

ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ МЕДИЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені Данила Галицького
КАФЕДРА ЗАГАЛЬНОЇ, БІОНЕОРГАНІЧНОЇ, ФІЗКОЛОЇДНОЇ ХІМІЇ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ **З ФІЗИЧНОЇ ТА КОЛОЇДНОЇ ХІМІЇ**

для самостійної роботи студентів
другого (магістерського) рівня вищої освіти
галузі знань 22 «Охорона здоров'я»
спеціальності 226 «Фармація, промислова фармація»

Методичні вказівки уклали викладачі кафедри загальної, біоорганічної, фізколоїдної хімії ЛНМУ: професор Драпак І.В., доценти Голос І.Я., Кленіна О.В., Огурцов В.В., Роговик В.Й.

За загальною редакцією: завідувача кафедри, професора Драпак І.В.

Методичні вказівки обговорені і схвалені до друку цикловою методичною комісією з фізико-хімічних дисциплін (протокол № 2 від 14 квітня 2021 р.).

ВСТУП

Фізична і колоїдна хімія – одна із фундаментальних дисциплін у системі вищої фармацевтичної освіти, яка завершує хімічну підготовку провізора. Знання теоретичних основ фізичної та колоїдної хімії необхідні для більш глибокого вивчення аналітичної, фармацевтичної, біологічної та токсикологічної хімії, фармакогнозії та технології ліків. Знання з фізичної і колоїдної хімії дозволять майбутньому фахівцю оволодіти певним мінімумом знань у галузі виготовлення, контролю якості та зберігання ліків а також їх біотрансформації в організмі людини.

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

Колоїдна хімія – це наука, що вивчає властивості гетерогенних високодисперсних систем і ВМР та процеси, що в них відбуваються.

Методичні вказівки складені з урахуванням специфіки заочного навчання. Вони передбачають систематичну самостійну роботу над теоретичним матеріалом згідно наведеної програми. У методичних вказівках до кожного заняття і в завданнях для контрольних робіт вказані розділи програми, які необхідно засвоїти.

Завдання для виконання контрольних робіт студенти заочної форми навчання отримують на кафедрі у вигляді індивідуальних варіантів у період проведення настановних лекцій і виконують їх самостійно у міжсесійний період.

При виконанні контрольної роботи необхідно дотримуватись такої послідовності дій:

- а) спочатку ознайомитись з навчальною програмою курсу та вибрати необхідну літературу;
- б) в процесі роботи з підручником слід робити короткий конспект, в якому записувати основні положення теми, закони їх математичний та графічний вирази, хімічні формули і рівняння;
- в) після опрацювання теоретичного матеріалу кожного розділу потрібно дати відповідні на теоретичні питання або виконати ситуаційні задачі контрольної роботи, скориставшись даними методичними вказівками;
- г) контрольні роботи необхідно оформити в учнівському зошиті, переписавши спочатку повністю питання чи умову ситуаційної задачі, а потім дати чітку відповідь на питання або розв'язок ситуаційної задачі; при розв'язуванні задачі необхідно коротко пояснити методiku її розв'язування;
- д) під час захисту контрольної роботи (співбесіди з викладачем), студент повинен самостійно пояснити всі розв'язки ситуаційних задач і дати відповіді на теоретичні питання, що стосуються роботи.

Студенти, які успішно здали контрольні роботи і виконали лабораторний практикум, одержують залік і допускаються до екзамену, який відбувається після завершення вивчення дисципліни.

Програма з фізичної та колоїдної хімії

Фізична хімія

Вступ

Предмет фізичної хімії. Теоретичні та експериментальні методи фізичної хімії.

М.В.Ломоносов і М.М.Бекетов – основоположники фізичної хімії. Основні етапи розвитку фізичної хімії. Місце фізичної хімії серед інших наук. Фізична хімія і фармація.

Термодинаміка хімічної рівноваги

Виведення закону діючих мас. Різні способи вираження константи хімічної рівноваги. Рівняння ізотерми хімічної реакції Вант-Гоффа і його аналіз. Залежність константи рівноваги від температури. Рівняння ізохори та ізобари хімічної реакції. Константа хімічної рівноваги і принцип Ле-Шательє. Обчислення констант рівноваги за допомогою таблиць стандартних термодинамічних величин. Використання закономірностей гомогенної рівноваги для збільшення виходу продуктів у хімічному та фармацевтичному виробництвах. Рівновага в гетерогенних реакціях.

Термодинаміка фазової рівноваги і розчинів

Поняття про фазу, компонент, термодинамічні ступені свободи та хімічний потенціал. Правило фаз Гіббса. Діаграма стану однокомпонентної системи. Рівняння Клаузіуса-Клапейрона. Фазові діаграми двокомпонентних систем. Фізико-хімічний аналіз (М.С.Курнаков). Термічний аналіз, його застосування у фармацевтичній практиці.

Поняття про розчин. Способи вираження концентрації розчинів. Ідеальні та реальні розчини. Закон Рауля. Відхилення від закону Рауля в реальних розчинах. Рівняння Рауля. Зміна температур замерзання та кипіння рідин внаслідок утворення розчинів. Кріоскопія і ебуліоскопія. Осмос. Осмотичний тиск. Осмометрія.

Рівновага пара-рідина. Закони Коновалова. Азеотропні суміші. Фракційна перегонка. Побудова та принцип дії ректифікаційної колонки. Застосування ректифікації у хімічному і фармацевтичному виробництві. Перегонка з водяною парою. Перегонка під вакуумом. Молекулярна перегонка.

Взаємна розчинність рідин. Критична температура розчинності. Аналіз діаграм взаємної розчинності рідин.

Розподіл речовини між двома незмішуваними розчинниками. Закон розподілу Нернста. Рівняння Шилова-Лепинь. Екстракція, її значення для фармації.

Буферні розчини. Механізм дії. Буферна ємність. Значення буферних розчинів для фармації.

Термодинаміка розчинів електролітів

Ізотонічний коефіцієнт. Теорія Арреніуса. Ступінь дисоціації. Концентраційна та термодинамічна константа дисоціації. Міжйонна взаємодія у розчинах сильних електролітів. Теорія Дебая-Гюккеля. Поняття про іонну атмосферу. Іонна сила розчину. Коефіцієнт активності електроліту і його залежність від іонної сили розчину.

Електрична провідність розчинів електролітів

Питома електрична провідність, залежність її від концентрації розчину для сильних і слабких електролітів. Молярна електрична провідність, залежність її від розведення. Молярна електрична провідність при нескінченному розведенні. Закон Кольрауша. Кондуктометрія, визначення ступеня та константи дисоціації, добутку

розчинності. Кондуктометричне титрування та його значення для фармацевтичного аналізу.

Електродні потенціали та електрошумні сили

Механізм виникнення електродного потенціалу. Рівняння Нернста. Класифікація електродів. Електроди першого роду. Водневі електрод Електроди другого роду. Окислювально-відновні електроди. Іонселективні електроди (ІСЕ).Скляний електрод. Визначення іонного показника (водневого, металевого, аніонного). Застосування ІСЕ у фарманалізі. Класифікація гальванічних елементів. Оборотні та необоротні гальванічні елементи. Потенціометрія. Потенціометричне титрування та його значення для аналізу лікарських речовин.

Нерівноважні електродні процеси

Напруга розкладу речовини під час електролізу. Потенціал виділення іонів і перенапруга. Полярнографія та її застосування у фармації

Кінетика хімічних реакцій та каталіз

Хімічна кінетика та її значення для фармацевтичної науки і практики. Швидкість реакції та методи її визначення. Залежність швидкості реакції від різноманітних факторів. Молекулярність і порядок реакції. Рівняння кінетики реакції першого, другого та нульового порядків.. Складні реакції (паралельні, послідовні, оборотні, спряжені). Методи визначення порядку реакції.

Залежність константи реакції від температури. Правило Вант-Гоффа. Теорія активних співударів. Енергія активації. Рівняння Арреніуса. Використання правила Вант-Гоффа та рівняння Арреніуса для прискореного визначення строків придатності ліків. Зв'язок між швидкістю реакції та енергією активації.

Ланцюгові реакції (М.М. Семенов). Окремі стадії ланцюгової реакції. Прості та розгалужені ланцюгові реакції. Фотохімічні реакції. Закони фотохімії.

Каталіз. Роль вітчизняних вчених у розвитку вчення про каталіз. Гомогенний каталіз, його механізм. Енергія активації каталітичних реакцій. Кислотно-основний каталіз. Гетерогенний каталіз. Ферментативний каталіз. Мультиплетна теорія гетерогенного каталізу (А.А. Баландін). Теорія активних ансамблів (М.І. Кобозев). Інгібітори. Застосування каталізаторів у фармацевтичній промисловості.

Фізико-хімія поверхневих явищ

Поверхневі явища та їх значення у фармації. Поверхнева енергія і поверхневий ватаг. Змочуванні Крайовий кут. Практичне значення явища змочування. Сорбційні процеси і їх класифікація. Адсорбція: основні поняття та визначення. Рівняння адсорбції Гіббса.

Адсорбція на межі поділу рідина-газ. Поверхневий натяг розчинів. Поверхнево-активні і поверхнево-інактивні речовини. Ізотерма поверхневого натягу розчинів поверхнево-активних речовин (ПАР). Рівняння Шишковського. Поверхнева активність, її визначення. Правило Дюкло-Траубе.

Теорія мономолекулярної адсорбції Ленгмюра. Рівняння ізотерми адсорбції Ленгмюра, його виведення і аналіз. Будова мономолекулярного шару. Визначення розмірів молекули ПАР.

Теорія полімолекулярної адсорбції (БЕТ, Поляні).

Адсорбції на межі поділу тверде тіло-газ і тверде тіло-розчин. Експериментальне визначення адсорбції на цих межах поділу. Емпіричне рівняння адсорбції Фрейндліха, його практичне застосування у фармації. Фактори, що впливають на адсорбцію газів і розчинених речовин. Правило зрівнювання полярності (П.О. Ребіндер). Гідрофільні і гідрофобні адсорбенти.

Адсорбція електролітів. Адсорбція іонів на твердий поверхні. Правило Паннета-Фаянса. Іонообмінна адсорбція. Іоніти, їх класифікація і застосування у фармації.

Поняття про хроматографію (М.С.Цвет). Класифікація хроматографічних методів за технікою виконання і за механізмом процесу. Застосування хроматографії для одержання, аналізу та очищення лікарських речовин. Гель-фільтрація.

Колоїдна хімія

Природа, класифікація, одержання та очищення колоїдних систем

Предмет колоїдної хімії та її значення в фармації. Основні етапи розвитку колоїдної хімії. Т. Грем і І.Г. Борщов – основоположники колоїдної хімії. Роль вітчизняних та закордонних вчених у становленні колоїдної хімії як науки. Значення колоїдної хімії для розвитку досліджень у галузі біотехнології і фармації.

Дисперсні системи. Дисперсна фаза і дисперсійне середовище. Ступінь дисперсності. Класифікація дисперсних систем за ступенем дисперсності, за агрегатним станом дисперсної фази та дисперсійного середовища, за відсутністю чи наявністю взаємодії дисперсної фази з дисперсійним середовищем. Методи одержання колоїдних систем. Методи очищення золів: діаліз, електродіаліз, ультрафільтрація, електроультрафільтрація.

Електричний заряд колоїдних частинок і електрокінетичні явища

Механізм виникнення електричного заряду колоїдних частинок. Будова подвійного електричного шару. Будова міцели. Електротермодинамічний та електрокінетичний потенціали. Електрокінетичні явища: електрофорез, електроосмос, потенціал протікання, потенціал зсідання. Зв'язок між електрокінетичним потенціалом і електрофоретичною швидкістю колоїдних частинок (рівняння Гельмгольца-Смолуховського). Електрофоретичний і електроосмотичний методи визначення електрокінетичного потенціалу. Практичне використання електрокінетичних явищ у фармації.

Молекулярно-кінетичні та оптичні властивості колоїдних систем

Молекулярно-кінетичні властивості колоїдних систем. В'язкість ліофобних золів. Седиментаційна рівновага. Ультрацентрифугування, застосування для дослідження колоїдних систем. Розсіювання та поглинання світла (рівняння Релея). Ультрамікроскоп і електронна мікроскопія колоїдних систем. Визначення форми, розмірів та міцелярної маси колоїдних частинок.

Стійкість і коагуляція колоїдних систем

Стійкість колоїдних розчинів, фактори стійкості. Коагуляція і фактори, що її викликають. Коагуляція: повільна та швидка. Поріг коагуляції та його визначення. Правило Шульце-Гарді. Теорія коагуляції ДЛФО. Нейтралізаційна та концентраційна коагуляції. Коагуляція золів сумішшю електролітів. Взаємна коагуляція. Явище звикання. Колоїдний захист. Значення стабілізації колоїдних систем для приготування ліків.

Аерозолі та порошки

Аерозолі: класифікація, одержання, властивості. Агрегативна стійкість і фактори, що її визначають. Методи руйнування аерозолів. Застосування аерозолів у фармації. Порошки та їх властивості. Злежування, грануляція та розпилювання порошків.

Суспензії та емульсії

Суспензії: одержання та властивості. Стійкість суспензій. Седиментаційний аналіз суспензій (М.А. Фігуровський). Паста. Емульсії: методи одержання і властивості.

Типи емульсій. Емульгатори і механізм їх дії. Обернення фаз емульсій. Застосування емульсій та суспензій у фармації.

Колоїдні поверхнево-активні речовини

Колоїдні ПАР: мила, детергенти, дубильні речовини, барвники. Міцелоутворення в розчинах колоїдних ПАР. Критична концентрація міцелоутворення та її визначення. Солюбілізація та її значення у фармації. Колоїдні ПАР у фармації.

Фізико-хімія високомолекулярних речовин (ВМР)

Поняття про ВМР, методи їх одержання і класифікація. Структура і форма макромолекул, типи зв'язку між ними.. Набухання і розчинення ВМР. Вплив різних факторів на величину набухання. Ліотропні ряди. Кінетика набухання. В'язкість розчинів ВМР. Відхилення властивостей розчинів ВМР від законів Ньютона і Пуазейля. Аномальна і структурна в'язкість. Методи визначення в'язкості. Рівняння Ейнштейна, Бінгама, Штаудінгера. Віскозиметричний метод визначення молекулярної маси полімерів. Осмотичний тиск розчинів ВМР. Рівняння Галлера. Поліелектроліти. Ізоелектрична точка і методи її визначення. Мембранна рівновага Доннана. Значення цього процесу для вивчення транспорту лікарських речовин у клітини організму. Драгли (гелі) та їх властивості. Драглювання (желатинування): швидкість, механізм. Тіксотропія. Висолування. Коацервація. Синерезис. Періодичні реакції в драглях.

Завдання до контрольної роботи

Розділ I

Термодинаміка фазової та хімічної рівноваги

A. Термодинаміка фазової рівноваги

Значення матеріалу теми. Гомогенні та гетерогенні рідкі системи, які перебувають у рівновазі з пароподібними чи твердими фазами, широко розповсюджені та використовуються у фармацевції і в інших галузях народного господарства. Стан таких систем залежить від наявності певних компонентів, температури, тиску та інших факторів. Їх фізико-хімічні властивості описуються за допомогою діаграм типу «склад – властивість». Аналіз таких діаграм дозволяє підібрати оптимальний склад сумішей у технології м'яких лікарських форм: мазей та лініментів, паст, супозиторіїв, глобул тощо.

У випадку розподілу компонентів між двома рідкими фазами на основі закону розподілу Нернста можна вибрати оптимальні умови для екстракції лікарської речовини, її подальшої очистки та концентрування. Для систем з необмеженою взаємною розчинністю рідких і летких рідин на основі рівноваг типу «рідина – пара» можна розраховувати оптимальні умови для розділення сумішей методами простої або фракційної перегонки та ректифікації.

Мета роботи. Поглибити розуміння суті процесів і закономірностей, що лежать в основі фізико-хімічного аналізу сумішей порошків, які використовуються у фармацевції, навчитися будувати діаграми топлення двокомпонентних систем і застосовувати до них правило Гіббса, вміти визначати коефіцієнт розподілу 3-го компонента між двома рідкими фазами та розрахувати ефективність екстракції.

На основі аналізу діаграм «склад – властивість» вміти визначати число фаз, компонентів і ступенів вільності, а також видавати практичні рекомендації для розділення компонентів чи виготовлення сумішей з оптимальним складом.

Алгоритми розв'язування типових задач

Задача 1. До 0,02 моль камфори додано 0,493 г салолу (фенілсаліцилату $C_6H_5-O-C(O)-C_6H_4OH$). Який склад суміші у мольних %?

Алгоритм розв'язування

1. Обчислюємо молекулярну масу салолу М:

$$M = 12 \cdot 6 + 16 + 12 + 16 + 12 \cdot 6 + 4 + 16 + 1 = 214 \text{ г/моль}$$

2. Переведемо масу 0,493 г салолу (m) у кількість моль (n):

$$n_B = m/M = 0,493 : 214 = 0,0023 \text{ моль.}$$

3. Знайдемо вміст салолу χ_B в суміші (у мольних %):

$$\chi_A = \frac{n_B}{n_A + n_B} \cdot 100\% = \frac{0,0023}{0,02 + 0,0023} \cdot 100\% = 10,3\% .$$

4. Тоді вміст компонента камфори буде:

$$\chi_A = 100\% - 10,3\% = 89,7\% \text{ (мольних).}$$

Відповідь: 89,7 мол.%.

Задача 2. До розтопленої суміші, де було 0,02 моль компонента А та 0,005 моль компонента В досипали ще 0,0035 моль останнього. Вирахувати склад суміші у мольних %.

Алгоритм розв'язування

1. Знайдемо сумарну кількість компонентів В (n_B) у суміші:

$$n_B = 0,005 + 0,0035 = 0,0085 \text{ моль .}$$

2. Обчислимо вміст компонента В (χ_B) у суміші:

$$\chi_B = \frac{n_B}{n_A + n_B} \cdot 100\% = \frac{0,0085}{0,02 + 0,0085} \cdot 100\% = 29,8 \%$$

3. Отже, вміст компонента А буде:

$$\chi_A = 100 \% - 29,8 \% = 70,2 \%$$

Відповідь: 70,2%.

Задача 3. Побудувати діаграму топлення для системи із 2-х компонентів А (саломас) і В (метилстеарат) за такими експериментальними даними:

вміст компонента В (ω , %)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
температура топлення (t , °C)	48	46	44	42	40	37	34	33	34	36	39

Вказати склад і температуру топлення евтектичної суміші. Що позначають лінії ліквідуса та солідуса на цій діаграмі? Чи можуть фізично співіснувати обидва компоненти у твердій суміші при 35 °C?

Алгоритм розв'язування

1. На осі абсцис відкладаємо вміст компонента В у цих сумішах (у мас.%), а на осі ординат – відповідні температури топлення. Через одержані точки проводимо дві ділянки лінії ліквідуса, які перетинаються в евтектичній точці Е. Через цю точку проводимо пряму лінію (ізотерму) – солідус (рис. 1).

