ν_{max} , $\Delta\nu_{1/2}$, A , f) нафтолів визначити, який нафтол запропоновано, та описати відповідний спектр.

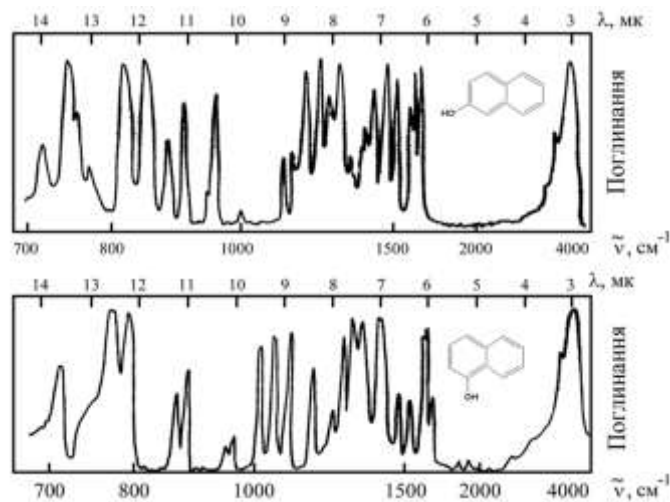


Рис.23.8. ІЧ-спектри ізомерів нафтолу

Завдання 4.

Описати запропонований спектр ксилолу та встановити тип його ізомеру.

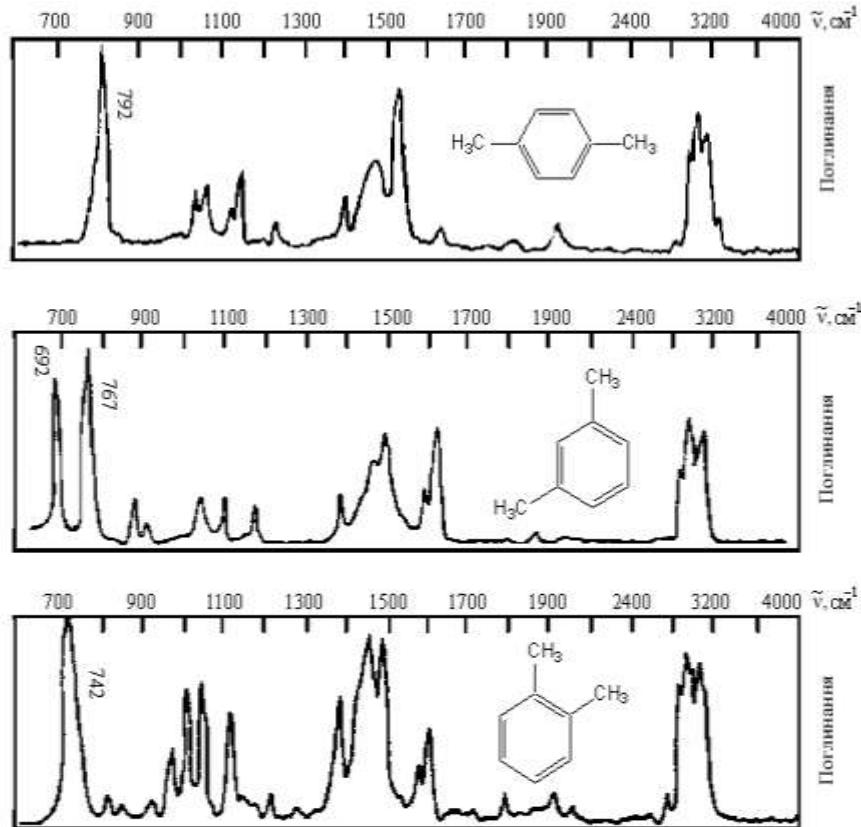


Рис.23.9. ІЧ-спектри ізомерів ксилолу.

При виконанні завдання взяти до уваги, що інфрачервоні спектри поглинання о-, м-, п-ксилолів $\text{C}_6\text{H}_4(\text{CH}_3)_2$ мають велику кількість смуг поглинання, які зумовлені валентними та деформаційними коливаннями ароматичних та аліфатичних С-Н-груп, С=С зв'язками бензольного кільця, а також коливаннями метильних груп CH_3 . Разом з цим кожний ізомер ксилолу має особливі для нього смуги поглинання в межах 600-900 і 1600-2000 cm^{-1} , що показано на рис.23.9.

Студенту необхідно виписати із запропонованого спектра хвильові числа смуг поглинання в межах 600 – 900 cm^{-1} і 1600 – 2000 cm^{-1} , порівняти їх із значеннями максимумів смуг поглинання у спектрах ізомерів, наведених на рис.23.9, та зробити висновок про тип запропонованого ізомеру.

Завдання 5.

Встановлено, що оксид алюмінію існує в декількох кристалічних модифікаціях. На рис.23.10 показані спектри α -, β - і γ - Al_2O_3 . Студент, отримавши спектр Al_2O_3 , повинен описати його та за допомогою рис.23.10 визначити модифікацію Al_2O_3 .

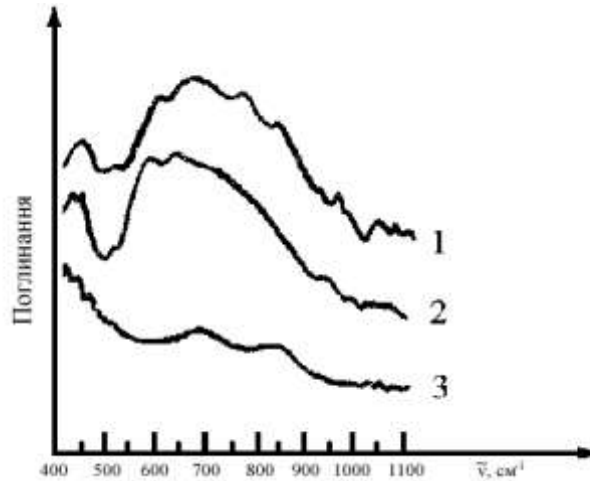


Рис.23.10. ІЧ-спектри кристалічних форм Al_2O_3 :

1 – β - Al_2O_3 ; 2 – α - Al_2O_3 ; 3 – γ - Al_2O_3

Завдання 6.