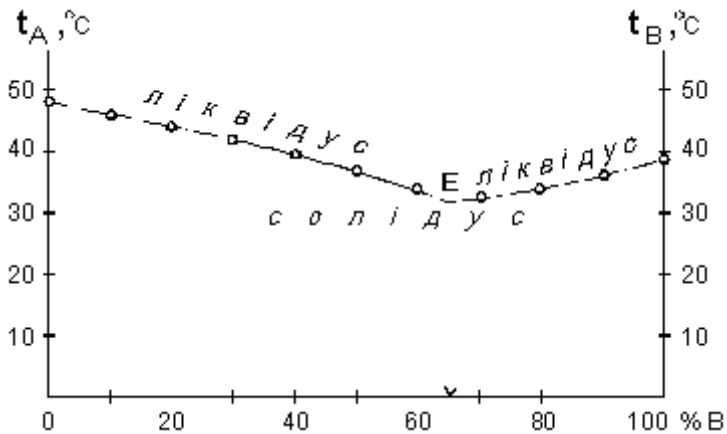


Рис. 1. Діаграма топлення 2-компонентної конденсованої системи з простою евтектикою

- Із точки Е опускаємо перпендикуляр на вісь абсцис, який показує, що евтектична суміш містить 65 % компонента В (і 35 % компонента А). Вона має найнижчу температуру топлення (32,5 °С).
 - Лінія ліквідуса показує, що при всіх температурах, які будуть вище неї, суміші компонентів А і В перебуватимуть у рідкому стані.
 - Лінія ліквідуса вказує, що при температурах, нижчих від евтектичної (нижчих за 32,5 °С), усі суміші цих компонентів перебуватимуть у твердому стані.
 - При температурі 35 °С ці компоненти в твердому стані є фізично несумісні та почнуть топитися, бо здатні утворити евтектику з температурою топлення 32,5 °С.
- Відповідь: 65% комп. А і 35% комп. В; 32,5 °С; не можуть.

Задача 4. Для лікування раку шкіри застосовується колхамінова мазь, яка складається з води, емульгатора, спирту, колхаміну, тимоли й синтоміцину. Скільки ступенів вільності має ця система?

Алгоритм розв'язування

- Число незалежних компонентів у цій системі $K = 6$ і співпадає з кількістю речовин, бо вони між собою хімічно не реагують.
- Кількість фаз $\Phi = 1$, оскільки ця мазь є однорідною системою.
- Тоді за правилом фаз Гіббса число ступенів вільності для цієї конденсованої системи становить: $C = K - \Phi + 1 = 6 - 1 + 1 = 6$. Ними буде температура і ще 5 незалежних концентрацій будь-якої із 6 речовин. А концентрацію шостої речовини знаходять за різницею між 100 % і сумою п'яти інших.

Відповідь: 6.

Задача 5. Знайти число незалежних компонентів K , кількість фаз Φ і ступенів вільності C для системи, якою є рівноважна реакція розкладу CaCO_3 в закритому апараті:

$$\text{CaCO}_3 \rightleftharpoons \text{CaO} + \text{CO}_2$$

Алгоритм розв'язування

- Число складових хімічних речовин тут 3, але незалежних (термодинамічних) компонентів K буде менше на кількість хімічних реакцій, які їх зв'язують:
 $K = 3 - 1 = 2$.
- Число фаз у цій системі $\Phi = 3$, бо тут є газ і дві тверді речовини CaO і CaCO_3 , які мають різну кристалічну структуру.
- За правилом фаз Гібса ступенів свободи буде:
 $C = K - \Phi + 2 = 2 - 3 + 2 = 1$.

Відповідь: $K = 2$, $\Phi = 3$, $C = 1$.

Задача 6. Побудувати діаграму стану для двокомпонентної конденсованої системи за такими даними:

Вміст компонента В (мас.%)	0	10	20	40	60	80	90	100
Температура (°С) початку:								
кристалізації	750	759	766	778	790	800	804	808
топлення	750	751	752	754	762	775	786	808

Який тип діаграми одержано? Знайти склад рідкої та твердої фаз при 770 °С. Обчислити у 24 г суміші маси рідкої фази та кристалів у фігуративній точці Φ з ваговим вмістом 40 % (мас.) компонента В (при температурі 770 °С).

Алгоритм розв'язування

1. Будуємо діаграму типу склад–властивість (рис. 2). Через верхній ряд точок проводимо лінію ліквідуса, а через нижній – лінію солідуса. Одержуємо діаграму з необмеженою розчинністю компонентів у рідкому та твердому станах (т. з. "твердий розчин").

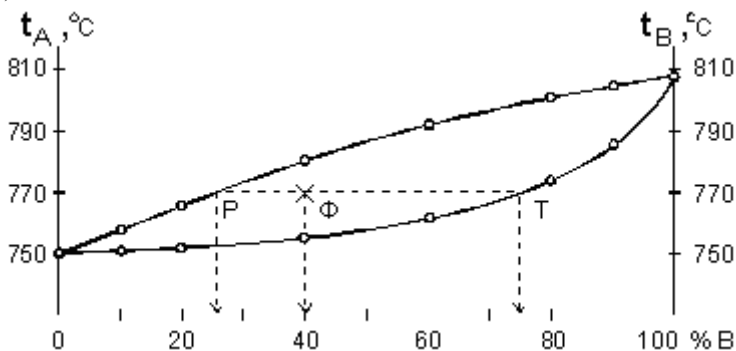


Рис. 2. Діаграма топлення з необмеженою розчинністю у рідкому і твердому станах

Вище лінії ліквідуса ця система однофазна (рідина) з різним вмістом компонентів А та В. Нижче лінії солідуса вона також однофазна, бо обидва компоненти утворюють спільні кристали: у вузлах ґратки компонента А частину місць займає компонент В, збільшуючи свою кількість аж до 100 %. Поміж лініями ліквідуса та солідуса система є двофазна: у рідині перебувають кристали "твердого розчину".

2. Через фігуративну точку Ф проводимо пряму (ізотерму) аж до перетину з лініями ліквідуса та солідуса. Із точок перетину з ними опускаємо перпендикуляри на вісь абсцис і одержуємо склад рідкої фази (27 % компонента В) у точці Р, а також вміст його у спільних кристалах з компонентом А (74 % В) у точці Т.
3. Із фігуративної точки Ф також опускаємо перпендикуляр на вісь абсцис, який показує вміст 40 % компонента В. Для точки Ф застосуємо правило важеля, згідно з яким співвідношення мас рідкої m_p і m_T твердої фаз обернено пропорційні довжинам відрізків на осі масового вмісту компонента В:

$$\frac{m_p}{m_T} = \frac{\hat{O} - \hat{O}}{\hat{O} - \hat{o}} = \frac{74 - 40}{40 - 27} = \frac{34}{13} = 2,6$$

4. Прийнявши за x масу рідкої фази у 24 г суміші, маємо $(24 - x)$ г кристалів. Підставимо їх у рівняння для правила важеля та знайдемо x :

$$\frac{x}{24 - x} = 2,6 ; \text{ тоді } x = 17,3 \text{ г рідини.}$$

5. Маса кристалів буде: $24 - 17,3 = 6,7$ г.

Відповідь: діаграма з необмеженою розчинністю; 27% комп. В; маса рідкої фази 17,3 г, маса кристалів 6,7 г.

Задача 7. Визначити коефіцієнт розподілу бензойної кислоти між водою та хлороформом, якщо на титрування $5,0 \text{ см}^3$ початкового водного розчину пішло $9,07 \text{ см}^3$ 0,05 М розчину NaOH, а на титрування 10 см^3 водного шару після екстракції кислоти хлороформом – $1,27 \text{ см}^3$.

Алгоритм розв'язування

1. Обчислимо початкову концентрацію C_0 для C_6H_5COOH , використавши закон еквівалентів:

$$C_0 = \frac{C_T \cdot V_T}{V_0} = \frac{0,05 \cdot 9,07}{5} = 0,0907 \text{ моль-екв./л.}$$

2. Аналогічно знаходимо концентрацію кислоти C_1 у водному шарі після екстракції:

$$C_1 = \frac{C_T \cdot V_T}{V_1} = \frac{0,05 \cdot 1,27}{10} = 0,00635 \text{ моль-екв./л.}$$

3. За різницею цих концентрацій одержимо рівноважну концентрацію кислоти у хлороформному шарі C_X :

$$C_X = C_0 - C_1 = 0,0907 - 0,00635 = 0,08435 \text{ моль-екв./л.}$$

4. Знаходимо коефіцієнт розподілу кислоти (k):

$$k = \frac{C_X}{C_1} = \frac{0,08435}{0,00635} = 13,3$$

Відповідь: 13,3.

Задача 8. Пікринова кислота (тринітрофенол) розподілилась між водою та бензолом, утворивши рівноважні концентрації 0,05 і 0,348 моль/л у воді та бензолі відповідно. Розрахувати коефіцієнт розподілу тринітрофенолу між бензолом і водою, якщо в бензолі він має звичайні молекули, а у водній фазі дисоціює неповністю ($K = 0,164$).

Алгоритм розв'язування

1. Використовуємо формулу для константи йонізації K та обчислимо ступінь йонізації α пікринової кислоти у 0,05 М водному розчині

$$K = \frac{c \cdot \alpha^2}{1 - \alpha}; c\alpha^2 + \alpha K - K = 0; 0,05\alpha^2 + 0,164\alpha - 0,164 = 0; \alpha \approx 0,8.$$

2. Знайдемо коефіцієнт розподілу k як відношення рівноважних концентрацій пікринової кислоти в бензолному розчині C_2 до концентрації недисоційованої частини її у воді $C_1(1 - \alpha)$:

$$K = \frac{c_2}{c_1(1 - \alpha)} = \frac{0,348}{0,05(1 - 0,8)} = 34,8.$$

Відповідь: 34,8.

Задача 9. Після розподілу між водою і тетрахлорметаном CCl_4 оцтова кислота у двох дослідях утворює такі рівноважні концентрації у водних C_1 : 4,87 і 10,7 та в органічних розчинах C_2 : 0,292 і 1,41 моль/л. У воді кислота практично не дисоціює і має одинарні молекули CH_3COOH . Із скількох молекул утворені асоціати в органічному розчиннику?

Алгоритм розв'язування

1. Використовуємо рівняння Нернста-Шилова для коефіцієнта розподілу, коли в одній з рідин асоціює n молекул III компонента:

$$k = \frac{C_1}{\sqrt[n]{C_2}}; \text{ тоді } \frac{4,87}{\sqrt[n]{0,292}} = \frac{10,7}{\sqrt[n]{1,41}}$$

2. В останньому рівнянні (пропорції) переставимо місцями крайні (або середні) члени та одержимо:

$$\frac{\sqrt[3]{1,41}}{\sqrt[3]{0,292}} = \frac{10,7}{4,87}; \sqrt[3]{\frac{1,41}{0,292}} = \frac{10,7}{4,87}; \sqrt[3]{4,83} = 2,2.$$

3. Прологарифмуємо останній вираз і знайдемо n (число асоційованих молекул):

$$\frac{1}{n} \cdot \lg 4,83 = \lg 2,2; \frac{1}{n} \cdot 0,684 = 0,342; n = \frac{0,684}{0,342} = 2.$$

Відповідь: із 2 молекул.

- Задача 10.** У 500 мл води розчинено 0,14 г кокаїну. Скільки разів треба провести екстрагування цього розчину порціями по 50 мл діетилового етеру, щоб у водній фазі залишилось $4,32 \cdot 10^{-5}$ г цього алкалоїду? Коефіцієнт розподілу кокаїну між етером і водою $k = 138$.

Алгоритм розв'язування

1. Використовуємо формулу для екстракції та прологарифмуємо цей вираз для визначення числа екстракцій n :

$$m = m_0 \cdot \left(\frac{V_0}{V_0 + KV} \right)^n; \lg m = \lg m_0 + n [\lg V_0 - \lg(V_0 + KV)];$$

$$n = \frac{\lg m - \lg m_0}{\lg V_0 - \lg(V_0 + KV)}.$$

2. Розраховуємо число екстракцій n , підставивши відповідні значення усіх величин у цю формулу:

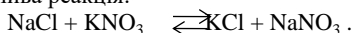
$$n = \frac{\lg 4,32 \cdot 10^{-5} - \lg 0,14}{\lg 500 - \lg(500+138 \cdot 50)} = \frac{-4,3645 - (-0,8539)}{2,6990 - 3,8692} = \frac{-3,5156}{-1,1702} \approx 3.$$

Відповідь: 3 рази.

Завдання для самостійного розв'язування

1. Що таке число незалежних компонентів системи? Коли воно не співпадає з числом індивідуальних хімічних компонентів?
2. Як записується і формулюється правило фаз Гіббса? Що означає число ступенів вільності?
3. Виведіть рівняння Клаузіуса–Клапейрона, виходячи з рівності потенціалів Гіббса у різних фазах.
4. Нарисуйте діаграму стану води та дайте її аналіз.
5. Наведіть діаграму топлення суміші двох компонентів, які утворюють просту евтектику. Застосуйте правило фаз Гіббса для усіх полів і екстремальних точок на цій діаграмі.
6. Проаналізуйте діаграми з дистектикою, а також діаграми «твердого розчину» (з необмеженою розчинністю компонентів у рідкому й твердому станах). Що виражають лінії ліквідуса та солідуса?
7. Як за допомогою діаграми стану довести фізичну або хімічну несумісність складових речовин (інгредієнтів) у лікарському рецептурі?
8. Що можна і як розрахувати, користуючись правилом важеля на діаграмах?

9. Як сформулювати закон розподілу Нернста? Чим відрізняються константа і коефіцієнт розподілу?
10. Виведіть рівняння для розрахунку кількості 3-го компонента, що залишається після одно-, дво- та n-кратної екстракції.
11. Яка різниця між ідеальними та реальними розчинами? Коли і чому вона проявляється?
12. Які види рідких бінарних систем за їх взаємною розчинністю ви знаєте? Наведіть приклади.
13. Виведіть рівняння для обчислення масової частки кожної з рідин у конденсаті після перегонки з водяною парою
14. У чому переваги та недоліки прямої перегонки і перегонка під вакуумом та перегонки з водяною парою?
15. Сформулюйте закон Рауля. Які відхилення від цього закону Ви знаєте?
16. Назвіть приклади реальних бінарних рідких систем з позитивними та негативними відхиленнями від закону Рауля?
17. Нарисуйте схематично діаграму для системи з обмеженою взаємною розчинністю та верхньою критичною точкою (фенол–вода, анілін–вода, анілін–гексан, бензол–НСООН). Як знайти кількісний склад кожної з двох рідин, які розшаровані?
18. Зарисуйте діаграми систем з двома критичними точками (верхньою та нижньою) температур розчинення (змішування): нікотин – вода, гліцерин – гваякол (НО–С₆H₄–О–СН₃), гліцерин – етилбензиламін. Як розрахувати у цих системах маси кожної з рівноважних рідких фаз?
19. Для діаграм із нижньою критичною точкою (вода – триетиламін, вода – діетиламін, вода – етиліпіридин) застосуйте правило фаз Гіббса.
20. Закони Коновалова. Діаграми кипіння розчинів двох рідин, що необмежено змішуються.
21. До суміші 4,68 г ментолу С₃H₇–С₆H₉(ОН)СН₃ з 0,75 г тимолу С₃H₇–С₆H₃(ОН)СН₃ додано ще 0,75 г останнього. Яким був і яким став склад цієї суміші (в мольних %)?
22. Яку кількість анестезину Н₂N–С₆H₄С(О)–С₂H₅ та антипірину С₆H₅–С₃N₂О(СН₃)₂ треба змішати, щоб у 2 г суміші було 20 % (мольних) антипірину?
23. Борно-цинковий лінімент (зовнішній антисептичний та підсушуючий засіб) складається з Н₃ВО₃ і соняшникової олії. Скільки ступенів вільності має ця однорідна система, якщо олію вважати чистим триолеатом гліцерину?
24. Скільки компонентів, фаз і ступенів вільності має система, в якій у присутності парів води перебуває водний розчин NaCl і CaCl₂ з кристалами цих солей?
25. Маємо систему з кристалів KNO₃, пари води і розчинених у воді солей NaCl і KNO₃ між якими можлива реакція:



Встановити число незалежних компонентів, фаз і ступенів вільності.

26. Скільки складових частин і незалежних компонентів має система – водний розчин, де виявлені йони Cl⁻, K⁺, Na⁺ і NO₃⁻?
27. Добре відомий йодний настій, який зберігають у щільнозакритих флаконах, є водно-спиртовим розчином йоду I₂ і KI. Скільки компонентів, фаз і ступенів вільності має ця система? Скільки компонентів є в газовій фазі?

28. Драже "Гексавіт", що рекомендується для збереження гостроти зору є сумішшю, яка містить такі речовини: ретинолу ацетат, тіаміну хлорид, рибофлавін, нікотинамід, піридоксину гідрохлорид і аскорбінову кислоту. Застосувавши правило фаз Гібса, вкажіть, скільки компонентів, фаз і ступенів вільності має ця конденсована система.
29. Нарисуйте діаграму стану системи Ca–Mg за такими даними:

вміст магнію (мас.%)	0	10	15	21	25	30	35	40
початок кристалізації (°C)	850	720	630	445	525	610	660	700
вміст магнію (мас.%)	47,5	50	60	70	81	90	100	
початок кристалізації (°C)	720	715	670	603	518	600	650	

Який склад і формула дистектики? При яких умовах ця система є хімічно несумісною? Знайдіть склад і співвідношення твердої та рідкої фаз для фігуративної точки із вмістом 60 % Mg при 550 °C.

30. 100 мл гліцеринового розчину йоду з концентрацією 0,063 моль-екв/л збовтали з таким же об'ємом діетилового етеру. Після відокремлення етерового шару гліцериновий розчин протитровано: на 10 мл його іде в середньому 5,47 мл 0,02 н. розчину тіосульфату натрію. Аналогічні операції проведено з 0,0122 н. розчином I₂ в гліцерині. Після екстракції частини йоду протитровано 25 мл гліцеринового розчину, на які затрачено 2,53 мл розчину тіосульфату. Розрахувати середнє значення коефіцієнта розподілу йоду між етером і гліцерином.
31. Коефіцієнт розподілу етилового спирту між водою і тетрахлорметаном CCl₄ при 25 °C становить 41. Які концентрації матиме етанол в обох розчинах, якщо 0,2 моль його змішати з 200 мл CCl₄ і 300 мл води?
32. Користуючись рівнянням Нернста-Шилова, розрахувати коефіцієнт розподілу фенолу, що застосовується у фармації для консервування ліків, між водою та бензолом, в якому молекули фенолу асоційовані в димери. Рівноважні концентрації фенолу становили у водній фазі C₁ – 10,13 і 52,99 та в бензолі C₂ – 27,9 і 48,7 г/л. З якою відносною похибкою можна визначити коефіцієнт k за цими даними?
33. Трихлороцтова кислота CCl₃COOH розподіляється між водою і толуолом, причому у воді помітно дисоціює на іони ($K_{\text{дис.}} = 2,2 \cdot 10^{-2}$), а в толуолі має звичайні молекули. Вирахувати коефіцієнт розподілу CCl₃COOH, якщо її рівноважні концентрації становлять 0,4185 і 0,0233 моль/л у воді та у толуолі відповідно.
34. Після розподілу між водою та бензолом при 25 °C оцтова кислота у двох дослідях утворила такі рівноважні концентрації у воді C₁ – 46,56 і 732,44 та в органічній фазі C₂ відповідно 1,19 і 291,84 г/л. По скільки молекул кислоти об'єднані в асоціати, якщо у воді таких немає? Який коефіцієнт розподілу оцтової кислоти між водою та бензолом?
35. Кристалічний йод при 25 °C в аміловому спирті розчиняється у 230 разів краще, ніж у воді. Скільки грамів I₂ було у 500 мл спирту, якщо після його збовтування з 2 л води у водному шарі створилась рівноважна концентрація йоду $3 \cdot 10^{-4}$ моль/л?
36. Для рівноважних концентрації бром, розподіленого між водою C₁ – 0,00853 і 0,053 та тетрахлорметаном C₂ – 0,1949 і 1,2171 моль/л відповідно, побудувати пряму лінію і знайти графічно коефіцієнт розподілу бром.