Відомо, що CaO та SiO_2 утворюють декілька силікатів різного складу. На рис.23.11 наведені спектри 4 силікатів. Студент отримує спектр силікату кальцію. Треба описати спектр та за рис.23.11, визначити склад силікату.

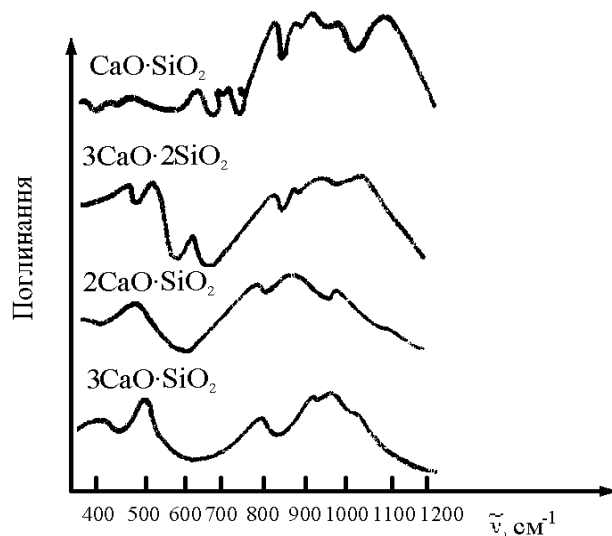


Рис.23.11. ІЧ-спектри силікатів кальцію

23.4. СТРУКТУРНИЙ АНАЛІЗ ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН ЗА ДОПОМОГОЮ ІНФРАЧЕРВОНИХ СПЕКТРІВ

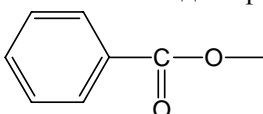
Мета роботи: визначення структурних елементів молекул органічних речовин.

За допомогою таблиці 23.3 визначити структурні елементи в молекулах органічних речовин.

Таблиця 23.3 Характеристичні частоти молекул та груп атомів

Зв'язки	Молекули і групи атомів	Хвильове число, см ⁻¹
C-H	Аліфатичні сполуки	2880-2975 (ν) 1375-1465 (δ)
C-H	Ароматичні сполуки	3030-3000
	Коливання ароматичного кільця	1440-1465; 1475-1525, 1575-1625
C-H	Спирти (вільна група OH)	3590-3650 (ν), 890-955 (δ)
O-H	Спирти (група OH з Н – зв'язком)	3300-3570
P-H	Фосфорорганічні сполуки	2350-2600
S-H	Органічні сполуки з сіркою	2550-2600
Si-H	Кремнійорганічні сполуки	2100-2300
C-O	CH ₃ OH	1100-1310
C-C	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	1200-1255
C-C	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \\ \diagdown \\ \text{CH}-\text{CH}_2- \\ \diagup \\ \text{H}_3\text{C} \end{array}$	1140-1175
C-C	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ -\text{C}-\text{C}-\text{C}- \\ \quad \\ \text{H}_2 \quad \text{CH}_3 \quad \text{H}_2 \end{array}$	950
C-C	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ -\text{C}-\text{C}-\text{C}- \\ \quad \\ \text{H}_2 \quad \text{H}_2 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	1200-1250
C=C	$\begin{array}{c} \text{H}-\text{C}=\text{C}-\text{H} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	1638-1648
C=C	$\begin{array}{c} \text{R}_1-\text{C}=\text{C}-\text{R}_2 \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	1648-1658
SO ₂	Сульфони	1120-1160, 1300-1350
S=O	Сульфоокиси	1030-1070
C=O	Зв'язок, супряжений з фенолом	1625

Продовження табл.23.3

Зв'язки	Молекули і групи атомів	Хвильове число, см ⁻¹
C=C	Зв'язок, супряжений з C-O або C-C	1600
C≡C	R—C≡C—H	2100-2140
C=C	Насичені аліфатичні альдегіди	1720-1740
C=O	Ненасичені альдегіди	1660-1705
C=O	Кетони з відкритим ланцюгом	1705-1725
C=O	Ненасичені кетони	1663-1685
C=O	Арилалкілкетони	1680-1700
C=O	Насичені аліфатичні кислоти	1700-1725
C=O	Насичені складні ефіри	1735-1750
C=O	Ароматичні карбонові кислоти	1680-1700
C=O	Ненасичені складні ефіри $\begin{array}{c} \text{---C---O---C---O---} \\ \quad \quad \quad \parallel \\ \quad \quad \quad \text{O} \end{array}$	1711-1730
C=O	Ароматичні складні ефіри 	1715-1730
NO ₂	Нітросполуки	1360-1385, 1545-1560
C≡N	Нітрили	2213-2280
C=C	$\begin{array}{c} \text{R---C=C---R} \\ \quad \quad \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	2260-2190

Завдання І.

Визначити, до якого класу належить сполука з брутто-формулою C₃H₆O.

Сполука C₃H₆O може належати до класу кетонів H₃C-CO-CH₃, альдегідів CH₃CH₂COH або спиртів CH₂=CH-CH₂OH.

Кетонна C=O, альдегідна C=O та гідроксильна O-H-групи в спиртах мають характерні тільки для них частоти коливань. Визначивши наявність однієї з них в спектрі, що досліджується, можна вирішити питання про належність даної сполуки до класу кетонів, альдегідів або спиртів.

Із запропонованого спектра сполуки C₃H₆O треба виписати хвильові числа всіх смуг поглинання. Потім із табл.23.3 взяти частоти коливань групи C=O (альдегідної і кетонної) та групи OH. Порівняти одержані значення і зробити висновок про належність сполуки C₃H₆O до відповідного класу речовин.

Завдання 2.

В цьому завданні пропонується визначити, в які функціональні групи входять кисень та сірка сполуки з брутто-формулою $C_6H_{14}O_2S$.

Із запропонованого спектра спочатку належить вписати хвильові числа всіх смуг поглинання. Потім взяти з табл.23.3 коливальні частоти функціональних груп OH, CO, SO і SO_2 і порівняти їх значення з вписаними із спектра. Визначити, в які функціональні групи входять кисень та сірка у даній сполуці. Зробити припущення про будову молекули $C_6H_{14}O_2S$.

Завдання 3.

Визначити клас органічної сполуки з брутто-формулою $C_8H_8O_2$.

Ця сполука може бути кислотою $C_6H_5-CH_2COOH$ або складним ефіром $C_6H_5-O-OCH_3$. Вирішити це питання можливо за допомогою даних табл.23.3, оскільки карбоксильна $C=O$ і ефірна $C=O$ групи мають характерні притаманні тільки для них частоти коливань.

Із запропонованого спектра студент вписує хвильові числа всіх смуг поглинання. Потім у табл.23.3 знаходить коливальні частоти групи $C=O$ (кислотної і ефірної), порівнює їх значення і робить висновок про належність сполуки $C_8H_8O_2$ до класу кислот або ефірів.

Завдання 4.

Визначити клас органічної сполуки з брутто-формулою $C_4H_{10}O$.

Сполука $C_4H_{10}O$ може бути спиртом $C_3H_7-CH_2OH$ або ефіром $C_2H_5-O-C_2H_5$. Вирішити це питання можливо за допомогою табл.23.3, оскільки спиртова OH-група має характерні тільки для неї частоти коливань, яких немає у ефірі.

Із запропонованого спектра студент вписує хвильові числа всіх смуг поглинання. Із табл.23.3 бере частоти поглинання груп-OH. Порівнює отримані значення коливальних частот і робить висновок про належність сполуки $C_4H_{10}O$ до класу спиртів або ефірів.

Завдання 5.

Визначити клас органічної сполуки з брутто-формулою $C_5H_8O_2$.

Ця сполука може бути ненасиченою кислотою $CH_3-CH_2-CH=CH-COOH$, складним ефіром $CH_2=CH-COOC_2H_5$ або дікетонном

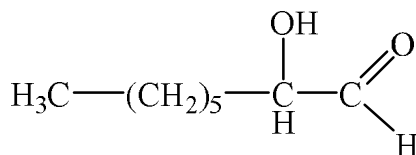
$\text{CH}_3\text{-CO-CH}_2\text{-CO-CH}_3$. Вирішити це питання можливо за допомогою даних табл.23.3, оскільки кетонна C=O , ефірна C=O та карбоксильна COOH групи мають характерні тільки для них частоти коливань.

Спочатку студент описує запропонований йому спектр. Потім виписує з нього всі хвильові числа смуг поглинання. З табл.23.3 бере частоти коливань зазначених функціональних груп. Порівнює одержані дані і робить висновок про належність сполуки $\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2$ до класу кислот, ефірів або кетонів.

Завдання 6.

Визначити клас органічної сполуки з брутто-формулою $\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}_2$.

Ця сполука може бути кислотою $\text{C}_7\text{H}_{15}\text{COOH}$, складним ефіром $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{CO-O-C}_2\text{H}_5$ або оксиальдегідом



Вирішити це питання можливо за допомогою даних табл.23.3, оскільки карбоксильна COOH , ефірна C=O , альдегідна C=O і спиртова OH групи мають характерні тільки для них частоти коливань. Студент описує запропонований йому спектр, бере з нього всі хвильові числа смуг поглинання. З табл.23.3 виписує частоти коливань зазначених функціональних груп. Порівнює виписані із таблиці значення із знайденими у спектрі і робить висновок про належність сполуки $\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}_2$ до відповідного класу речовин.

23.5. ЯКІСНИЙ АНАЛІЗ НЕОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН ЗА ДОПОМОГОЮ ІНФРАЧЕРВОНИХ СПЕКТРІВ

Мета роботи: визначити природу іона XO_4^{2-} у солях.

Теоретичні відомості

Структурною одиницею багатьох неорганічних солей є тетраедричний іон XO_4^{2-} . Тетраедричні п'ятиатомні молекули мають 9 коливальних степенів свободи ($3n - 6 = 3 \cdot 5 - 6 = 9$), які дають 4 типа коливань, наведених на рис.23.12.

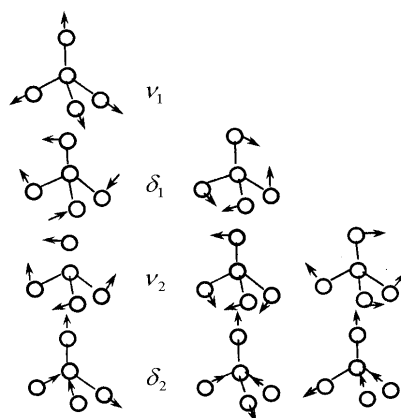


Рис.23.12. Схема коливального руху в тетраедричних молекулах:
 ν_1 – валентні симетричні коливання; δ_1 – деформаційні симетричні коливання;
 ν_2 – валентні асиметричні коливання; δ_2 – деформаційні асиметричні коливання

Два коливання δ_1 не відрізняються один від одного за енергіями і звуться двічі виродженими. Коливання ν_2 і δ_2 – тричі вироджені. У табл.23.4 наведені значення частот ν_1 , δ_1 , ν_2 , δ_2 в різних тетраедричних іонах.