37. Бензойна кислота (відомий антисептик) після розподілу між водою і толуолом при 25 °С має такі рівноважні концентрації (моль/л) у воді $C_1 - 0,0057; 0,0096$ і $0,0135$ та в толуолі $C_2 - 0,0336; 0,0825$ і $0,162$ відповідно. За допомогою графіка розрахувати емпіричні константи K і n у рівнянні Нернста-Шилова.
38. Тринітрофенол (пікринова кислота), що є реактивом при аналізі лікарського препарату атропіну, розподіляється між водою і хлороформом. Установлено такі рівноважні концентрації (моль/л) у водній фазі $C_1 - 0,0207; 0,0488; 0,0588$ та в хлороформі $C_2 - 0,0254; 0,109$ і $0,153$ відповідно. За формулою Нернста-Шилова обчислити коефіцієнт розподілу, врахувавши димеризацію кислоти у хлороформі. Побудувати графік і знайти емпіричні константи K і n для рівняння Шилова-Лєпінь.
39. Каломель Hg_2Cl_2 у складі мазі проти захворювань очей розподіляється між водою та бензолом з коефіцієнтом $k = 12,6$. Яка концентрація каломелі створиться у водному шарі після змішування $0,2$ г Hg_2Cl_2 з 250 мл води та 50 мл бензолу? Якою вона стане після третьої обробки водного розчину тією ж порцією бензолу?
40. Фенол з концентрацією $0,112$ моль/л в аміловому спирті перебуває у рівновазі зі своїм водним розчином, що має концентрацію $0,658$ г/л. В обох розчинах молекули фенолу мають склад C_6H_5OH . Який коефіцієнт розподілу C_6H_5OH між органічним розчинником і водою? Скільки фенолу вилучається із 500 мл водного розчину після подвійної екстракції порціями по 100 мл спирту?
41. Скільки відсотків етилового спирту залишиться у водній фазі, якщо 200 мл розчину, що містить 4 г C_2H_5OH , піддати трикратній екстракції порціями тетрахлорметану по 50 мл? Коефіцієнт розподілу етанолу між водою і CCl_4 при 25 °С становить 41 .
42. Скільки разів треба повторити екстракцію із 1 л водного розчину, що містить $0,34$ г хініну, беручи порції діетилового етеру по 100 мл, щоби у водній фазі залишилось не більше $0,4$ г цього алкалоїду? Коефіцієнт розподілу $k = 44$ при 20 °С.
43. Для екстракції взято 2 мл хлороформного розчину, де міститься $0,08$ г йоду, та 200 мл води, в якій йод при 25 °С розчиняється у 131 раз гірше, ніж у $CHCl_3$ (тоді коефіцієнт розподілу $k = 0,0076$). Скільки треба провести таких екстракцій, щоби довести вміст йоду в хлороформі до $0,0027$ г?
44. Яким об'ємом води треба провести двократну екстракцію із 5 мл толуолу, щоби знизити вміст метиламіну до 40 % від початкової кількості в толуолі? Коефіцієнт розподілу метиламіну між водою і толуолом $k = 29$.

В. Термодинаміка хімічної рівноваги

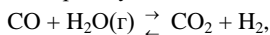
Значення матеріалу теми. Більшість хімічних реакцій, які лежать в основі фізіологічних процесів є зворотними і проходять у напрямку досягнення хімічної рівноваги. До них належать процеси розчинення і кристалізації, дисоціації та моляризації, асиміляції та дисиміляції. Так, процес дисоціації обумовлює появу іонів у розчинах, їх кислотність та основність, зміну колігативних властивостей розчинів. Кількісні характеристики рівноважних процесів: константа дисоціації ($K_{дис}$), pH , pK , DP є основними константами для оцінки властивостей розчинів і біологічних рідин. Підтримання кислотно-основної та електролітної рівноваги в тканинах живих організмів і біологічних рідинах здійснюється багатьма фізіологічними механізмами,

порушення яких веде до важких патологічних змін, що необхідно враховувати при діагностиці та лікуванні.

Мета роботи. Навчитися використовувати теоретичні положення хімічної рівноваги для характеристики рівноважних систем.

Алгоритми розв'язування типових задач

Задача 1. Розрахувати рівноважні концентрації у системі



якщо вихідна суміш містила 2 моль CO, 3 моль H₂O у розрахунку на 1 дм³ газової суміші. Константа хімічної рівноваги дорівнює 1.

Алгоритм розв'язування

- Для розв'язування задачі варто скористатися такою формою запису, позначивши через x – кількість моль речовини, що прореагували

Стан / концентрація	CO	H ₂ O	CO ₂	H ₂
Початкові концентрації (моль/дм ³)	2	3	–	–
Прореагувало (моль/дм ³)	x	x	–	–
Утворилися продукти реакції (моль/дм ³)			x	x
Рівноважна концентрація (моль/дм ³)	2–x	3–x	x	x

- Записати константу рівноваги даної реакції і підставити знайдені значення концентрації речовин

$$K = \frac{[\text{CO}_2] \cdot [\text{H}_2]}{[\text{CO}] \cdot [\text{H}_2\text{O}]}; \quad 1 = \frac{x^2}{(2-x) \cdot (3-x)}$$

Звідси, рівноважні концентрації речовин в моль/дм³ відповідно дорівнюють:

$$[\text{CO}] = 0,8; \quad [\text{H}_2\text{O}] = 1,8; \quad [\text{CO}_2] = 1,25; \quad [\text{H}_2] = 1,2.$$

- Задача 2.** Розрахувати енергію Гіббса і визначити можливість перебігу реакції $\text{CO} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{COCl}_2$ при 700 К, якщо константа рівноваги реакції при цій температурі дорівнює $1,0685 \cdot 10^{-4}$. Парціальний тиск реагуючих речовин однаковий і дорівнює 101325 Па.

Алгоритм розв'язування

- Запишемо рівняння, що пов'яже зміну енергії Гіббса ΔG^0 з константою рівноваги реакцій типу $A + B = C$

$$\Delta G^0 = 2,3RT \cdot \lg \frac{P_C}{P_A \cdot P_B} - \lg K_{\text{рівн}}.$$

- Підставимо числові значення у формулу

$$\Delta G^0 = 2,3 \cdot 8,314 \cdot 700 \cdot \lg \frac{101325}{101325 \cdot 101325} - \lg 1,0685 \cdot 10^{-4}$$

$$\Delta G^0 = -13,9 \text{ кДж.}$$

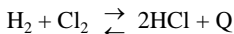
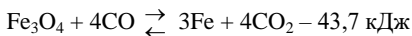
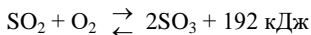
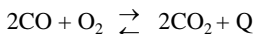
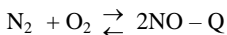
Відповідь: $\Delta G^0 = -13,9 \text{ кДж}$, реакція можлива, оскільки $\Delta G^0 < 0$.

Завдання для самостійного розв'язування

- Які реакції називаються оборотними? Наведіть приклади. Дайте пояснення термінам: динамічна хімічна рівновага і зміщення хімічної рівноваги.

46. Які фактори впливають на стан хімічної рівноваги. Поясніть на прикладах.

47. Як вплине на стан хімічної рівноваги у системах:



а) збільшення концентрації реагуючих речовин;

б) збільшення концентрації продуктів реакції;

в) підвищення температури?

48. Сформулюйте суть принципу зміщення хімічної рівноваги Ле-Шательє-Брауна.

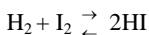
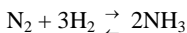
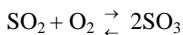
Проілюструйте на конкретних прикладах.

49. Фізичний зміст константи хімічної рівноваги. Фактори, що впливають на неї, зв'язок з енергією Гіббса.

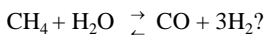
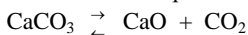
50. Який зв'язок існує між константою хімічної рівноваги і ступенем дисоціації електроліту? Як класифікують електроліти за величиною ступеня електролітичної дисоціації.

51. Як зміщується хімічна рівновага з підвищенням температури для екзотермічних та ендотермічних реакцій? Проілюструйте на прикладах.

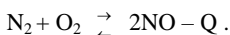
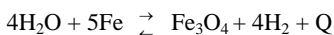
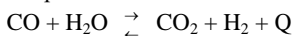
52. Напишіть вираз константи рівноваги (K_c і K_p) поданих реакцій та вкажіть співвідношення між константами:



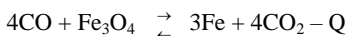
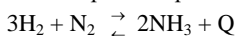
53. Як змістити рівновагу в системах:



54. Проаналізуйте за допомогою принципу Ле-Шательє-Брауна можливе зміщення рівноваги в таких системах:



55. На прикладі реакцій:

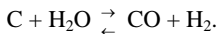


поясніть вплив різних факторів на напрямок зміщення рівноваги.

56. У чому полягає суть і недостатність теорії електролітичної дисоціації Ареніуса?

Ступінчастий характер дисоціації кислот і основ.

57. Подайте основні положення протолітичної теорії Бренстеда-Лоурі та наведіть приклади протолітичних реакцій.
58. Як вплине на ступінь дисоціації ацетатної кислоти додавання до її розчину: сильної кислоти, ацетату натрію, розведення, нагрівання?
59. Як класифікують електроліти за величиною ступеня дисоціації? Навести приклади.
60. Що таке константа дисоціації слабких електролітів, константа дисоціації за першим ступенем, другим і т.д.? Яке існує співвідношення між ними?
61. Зв'язок між константою дисоціації і концентрацією розчину та ступенем дисоціації. Закон розведення Оствальда.
62. Позірний або уявна ступінь дисоціації. Активна і потенціальна концентрації. Коефіцієнт активності.
63. Іонна сила розчину. Яку інформацію надає його величина? Як вираховують іонну силу розчину та величини активної концентрації?
64. Напишіть вираз константи рівноваги гетерогенної системи

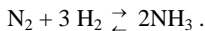


Як слід змінити концентрацію та тиск, щоб змістити рівновагу у напрямку зворотної реакції – утворення водяної пари?

65. Чому при зміні тиску зміщується рівновага системи: $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3$ і не зміщується рівновага системи $\text{N}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{NO}$? Відповідь обґрунтуйте. Запишіть вираз константи рівноваги для кожної з даних систем.
66. Окиснення сірки та її диоксиду відбувається за рівняннями:
- а) $\text{S}(\text{к}) + \text{O}_2(\text{г}) \rightleftharpoons \text{SO}_2(\text{г})$;
- б) $2\text{SO}_2(\text{г}) + \text{O}_2(\text{г}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{г})$.

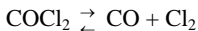
Як зміняться швидкості цих реакцій, якщо об'єми кожної системи зменшити у чотири рази?

67. Напишіть вираз константи рівноваги гомогенної системи



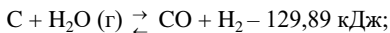
Як зміниться швидкість прямої реакції утворення аміаку, якщо збільшити концентрацію водню у три рази?

68. У якому напрямку зміститься рівновага в реакції



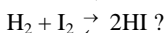
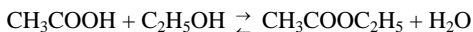
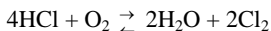
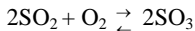
при додаванні до рівноважної системи інертного газу при постійному загальному тиску?

69. Вкажіть, які із факторів: P, T, наявність інертного газу, природа реагуючих речовин та їх парціальні тиски p_i , впливають на константу рівноваги реакції K_p , якщо вона проходить між речовинами в газоподібному стані?
70. Ступінь дисоціації не залежить від тиску, але в той же час збільшується із підвищенням температури. Пояснити ці факти.
71. У яку сторону зміститься рівновага реакції розкладу сірководню $\Delta H = 20$ кДж/моль, димеризації оксиду азоту (IV) $\Delta H = -33$ кДж/моль, горіння оксиду вуглецю (II) $\Delta H = -283$ кДж/моль при підвищенні температури; при підвищенні тиску?
72. Дією яких факторів можна змістити рівновагу поданих реакцій вправо:



73. Для деякої реакції $\Delta G^0 > 0$. Яке з наведених тверджень вірне: а) $K > 1$; б) $K < 1$; в) у рівноважній суміші переважають продукти реакції; г) у рівноважній суміші переважають вихідні речовини? Відповідь обґрунтуйте.

74. У яких із нижче наведених оборотних реакціях зміна тиску не спонукає до порушення рівноваги:



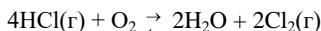
75. У стані хімічної рівноваги системи $\text{N}_2 + \text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3$ концентрація речовин дорівнює: $[\text{N}_2] = 3$ моль/дм³; $[\text{H}_2] = 9$ моль/дм³ і $[\text{NH}_3] = 4$ моль/дм³. Визначити константу рівноваги, вихідні концентрації азоту і водню. У якому напрямку зміститься рівновага при зменшенні об'єму реакційної суміші?

76. У гомогенній системі $\text{CO} + \text{Cl}_2 \rightleftharpoons \text{COCl}_2$ рівноважні концентрації реагуючих речовин $[\text{CO}] = 0,2$ моль/дм³, $[\text{Cl}_2] = 0,3$ моль/дм³, $[\text{COCl}_2] = 1,2$ моль/дм³. Знайдіть константу рівноваги системи та початкові концентрації хлору та монооксиду вуглецю.

77. У гомогенній системі $\text{A} + 2\text{B} \rightleftharpoons \text{C}$ рівноважні концентрації $[\text{A}] = 0,06$ моль/дм³, $[\text{B}] = 0,12$ моль/дм³, $[\text{C}] = 0,216$ моль/дм³. Вирахувати константу рівноваги системи і початкові концентрації речовин А та В.

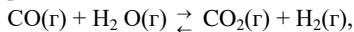
78. У гомогенній газовій системі $\text{A} + \text{B} \rightleftharpoons \text{C} + \text{D}$ рівновага встановилася при концентрації $[\text{B}] = 0,05$ моль/дм³ і $[\text{C}] = 0,02$ моль/дм³. Константа рівноваги системи дорівнює 0,04. Вирахувати початкові концентрації речовин А та В.

79. Рівновага гомогенної системи



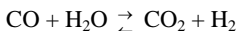
встановилася при таких концентраціях реагуючих речовин: $[\text{H}_2\text{O}] = 0,14$ моль/дм³, $[\text{Cl}_2] = 0,14$ моль/дм³, $[\text{HCl}] = 0,20$ моль/дм³, $[\text{O}_2] = 0,32$ моль/дм³. Вирахувати початкові концентрації хлороводню та кисню.

80. Вирахувати константу рівноваги для гомогенної системи



якщо рівноважні концентрації речовин: $[\text{CO}] = 0,004$ моль/дм³; $[\text{H}_2\text{O}] = 0,064$ моль/дм³, $[\text{CO}_2] = 0,016$ моль/дм³, $[\text{H}_2] = 0,016$ моль/дм³. Чому дорівнюють початкові концентрації води та монооксиду вуглецю?

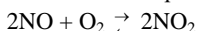
81. Константа рівноваги гомогенної системи



при деякій температурі дорівнює 1. Вирахуйте рівноважні концентрації усіх реагуючих речовин, якщо початкові концентрації $[\text{CO}] = 0,10$ моль/дм³, $[\text{H}_2\text{O}] = 0,40$ моль/дм³.

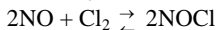
82. Константа рівноваги гомогенної системи $N_2 + 3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3$ при деякій температурі становить 0,1. Рівноважні концентрації водню та аміаку, відповідно, дорівнюють 0,2 та 0,08 моль/дм³. Вирахуйте рівноважну та початкову концентрацію азоту.

83. При деякій температурі рівновага гомогенної реакції



встановиться при таких концентраціях реагуючих речовин: $[NO] = 0,2$ моль/дм³, $[O_2] = 0,1$ моль/дм³, $[NO_2] = 0,1$ моль/дм³. Вирахувати константу рівноваги та початкові концентрації NO і O_2 .

84. Початкові концентрації $[NO]$ та $[Cl_2]$ у гомогенній системі



становлять відповідно 0,5 і 0,2 моль/дм³. Вирахувати константу рівноваги, якщо до моменту настання рівноваги прореагувало 20 % NO .

85. Вирахувати константу рівноваги в рівноважній системі: водень, йод, йодоводень, якщо початкові концентрації водню і йоду по 0,02 моль/дм³, а рівноважна концентрація йодоводню – 0,03 моль/дм³.

86. Знайдіть константу рівноваги і вихідні концентрації речовин у рівноважній системі: оксид сірки (IV), кисень, оксид сірки (VI), якщо рівноважні концентрації всіх компонентів системи відповідно дорівнюють: 0,04, 0,06 і 0,02 моль/дм³.

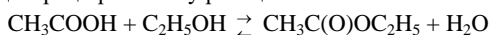
87. Вирахувати константу рівноваги K_p реакції $2HBr \rightleftharpoons H_2 + Br_2$, якщо початкова маса бромистого водню була рівною 0,809 г, а до моменту рівноваги прореагувало 5 % вихідної речовини.

88. У посудину об'ємом 0,5 дм³ помістили 0,5 моль H_2 і 0,5 моль N_2 . При певній температурі до моменту рівноваги утворилося 0,02 моля NH_3 . Вирахувати константу рівноваги даної системи.

89. Константа рівноваги реакції $2NO_2 \rightleftharpoons N_2O_4$ при деякій температурі дорівнює 0,3. Вирахувати концентрації компонентів системи при настанні рівноваги, якщо початкова концентрація NO_2 дорівнює 9,2 г.

90. Стандартна зміна енергії Гіббса для реакції $A + B \rightleftharpoons AB$ при 298 К дорівнює –8 кДж/моль. Початкові концентрації $[A] = 1$ моль/дм³, $[B] = 1$ моль/дм³. Знайти константу рівноваги реакції і рівноважні концентрації речовин A , B , і AB .

91. Рівноважні концентрації речовин у реакції



дорівнюють (моль/дм³): $[CH_3COOH] = 0,02$, $[C_2H_5OH] = 0,32$, $[CH_3C(O)OC_2H_5] = 0,08$, $[H_2O] = 0,08$. Якими стануть рівноважні концентрації після зміщення рівноваги внаслідок збільшення концентрації C_2H_5OH у 4 рази?

92. Хімічна рівновага реакції $A + B \rightleftharpoons C + D$ встановилася при таких концентраціях речовин (моль/дм³): $[A] = 18$, $[B] = 16$, $[C] = 12$, $[D] = 24$. Концентрацію речовини C зменшили на 12 моль/дм³, внаслідок чого змінилася рівновага системи. Визначте нові рівноважні концентрації реагуючих речовин.

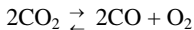
93. Хімічна рівновага реакції $COCl_2 \rightleftharpoons CO + Cl_2$ встановилася при концентраціях реагуючих речовин (моль/дм³): $[COCl_2] = 10$, $[CO] = 2$, $[Cl_2] = 4$. У рівноважну систему додали Cl_2 у кількості 4 моль/дм³. Визначити нові рівноважні концентрації реагуючих речовин після зміщення рівноваги.