Таблиця 23.4

Іони	ν_1	δ_1	ν_2	δ_2
PO_4^{2-}	970	358	1080	500
SO_4^{2-}	983	450	1105	611
$\text{Cr}_2\text{O}_4^{2-}$	847	348	884	368
MnO_4^{2-}	840	-	900	500
VO_4^{2-}	870	345	825	480
WO_4^{2-}	928	320	833	405

Через те, що у інфрачервоних спектрах поглинання спостерігаються частоти тільки тих коливань, які змінюють дипольний момент молекули, частоти ν_1 і δ_1 в них не спостерігаються. Тому інфрачервоний спектр солей з тетраедричним іоном XO_4^{2-} має дві смуги з частотами ν_2 і δ_2 .

Порядок виконання роботи

Студенту потрібно описати запропонований спектр. Виписати з нього хвильові числа смуг поглинання. Порівняти їх значення з тими, що наведені в табл.26.2 і зробити висновок про природу тетраедричного іона XO_4^{2-} у молекулі речовини.

23.6. ВИЗНАЧЕННЯ КРИСТАЛІЧНИХ ФОРМ SiO_2

Мета роботи: визначити кристалічну форму SiO_2 .

Теоретичні відомості

Двоокис кремнію SiO_2 – це одна з найбільш розповсюджених в природі сполук. Вона має багато кристалічних поліморфних модифікацій. Головними кристалічними формами є кварц, тридиміт і кристобаліт. В інфрачервоних спектрах усіх модифікацій кремнезему спостерігаються смуги поглинання в межах 1000-1250, 770-830 і 430-500 cm^{-1} . Структура і положення цих смуг змінюються в залежності від структури кристалічної решітки. Крім того, кожна модифікація має додаткові слабкі смуги, характерні тільки для неї. Це і робить можливим використання методу інфрачервоної спектроскопії для ідентифікації кристалічних форм SiO_2 як у природних копалинах, так і в технічних матеріалах. На рис.23.13 наведені характерні смуги поглинання цих кристалічних модифікацій.

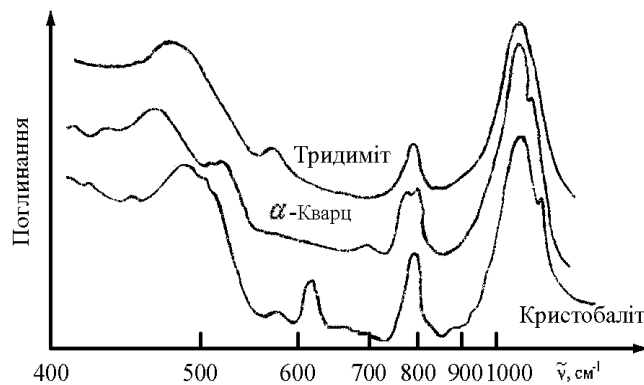


Рис.23.13. ІЧ-спектри кристалічних форм SiO_2

Зіставлення показує, що в спектрі кварцу найбільш інтенсивні смуги 1000-1250 і 770-830 cm^{-1} являють собою дублети. Крім того, в спектрі кварцу є характерні тільки для нього смуги 689-695, 510-520, 460-467 cm^{-1} . В спектрі кристобаліту перша смуга 1000-1250 cm^{-1} також являє собою дублет. Друга основна смуга 770-830 cm^{-1} має вигляд одиночної смуги. Крім того, для кристобаліту характерні смуги 617-621 і 490 cm^{-1} . В спектрі тридиміту перша інтенсивна смуга 1000-1250 cm^{-1} одиночна. Друга основна смуга 770-830 cm^{-1} також одиночна. Для тридиміту, крім того, характерні смуги 560 і 472-481 cm^{-1} .

Порядок виконання роботи

Студент описує запропонований йому спектр однієї з модифікацій SiO_2 . Потім виписує з нього хвильові числа всіх смуг поглинання. Порівнює одержані значення з наведеними у табл.23.5 та на рис.23.13 і робить висновок про кристалічну форму SiO_2 .

Таблиця 23.5

Модифікація	Хвильові числа поглинання, см^{-1}
α -кварц	1175, 1090, 797, 780, 695, 510, 460
Кристобаліт	1204, 1190, 796, 620, 490
Тридиміт	1105, 790, 569, 472

23.7. ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАЦІЇ КАТІОНІВ ПО КИСНЮ

Мета роботи: визначити координацію катіонів по кисню.

Теоретичні відомості

В інфрачервоних спектрах кристалічних неорганічних сполук положення смуг поглинання, зумовлених коливаннями атомів у зв'язках Me-O , залежить як від природи металу (Me), так і від кількості атомів кисню, що містяться навколо атомів металу, тобто від координації катіону. Вивчення координації катіону є важливим завданням при дослідженнях будови речовин і вивченні їх властивостей. У табл.23.6 наведені області поглинання у зв'язках Me-O в залежності від природи металу та координації іонів.

Таблиця 23.6

Метал	Області поглинання для координації, см^{-1}	
	XO_4	XO_6
Al	900-775, 675, 740	760, 742, 670
Si	1100	900
Ti	800-650	500-400
Zn	650-500	300
Mg	700-550	450

При збільшенні координаційного числа збільшується довжина зв'язку Me-O і зменшується його міцність. Це приводить до зменшення частот коливання зв'язків, тобто до зсуву смуг коливання в низькочастотну область.

Порядок виконання роботи

Завдання 1. Оксиди CaO і Al₂O₃ утворюють алюмінати різного складу: CaO·Al₂O₃, 5 CaO·3Al₂O₃, 12CaO·7Al₂O₃, 3CaO·Al₂O₃. На рис.23.14 наведені інфрачервоні спектри поглинання цих алюмініатів, а в табл.23.7 – хвильові числа смуг поглинання.