94. Початкові концентрації CO і водяної пари відповідно дорівнюють 0,08 моль/дм³.
 Вирахувати рівноважні концентрації CO, H₂O і H₂ у системі

$$\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{H}_2,$$
 якщо рівноважна концентрація CO₂ виявилася рівною 0,5 моль/дм³. Розрахувати константу рівноваги реакції.
95. Константа рівноваги реакції $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3$ дорівнює 0,1 при 673 К.
 Рівноважні концентрації (моль/дм³): [H₂] = 0,6 і [NH₃] = 0,18. Вирахувати рівноважну концентрацію азоту.
96. Вирахувати рівноважну концентрацію водню в реакції:

$$2\text{HI} \rightleftharpoons \text{H}_2 + \text{I}_2,$$
 якщо вихідна концентрація HI складає 0,55 моль/дм³, а константа рівноваги K_c = 0,12.
97. За даної температури константа рівноваги реакції термічної дисоціації $\text{N}_2\text{O}_4 \rightleftharpoons 2\text{NO}_2$ K_c = 0,26. Рівноважна концентрація NO₂ дорівнює 0,28 моль/дм³. Вирахувати рівноважну і початкову концентрацію N₂O₄. Яка масова частка в процентах цієї речовини продисоціювала до моменту встановлення рівноваги?
98. При синтезі фосгену протікає рівноважна реакція: $\text{Cl}_2 + \text{CO} \rightleftharpoons \text{COCl}_2$. Визначити початкові концентрації хлору і оксиду вуглецю, якщо рівноважні концентрації (моль/дм³) такі: [Cl₂] = 2,5, [CO] = 1,8, [COCl₂] = 3,2.
99. При 713 К константа рівноваги реакції дисоціації дорівнює $K_c = \frac{C(\text{H}_2) \cdot C(\text{I}_2)}{C(\text{HI})^2}$
 = 1/64. Знайти кількість речовини H₂, I₂, HI у стані рівноваги, якщо на початку було взято 2 моль HI. Об'єм посудини, у якій відбувалася реакція, становить 5 дм³.
100. У стані рівноваги системи $\text{CO}_2 + \text{H}_2 \rightleftharpoons \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$ реакційна суміш мала такий об'ємний склад: 22 % CO₂, 41 % H₂, 17 % CO, 20 % H₂O. Вирахувати K_p і K_c цієї реакції при 1900 К і тиску 98501 Па.
101. Константа рівноваги K_p реакції $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{SO}_3$ при 950 К дорівнює 1,062 · 10⁻².
 Вирахувати K_c для цієї реакції.
102. Оборотною реакцією $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3$ відбувається при 723 К. Константа рівноваги при цій температурі рівна K_p = 5,34 · 10⁻⁸. Визначити парціальний тиск NH₃, якщо парціальний тиск N₂ і H₂ відповідно дорівнюють 65717 і 20380 Па.
103. Розрахувати K_p і K_c реакції $\text{PCl}_5 \rightleftharpoons \text{PCl}_3 + \text{Cl}_2$ при 500 К, якщо на момент рівноваги продисоціювало 54 % PCl₅, а початкова концентрація PCl₅ становила 1 моль/дм³.
104. При 873 К константа рівноваги K_c реакції $\text{CO} + \text{Cl}_2 \rightleftharpoons \text{COCl}_2$ дорівнює 12,12.
 Вирахувати K_p реакції за цієї ж температури.
105. При нагріванні відбувається реакція $\text{SO}_2\text{Cl}_2 \rightleftharpoons \text{SO}_2 + \text{Cl}_2$. За сталої температури із 1 моля SO₂Cl₂, що міститься в закритій посудині ємністю 20 дм³, розкладається 0,5 моля. Визначити константу рівноваги при цій температурі.
106. Для реакції $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3$ рівновага встановилася за таких концентрацій реагуючих речовин (моль/дм³): [N₂] = 2,5, [H₂] = 1,8, [NH₃] = 3,6. Розрахувати константу рівноваги цієї реакції і початкові концентрації N₂ і H₂.

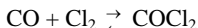
107. Об'ємний склад реагуючої суміші в момент рівноваги реакції:



такий: 88,72 % CO_2 , 7,52 % CO , 3,76 % O_2 . Знайти K_p і K_c цієї реакції, якщо загальний тиск у системі за даної температури (2273 К) дорівнює $1,0133 \cdot 10^5$ Па.

108. Реакція проходить за рівнянням $\text{A} + \text{B} \rightleftharpoons 2\text{C}$. Визначити рівноважні концентрації реагуючих речовин, якщо вихідні концентрації речовин А і В відповідно дорівнюють 0,5 і 0,7 моль/дм³, а константа рівноваги реакції $K_c = 50$.

109. Вирахувати зміну енергії Гіббса і визначити, чи можлива реакція



при 700 К., якщо константа рівноваги реакції за цієї температури дорівнює $1,0685 \cdot 10^{-4}$. Парціальний тиск усіх реагуючих речовин однаковий і становить 101325 Па.

110. У посудині, яка містить PCl_5 , рівновага досягається при 250 °С і тиску 5 атм. За цих умов у рівновазі перебувають газоподібні PCl_5 , PCl_3 і Cl_2 . Розрахувати рівноважний парціальний тиск PCl_5 , якщо K_p для реакції $\text{PCl}_5(\text{г}) \rightleftharpoons \text{PCl}_3(\text{г}) + \text{Cl}_2(\text{г})$ дорівнює 1,78 (в атм).

111. При 698 К K_p реакції $2\text{HI}(\text{г}) \rightleftharpoons \text{H}_2(\text{г}) + \text{I}_2(\text{г})$ дорівнює $1,83 \cdot 10^{-2}$. Скільки грамів йодоводню утворюється при нагріванні до цієї температури 10 г йоду і 0,2 г водню в 3-х літрової посудині? Чому дорівнюють парціальні тиски H_2 , I_2 і HI ?

112. Для реакції $\text{PtCl}(\text{г}) \rightleftharpoons \text{Pt}(\text{г}) + 1/2\text{Cl}_2(\text{г})$ $\Delta G^0 = 6$ ккал. Розрахувати рівноважний тиск при 500 К.

113. Розрахувати K_p і ΔG^0 реакції:



Рівноважний тиск аміаку 62 мм рт. ст., температура 20 °С.

114. Розрахувати тиск загальний тиск, який необхідно прикласти до системи з 3-х частин H_2 і 1 частини N_2 , для того, щоб одержати суміш, яка містить 10 % NH_3 при 400 К. K_p за цієї температури дорівнює $1,64 \cdot 10^{-4}$.

Розділ 2

Термодинаміка розведених розчинів. Буферні системи

Значення матеріалу теми. Вивчення колігативних властивостей розведених розчинів і основ кріометричних та ебуліометричних вимірювань необхідні в медико-біологічних дослідженнях для встановлення молекулярної маси речовин, в тому числі фізіологічно активних; визначення ступеня іонізації електролітів; осмотичного тиску біологічних рідин і перевірки ізотонічності розчинів.

Водневий показник (рН), який характеризує активну кислотність середовища, підтримується в живих організмах на певному рівні завдяки дії буферних систем. Тому важливим завданням є ознайомлення з типами буферних систем, їх властивостями, механізмом дії, буферною ємністю, методикою приготування та експериментальною перевіркою рН буферного розчину.

Мета роботи. Вивчити колігативні властивості розведених розчинів і оволодіти методикою кріометричних та ебуліометричних вимірювань для визначення молярної маси речовини; розрахунку ізотонічного коефіцієнта і ступеня іонізації електролітів; осмотичного тиску розчинів і біологічних рідин.

Навчитись виготовляти буферні системи за заданими значеннями рН і обчислювати рН за відомим співвідношенням компонентів. Вивчити властивості буферних систем, механізм їх дії, буферну ємність, буферні системи крові. Освоїти колориметричний метод визначення рН розчинів.

Алгоритми розв'язування типових задач

Задача 1. Температура замерзання бензолу 5,5 °С. Кріоскопічна константа 5,12 град. Скільки молів розчиненої речовини міститься в 125 г бензолу, якщо розчин замерзає при 4,99 °С?

Алгоритм розв'язування

1. Зниження температури замерзання розчину ($\Delta t_{\text{зам}}$) – це різниця між $t_{\text{зам}}$ розчинника і розчину:

$$\Delta t_{\text{зам}} = t_{\text{зам}}(\text{C}_6\text{H}_6) - t_{\text{зам}}(\text{р-ну}) = 5,5 - 4,99 = 0,51 \text{ } ^\circ\text{C}$$

2. Згідно П закону Рауля, $\Delta t_{\text{зам}} = K \cdot C_m$, де C_m – моляльна концентрація розчину, тобто кількість молів розчиненої речовини (n) в 1 кг розчинника

$$C_m = \frac{m_{\delta-\text{іо}} \cdot 1000}{m_{\delta-\text{єà}} \cdot \dot{V}} = \frac{n_{\delta-\text{іо}} \cdot 1000}{m_{\delta-\text{єà}}}; C_m = \frac{n_{\delta-\text{іо}} \cdot 1000}{125} = 8 \cdot n.$$

3. Обчислюємо кількість молів речовини:

$$\Delta t_{\text{зам}} = K \cdot C_m = K \cdot 8n; n = \frac{\Delta t_{\text{çàì}}}{8} = \frac{0,51}{5,12 \cdot 8} = 0,012 \text{ моль}$$

Відповідь: у розчині міститься 0,012 молів розчиненої речовини.

Задача 2. Розчин, що містить 0,6 г розчиненої речовини у 40 г етеру, кипить при 36,13 °С. Температура кипіння етеру 35,6 °С, ебуліоскопічна константа 2,12. Обчислити молекулярну масу розчиненої речовини.

Алгоритм розв'язування

1. Обчислюємо підвищення температури кипіння розчину

$$\Delta t_{\text{кип}} (\text{p-ну}) = t_{\text{кип}} (\text{p-ну}) - t_{\text{кип}} (\text{p-ка})$$

$$\Delta t_{\text{кип}} = 36,13 - 35,6 = 0,53 \text{ } ^\circ\text{C}$$

2. Згідно II закону Рауля

$$\Delta t_{\text{кип}} = E \cdot C_m = E \cdot \frac{m_{\delta\text{-i6}} \cdot 1000}{m_{\delta\text{-e8}} \cdot \dot{V}}$$

Звідси обчислюємо молекулярну масу M:

$$M = \frac{E \cdot m_{\delta\text{-i6}} \cdot 1000}{m_{\delta\text{-e8}} \cdot \Delta t} = \frac{2,12 \cdot 0,6 \cdot 1000}{40,0 \cdot 0,5} = 60$$

Відповідь: молекулярна маса речовини 60 а.о.м.

Задача 3. Обчислити ізотонічний коефіцієнт і ступінь іонізації Na_2CO_3 в розчині, якщо при розчиненні 0,636 г солі в 120 г води одержуємо розчин, який замерзає при $-0,225 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Алгоритм розв'язування

1. Обчислюємо експериментальне зниження температури замерзання розчину $\Delta t_{\text{експ}}$

$$\Delta t_{\text{експ}} = t_{\text{зам}}^{\circ} (\text{H}_2\text{O}) - t_{\text{зам}}^{\circ} (\text{p-ну}) = 0 - (-0,225) = 0,225 \text{ } ^\circ\text{C}$$

2. Обчислюємо $\Delta t_{\text{теор}}$ для цього розчину за II законом Рауля:

$$\Delta t_{\text{дi8i6}} = K \cdot C_m = \frac{K \cdot m_{\text{Na}_2\text{CO}_3} \cdot 1000}{m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot M_{\text{Na}_2\text{CO}_3}} = \frac{1,86 \cdot 0,636 \cdot 1000}{120 \cdot 106} = 0,093 \cdot$$

3. Обчислюємо ізотонічний коефіцієнт Вант-Гоффа:

$$i = \frac{\Delta t_{\text{дi8i6}}}{\Delta t_{\text{дi8i6}}} = \frac{0,225}{0,093} = 2,42$$

4. Обчислюємо ступінь іонізації солі:

$$\alpha = \frac{i-1}{n-1} = \frac{2,42-1}{3-1} = \frac{1,42}{2} = 0,71$$

Відповідь: ступінь іонізації 71 %, ізотонічний коефіцієнт 2,42.

Задача 4. Чи ізотонічні між собою два розчини: розчин сечовини $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ з масовою часткою 0,6 % і розчин хлориду натрію, що замерзає при температурі $-0,186 \text{ } ^\circ\text{C}$?

Алгоритм розв'язування

Щоб дати відповідь на це питання, треба обчислити і порівняти осмотичні тиски обох розчинів.

Сечовина – неелектроліт, тому за законом Вант-Гоффа,

$$\pi_1 = C_m RT$$

NaCl – електроліт, тому слід врахувати ізотонічний коефіцієнт Вант-Гоффа

$$\pi_2 = i C_m RT$$

Якщо прийняти $\alpha = 1$, то

$$i = 1 + \alpha (n - 1) = 1 + 1 (2 - 1) = 2$$

1. Обчислюємо молярну концентрацію розчину сечовини за формулою:

$$C_m = \frac{C\% \cdot 10 \cdot \rho}{M}, \quad M(\text{NH}_2)_2\text{CO} = 60, \quad \rho = 1 \text{ г/см}^3$$

$$C_m = \frac{0,6 \cdot 10^{-1}}{60} = 0,1$$

Тому осмотичний тиск цього розчину дорівнює

$$\pi_1 = 0,1 RT$$

2. Обчислюємо осмотичний тиск розчину NaCl криометричним методом:

$$\pi_2 = i C_m RT = \frac{\Delta t_{\text{депр}} \cdot R \cdot T}{K} ;$$

$$\Delta t_{\text{експ}} = t_{\text{зам}}^{\circ}(\text{H}_2\text{O}) - t_{\text{зам}}^{\circ}(\text{р-ну}) = 0 - (-0,186) = 0,186; K(\text{H}_2\text{O}) = 1,86$$

$$\pi_2 = \frac{0,186 \cdot RT}{1,86} = 0,1RT$$

Відповідь: $\pi_1 = \pi_2$, отже розчини ізотонічні.

Задача 5. Обчислити рН буферної системи, яка складається з 150 см³ 0,1 М CH₃COOH і 200 см³ 0,15 М CH₃COONa. $K_{\text{іон}}(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1,75 \cdot 10^{-5}$

Алгоритм розв'язування

Обчислюємо рН буферного розчину за рівнянням Гендерсона-Гассельбаха:

$$\text{pH} = \text{pK} + \lg \frac{[\text{нііі}]}{[\text{єєєііі}]} = -\lg K_{\text{єєє}} + \lg \frac{V_c \cdot C_c}{V_e \cdot N_e}$$

$$\text{pH} = -\lg 1,75 \cdot 10^{-5} + \lg \frac{200 \cdot 0,15}{150 \cdot 0,1} = 4,75 + \lg 2 = 4,757 + 0,3010 = 5,058 \approx 5,06$$

Відповідь: рН = 5,06.

Задача 6. У якому співвідношенні треба змішати 0,02 М розчин NH₄OH і 0,015 М розчин NH₄Cl, щоб одержати буферний розчин з рН 9,25? $K_{\text{іон}}(\text{NH}_4\text{OH}) = 1,8 \cdot 10^{-5}$.

Алгоритм розв'язування

1. Обчислюємо гідроксильний показник:

$$\text{pOH} = 14 - \text{pH} = 14 - 9,25 = 4,75$$

2. Переводимо рОН у концентрацію іонів OH⁻

$$\text{pOH} = -\lg [\text{OH}^-] = 4,75$$

$$\lg [\text{OH}^-] = -4,75 = -5 + 0,25$$

$$[\text{OH}^-] = 1,7783 \cdot 10^{-5}$$

3. Позначивши через x см³ – об'єм 0,02 М NH₄OH і $(100 - x)$ см³ – об'єм 0,015 М NH₄Cl, необхідних для приготування 100 см³ буферного розчину і знаючи $K_{\text{іон}}(\text{NH}_4\text{OH})$, підставляємо їх у формулу для обчислення концентрацій іонів OH⁻:

$$[\text{OH}^-] = \hat{E}_{\text{ні}} \cdot \frac{\tilde{N}_{\text{ніі}} \cdot V_{\text{ніі}}}{\tilde{N}_{\text{нієі}} \cdot V_{\text{нієі}}}$$

$$1,7783 \cdot 10^{-5} = 1,8 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{0,02 \cdot x}{0,015 \cdot (100 - x)} ; 1,7783 = 1,8 \frac{4x}{3 \cdot (100 - x)}$$

$$1,7783 (300 - 3x) = 7,2 x$$

$$533,49 - 5,3349 x = 7,2 x$$

$$533,49 = 12,5349 x$$

$$x = 42,56$$

Відповідь: потрібно взяти $42,56 \text{ см}^3$ $0,02 \text{ М}$ NH_4OH ; $57,44 \text{ см}^3$ $0,015 \text{ М}$ NH_4Cl .

Задача 7. Як зміниться рН фосфатного буферного розчину, який складається з 200 см^3 $0,1 \text{ М}$ NaH_2PO_4 та 200 см^3 $0,3 \text{ М}$ Na_2HPO_4 , при додаванні 10 см^3 $0,2 \text{ М}$ розчину NaOH ? $K_{\text{іон}}(\text{H}_2\text{PO}_4^-) = 6,3 \cdot 10^{-8}$.

Алгоритм розв'язування

1. Обчислюємо рН фосфатного буферного розчину за рівнянням Гендерсона-Гассельбаха:

$$\text{pH} = \text{pK} + \lg \frac{[\text{нііі}]}{[\text{єєіііііа}]} = -\lg K_{\text{іі}} + \lg \frac{C_{\text{Na}_2\text{HPO}_4} \cdot V_{\text{Na}_2\text{HPO}_4}}{C_{\text{NaH}_2\text{PO}_4} \cdot V_{\text{NaH}_2\text{PO}_4}}$$

$$\text{pH} = -\lg 6,3 \cdot 10^{-8} + \lg \frac{200 \cdot 0,3}{200 \cdot 0,1} = 7,2 + 0,477 = 7,677$$

2. При додаванні лугу збільшиться кількість солі Na_2HPO_4 і відповідно зменшиться кількість NaH_2PO_4 , яку він нейтралізує, тому

$$\text{pH}_1 = -\lg 6,3 \cdot 10^{-8} + \lg \frac{200 \cdot 0,3 + 10 \cdot 0,2}{200 \cdot 0,1 - 10 \cdot 0,2} = 7,2 + \lg \frac{62}{18} = 7,2 + 0,537 = 7,737$$

3. Обчислюємо зміну рН:

$$\text{pH} = \text{pH}_1 - \text{pH} = 7,737 - 7,677 = 0,06$$

Відповідь: рН буферного розчину збільшиться на $0,06$.

Задача 8. До 10 см^3 сироватки крові додали $4,2 \text{ см}^3$ $0,05 \text{ М}$ розчину HCl , що зумовило зміну рН від $7,36$ до $7,0$. Обчислити буферну ємність крові за кислотою.

Алгоритм розв'язування

Величину буферної ємності за кислотою обчислюємо за формулою:

$$B = \frac{C_a \cdot V_a}{V_{\text{єєііє}} \cdot \Delta \text{рН}}$$

$$B = \frac{0,05 \cdot 4,2}{10 \cdot (7,36 - 7,0)} = 0,05833 \text{ моль/дм}^3 = 58,33 \text{ ммоль/дм}^3.$$

Відповідь: буферна ємність дорівнює $58,33 \text{ ммоль/дм}^3$.

Завдання для самостійного розв'язування

115. Які властивості розчинів залежать тільки від кількості частинок у розчині і не залежать від їх природи? Як їх називають? Дайте коротку характеристику таких властивостей.
116. Є розведений розчин нелеткої речовини у розчиннику. Де більший тиск насиченої пари – над розчином чи над розчинником? Відповідь обґрунтувати. Пояснити графік залежності тиску пари від температури.
117. Від чого залежить зниження тиску пари над розчином нелетких речовин? Сформулюйте і напишіть математичний вираз 1 закону Рауля. Що таке мольна частка?
118. Як впливає зниження тиску пари над розчином на температуру замерзання розчину? Що таке депресія розчину і як її можна обчислити?
119. Як вплине зниження тиску пари над розчином на температуру кипіння розчину? Який із розчинів – $0,01 \text{ М}$ CH_3COOH чи $0,01 \text{ М}$ HCl матиме вищу температуру кипіння? Відповідь обґрунтувати.