Таблиця 23.7

Сполуки	Хвильові числа смуг поглинання, см ⁻¹
CaO·Al ₂ O ₃	866, 840, 821, 780, 723, 680, 642, 456-400
5 CaO·3 Al ₂ O ₃	929, 880–805, 786, 743, 724, 693, 656, 639, 573, 539, 450–400
12 CaO·7 Al ₂ O ₃	877, 826, 690, 661, 644, 612, 593, 571, 450–400
3 CaO·Al ₂ O ₃	898, 861, 841, 818, 803, 787, 760, 742, 707, 670, 640, 617, 536, 509, 450-400

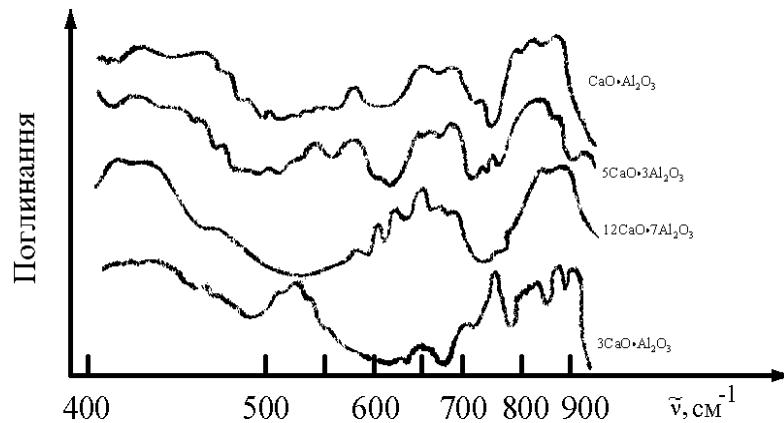


Рис.23.14. ІЧ-спектри алюмініатів кальцію

Студенту пропонується спектр одного з алюмініатів кальцію. Треба описати спектр і виписати з нього хвильові числа всіх смуг поглинання. Потім порівняти одержані значення з наведеними в табл.23.7 та рис.23.14 і зробити висновок про склад алюмінату і координацію Al.

Завдання 2.

У переважній більшості випадків кремній має координаційне число по кисню, рівне чотирьом, тобто утворює з киснем тетраедр ХО_4 . Проте, відомі випадки, коли кремній утворює з киснем октаедр ХО_6 і має координаційне число шість. Збільшення координаційного числа приводить до зсуву основної смуги 1100 см^{-1} у низькочастотну область до 900 см^{-1} .

Студенту пропонується спектр алюмінату кальцію. Треба виписати хвильові числа всіх смуг поглинання, звертаючи увагу на положення найбільш високочастотної смуги. Порівняти ці значення з наведеними в табл.23.6 і зробити висновок про координацію кремнію.

Контрольні запитання

1. Вкажіть діапазон частот або довжин хвиль, при яких відбуваються електронні переходи.
2. Вкажіть типи молекулярних орбіталей.
3. Вкажіть основні типи електронних переходів (типи смуг поглинання).
4. Вкажіть основні характеристики смуг поглинання. Фізичний зміст положення смуги в спектрі. Як визначається ця характеристика?
6. Як визначають напівширину смуги? Яку інформацію можна одержати з цієї характеристики?
7. Як визначаються пікова та інтегральна інтенсивності? Чим різняться ці поняття?
3. Що таке сила осцилятора? Як її можна визначити? Які значення приймає сила осцилятора для переходів різної імовірності?
9. Як впливає розчинник на вигляд смуг поглинання та їх основні характеристики?
10. Як впливає міжмолекулярна взаємодія на характер електронних спектрів?
11. Сформулюйте основний кількісний закон спектрофотометрії.
12. Які задачі можна вирішувати за допомогою електронної спектроскопії?

13. Яка природа інфрачервоних спектрів? Чим вони зумовлені?
14. Який вираз має енергія коливального руху і частота коливання двоатомної молекули, якщо її уподібнити гармонічному осцилятору?
15. Яку молекулярну характеристику можна визначити, одержавши ІЧ-спектр речовини?
16. Які коливання активні в інфрачервоному спектрі?
17. Як підраховують кількість нормальних коливань?
18. Які коливання звуться валентними і які – деформаційними?
19. Які частоти звуться характеристичними?
20. В якій межі довжин хвиль виміряють ІЧ-спектри?
21. Яка область частот має назву "відбитків пальців" та чому?
22. Які питання можливо вирішувати за допомогою ІЧ-спектроскопії?

Контрольні питання до роботи 23-26 /1

1. У чому причина виникнення УФ - спектрів поглинання? Як їх реєструють?
2. Як поводить ся $\pi \rightarrow \pi^*$ смуга поглинання аніліну в кислотному розчині і чому?
3. Чому спектри атомів складаються з ліній, тоді як спектри молекул складаються зі смуг?
4. Вказати типи коливань атомів в молекулах CO і CO₂.

Контрольні питання до роботи 23-26 /2

1. Для коливальних станів різниця енергій між основним і найнижчим збудженим станом становить приблизно 30 кДж/моль. Яку частоту і довжину хвилі повинен мати фотон, щоб їх викликати?
2. Як поводить ся $\pi \rightarrow \pi^*$ смуга поглинання фенолу в лужному розчині і чому?
3. Яку область в ІК спектрі називають областю «відбитків пальців» і чому?
4. Вказати типи коливань атомів в молекулі H₂O.

Контрольні питання до роботи 23-26 /3

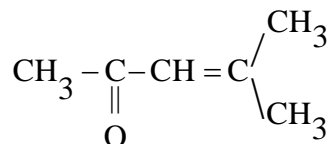
1. Які переходи можливі в УФ спектрах молекул етану і етилену?
2. Пояснити методику виявлення міжмолекулярних взаємодій в розчинах за допомогою УФ-спектрів.
3. Для повного видалення електрона з утворенням іона натрію потрібна енергія $8,232 \cdot 10^{-18}$ Дж/атом, або 4958 кДж/моль. Яку частоту і довжину хвилі для цього повинен мати фотон?
4. Чому число смуг поглинання в ІЧ-спектрі може не збігатися з розрахованим за формулами $3n-6$ або $3n-5$?