120. Поясніть, чому при розчиненні у воді багатьох речовин знижується її температура замерзання і підвищується температура кипіння? Чому взимку обледенілі тротуари посипають піском із кухонною сіллю і охолоджуючі суміші готують із снігу і солі?
121. Поясніть теоретично, чи при однаковій температурі: а) кипить вода на рівні моря і на високогірній вершині; б) замерзає річкова і морська вода? Якщо ні, то в якому випадку вона буде вищою, нижчою? Відповідь пояснити.
122. Які два наслідки випливають із I закону Рауля щодо температури кипіння і температури замерзання розчинів нелетких речовин? Показати на графіку залежності тиску пари від температури для чистого розчинника і розчину.
123. Від чого залежить зниження температури замерзання розчину? Сформулюйте і напишіть математичний вираз II закону Рауля. В яких одиницях виражають концентрацію у цьому рівнянні? Як називається коефіцієнт пропорційності?
124. Від чого залежить підвищення температури кипіння розчину? Сформулюйте і напишіть математичний вираз II закону Рауля. В яких одиницях виражають концентрацію у цьому рівнянні? Як називається коефіцієнт пропорційності?
125. Розташуйте в порядку зростання зниження температури замерзання такі розчини:
 100 г гліцерину $C_3H_5(OH)_3$ у 1000 г води;
 100 г етанолу C_2H_5OH у 2000 г води;
 100 г метанолу CH_3OH у 3000 г води.
 Відповідь підтвердіть розрахунками.
126. Який фізичний зміст криометричної та ебуліометричної сталих? Якими властивостями: розчинника чи розчиненої речовини визначається їх величина? Обчислити криометричну сталу води, якщо 0,001 молярний розчин неелектроліту у воді замерзає при $-0,00186^\circ C$.
127. На вимірюванні якої величини базується криометрія? Опишіть коротко методику визначення та обчислення молекулярної маси неелектроліту та ступеня іонізації електроліту цим методом.
128. Що таке ебуліометрія і на вимірюванні якої величини вона базується? Опишіть коротко методику та порядок обчислень при ебуліометричному визначенні молекулярної маси розчиненої речовини.
129. Виведіть формулу для визначення молекулярної маси розчиненого неелектроліту криометричним методом. Які величини для цього треба виміряти експериментально? Опишіть методику експерименту.
130. Що показує ізотонічний коефіцієнт Вант-Гоффа? У якому співвідношенні знаходяться колігативні властивості (які?) для водних розчинів сахарози $C_{12}H_{22}O_{11}$ і хлориду магнію однакової молярності? Відповідь підтвердіть розрахунками, прийнявши ступінь іонізації $MgCl_2$ за одиницю.
131. Виведіть формулу і опишіть методику криометричного визначення ступеня іонізації електроліту. Які величини слід експериментально визначити у криоскопі? Що таке термометр Бекмана?
132. Криометричне визначення осмотичного тиску розчинів неелектролітів і електролітів. Що таке осмотична концентрація і як її враховують криометричним методом? Опишіть коротко методику експерименту.
133. У якому співвідношенні знаходяться величини осмотичної концентрації і осмотичного тиску двох водних 0,005 М розчинів глюкози $C_6H_{12}O_6$ і сульфату алюмінію, повністю іонізованого? Відповідь підтвердіть необхідними розрахунками.

134. Який із розчинів, що взяті в однакових об'ємах і містять однакові маси розчиненої речовини, мають за однакової температури більший осмотичний тиск і у скільки разів – глюкози $C_6H_{12}O_6$ чи сечовини $(NH_2)_2CO$. Відповідь обґрунтувати на основі розрахунків.
135. Експериментально встановлено, що розчин із вмістом 2,93 г хлориду натрію у 50 г води замерзає при $-3,35$ °С. Температура експерименту 20 °С. Які величини можна обчислити на основі цих даних?
136. Експериментально встановлено, що водний розчин цукру з масовою часткою речовини 7 % замерзає при $-0,41$ °С. Температура досліду 22 °С. Які величини можна обчислити на основі цих даних?
137. Опишіть методику перевірки ізотонічності розчинів кріометричним методом. Чи буде водний розчин глюкози ізотонічним до крові, якщо він замерзає при $-1,048$ °С?
138. Опишіть методику перевірки ізотонічності розчинів ебуліометричним методом. При якій температурі буде кипіти ізотонічний до крові розчин хлориду натрію? Іонізацію солі вважати повною.
139. Що характеризує водневий показник рН? Інтервал значень рН для різних біологічних рідин у нормі та патології. Що таке ізогідрія?
140. Що таке буферні системи і яка їх роль, особливо в живих організмах? Типи буферних систем і їх склад.
141. Від яких факторів залежить концентрація іонів H^+ та рН у буферних системах? Вивести рівняння Гендерсона–Гассельбаха для таких буферних систем:
- а) ацетатної; амонійної;
 - б) гідрокарбонатної; білкової;
 - в) фосфатної; гемоглобінової.
142. Яка роль буферних систем? Пояснити механізм дії таких буферних систем:
- а) ацетатної; амонійної;
 - б) гідрокарбонатної; білкової;
 - в) фосфатної; гемоглобінової.
143. Чи впливає розведення водою на рН буферного розчину? Відповідь підтвердіть розрахунками на прикладі ацетатної буферної суміші, що містить 6 см^3 0,1 М CH_3COOH і 4 см^3 0,2 М CH_3COONa , а потім розведених водою в 10 разів. $K_{iон}(CH_3COOH) = 1,75 \cdot 10^{-5}$.
144. Як приготувати буферні розчини з різним значенням рН, використовуючи одну і ту ж буферну систему? Відповідь підтвердіть розрахунками на прикладі фосфатної буферної системи. До якого типу належить цей буферний розчин і яка його роль в живих організмах?
145. Що таке буферна ємність? Від яких факторів вона залежить? В яких одиницях вимірюється?
146. Вплив розведення і співвідношення компонентів на величину буферної ємності. Максимальна буферна ємність системи.
147. Опишіть методику визначення та наведіть рівняння для розрахунку буферної ємності за кислотою (на прикладі ацетатної буферної системи).
148. Опишіть методику визначення та наведіть рівняння для розрахунку буферної ємності за лугом (на прикладі амонійної буферної системи).
149. Які буферні системи підтримують постійність рН біологічних рідин? Порівняльна величина ємності основних буферних систем організму, їх кооперативний характер.

150. Буферна дія білків. Які функціональні групи білкових молекул зумовлюють їх буферну дію? Написати схеми реакцій. Чому білкова буферна система є основною буферною системою організму?
151. Чому гемоглобінова буферна система є найпотужнішою буферною системою еритроцитів? Який механізм буферної дії цієї системи?
152. Які кислотно-основні пари виконують функції буферних систем тільки в еритроцитах; тільки у плазмі крові; і в еритроцитах і плазмі крові? Загальна буферна дія крові.
153. Чому фосфатна кислотно-основна пара є найважливішою буферною системою нирок? Склад, механізм буферної дії і буферна ємність фосфатної буферної системи.
154. Гідрокарбонатна буферна система як найактивніша система плазми крові і позаклітинної рідини: склад, механізм буферної дії, буферна ємність. Лужний резерв крові.
155. Порушення кислотно-основної рівноваги крові. Ацидоз і алкалоз, їх причини, наслідки і корекція.
156. Скільки грамів кристалогідрату $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ потрібно для приготування 1750 г розчину, якщо його молярність дорівнює 0,2 моль/кг?
157. При охолодженні океанської води перші кристали з'являються при $-2,2^\circ\text{C}$. Чому? Обчисліть масову частку NaCl у % в розчині, який замерзне при цій температурі.
 $\alpha = 1, K_{\text{води}} = 1,86.$
158. Обчислити температуру замерзання водного розчину з масовою часткою глюкози $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ 10 %.
159. Водний розчин сахарози $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ замерзає при $-1,05^\circ\text{C}$. Обчислити масову частку сахарози в розчині у відсотках.
160. Скільки грамів гліцерину $\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$ треба розчинити в 200 г води, щоб розчин замерзав при -1°C ?
161. Обчислити масову частку камфори ($M = 154$) у відсотках в бензолі ($t^\circ_{\text{замерз}} = 5,5^\circ\text{C}$), якщо розчин замерзає при $3,45^\circ\text{C}$. Кріометрична стала бензолу 5,12.
162. В якій масі сірковуглецю треба розчинити 0,1 моль речовини, щоб розчин кипів при 47°C ? Температура кипіння сірковуглецю дорівнює $46,3^\circ\text{C}$. Ебуліометрична стала 2,29.
163. Обчислити підвищення температури кипіння розчину, що містить 0,488 г бензойної кислоти $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_2$ в 50,0 г хлороформу. Ебуліометрична стала хлороформу дорівнює 3,88.
164. Обчислити зниження температури замерзання розчину, що містить 0,2 моль речовини в 750 г бензолу. Кріометрична стала бензолу 5,12.
165. Водний розчин, що містить 5,18 г розчиненої речовини у 155,18 г розчину, замерзає при $-1,39^\circ\text{C}$. Обчислити молекулярну масу розчиненої речовини.
166. Розчин, що містить 2,05 г розчиненої речовини в 50 г води, замерзає при $-0,93^\circ\text{C}$. Обчислити молекулярну масу розчиненої речовини.
167. Температура кипіння етеру $35,6^\circ\text{C}$, ебуліоскопічна константа 2,12. Обчислити молекулярну масу бензойної кислоти, якщо розчин її в етері з масовою часткою 10 % кипить при $37,53^\circ\text{C}$.

168. Температура кипіння оцтової кислоти 118,4 °С, ебуліоскопічна стала 3,1. Обчислити молекулярну масу антрацену, якщо його розчин, що містить 10 г антрацену в 164 г розчину, кипить при 119,53 °С.
169. Обчислити молекулярну масу гліцерину, якщо при розчиненні 2,04 г його у 100 см³ води температура замерзання знизилась на 0,412 °С. Кріометрична стала води дорівнює 1,86.
170. Визначити молекулярну масу камфори, якщо розчин, що містить 13 г камфори в 400 г діетилового етеру (C₂H₅)₂O, кипить на 0,453 °С вище, ніж чистий етер (t_{кип} етеру = 34,6 °С; E_{етеру} = 2,02).
171. Обчислити молекулярну масу камфори, якщо при розчиненні 0,4 г її в 200 г бензолу температура замерзання знизилась на 0,067 °С. K_{бензолу} = 5,12.
172. Температура кипіння розчину, що містить 0,9 г KNO₃ в 10 г води, дорівнює 100,8 °С. Обчислити ступінь іонізації KNO₃ в розчині (E_{води} = 0,52) та ізотонічний коефіцієнт.
173. Розчин, що містить 0,3 г MgCl₂ в 12,5 г води, замерзає при -1,23 °С. Обчислити ступінь іонізації MgCl₂ та ізотонічний коефіцієнт.
174. Розчин, що містить 1,7 г ZnCl₂ в 250 г води, замерзає при 24 °С. Обчислити ступінь іонізації солі та ізотонічний коефіцієнт. (K_{води} = 1,86).
175. Розчин гідроксиду калію з масовою часткою лугу 5 % кипить при 100,86 °С. Обчислити ступінь іонізації гідроксиду калію (E_{води} = 0,52).
176. Ступінь іонізації K₂SO₄ в розчині, що містить 0,026 моля K₂SO₄ в 50 г води, дорівнює 53 %. Обчислити підвищення температури кипіння розчину (E_{води} = 0,52).
177. Ступінь іонізації CaCl₂ в розчині, що містить 0,666 CaCl₂ в 125 г H₂O, дорівнює 0,75. Обчислити температуру замерзання розчину (K_{води} = 1,86).
178. Ізотонічний коефіцієнт K₂SO₄ у розчині, що містить 9 г K₂SO₄ в 100 г H₂O дорівнює 2,1. Обчислити зниження температури замерзання розчину (K_{води} = 1,86) і ступінь іонізації солі.
179. Ступінь іонізації MgCl₂ у розчині, що містить 0,25 моль MgCl₂ у 1000 г H₂O, дорівнює 0,84. У скільки разів зниження температури замерзання цього розчину більше за зниження температури замерзання еквімолярного розчину неелектроліту.
180. Яким електролітом (сильним чи слабким) є йодид натрію в етанолі, якщо температура кипіння розчину, що містить 0,506 г NaI в 32,5 г C₂H₅OH, підвищилась на 0,16 °С (E_{етанолю} = 1,04).
181. Обчислити осмотичний тиск при 17 °С розчину, в якому масова частка глюкози дорівнює 10 % (ρ = 1,0377 г/см³).
182. Яким відносно крові буде розчин, у 200 см³ якого міститься 25,2 г сахарози C₁₂H₂₂O₁₁? Температура організму людини дорівнює 36,6 °С.
183. Осмотичний тиск в організмі ссавців коливається від 669 до 810 кПа. Яка молярна концентрація речовин (неелектролітів і електролітів) у крові при максимальному осмотичному тиску, якщо відомо, що 1/4 його обумовлена присутністю неелектролітів, а 3/4 – солями, які повністю розпадаються на 2 іони. Температура тіла 37 °С.

184. Обчислити осмотичний тиск у кПа сироватки крові при 37 °С, якщо температура замерзання її дорівнює $-0,56$ °С ($K_{\text{води}} = 1,86$).
185. Обчислити осмотичний тиск (в атм) розчину цукру, який при температурі 20 °С замерзає при $-1,05$ °С. ($K_{\text{води}} = 1,86$).
186. Обчислити температуру замерзання водного розчину глюкози, якщо його осмотичний тиск при 0 °С дорівнює 4,48 атм ($K_{\text{води}} = 1,86$).
187. Обчислити температуру кипіння водного розчину сахарози, якщо його осмотичний тиск при 22 °С дорівнює 4,81 атм ($E_{\text{води}} = 0,52$).
188. Обчислити осмотичний тиск в кПа водного розчину сахарози при 27 °С, якщо підвищення температури кипіння розчину порівняно із розчинником складає 0,119 °С ($E_{\text{води}} = 0,52$).
189. Обчислити осмотичний тиск в кПа і зниження температури замерзання при 20 °С водного розчину, в якому масова частка сахарози дорівнює 17 % ($\rho = 1,067$ г/см³, $K_{\text{води}} = 1,86$).
190. Обчислити осмотичний тиск в атм 0,05 М розчину Na_2SO_4 при 300 К, якщо уявний ступінь іонізації дорівнює 80 %.
191. Обчислити осмотичний тиск в кПа при 17 °С розчину, що містить 11,2 г CaCl_2 в 200 см³ води, якщо ізотонічний коефіцієнт дорівнює 2,5.
192. Обчислити ступінь іонізації KCl , якщо 0,01 М розчин його при 0 °С має осмотичний тиск 0,44 атм.
193. Осмотичний тиск при 0 °С розчину, що містить 0,0505 г KNO_3 у 100 см³ розчину, дорівнює 0,22 атм. Обчислити ступінь іонізації солі і температуру замерзання ($K_{\text{води}} = 1,86$).
194. Ступінь іонізації KNO_3 в 0,02 М розчині дорівнює 90,8 %. У скільки разів підвищення температури кипіння і осмотичний тиск цього розчину більші за відповідні величини для еквімолярного розчину неелектроліту за однакової температури.
195. Розчин, одержаний розчиненням 2,9 г $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ в 150 г води, кипить при 100,09 °С. Обчислити ступінь іонізації солі в цьому розчині, температуру замерзання розчину і осмотичний тиск в атм при 20 °С.
196. Розрахувати масову частку глюкози $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ у відсотках у розчині, ізотонічному до крові. Обчислити температуру кипіння такого розчину. $E_{\text{води}} = 0,52$.
Температура організму 37 °С, $\pi_{\text{крові}} = 790$ кПа. Густина розчину 1,05 г/см³.
197. Розрахувати масову частку ізотонічного до крові розчину NaCl і температуру його замерзання. Густина розчину і ступінь іонізації прийняти за одиницю ($K_{\text{води}} = 1,86$; $\pi_{\text{крові}} = 790$ кПа; $T = 310$ К).
198. Чи ізотонічні дві біологічні рідини, якщо температура замерзання однієї з них дорівнює $-0,42$ °С, а осмотичний тиск іншої при 37 °С дорівнює 5,74 атм? ($K_{\text{води}} = 1,86$).
199. Обчислити рН буферного розчину, що містить 0,05 моля молочної кислоти і 0,122 моля лактату натрію при 25 °С. Константа іонізації молочної кислоти дорівнює $1,37 \cdot 10^{-4}$.

200. Обчислити концентрацію іонів водню і рН буферного розчину, що містить 0,1 моль NH_4OH і 0,024 моль NH_4Cl при 25 °С. Константа іонізації NH_4OH дорівнює $1,8 \cdot 10^{-5}$.
201. Скільки cm^3 0,01 М розчину CH_3COOH і ацетату натрію потрібно взяти для одержання 100 cm^3 ацетатного буферного розчину з рН 4,75. $K(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1,75 \cdot 10^{-5}$.
202. При якому співвідношенні компонентів рН гідрокарбонатного буферного розчину дорівнює 6,5? $K(\text{H}_2\text{CO}_3) = 4,4 \cdot 10^{-7}$.
203. Який об'єм 0,1 М CH_3COOH треба додати до 100 cm^3 0,2 М CH_3COONa , щоб одержана буферна суміш мала рН = 4,17 при 25 °С?
204. Обчислити рН буферної суміші, яка складається з 5 cm^3 0,1 М NH_4OH і 9 cm^3 0,1 М NH_4Cl , якщо константа іонізації NH_4OH дорівнює $1,8 \cdot 10^{-5}$.
205. Скільки молів CH_3COOH треба додати до 1 dm^3 1 М розчину CH_3COONa , щоб він став нейтральним? $K_{\text{кислоти}} = 1,75 \cdot 10^{-5}$.
206. Обчислити рН фосфатного буферного розчину, що містить 200 cm^3 0,1 М NaH_2PO_4 і 120 cm^3 0,2 М Na_2HPO_4 . $K(\text{H}_2\text{PO}_4^-) = 6,3 \cdot 10^{-8}$.
207. Визначити рН буферного розчину, що містить 0,4 моля мурашиної кислоти ($K_{\text{НСOOH}} = 1,8 \cdot 10^{-4}$) і 1 моль формиату натрію до і після розведення його водою в 10 разів.
208. Яку масу ацетату натрію в грамах потрібно додати до 2 dm^3 0,3 М розчину оцтової кислоти ($K \text{ CH}_3\text{COOH} = 1,75 \cdot 10^{-5}$), щоб одержати буферний розчин з рН 4,97?
209. Як зміниться рН буферного розчину, що містить 15 cm^3 0,06 М CH_3COONa і 20 cm^3 0,03 М CH_3COOH , при додаванні 5 cm^3 0,1 М HCl ? $K(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1,75 \cdot 10^{-5}$?
210. Як зміниться рН буферного розчину, що містить 30 cm^3 0,2 М розчину NiH_4OH і 15 cm^3 0,1 М NH_4Cl , при додаванні 5 cm^3 0,1 М HCl ? $K(\text{NH}_4\text{OH}) = 1,8 \cdot 10^{-5}$?
211. Як зміниться рН фосфатного буферного розчину, який складається з 250 cm^3 0,1 М NaH_2PO_4 і 150 cm^3 0,2 М Na_2HPO_4 , при додаванні 2 ммоль NaOH ($K_{\text{H}_2\text{PO}_4^-} = 6,3 \cdot 10^{-8}$)?
212. Як зміниться рН буферного розчину, який складається з 0,05 моля слабкої основи ($K_{\text{іоніз}} = 1,8 \cdot 10^{-5}$) і 0,01 моля солі, якщо до буферного розчину додали 5 cm^3 0,1 М розчину HCl ?
213. У скільки разів зміниться $[\text{H}^+]$ в буферному розчині, що містить 0,15 моля кислоти ($K_{\text{іоніз}} = 1,56 \cdot 10^{-7}$) і 0,45 моля солі, при додаванні 80 cm^3 0,215 М розчину NaOH ?
214. До 10 cm^3 крові для зміни рН від 7,36 до 7,8 потрібно додати 4 cm^3 0,08 М NaOH . Обчислити буферну ємність крові за лугом
215. До 5 cm^3 сироватки крові додали 2,5 cm^3 0,1 М розчину HCl , що зумовило зміну рН від 7,4 до 7,0. Розрахувати буферну ємність крові за кислотою.
216. Обчислити величину буферної ємності крові за кислотою, якщо додавання 2,5 cm^3 0,2 М розчину HCl до 20 cm^3 крові зумовило зміну рН від 7,36 до 7,1.
217. Обчислити буферну ємність, якщо додавання 5,7 cm^3 0,1 М розчину HCl до 10 cm^3 буферного розчину зумовило зміну рН від 4,2 до 3,1.
218. Обчислити буферну ємність системи, яка складається з 50 cm^3 0,1 М NH_4Cl і 50 cm^3 0,1 М NH_4OH , якщо до буферної системи додали 50 cm^3 0,01 М розчину HCl . $K(\text{NH}_4\text{OH}) = 1,8 \cdot 10^{-5}$.