Контрольні питання до роботи 23-26 /4

1. Чи можливі $n \rightarrow \pi^*$ переходи в молекулі ацетилену і чому?
2. Різниця енергій між основним і найнижчим збудженим станом становить приблизно 300 кДж/моль. Яку частоту і довжину хвилі повинен мати фотон?
3. Пояснити, чому з дев'яти нормальних коливань тетраедричних групи в ІЧ-спектрі активні тільки два?
4. Як розрізнити в ІК спектрі нормальні і деформаційні коливання?

Контрольні питання до роботи 23-26 /5

1. Які переходи можливі в УФ спектрі молекули окису мезитила?



- Як їх розрізняють і які називають «з перенесенням заряду»?
2. Вказати порівняльні ознаки $n \rightarrow \pi^*$ і $\pi \rightarrow \pi^*$ смуг поглинання.
 3. Вказати типи коливань атомів в молекулі CO_2 .
 4. Які коливання є активними в ІК спектрі? Привести приклади.

Контрольні питання до роботи 23-26 /6

1. Які електрони називаються « σ - електронами»? Які переходи вони породжують?
2. Чим пояснюється складна структура смуги поглинання в спектрах речовин, вимірених в газовій фазі?
3. Для обертальних станів різниця енергій між основним і найнижчим збудженим станом становить приблизно 3 кДж/моль. Яку частоту і довжину хвилі для цього повинен мати фотон?
4. Визначити число «нормальних коливань» для молекули CH_4 .

Контрольні питання до роботи 23-26 /7

1. Які електрони називають « π – електронами»? Як вони проявляються в УФ спектрах?
2. Чому при переході до полярного розчинника коливальна структура смуг зникає?
3. Чому коливальні спектри інакше називають «інфрачервоними»?
4. Визначити число «нормальних» коливань для молекули CO_2 .

Контрольні питання до роботи 23-26 /8

1. Чому при підвищенні тиску вид молекулярних спектрів газів змінюється: піки стають ширшими і зливаються в смуги?
2. Як зміщується смуга $n \rightarrow \pi^*$ переходу при збільшенні полярності розчинника?
3. Яка природа коливальних спектрів молекул? Написати вираз для енергії коливального руху.
4. Які коливання називають «деформаційними»? Які види їх бувають?

Контрольні питання до роботи 23-26 /9

1. Які групи в молекулах називають «хромофорами»? У чому їх особливість?
2. У чому суть методу розпізнавання 1,2- і 1,4-нітрофенолов за допомогою УФ-спектрів?

3. Що називають «зв'язуючими» та «розпушуючими» орбіталами? У чому їхня відмінність? Назвати типи переходів в молекулі.

4. Які частоти називаються «характеристичними»? Для чого їх використовують?

Контрольні питання до роботи 23-26 /10

1. Чому УФ спектри поглинання називаються «електронно-коливально-обертальними»?

2. Чому зрушення смуги поглинання в ефірному розчині для 1,4-нітрофенолу більше, ніж для 1,2-нітрофенолу?

3. Чому видимі і УФ спектри поглинання 1-бутена ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}_2$), 1-пентена ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}_2$) и 1-гексена ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}_2$) фактично ідентичні?

4. Які коливання називаються «*n* – кратновироджені»? Як вони проявляються в спектрах?

Контрольні питання до роботи 23-26 /11

1. Які типи електронів беруть участь в подвійному і потрійному зв'язку?

2. Вказати порядок визначення та фізичний зміст коефіцієнта екстинкції.

3. Що називається «пропусканням зразка», в яких одиницях вона вимірюється?

4. У чому особливості поведінки «ізольованих» і «пов'язаних» хромофорів в ІК спектрах?

Контрольні питання до роботи 23-26 /12

1. Вказати порядок визначення та фізичний зміст півширини смуги поглинання в УФ-спектрі.

2. Що називається «поглинанням зразка» (оптичною щільністю), в яких одиницях вона вимірюється?

3. Що називається «хвильовим числом», в яких одиницях воно вимірюється і як пов'язане з довжиною хвилі світла?

4. Які коливання в ІК спектрі називаються «нормальними» і «обертонами»? Як їх розрізняють?

Контрольні питання до роботи 23-26 /13

1. Вказати порядок визначення та фізичний зміст «сили осцилятора».
2. Про що свідчить зсув полюси поглинання для переходу $\pi \rightarrow \pi^*$ в сторону довгих хвиль (на 13 нм для окису мезитила $(\text{CH}_3)_2\text{C}=\text{CHCOCH}_3$) зі збільшенням полярності розчинника?
3. Що називається «молярним коефіцієнтом поглинання», в яких одиницях вона вимірюється і від чого залежить?
4. У чому причини відхилення від закону Бера? Як їх усунути?

Контрольні питання до роботи 23-26 /14

1. Які атоми або групи називаються «ауксохромними»?
2. Вказати порядок визначення та фізичний зміст положення смуги поглинання в УФ-спектрі.
3. Що називається «хімічним відхиленням» від закону Бера? Які причини його викликають?
4. Яка умова необхідно виконати, щоб відбувалося поглинання з перенесенням заряду?

Контрольні питання до роботи 23-26 /15

1. Вказати порядок визначення та фізичний зміст півширини смуги поглинання в УФ-спектрі.
2. В яких одиницях вимірюється інтенсивність поглинання?
3. Для розриву Н – Н зв'язку в молекулі водню потрібно 435 кДж/моль. Розрахувати довжину хвилі світла, достатню для дисоціації молекули водню на атоми. В якій області спектра знаходиться ця довжина хвилі?
4. Вказати найбільш часто вживані способи подання спектрів поглинання. Який спосіб краще і чому?

Контрольні питання до роботи 23-26 /16

1. Чим пояснюється відмінність в характері спектра поглинання одного і того ж речовини в різних областях спектру (мікрохвильова, ІК -, видима і УФ - області)?