219. Обчислити буферну ємність 1 дм^3 системи, яка складається з $0,05$ моля солі і $0,01$ моля кислоти ($K_{\text{іоніз}} = 2,8 \cdot 10^{-4}$), якщо до буферного розчину додали 5 см^3 $0,5 \text{ М}$ NaOH .
220. Скільки см^3 $0,3 \text{ М}$ NH_4Cl треба додати до 60 см^3 $0,1 \text{ М}$ NH_4OH , щоб одержати буферну систему з pH $8,95$? Обчислити буферну ємність системи, якщо після додавання 6 см^3 $0,5 \text{ М}$ розчину HCl pH став $8,55$. $K(\text{NH}_4\text{OH}) = 1,8 \cdot 10^{-5}$.
221. Скільки см^3 $0,2 \text{ М}$ розчину солі треба додати до 100 см^3 $0,1 \text{ М}$ розчину кислоти ($K_{\text{іон}} = 1 \cdot 10^{-6}$), щоб розчин став нейтральним? Яку кількість молів HCl потрібно ввести в систему для зміни pH на $0,2$, якщо буферна ємність дорівнює $0,04$ моль/ дм^3 ?
222. Який об'єм $0,4 \text{ М}$ розчину NH_4Cl треба додати до 1 дм^3 $0,1 \text{ М}$ NH_4OH , щоб одержати буферний розчин з $[\text{H}^+] = 5,6 \cdot 10^{-10}$ моль/л? $K(\text{NH}_4\text{OH}) = 1,8 \cdot 10^{-5}$. Обчислити буферну ємність розчину, якщо до нього додали 200 см^3 $0,1 \text{ М}$ HCl .

Розділ 3

Термодинаміка розчинів електролітів Електрична провідність розчинів електролітів

Значення матеріалу теми: Біологічні рідини містять значну кількість електролітів, які зумовлюють їх високу електропровідність, що має різноманітне біологічне значення. Електроліти підтримують кислотно-основну рівновагу, нормалізують водно-сольовий обмін, підтримують осмотичний тиск крові. Порушення електролітного обміну в тканинах живого організму приводить до різних захворювань. Визначення концентраційних відхилень вмісту окремих йонів в біологічних рідинах може бути діагностичною ознакою патологічного процесу в організмі. Електропровідність тканин людського організму має важливе фізіологічне значення і широко використовується у фізіотерапії.

Мета заняття: Навчитись експериментально визначати електропровідність розчинів і за її допомогою розраховувати характеристики електролітів – ступінь і константу дисоціації (іонізації), активність йонів, добуток розчинності важкорозчинних електролітів.

Алгоритми розв'язування типових задач

Задача 1. Розрахувати постійну електродної комірки (К), під'єднаної до лівого плеча містка Кольрауша, в якій $R_M = 200 \text{ Ом}$, а положення рухомого контакту знаходиться на відрітку $a = 452 \text{ мм}$ реохорду. Питома електрична провідність (χ) розчину KCl у цих умовах становить $0,579 \text{ См} \cdot \text{м}^{-1}$.

Алгоритм розв'язування

1. Обчислюємо опір R_x розчину KCl

$$R_x = R_M \cdot \frac{a}{1000 - a} = \frac{200 \cdot 452}{548} = 165 \text{ Ом.}$$

2. Знаходимо значення постійної електродної комірки (К)

$$K = \chi \cdot R_x = 0,579 \text{ См} \cdot \text{м}^{-1} \cdot 165 \text{ Ом} = 95,5 \text{ м}^{-1}.$$

Відповідь: постійна електродної комірки дорівнює $95,5 \text{ м}^{-1}$.

Задача 2. Питома електрична провідність масляної кислоти ($\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}$) складає $\chi = 1,812 \cdot 10^{-2} \text{ См} \cdot \text{м}^{-1}$ при розведенні 64 л/моль . Вирахувати її ступінь (α) та

константу (K) дисоціації. Гранична молярна електрична провідність $\lambda_{\max}(\text{C}_3\text{H}_7\text{COO}^-) = 0,0043 \text{ См} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$, а $\lambda_{\max}(\text{H}^+) = 0,03498 \text{ См} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$.

Алгоритм розв'язування:

1. Виразовуємо молярну електричну провідність

$$\lambda_c = \frac{\chi}{1000 \cdot C} = \frac{\chi \cdot v}{1000} = \frac{1,812 \cdot 10^{-2} \cdot 64}{1000} = 1,16 \cdot 10^{-3} \text{ См} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$$

2. Виразовуємо граничну молярну електричну провідність

$$\lambda_{\max} = \lambda_{\max \text{C}_3\text{H}_7\text{COO}^-} + \lambda_{\max \text{H}^+} = 0,0043 + 0,03498 = 3,90 \cdot 10^{-2} \text{ См} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$$

3. Виразовуємо ступінь йонізації:

$$\alpha = \frac{\lambda_c}{\lambda_{\max}} = \frac{1,16 \cdot 10^{-3}}{3,9 \cdot 10^{-2}} = 2,97 \cdot 10^{-2} = 2,97\%$$

4. Виразовуємо величину константи дисоціації K:

$$K = \frac{\alpha^2 \cdot C}{1 - \alpha} = \frac{\alpha^2}{(1 - \alpha)V} = \frac{0,0297^2}{(1 - 0,0297)64} = 1,42 \cdot 10^{-5}$$

Відповідь: $\alpha = 2,97 \cdot 10^{-2}$, $K = 1,42 \cdot 10^{-5}$.

Задача 3. Вирахувати молярну електричну провідність CH_3COOH при безмежному розведенні (λ_{\max}), в $\text{См} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$ при 298 К, якщо λ_{\max} для HCl , KCl і CH_3COOK відповідно дорівнюють $426,1 \cdot 10^{-4}$, $149,8 \cdot 10^{-4}$ і $114,4 \cdot 10^{-4} \text{ См} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$.

Алгоритм розв'язування

Виходячи із закону Кольрауша про адитивність граничних молярних йонних електричних провідностей

$$\begin{aligned} \lambda_{\max}(\text{CH}_3\text{COOH}) &= \lambda_{\max}(\text{CH}_3\text{COONa}) - \lambda_{\max}(\text{KCl}) + \lambda_{\max}(\text{HCl}) = \\ &= (114,4 - 149,8 + 426,1) \cdot 10^{-4} = 390,7 \cdot 10^{-4} \text{ См} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{моль}^{-1} \end{aligned}$$

Відповідь: $\lambda_{\max}(\text{CH}_3\text{COOH}) = 390,7 \cdot 10^{-4} \text{ См} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$.

Задача 4. Визначити добуток розчинності (ДР) хлориду срібла, якщо відомо, що питома електрична провідність його насиченого розчину (χ) становить $3,4 \cdot 10^{-4} \text{ См} \cdot \text{м}^{-1}$, а $\chi_{\text{води}} = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ См} \cdot \text{м}^{-1}$.

Алгоритм розв'язування

1. Обчислюємо питому електричну провідність солі AgCl :

$$\chi_{\text{AgCl}} = \chi_{\text{розчину AgCl}} - \chi_{\text{води}} = 3,4 \cdot 10^{-4} - 1,6 \cdot 10^{-4} = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ См} \cdot \text{м}^{-1}$$

2. Користуючись табличними даними визначаємо $\lambda_{\max \text{AgCl}}$, яка буде дорівнювати λ_c , бо насичений розчин є дуже розбавлений:

$$\lambda_{\max} = \lambda_{\max \text{Ag}^+} + \lambda_{\max \text{Cl}^-} = 61,9 \cdot 10^{-4} + 76,3 \cdot 10^{-4} = 138,2 \cdot 10^{-4} \text{ См} \cdot \text{моль}^2 \cdot \text{м}^{-1}$$

3. З формули $\lambda_c = \frac{\chi}{1000 \cdot C}$ вираховуємо концентрацію (C) AgCl в насиченому розчині або її розчинність (S):

$$C = S = \frac{\chi}{1000 \cdot \lambda_{\max}} = \frac{1,8 \cdot 10^{-4}}{1000 \cdot 138,2 \cdot 10^{-4}} = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ моль / л.}$$

4. Розраховуємо добуток розчинності:

$$ДР_{AgCl} = S^2 = (1,3 \cdot 10^{-4})^2 = 1,69 \cdot 10^{-10}.$$

Відповідь: $ДР_{AgCl} = 1,69 \cdot 10^{-10}$

Завдання для самостійного розв'язування

223. Що таке електропровідність розчинів, як вона експериментально визначається, в яких одиницях вимірюється?
224. Які провідники відносяться до провідників першого і другого роду? Який механізм їх електропровідності та фактори, що впливають на її величину?
225. Що означає термін питома електропровідність? Яка розмірність цієї величини? Як залежить χ від концентрації (розведення) розчину? Приведіть графік і поясніть цю залежність.
226. Намалуйте схему містка Кольрауша і поясніть схему роботи на ньому.
227. Що таке електродна комірка? Який зміст терміну “постійна електродної комірки”, як визначити її величину, яка розмірність цієї величини?
228. Дайте визначення молярної електричної провідності. Напишіть розмірність цієї величини та приведіть формулу для розрахунку її значення. Приведіть графік залежності λ_C від розбавлення.
229. Напишіть формулу для розрахунку граничної молярної електричної провідності. Сформулюйте закон Кольрауша.
230. Користуючись табличними даними вчисліть граничну молярну електричну провідність таких сполук $Ca(OH)_2$, Ag_2SO_4 , H_2SO_4 .
231. Які кількісні характеристики відомі Вам для оцінки процесу електролітичної дисоціації? Які фактори впливають на їх величину? Який зв'язок між цими величинами?
232. Як визначити ступінь та константу дисоціації слабого електроліту методом електропровідності?
233. В чому суть закону Оствальда? Користуючись рівнянням цього закону вчисліть ступінь дисоціації 0,1 М розчину оцтової кислоти.
234. Як кондуктометричним методом визначити розчинність важкорозчинного електроліту, наприклад, $AgBr$, якщо χ насиченого розчину дорівнює $3 \cdot 10^{-4} \text{ См} \cdot \text{м}^{-1}$?
235. Що означає термін “добуток розчинності”? Представте його вираз для солі PbJ_2 . Розрахуйте концентрацію йонів Pb^{2+} в г/л, якщо $ДР = 8 \cdot 10^{-9}$.
236. Які причини дисоціації електролітів в розчинах? Як змінюється при цьому величина ΔS ? Пояснення аргументуйте.
237. Як змінюється ступінь і константа дисоціації слабого електроліту при розбавленні, при зміні температури?
238. Як впливає природа розчинника на силу електроліту? Які розчинники називають “диференціюючими” і “нівелюючими”?
239. Як зв'язані між собою питома електрична провідність (в $\text{См} \cdot \text{м}^{-1}$) і молярна, (в $\text{См} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{екв}^{-1}$)?
240. Як зміниться константа і ступінь дисоціації фенолу і етанолу, якщо до їх розчинів додати гідроксиду калію?
241. Що означають терміни “активність” йонів, “коефіцієнт активності”? Як кондуктометричним методом можна визначити активність?

242. В чому суть поняття “йонна сила розчину”? Як розрахувати величину йонної сили, наприклад, для 0,01 М розчину CaCl_2 ?
243. Що таке абсолютна швидкість руху йонів? Від яких факторів залежить її величина?
244. Які величини потрібно знати для розрахунку молярної електричної провідності 0,025 М розчину оксалатної кислоти? Навести формули для її розрахунку.
245. Які переваги і недоліки кількісних характеристик електролітичної дисоціації? Пояснити зміст поняття “уявна” або “прозора” ступінь дисоціації.
246. Який зв'язок між коефіцієнтом активності та йонною силою, а також між активністю та коефіцієнтом активності? Вичисліть вказані величини для йону Ca^{2+} у 0,01 М розчині CaCl_2 .
247. Які йони проявляють найбільшу рухливість у водних розчинах і чому?
248. Представте формулу, яка зв'язує електричну провідність, константу електродної комірки та опір електроліту. Як визначити за даною формулою величину К розчину електроліту?
249. Розчини 0,1 М CH_3COOH і 0,05 М NH_4OH мають однакові молярні електричні провідності, гранична електрична провідність CH_3COOH в 1,5 рази більша від такої ж величини NH_4OH . Визначити співвідношення їх ступенів дисоціації.
250. Які з перелічених факторів впливають на величину молярної електричної провідності електроліту: концентрація, температура, в'язкість розчину, постійна комірки, радіус йону, площа електропроводів? Механізм впливу поясніть.
251. Напишіть математичний вираз граничного закону Дебая–Гюккеля для розчину AlCl_3 .
252. Поясніть зміст понять: електрофоретичне гальмування електричної провідності та ефект релаксації.
253. Що таке електродна комірка? Якою кількісною величиною вона характеризується? Як визначити цю величину?
254. Дайте визначення молярної електричної провідності. Напишіть формули для її розрахунку, та її розмірність.
255. Наведіть графіки залежності питомої та молярної електричних провідностей слабких електролітів від розведення. Поясняйте чому хід цих кривих відрізняється між собою
256. Біологічні рідини як провідники II роду. Як змінюється електрична провідність при патології в порівнянні з нормальним станом організму?
257. В чому суть кондуктометричного титрування та як проводиться визначення точки еквівалентності?
258. Які речовини можна визначати за допомогою кондуктометричного титрування та які титранти при цьому використовуються?
259. Який вигляд мають криві кондуктометричного титрування для різних систем? Які дані необхідно мати для їх побудови?
260. Як визначити точку еквівалентності при кондуктометричному титруванні одного і сумішки електролітів?
261. У чому перевага кондуктометричного титрування в порівнянні з титриметричним аналізом?
262. Характеристика розчинності важкорозчинних електролітів та як проводиться їх кількісне визначення кондуктометричним методом?
263. Знайти питому електричну провідність розчину, якщо його опір становить 500 Ом, площа електродів $5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$, а відстань між електродами дорівнює 1 см.

264. Вирахувати константу електродної посудини в м^{-1} , якщо опір розчину KCl з концентрацією $0,02$ моль/л дорівнює $115,3$ Ом при 293 К. Питома електрична провідність цього розчину становить $0,2501$ $\text{См}\cdot\text{м}^{-1}$.
265. Константа електродної посудинки дорівнює 50 м^{-1} . Вирахувати питому електричну провідність води в $\text{См}\cdot\text{м}^{-1}$, якщо при опорі магазину 50000 Ом звук в телефоні зникав, коли рухомий контакт знаходився на $714,3$ мм реохорда, довжиною 1000 мм.
266. Який об'єм розчину, виражений в л з концентрацією $0,2$ моль/л потрібно залити в посудину з електродами на відстані 1 м, щоби виміряна електрична провідність розчину відповідала молярною?
267. Опір сироватки крові, виміряний в електродній комірці, константа якої $K = 0,93$ м^{-1} складає 1000 Ом. Вичислити питому електричну провідність сироватки крові.
268. Розрахувати концентрацію KCl в розчині, якщо $\chi = 2,77\cdot 10^{-1}$ $\text{См}\cdot\text{м}^{-1}$, а $\lambda_{\text{с}} = 136,3\cdot 10^{-4}$ $\text{См}\cdot\text{м}^2\cdot\text{моль}^{-1}$.
269. При вимірюванні електричної провідності $0,1$ М розчину KCl при 298 К мінімальний звук встановився при довжині реохорду $a = 350$ мм, при загальній довжині реохорду 1000 мм. Опір магазину становив 60 Ом. Вичислити, чому дорівнює постійна комірки, якщо $\chi_{\text{KCl}} = 1,215$ $\text{См}\cdot\text{м}^{-1}$.
270. Електрична провідність розчину етиламіну $\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_3\text{OH}$ при розведенні 16 л/моль дорівнює $0,1312$ $\text{См}\cdot\text{м}^{-1}$. Вирахувати ступінь та константу дисоціації етиламіну і концентрації йонів OH^- в цьому розчині, якщо гранична молярна електрична провідність йону $\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_3^+$ дорівнює $0,00586$ $\text{См}\cdot\text{м}^2\cdot\text{моль}^{-1}$, а йону $\text{OH}^- - 0,01983$ $\text{См}\cdot\text{м}^2\cdot\text{моль}^{-1}$.
271. Абсолютна швидкість руху йонів калію і йоду відповідно становлять $7,75$ і $7,83\cdot 10^{-8}$ $\text{м}^2/\text{В}\cdot\text{с}$. Вичисліть молярну електричну провідності йодиду калію при безмежному розведенні.
272. Опір $0,02$ М розчину KCl при 298 К дорівнює $95,1$ Ом, а $0,005$ М розчину AgNO_3 становить 414 Ом. Вирахувати молярну електричну провідність розчину AgNO_3 в $\text{См}\cdot\text{м}^2\cdot\text{моль}^{-1}$.
273. Вирахувати питому електричну провідність $0,05$ М розчину Na_2SO_4 в $\text{См}\cdot\text{м}^{-1}$, якщо електрична провідність цього розчину становить $179,96\cdot 10^{-4}$ $\text{См}\cdot\text{м}^2\cdot\text{моль}^{-1}$.
274. Питома електрична провідність 4 % розчину H_2SO_4 з густиною $1,024$ $\text{г}/\text{см}^3$ дорівнює $16,75$ $\text{См}\cdot\text{м}^{-1}$. Вирахувати молярну електричну провідність розчину в $\text{См}\cdot\text{м}^2\cdot\text{моль}^{-1}$.
275. Молярна електрична провідність розчину NH_4OH при розведенні 128 л/моль дорівнює $13,5\cdot 10^{-4}$ $\text{См}\cdot\text{м}^2\cdot\text{моль}^{-1}$. Вирахувати питому електричну провідність в $\text{См}\cdot\text{м}^{-1}$ і питомий опір в Ом $\cdot\text{м}$ цього розчину.
276. Питома електрична провідність $0,35$ М розчину $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ при 291 К дорівнює $2,19$ $\text{См}\cdot\text{м}^{-1}$. Визначити молярну концентрацію та уявний ступінь дисоціації у відсотках, якщо гранична молярна електрична провідність дорівнює $109,8\cdot 10^{-4}$ $\text{См}\cdot\text{м}^2\cdot\text{моль}^{-1}$.
277. Яка молярна електрична провідність $0,1$ М розчину NH_4OH , якщо ступінь дисоціації його $\alpha = 0,01$, а рухливість йонів NH_4^+ і OH^- відповідно дорівнюють $0,0064$ та $0,0174$ $\text{См}\cdot\text{м}^2\cdot\text{моль}^{-1}$?
278. Вирахувати граничну молярну електричну провідність NaCl при 298 К (в $\text{См}\cdot\text{м}^2\cdot\text{моль}^{-1}$), якщо абсолютні швидкості йонів Na^+ і Cl^- відповідно дорівнюють $5,19\cdot 10^{-8}$ і $7,91\cdot 10^{-8}$ $\text{м}^2/\text{В}\cdot\text{с}$.

279. Вирахувати граничну молярну електричну провідність розчину LiBr при 298 К, якщо ця величина для сполук KBr, K_2SO_4 і Li_2SO_4 відповідно дорівнює $118,7 \cdot 10^{-4}$; $153,52 \cdot 10^{-4}$; $151,64 \cdot 10^{-4} \text{ См} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{моль}^{-1}$.
280. Питома електрична провідність 0,02 М розчину LiCl при 25°C становить 0,209 $\text{См} \cdot \text{м}^{-1}$. Розрахувати ступінь електролітичної дисоціації LiCl при цих умовах.
281. Вирахувати питому електричну провідність і величину рН 0,16 М розчину пропіонової кислоти C_2H_5COOH при 25°C, якщо $K = 1,34 \cdot 10^{-5}$.
282. Питома електрична провідність оксалату кадмію CdC_2O_4 при 20°C дорівнює $1,415 \cdot 10^{-3} \text{ См} \cdot \text{м}^{-1}$. Розрахувати добуток розчинності цієї солі, якщо $\chi_{\text{води}} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ См} \cdot \text{м}^{-1}$, а гранична молярна провідність становить $1,28 \cdot 10^{-2} \text{ См} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{моль}^{-1}$.
283. Питома електрична провідність 0,58 М KBr становить $0,78 \text{ См} \cdot \text{м}^{-1}$. Визначити уявний ступінь електролітичної дисоціації (необхідні стандартні величини взяти з таблиці).
284. Визначити уявний ступінь електролітичної дисоціації 0,075 М розчину хлориду кальцію, якщо питома електрична провідність цього розчину дорівнює $0,792 \text{ См} \cdot \text{м}^{-1}$ (потрібні стандартні величини взяти з таблиць).
285. Розрахувати питому електричну провідність і рН 0,3 М розчину мурашиної кислоти, якщо її гранична молярна провідність дорівнює $404,4 \text{ См} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{моль}^{-1}$.
286. Розрахувати питому електричну провідність і рН 0,6 М розчину хлороцтової кислоти $CH_2Cl-COOH$, якщо гранична молярна електрична провідність дорівнює $389,61 \text{ См} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{моль}^{-1}$.
287. Розрахувати уявний ступінь електролітичної дисоціації 0,03 М розчину барій ацетату $Ba(CH_3COO)_2$, якщо питома електрична провідність цього розчину дорівнює $0,242 \text{ См} \cdot \text{м}^{-1}$, а абсолютна рухливість йонів Ba^{2+} і ацетату відповідно дорівнює $6,59 \cdot 10^{-8}$ і $4,24 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$.
288. Розрахувати питому електричну провідність 0,47 М розчину аміаку, якщо гранична молярна електрична провідність такого розчину дорівнюють $271,9 \text{ См} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{м}^2$ (потрібні дані взяти з таблиць).
289. Розрахувати ДР хлориду срібла, якщо питома електрична провідність насиченого водного розчину $AgCl$ дорівнює $2,506 \cdot 10^{-4} \text{ См} \cdot \text{м}^{-1}$, а провідність води становить $2 \cdot 10^{-6} \text{ См} \cdot \text{м}^{-1}$.
290. Знаючи, що ДР $Ag_2CO_3 = 6,16 \cdot 10^{-13}$, розрахувати питому електричну провідність насиченого розчину карбонату срібла, якщо гранична молярна електрична провідність $131,4 \cdot 10^{-4} \text{ См} \cdot \text{м}^{-2}/\text{моль}$. Питома провідність води у цих умовах становить $6,7 \cdot 10^{-6} \text{ См} \cdot \text{м}^{-1}$.
291. Питома електрична провідність 0,02 М розчину LiCl при 298 К дорівнює 0,209 $\text{См} \cdot \text{м}^{-1}$. Вирахувати ступінь дисоціації цієї солі.
292. Гранична електрична провідність 0,1 М CH_3COOH в 1,5 раза більша, ніж 0,05 М розчину NH_4OH . Молярні електричні провідності цих розчинів однакові. Визначити співвідношення між ступенями дисоціації цих електролітів.
293. Чому дорівнює ступінь і константа дисоціації NH_4OH , якщо питома електрична провідність 0,0109 М розчину дорівнює $1,2 \cdot 10^{-2} \text{ См} \cdot \text{м}^{-1}$?
294. Питома електрична провідність розчину KJ при 298 К та розбавленні 256 л/моль дорівнює $5,74 \cdot 10^{-2}$. Вирахувати ступінь дисоціації солі при цих умовах.

295. Вирахувати ступінь дисоціації масляної кислоти при розведенні 1024 л/моль, а також рН і молярну електричну провідність при безмежному розведенні, якщо λ_c дорівнює $48,03 \cdot 10^{-4} \text{ См} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$.
296. Питома електрична провідність 0,135 М розчину пропіонової кислоти $\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$ при 291К дорівнює $4,79 \cdot 10^{-2} \text{ См} \cdot \text{м}^{-1}$, а абсолютні швидкості руху катіона і аніона відповідно $34,40 \cdot 10^{-8}$ і $3,52 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$. Вирахувати рН розчину і константу дисоціації кислоти.
297. Розчин слабкої кислоти НА при розбавленні 32 л/моль має еквівалентну електричну провідність $9,2 \cdot 10^{-4} \text{ См} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{екв}^{-1}$, а при безмежному розведенні вона становить $389 \cdot 10^{-4} \text{ См} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{екв}^{-1}$. Вичислити концентрації йонів водню і константу дисоціації.
298. Молярна електрична провідність CH_2ClCOOH при 298 К і розбавленні 512 л/моль дорівнює $219,4 \text{ См} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$. Вичислити ступінь дисоціації кислоти при цих умовах, якщо молярна електрична провідність хлорацетату натрію при безмежному розбавленні дорівнює $89,8 \cdot 10^{-4} \text{ См} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$, а гранична електропровідність йонів натрію і водню відповідно становлять $50,1 \cdot 10^{-4}$ і $349,8 \cdot 10^{-4} \text{ См} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$.
299. Константа дисоціації CH_3COOH при 298 К дорівнює $1,8 \cdot 10^{-5}$. Чому дорівнюватиме рН розчину, якщо до 1 л 1 М розчину CH_3COOH додати $8,2 \cdot 10^{-3}$ кг ацетату натрію?
300. Швидкість руху йонів Na^+ і Cl^- в 0,1 М розчині хлориду натрію у воді при 298 К відповідно дорівнює $4,26 \cdot 10^{-8}$ і $6,8 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$. Розрахувати питому електричну провідність.
301. Питома електрична провідність 1 % розчину пропіонової кислоти $\rho = 1 \text{ г/мл}$ при 298 К складає $4,79 \cdot 10^{-2} \text{ См} \cdot \text{м}^{-1}$. Розрахувати рН цього розчину, якщо λ_{max} йонів H^+ і $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COO}^-$ відповідно дорівнюють $349,8 \cdot 10^{-4}$ і $35,8 \cdot 10^{-4} \text{ См} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$.
302. Величина рК для хлорної і азотної кислоти в оцтовій кислоті відповідно дорівнюють 4,95 і 9,38. Яка з двох кислот є сильнішою в даному розчиннику? Як і чому називаються такі розчинники?
303. Опір розчину сульфату натрію в електролітній комірці становить 2,86 Ом. Вирахувати питому електричну провідність цього розчину, якщо площа електродів дорівнює $5,38 \text{ см}^2$, а відстань між ними становить 0,82 см.
304. Питома електрична провідність 15 % розчину KNO_3 $\rho = 1,096 \text{ г/см}^3$ при 18°C становить $11,86 \text{ См} \cdot \text{м}^{-1}$. Вичислити уявну ступінь електролітичної дисоціації (необхідні дані взяти з таблиць).
305. Розрахувати добуток розчинності солі BaSO_4 при 298 К, якщо питома електрична провідність насиченого водного розчину цієї солі дорівнює $1,456 \cdot 10^{-4}$, а води $- 2 \cdot 10^{-6} \text{ См} \cdot \text{м}^{-1}$.
306. Питома електрична провідність насиченого розчину PbSO_4 при 250°C дорівнює $1,712 \cdot 10^{-3} \text{ См} \cdot \text{м}^{-1}$. Розрахувати добуток розчинності цієї солі, якщо $\chi_{\text{води}} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ См} \cdot \text{м}^{-1}$, інші необхідні дані візьміть з таблиць.
307. Розрахувати питому електричну провідність та рН 0,02 М розчину бензойної кислоти, якщо $K = 6,3 \cdot 10^{-5}$. Необхідні додаткові дані взяти з таблиць.
308. Розрахувати питому електричну провідність та рН 0,23 М розчину дихлороцтової кислоти CHCl_2COOH , якщо відомо, що $K_{\text{дис}} = 5 \cdot 10^{-2}$.

309. 10 мл концентрованого розчину NaCl розбавили водою до 500 мл. 15 мл одержаного розчину відтитрували кондуктометричним методом 0,189 М AgNO₃, при цьому отримали такі дані для побудови графіка:

V _{мл} AgNO ₃	0,0	2	4	6	8	10	12	14	16
R, Ом	885	885	885	885	793,6	617,3	485,4	404	346

Розрахувати за цими даними концентрацію вихідного розчину.

310. Розрахувати добуток розчинності Ca₃(PO₄)₂, якщо питома електрична провідність насиченого розчину цієї солі дорівнює $2,58 \cdot 10^{-4}$ См·м⁻¹, а води – $6,7 \cdot 10^{-6}$ См·м⁻¹. Додаткові необхідні величини взяти з таблиць.

311. В електродній посудині з константою 12,5 м⁻¹, виміряні опори води і розчину PbJ₂, які відповідно становлять $1,87 \cdot 10^{-6}$ і 324,1 Ом при 298К. Яка молярна концентрація йонів у воді, якщо рухливість Pb²⁺ $70 \cdot 10^{-4}$, а J⁻ – $78,8 \cdot 10^{-4}$ См·м²·моль-екв⁻¹?

312. В електродній посудині з постійною K = 100 м⁻¹ протитровано 10 мл розчину кислоти 0,1М розчином NaOH. Перед титруванням і при додаванні кожної порції титранта (по 1 мл) вимірювали опір, який відповідно становив: 200; 250; 333; 500; 1000 2000; 833; 500; 385 Ом. Побудувати графік кондуктометричного титрування і встановити концентрацію кислоти.

313. Після додавання до 20 мл суміші кислот CH₃COOH і HCl титранта 0,1 М розчину KOH порціями по 1 мл одержимо такі значення питомої електропровідності: 0,50, 0,36; 0,21; 0,215; 0,22; 0,226; 0,25; 0,30; 0,35; 0,40; 0,45 См·м⁻¹. За допомогою графіка визначити концентрацію кожної кислоти.

314. Після кондуктометричного титрування 10 мл суміші NH₄OH і KOH розчином соляної кислоти на графіку одержано 2 еквівалентні точки, яким відповідали слідувачі об'єми титранта: 5,2 і 8,3 мл. Яка була концентрація кожної з основ?

315. Розрахувати рН 0,1 М розчину азотистої кислоти (K_{дис} = $4,6 \cdot 10^{-4}$) і розчину з її натрієвою сіллю, що вміщує 0,1 моль/л HNO₂ і 0,1 моль/л NaNO₂. Сіль вважати повністю дисоційованою.

316. Яка молярна концентрація гідроксиду барію, якщо рН цього розчину дорівнює 12,3, а уявна ступінь дисоціації становить 80 %.

317. Розчинність фториду кальцію при 25°C рівна 0,0016 г на 100 г води. Розрахувати добуток розчинності цієї солі та молярну концентрацію її насиченого розчину.

318. Чи утвориться осад при зливанні однакових об'ємів 0,02 М розчинів NaCl і TiNO₃? ДР (TiCl) = $1,7 \cdot 10^{-4}$.

319. У скільки разів розчинність сульфату барію в 0,01 М розчині BaCl₂ є меншою, ніж в чистій воді? ДР (BaSO₄) = $1,1 \cdot 10^{-10}$.

320. Чи випаде осад PbJ₂ при зливанні 100 мл 0,005 М розчину нітрату свинцю і 200 мл 0,01М розчину KJ? ДР (PbJ₂) = $8,7 \cdot 10^{-9}$.

321. Розрахувати активності йонів Fe³⁺, SO₄⁻² і Cl⁻ у водному розчині, що містить Fe₂(SO₄)₃ 0,01 М і FeCl₃ 0,008 М.

322. Розрахувати активність йонів, що містяться в суміші електролітів: HCl, 0,01 М; KCl 0,05 М, якщо α = 100 %.

323. Вчислити йонну силу і активність йонів в 0,08 М розчині CaCl₂, який крім того містить 0,06 моль/л HCl.

324. Вчислити йонну силу і активність йонів в 0,1 М розчині $MgCl_2$, який крім того містить 0,05 моль/л HCl .

Розділ 4

Електродні потенціали та електрорушійні сили (ЕРС) гальванічних елементів. Потенціометрія.

Значення матеріалу теми. Одним із важливих сучасних електрохімічних методів дослідження є потенціометрія, що базується на вимірюванні ЕРС гальванічних елементів. Гальванічні елементи – це пристрої, в яких хімічна енергія окислювально-відновних реакцій перетворюється в електричний струм. Хімічні джерела струму використовуються у вимірних приладах, у радіозв'язку, побуті, на транспорті та ін. Отже, розуміння механізму перетворення хімічної енергії в електричну та практичне застосування методів потенціометрії необхідно знати спеціалістові будь-якого профілю.

Потенціометричний метод визначення рН розчинів має переваги перед індикаторним методом в тому, що дає точніші результати, дозволяє контролювати рН забарвлених та каламутних розчинів, у тому числі фармацевтичних препаратів. За допомогою іонселективних електродів у біофармацевтичній практиці визначають вміст іонів H^+ , K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Cl^- , NH_4^+ та ін.

Потенціометричне титрування дозволяє визначати концентрацію декількох компонентів у суміші без їх розділення, а також концентрацію речовин у забарвлених і каламутних розчинах та в безводних середовищах. Потенціометричне титрування в органічних розчинниках є фармакопейним методом і використовується у фармацевтичному аналізі.

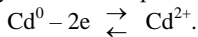
Мета роботи. Вивчити механізми виникнення і методику визначення потенціалів та ЕРС у гальванічних елементах, вміти пов'язувати ці величини з різними фізико-хімічними факторами, щоб раціонально використовувати їх у фармацевтичному аналізі при вимірюваннях концентрацій речовин, активності іонів, рН середовища та ін.

Алгоритми розв'язування типових задач

Задача 1. Визначити потенціал кадмієвого електрода, зануреного в 0,01М розчин $CdSO_4$ при 298 К.

Алгоритм розв'язування

На кадмієвому електроді відбувається така реакція:



З таблиці стандартних потенціалів знаходимо стандартний потенціал електрода:

$$e_{Cd/Cd^{2+}}^0 = -0,40 \text{ В.}$$

Згідно із рівнянням Нернста запишемо:

$$e_{Cd/Cd^{2+}} = e_{Cd/Cd^{2+}}^0 + \frac{2,303RT}{nF} \cdot \lg a_{Cd^{2+}}$$

Підставивши значення всіх величин, обчислюємо потенціал кадмієвого електрода:

$$e_{\text{Cd}/\text{Cd}^{2+}} = -0,4 + \frac{0,059}{2} \cdot \lg 0,01 = -0,46 \text{ В.}$$

Відповідь: $-0,46 \text{ В.}$

Задача 2. ЕРС воднево-каломельного гальванічного елемента при 298 К становить 0,57 В. Визначити концентрацію іонів водню та рН розчину кислоти, у яку занурений названий елемент.

Алгоритм розв'язування

Записуємо схему гальванічного елемента:



З таблиці знаходимо потенціал насиченого каломельного електрода:

$e_{\text{ст.}} = +0,24 \text{ В}$ при 298 К. ЕРС даного елемента дорівнює різниці електродних потенціалів:

$$E = e_{\text{ст.}}^{(+)} - e_{\text{H}_2/2\text{H}^+}^{(-)}$$

Звідси:

$$e_{\text{H}_2/2\text{H}^+} = e_{\text{ст.}} - E = 0,24 - 0,57 = -0,33 \text{ В.}$$

Оскільки потенціал водневого електрода за рівнянням Нернста становить:

$$e_{\text{H}_2/2\text{H}^+} = +0,059 \text{ рН, то рН} = 0,33 : 0,059 = 5,6.$$

Отже, $[\text{H}^+] = -\lg \text{рН} = -\lg 5,6 = 2,55 \cdot 10^{-6} \text{ моль/л}$

Відповідь: 5,6; $2,55 \cdot 10^{-6} \text{ моль/л.}$

Задача 3. Визначити стандартну зміну вільної енергії Гіббса (ΔG) для реакції: $2\text{KBr} + \text{F}_2 = \text{Br}_2 + 2\text{KF}$. Чи відбуватиметься ця реакція самодовільно при нормальних умовах?

Алгоритм розв'язування

Користуючись таблицями стандартних електродних потенціалів фізико-хімічного довідника знаходимо потенціали напівреакцій:



Додавши ці напівреакції, одержимо:



тобто: $E = 2,87 + (-1,07) = 1,8 \text{ В.}$

Зміну вільної енергії Гіббса вираховуємо за формулою:

$$\Delta G = -nFE,$$

де: n – число електронів, що беруть участь в ОВР;

F – число Фарадея (96500 Дж/В);

E – електродушійна сила (В).

$$\Delta G = 2 \cdot 96500 \cdot 1,8 = -3,47 \cdot 10^5 \text{ Дж} = -347 \text{ кДж.}$$

Оскільки в даній ОВР величина E додатна, а величина ΔG від'ємна, то це свідчить про самовільний перебіг цієї реакції зліва направо.

Відповідь: відбуватиметься.

Задача 4. Дано дві редокс системи: перша – водний розчин, що вміщує солі заліза Fe^{3+} і Fe^{2+} , друга – солі Sn^{4+} і Sn^{2+} . Доведіть, яка окисно-відновна реакція протікатиме, якщо змішати ці розчини.

Алгоритм розв'язування

Відомо, що будь-яка окисно-відновна реакція завжди відбувається у напрямку взаємодії найсильнішого окислювача з найсильнішим відновником. Отже, необхідно за рівнянням Нернста обчислити величини окислювально-відновних потенціалів окисно-відновних пар $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ і $\text{Sn}^{4+}/\text{Sn}^{2+}$ та співставити їх між собою.