2. В ІЧ - спектрі поглинання суміші Cl_2 и Br_2 при нормальному тиску спостерігається смуга з хвильовим числом 440 см^{-1} . Чому можна приписати появу цієї смуги?

3. Від яких величин залежить оптична щільність розчину поглинаючої речовини в інертному розчиннику, що не поглинає світло?

4. Які правила відбору для переходів між коливальними станами в ІЧ- спектрі поглинання двохатомних молекул?

Контрольні питання до роботи 23-26 /17

1. Поясніть причину того, що Br_2 не може виявити поглинання в ІЧ-області, а HBr дає смугу поглинання при 2559 см^{-1} .

2. Що змінюється в коливальному русі молекули при її переході на більш високий коливальний рівень?

3. Від чого залежить величина кванта енергії, яку випромінює збуджений атом?

4. Які частоти називаються характеристичними і чому?

Контрольні питання до роботи 23-26 /18

1. У яких областях спектра можна спостерігати електронні смуги поглинання молекул?

2. В якому співвідношенні знаходяться енергії, необхідні для порушення коливального, обертального руху і для збудження електронів?

3. Які зв'язку називають σ - і π - зв'язками? Яке розташування електронних хмар в обох випадках?

4. На чому заснований якісний і кількісний спектральний аналіз речовини?

Контрольні питання до роботи 23-26 /19

1. Який математичний вираз умови активності молекулярного коливання в ІК - спектрі поглинання (μ - дипольний момент, α - електронна поляризованість, q - координата коливань)?

2. В яких одиницях вимірюється хвильове число?

3. Як змінюються відстані між коливальними термами молекули зі збільшенням коливального квантового числа?

4. Що таке іонізаційний потенціал і в яких одиницях його вимірюють?

Контрольні питання до роботи 23-26 /20

1. При переході від газу до рідкої фази того ж речовини вид електронного спектра поглинання помітно змінюється. Що це за зміни? У чому їх причина?

2. Від яких величин залежить оптична щільність розчину поглинає речовини в інертному розчиннику, що не поглинає світло?

3 Як пов'язано хвильове число з довжиною хвилі?

Контрольні питання до роботи 23-26 /21

1. Яку область в ІЧ-спектрі називають областю «відбитків пальців і чому?

2. Як поводить ся $\pi \rightarrow \pi^*$ смуга поглинання фенолу в лужному розчині і чому?

3 Для коливальних станів різниця енергій між основним і найнижчим збудженим станом становить приблизно 30 кДж/моль. Яку частоту та довжину хвилі повинен мати фотон, щоб їх викликати?

4. Вказати типи коливань атомів у молекулі H_2O .

Контрольні питання до роботи 23-26 /22

1. Чому число смуг поглинання в ІЧ спектрі може не збігатися з розрахованим за формулами $3n-6$ або $3n-5$?

2. Пояснити методику виявлення міжмолекулярних взаємодій у розчинах за допомогою УФ-спектрів.

3. Для повного видалення електрона з утворенням іону натрію потрібна енергія $8,232 \cdot 10^{-18}$ Дж/атом, або 4958 кДж/моль. Яку частоту та довжину хвилі для цього повинен мати фотон?

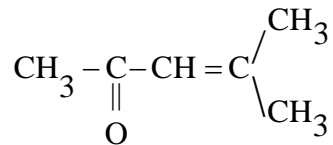
4. Які переходи можливі в УФ-спектрах молекул етану та етилену?

Контрольні питання до роботи 23-26 /23

1. Як розрізнити в ІЧ-спектрі нормальні та деформаційні коливання?
2. Різниця енергій між основним і найнижчим збудженим станом становить приблизно 300 кДж/моль. Яку частоту і довжину хвилі повинен мати фотон?
3. Пояснити, чому з дев'яти нормальних коливань тетраедричної групи в ІЧ-спектрі активні тільки два?
4. Чи можливі $n \rightarrow \pi^*$ переходи в молекулі ацетилену та чому?

Контрольні питання до роботи 23-26/24

1. Вказати порівняльні ознаки $n \rightarrow \pi^*$ і $\pi \rightarrow \pi^*$ смуг поглинання. Як їх розрізняють і які називають «з перенесенням заряду»?
2. Які переходи можливі в УФ-спектрі молекули окису мезитилу?



3. Вказати типи коливань атомів у молекулі CO_2 .
4. Які коливання є активними в інфрачервоному спектрі? Навести приклади.

Контрольні питання до роботи 23-26 /25

1. Для обертальних станів різниця енергій між основним і найнижчим збудженим станом становить приблизно 3 кДж/моль. Яку частоту та довжину хвилі для цього повинен мати фотон?
2. Чим пояснюється складна структура смуги поглинання у спектрах речовин, вимірених у газовій фазі?
3. Які електрони називаються « σ -електронами»? Які переходи вони породжують?
4. Визначити число «нормальних коливань» молекули CH_4 .

Контрольні питання до роботи 23-26 /26

1. Чому коливальні спектри інакше називають «інфра-червоними»?
2. Чому при переході до полярного розчинника коливальна структура смуг зникає?
3. Які електрони називають « π -електронами»? Як вони проявляються в УФ-спектрах?
4. Визначити кількість «нормальних» коливань молекули CO_2 .

Контрольні питання до роботи 23-26 /27

1. Як зміщується смуга $n \rightarrow \pi^*$ переходу зі збільшенням полярності розчинника?
2. Яка природа коливальних спектрів молекул? Написати вираз для енергії коливального руху.
3. Чому при підвищенні тиску вид молекулярних спектрів газів змінюється: піки стають ширшими і зливаються в смуги?
4. Які коливання називають «деформаційними»? Які види їх бувають?

Контрольні питання до роботи 23-26 /28

1. Чому УФ-спектри поглинання називаються «електронно-коливально-обертальними»?
2. У чому суть методу розпізнавання 1,2- та 1,4-нітрофенолів за допомогою УФ-спектрів?
3. Що називається «зв'язуючими» і «розпушуючими» орбіталами? У чому їхня відмінність? Назвати типи переходів у молекулі.
4. Які частоти називаються «характеристичними»? Навіщо їх використовують?

Контрольні питання до роботи 23-26 /29

1. Вказати типи коливань атомів у молекулах CO та CO_2 .
2. Чому зсув смуги поглинання в ефірному розчині для 1,4-нітрофенолу більше, ніж для 1,2-нітрофенолу?

3. Чому видимі та УФ-спектри поглинання 1-бутену ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}_2$), 1-пентену ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}_2$) та 1-гексену ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}_2$) фактично ідентичні?

4. Які коливання називаються « n – кратновиродженими»? Як вони проявляються у спектрах?

Контрольні питання до роботи 23-26 /30

1 Вказати порядок визначення та фізичний зміст коефіцієнта екстинкції.

2. Які типи електронів беруть участь у подвійному та потрійному зв'язку?

3. Що називається «пропусканням зразка», у яких одиницях воно вимірюється?

4. У чому особливості поведінки «ізольованих» і «сполучених» хромофорів в ІЧ-спектрах?

Контрольні питання до роботи 23-26 /31

1. Що називається «поглинанням зразка» (оптичною щільністю), в яких одиницях воно вимірюється?

2. Що називається «хвильовим числом», у яких одиницях воно вимірюється і як пов'язане з довжиною хвилі світла?

3. Вказати порядок визначення та фізичний зміст напівширини смуги поглинання в УФ-спектрі

4. Які коливання в ІЧ-спектрі називаються «нормальними» і «обертонами»? Як їх розрізняють?

Контрольні питання до роботи 23-26 /32

1. Про що свідчить зрушення полюси поглинання для переходу $\pi \rightarrow \pi^*$ у бік довгих хвиль (на 13 нм для окису мезитилу) зі збільшенням полярності розчинника?

2. Вказати порядок визначення та фізичний зміст «сили осцилятора».

3. Що називається «молярним коефіцієнтом поглинання», у яких одиницях воно вимірюється і від чого залежить?

4. У чому причина відхилення від закону Бера? Як їх усунути?

Контрольні питання до роботи 23-26 /33

1. Які атоми чи групи називаються «ауксохромними»?
2. Вказати порядок визначення та фізичний зміст положення смуги поглинання в УФ-спектрі.
3. Що називається «хімічним відхиленням» від закону Бера? Які причини його спричиняють?
4. Чому спектри атомів та ядер складаються з ліній, тоді як спектри молекул складаються зі смуг?

Контрольні питання до роботи 23-26 /34

- 1 Вказати порядок визначення та фізичний зміст коефіцієнта екстинкції.
2. Пояснити методику виявлення міжмолекулярних взаємодій у розчинах за допомогою УФ-спектрів.
3. Для розриву Н – Н зв'язку в молекулі водню потрібно 435 кДж/моль. Розрахувати довжину хвилі світла, достатню дисоціації молекули водню на атоми. У якій галузі спектру знаходиться ця довжина хвилі?
4. Чому кількість смуг поглинання в ІЧ-спектрі може не збігатися з розрахованим за формулами $3n-6$ або $3n-5$?

Контрольні питання до роботи 23-26 /35

1. Які електрони називаються « σ – електронами»? Які переходи вони породжують?
2. Чим пояснюється складна структура смуги поглинання в спектрах речовин, виміряних в газовій фазі?
3. Для обертальних станів різниця енергій між основним і найнижчим збудженим станом становить приблизно 3 кДж/моль. Яку частоту і довжину хвилі для цього повинен мати фотон
4. Від чого залежить величина кванта енергії, яку випромінює збуджений атом?

Література

1. Руднева С.І., Сахненко М.Д., Некрасов О.П., Дженюк А.В., Фізична хімія ONLINE. Ч.ІІ Термодинаміка та рівноваги: Навчальний посібник для студентів інженерно-хімічних спеціальностей. –Харків: ФОП Панов А.М., 2023. –308 с.
2. Руднева С.І., Сахненко М.Д., Дженюк А.В., Желавська Ю.А. Фізична хімія ONLINE. Ч.1: Навчальний посібник для студентів інженерно-хімічних напрямів освіти. –Харків: ФОП Панов А.М., 2021. –338 с.
3. Руднева С.І., Дженюк А.В., Сахненко М.Д. Фізична хімія: навчальний посібник для самостійної та дистанційної підготовки до лабораторних робіт з курсу фізичної хімії для студентів хімічних спеціальностей. – Харків: ФОП Панов А.М., 2020. – 270 с.
4. Фізична хімія. Хімічна термодинаміка [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» / уклад.: Т.А. Каменська, Г.А. Рудницька, М.Є. Пономарьов ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 2,594 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 257 с.
<https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/48492/1/Fizychna.pdf>

Навчальне видання
Серія «Фізична хімія ONLINE»

РУДНЄВА Світлана Іванівна
САХНЕНКО Микола Дмитрович
НЕКРАСОВ Олександр Павлович
ДЖЕНЮК Анатолій Володимирович
ЄРМОЛЕНКО Ірина Юріївна

Навчальний посібник
для студентів інженерно – хімічних напрямків освіти

ФІЗИЧНА ХІМІЯ ON LINE

Навчальний посібник
для студентів інженерно-хімічних спеціальностей

Частина III
Кінетика. Електрохімія. Будова речовини

Відповідальний за випуск проф. *М.Д. Сахненко*
Роботу до видання рекомендував проф. *Я.М. Пітак*

В авторській редакції

План 2024 р., поз.

Підп. до друку 2024 р. Фоормат 60x84 1/16.

Папір офсетний. Друк офсетний. Гарнітура Times New Roman. Ум.

друк. арк. 17,9. Наклад 50 прим. Зам. №

Ціна договірна