З таблиці стандартних редокс-потенціалів знаходимо:

$$e_{\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}}^0 = +0,77 \text{ В}; \quad e_{\text{Sn}^{4+}/\text{Sn}^{2+}}^0 = +0,15 \text{ В}.$$

При 298 К рівняння Нернста (Петерса) для редокс-систем записується:

$$e_{\text{ок./від.}} = e_{\text{ок./від.}}^0 + \frac{2,303RT}{nF} \cdot \lg \frac{[\text{ок.}]}{[\text{від.}]} = e_{\text{ок./від.}}^0 + \frac{0,059}{n} \cdot \lg \frac{[\text{ок.}]}{[\text{від.}]}.$$

Припустимо, що:

$$[\text{Fe}^{3+}] = [\text{Sn}^{4+}] = 0,01 \text{ моль/л}, \quad a [\text{Fe}^{2+}] = [\text{Sn}^{2+}] = 0,001 \text{ моль/л}.$$

Тоді:

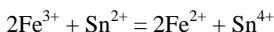
$$e_{\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}} = e_{\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}}^0 + 0,059 \lg \frac{[\text{Fe}^{3+}]}{[\text{Fe}^{2+}]} = 0,77 + 0,059 = +0,83 \text{ В}.$$

Аналогічно обчислюємо:

$$e_{\text{Sn}^{4+}/\text{Sn}^{2+}} = e_{\text{Sn}^{4+}/\text{Sn}^{2+}}^0 + \frac{0,059}{2} \cdot \lg \frac{[\text{Sn}^{4+}]}{[\text{Sn}^{2+}]} = 0,15 + 0,0295 = +0,18 \text{ В}.$$

З даних обчислень виходить, що сильнішим окисником є Fe^{3+} , тому що редокс-парі $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ відповідає більша величина окислювально-відновного потенціалу. З двох відновників (Fe^{2+} і Sn^{2+}) сильнішим відновником є іони Sn^{2+} , тому що редокс-парі $\text{Sn}^{4+}/\text{Sn}^{2+}$ відповідає менший редокс-потенціал.

Таким чином, у розчині солей заліза та олова самочинно відбувається така реакція:



Цей висновок можна було зробити навіть за величиною стандартних окисно-відновних потенціалів відповідних редокс-систем:

$$e_{\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}}^0 > e_{\text{Sn}^{4+}/\text{Sn}^{2+}}^0$$

Сильніший окисник Fe^{3+} взаємодіє з сильнішим відновником Sn^{2+} .

Відповідь: реакція відновлення Fe^{3+} .

Завдання для самостійного розв'язування

325. Поясніть механізми виникнення електродних потенціалів на прикладі цинкового та мідного електродів. Проаналізуйте рівняння Нернста.
326. Поясніть суть термінів “рівноважний електродний потенціал”, “дифузійний потенціал”, “контактний потенціал”, “електрорушійна сила гальванічного елемента”.
327. Дайте визначення стандартного потенціалу водневого електрода та стандартного потенціалу даного електрода.
328. Охарактеризуйте електроди I-го та II-го роду і наведіть приклади таких електродів.
329. Покажіть на прикладі елемента Якобі-Данієля механізм виникнення ЕРС та опишіть компенсаційний метод вимірювання ЕРС.

330. Напишіть схему стандартного елемента Вестона, вкажіть реакцію, що протікає в ньому та практичне застосування цього гальванічного елемента.
331. Наведіть приклади зворотного, незворотного та концентраційного гальванічних елементів, поясніть різницю між ними і практичне застосування їх.
332. Які електроди називаються окислювально-відновними? Наведіть приклади таких електродів і проаналізуйте рівняння Петерса.
333. Опишіть стандартний водневий електрод, стандартний хлорсрібний електрод та стандартний гальванічний елемент. Вкажіть їх призначення і застосування.
334. Опишіть компенсаційний метод вимірювання електродного потенціалу будь-якого окремого електрода.
335. Напишіть рівняння Нернста для потенціалів електродів I-го, II-го роду та окисно-відновного електрода і проаналізуйте їх.
336. На чому ґрунтується робота концентраційних гальванічних елементів? Як обчислюється ЕРС таких елементів?
337. Запишіть схематично будь-який гальванічний елемент і поясніть, з чого складається повна ЕРС цього елемента.
338. Поясніть будову водневого електрода, напишіть реакцію, яка в ньому відбувається, та рівняння електродного потенціалу.
339. Чим визначається знак і величина електродного потенціалу та електродна реакція? Для відповіді використайте таблицю стандартних електродних потенціалів.
340. Чому ЕРС гальванічного елемента вимірюють компенсаційним методом, а не за допомогою вольтметра, що має певний внутрішній опір?
341. Поясніть механізм виникнення дифузійного потенціалу і спосіб його усунення в гальванічному елементі.
342. Опишіть хінгідронний редокс-електрод: механізм виникнення потенціалу, електродна реакція, рівняння Петерса, застосування.
343. Поясніть будову і функцію іонселективного скляного електрода та його використання для вимірювання рН розчинів.
344. Опишіть принцип потенціометричного методу визначення рН розчинів та вкажіть переваги цього методу порівняно з колориметричним (індикаторним) методом.
345. Опишіть потенціометричний метод визначення рН за допомогою воднево-каломельного елемента: схема гальванічного елемента, електродні реакції, формула для розрахунку рН.
346. Опишіть потенціометричний метод визначення рН за допомогою хінгідронно-каломельного елемента: схема вимірювального елемента, електродні реакції, формула для обчислення рН.
347. Опишіть потенціометричний метод визначення рН за допомогою скляно-хлорсрібного елемента: схема вимірювального елемента, його ЕРС та формула для розрахунку рН.
348. Індикаторні електроди в рН-метрії. Наведіть їх схематичний запис і порівняльну характеристику.
349. Що таке ЕРС гальванічного елемента? Як за величиною ЕРС визначити зміну енергії Гіббса та константу хімічної рівноваги реакції?
350. За рахунок чого виникає окисно-відновний потенціал на редокс-електродах? Що характеризують стандартні окисно-відновні потенціали?

351. Наведіть приклад окисно-відновного гальванічного елемента, напишіть реакцію, що в ньому протікає та формулу для розрахунку ЕРС.
352. За допомогою яких електродів можна виміряти рН потенціометричним методом? Відповідь обґрунтуйте.
353. Опишіть принцип методу потенціометричного титрування кислот та основ.
354. Якими методами визначають еквівалентний об'єм титранта при потенціометричному титруванні?
355. За яким принципом підбирають електрод визначення (індикаторний) при потенціометричному титруванні?
356. Який вигляд мають інтегральна та диференціальна криві потенціометричного титрування: а) окремої речовини; б) суміші двох компонентів?
357. Поясніть, як за інтегральною та диференціальною кривими потенціометричного титрування визначають еквівалентний об'єм титранта.
358. Вкажіть основні переваги потенціометричного титрування порівняно з титриметричним (індикаторним) методом.
359. Опишіть принцип потенціометричного титрування за реакцією нейтралізації, вказавши реакцію, схему вимірювального гальванічного елемента, вигляд кривих титрування та формулу для розрахунку концентрації.
360. Опишіть принцип потенціометричного титрування галоїдних солей за реакцією осадження, напишіть реакцію, схему вимірювального гальванічного елемента, покажіть вигляд кривих титрування та напишіть формулу для розрахунку концентрації.
361. Поясніть принцип потенціометричного титрування окислювачів та відновників за схемою: реакція, схема вимірювального гальванічного елемента, вигляд кривої титрування, формула для розрахунку концентрації.
362. Опишіть суть неводного потенціометричного титрування, його переваги і застосування у фармацевтичному аналізі.
363. Поясніть особливості неводного потенціометричного титрування і перелічіть рекомендації для підбору органічного розчинника для титрування.
364. Охарактеризуйте кислотно-основне, осадкове та окисно-відновне потенціометричне титрування.
365. Як визначити константу іонізації слабкого електроліту потенціометричним методом? Яким вимогам повинні відповідати реакції, що використовуються при потенціометричному титруванні?
366. Потенціал платинового електрода, зануреного в розчин солей Fe^{3+} та Fe^{2+} при 298 К становить 0,783 В. Визначте відношення концентрацій іонів Fe^{3+} та Fe^{2+} у розчині.
367. Визначити рН розчину, в якому потенціал хінгидронного електрода при 291 К становить 0,4 В.
368. Гальванічний елемент, що складається з водневого і каломельного електродів, при 298 К занурений у розчин з рН = 1,36. Обчисліть ЕРС цього елемента, якщо потенціал каломельного електрода становить 0,248 В.
369. Визначте потенціал цинкового електрода, зануреного в 0,01 М розчин його солі при 298 К.
370. Обчисліть константу рівноваги реакції:
- $$\text{ZnSO}_4 + \text{Cd} \rightleftharpoons \text{CdSO}_4 + \text{Zn}$$
- при 298 К. Стандартний потенціал $\text{Zn} = -0,76$ В, а $\text{Cd} = -0,4$ В.

371. Якщо концентрація іонів Fe^{3+} у мільйон разів менша, ніж концентрація іонів Fe^{2+} , то редокс-потенціал такого середовища становить 0,4 В. Визначити нормальний потенціал $\text{Fe}^{2+} \rightleftharpoons \text{Fe}^{3+}$.
372. Обчислити ЕРС елемента, складеного з цинкового електрода в 0,1 М розчині $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ та свинцевого електрода в 0,2 М розчині $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$.
373. Обчислити потенціал водневого електрода в очищеній воді при 298 К.
374. Стандартний електродний потенціал срібла при 298 К становить $e_{\text{Ag}/\text{Ag}^+}^0 = +0,8$ В.
Яким буде потенціал 100 г металічного срібла, зануреного в 1 М розчин AgNO_3 ?
375. Як відрізняється потенціал водневого електрода в 1 М розчині HCl від його потенціалу у розчині з активністю іонів водню, що дорівнює одиниці?
376. При якій концентрації іонів Fe^{2+} електродний потенціал заліза буде рівний нулю ($e_{\text{Fe}^{0}/\text{Fe}^{2+}}^0 = -0,44$ В)?
377. Обчисліть ЕРС мідно-свинцевого гальванічного елемента, в якому $C_{\text{Cu}^{2+}} = 0,1$ моль/л, $C_{\text{Pb}^{2+}} = 0,01$ моль/л, а стандартні потенціали відповідно: $e_{\text{Cu}/\text{Cu}^{2+}}^0 = +0,34$ В, $e_{\text{Pb}/\text{Pb}^{2+}}^0 = -0,13$ В.
378. Обчисліть ЕРС концентраційного елемента, що складається з двох водневих електродів, занурених у розчини з рН 2 та 4.
379. Розрахуйте ЕРС концентраційного елемента, що складається із стандартного водневого електрода ($a_{\text{H}^+} = 1$ моль/л) та водневого електрода, опущеного в очищену воду.
380. Яка концентрація іонів водню і чому дорівнює рН розчину, у якому потенціал платини, насиченої воднем, становить $-0,236$ В?
381. ЕРС концентраційного елемента з концентраціями солей 0,01 та 0,00001 моль/л складає 0,177 В при 298 К. Обчисліть заряд катіона солі.
382. ЕРС елемента, складеного з насиченого каломельного і заповненого шлунковим соком водневого електродів при 298 К дорівнює 0,332 В. Потенціал каломельного електрода становить +0,248 В. Визначити рН шлункового соку.
383. При 298 К потенціал золотого електрода Au/Au^{3+} дорівнює 1,4585 В. Визначте активність іонів золота, якщо стандартний потенціал золота дорівнює +1,498 В.
384. Обчислити стандартні ЕРС для таких елементів:
а) $\text{Al} | \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 || \text{CuSO}_4 | \text{Cu}$; б) $\text{Zn} | \text{ZnSO}_4 || \text{SnSO}_4 | \text{Sn}$.
- Необхідні дані взяти з таблиці стандартних потенціалів (ряд напруг металів).
385. При 298 К потенціал електрода $\text{Mn} / \text{Mn}^{2+}$ ($a_{\text{Mn}^{2+}} = 0,001$) дорівнює $-1,2688$ В. Визначити нормальний (стандартний) потенціал електрода.
386. Визначити стандартну ЕРС елемента $\text{Zn} | \text{ZnSO}_4 || \text{CuSO}_4 | \text{Cu}$ і написати рівняння окисно-відновної реакції, що протікає при роботі елемента.
387. Різниця потенціалів між водневим електродом та насиченим каломельним електродом ($e = +0,248$ В), зануреним у кислий розчин, становить 0,435 В при 298 К. Визначити рН розчину.
388. При титруванні розчину соляної кислоти 0,1 М розчином NaOH зі скляним індикаторним електродом отримано наступні дані:

V_{NaOH} , мл	0	4	6	7	8	9	10
E, мВ	50	46	40	-10	-275	-300	-315

Визначити масу HCl у досліджуваному розчині.

390. Розрахувати ЕРС елемента при 298 К:



391. Визначити рН крові, якщо ЕРС каломельно-водневого елемента при 293 К дорівнює 0,676 В.

392. При якій концентрації іонів міді в розчині сульфату міді електродний потенціал міді буде дорівнювати нулю при температурі 298 К? $e^0_{\text{Cu}/\text{Cu}^{2+}} = 0,34 \text{ В}$.

393. ЕРС елемента, який складається з двох хінгдронних електродів, заповнених один буферним розчином з рН = 2,08, а другий – досліджувану рідиною при 291 К, дорівнює 0,194 В. Вирахувати рН досліджуваної рідини.

394. Визначити ЕРС концентраційного гальванічного елемента, який складається з двох водневих електродів, занурених у 0,1 М розчини HCl і NaOH (ступінь іонізації кислоти і луку приймати за 1).

395. Обчислити ЕРС срібно-кадмієвого гальванічного елемента, у якому активність іонів Ag^+ і Cd^{2+} становить відповідно 0,1 та 0,005 моль/л.

396. Визначити рН розчину, в якому потенціал хінгдронного електрода при 298К становить 450 мВ.

397. Визначити рН крові, якщо ЕРС хінгдронно-хлорсрібного гальванічного елемента при 298 К становить 56 мВ.

398. Описати хід потенціометричного визначення концентрації NaCl у фізіологічному розчині за реакцією осадження за таким планом: реакція в молекулярному та іонному вигляді; індикаторний електрод; схема вимірювального гальванічного елемента; вигляд диференціальної кривої титрування; знаходження з кривої еквівалентного об'єму титранта; розрахунок концентрації NaCl.

399. Описати хід потенціометричного титрування суміші HCOOH та HCl: реакції при титруванні; схема вимірювального елемента; інтегральна крива титрування; формули для обчислення концентрацій.

400. Обчислити електродні потенціали міді в 0,001; 0,01 та 0,1 М розчинах CuSO_4 ($e^0_{\text{Cu}/\text{Cu}^{2+}} = +0,34 \text{ В}$).

401. Як підібрати індикаторний електрод для потенціометричного титрування за реакцією: а) нейтралізації; б) осадження; в) окиснення-відновлення? Записати схеми вимірювальних елементів для кожного типу титрування.

402. При титруванні 25 мл суміші KBr та NaI 0,01 М розчином AgNO_3 одержана інтегральна крива з двома стрибками ЕРС. Перший стрибок на кривій відповідає еквівалентному об'єму титранта – 8 мл, а другий – 10 мл AgNO_3 . Розрахувати концентрації кожної солі, враховуючи, що $\text{ДР}_{\text{AgI}} = 8,3 \cdot 10^{-17}$, а $\text{ДР}_{\text{AgBr}} = 5,3 \cdot 10^{-13}$.

403. Написати схеми гальванічних елементів, що застосовуються для потенціометричного визначення концентрацій: а) H_2SO_4 ; б) NaCl. Пояснити властивості та функції електродів визначення в обох випадках.

404. Потенціал срібного електрода, зануреного в насичений розчин йодиду срібла, при 298 К становить 0,325 В. Обчислити активність іонів срібла в розчині, якщо $e_{\text{Ag}/\text{Ag}^+}^0 = +0,80 \text{ В}$.

405. Зобразити інтегральну криву потенціометричного титрування суміші NH_4OH та NaOH стандартним розчином HCl . Записати схему вимірального елемента та формули для розрахунку концентрацій цих основ.

406. Нарисувати вигляд диференціальної кривої потенціометричного титрування розчину, що містить суміш солей KI , KBr та KCl . Як визначити еквівалентні об'єми титранта AgNO_3 для кожної солі, якщо відомі добутки розчинності: $\text{DP}_{\text{AgCl}} = 1,8 \cdot 10^{-10}$; $\text{DP}_{\text{AgBr}} = 5,3 \cdot 10^{-13}$; а $\text{DP}_{\text{AgI}} = 8,3 \cdot 10^{-17}$.

407. Обчислити потенціал мідного електрода, зануреного у розчин, що містить 0,1 г CuSO_4 у 200 мл розчину при 298 К.

408. Гальванічний елемент складається з водневого електрода, зануреного у кров, та насиченого каломельного електрода. Визначити рН крові, якщо ЕРС елемента при 291 К становить 0,677 В ($e_{\text{н.к.е.}} = 0,248 \text{ В}$).

409. Обчислити ЕРС гальванічного елемента при 298 К:



Ступінь іонізації солей вважати рівній 100%.

Розділ 5

Кінетика хімічних реакцій

Значення матеріалу теми. Хімічна кінетика – це наука, що вивчає швидкість перебігу хімічних реакцій та залежність швидкості від різних факторів.

Кінетичні методи дослідження з успіхом застосовуються не тільки в хімії та фізиці, але й у біології, медицині та фармації. Знання хімічної кінетики та каталізу дозволяють підібрати оптимальні умови проходження хімічних реакцій та технологічних процесів.

Ефективність дії лікарських препаратів та їхня фармакодинаміка безпосередньо зв'язані з механізмом хімічних процесів, що відбуваються в організмі під дією ліків.

Кінетичні методи дослідження широко застосовуються в фармацевтичній практиці для визначення стабільності та термінів придатності лікарських засобів.

Хімічна кінетика є основою для вивчення біохімії, фармакології, фармакокінетики тощо.

Мета роботи. Оволодіти методами теоретичного обґрунтування та експериментального визначення впливу різних факторів на швидкість хімічного процесу. Навчитись визначати константу швидкості хімічних реакцій як основного параметра хімічної кінетики.

Алгоритми розв'язування типових задач

Задача 1. Як зміниться швидкість реакції $2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{р})}$, якщо тиск збільшити у 5 разів?

Алгоритм розв'язування

1. Якщо позначити початкову концентрацію водню через $[\text{H}_2]$, а кисню – через $[\text{O}_2]$, то швидкість реакції при початковому тиску буде:

$$v_1 = k \cdot [\text{H}_2]^2 \cdot [\text{O}_2].$$

2. Збільшення тиску в 5 разів приводить до збільшення концентрації водню та кисню у стільки ж разів і дорівнюватиме $5 \cdot [H_2]$ та $5 \cdot [O_2]$. Рівняння швидкості реакції після збільшення тиску набуде вигляду:

$$v_2 = k \cdot (5[H_2])^2 \cdot (5[O_2]).$$

3. Отже, при збільшенні тиску в 5 разів швидкість реакції зросте у

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{k \cdot (5 \cdot [H_2])^2 \cdot 5 \cdot [O_2]}{k \cdot [H_2]^2 \cdot [O_2]} = 125 \text{ разів.}$$

Відповідь: збільшиться у 125 разів.

Задача 2. У скільки разів збільшиться швидкість реакції при підвищенні температури від 293 К до 373 К, якщо температурний коефіцієнт швидкості реакції дорівнює 3?

Алгоритм розв'язування

1. Позначимо швидкість реакції при температурах 293 К та 373 К відповідно v_{293} та v_{373} . Враховуючи правило Вант-Гоффа, запишемо:

$$\frac{v_{373}}{v_{293}} = \gamma^{\frac{T_2 - T_1}{10}}$$

2. Підставивши дані умови одержимо

$$\frac{v_{373}}{v_{293}} = 3^{\frac{373 - 293}{10}} = 3^8 = 6561$$

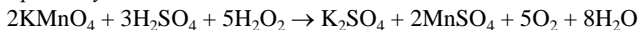
3. Отже, при підвищенні температури на 80 К швидкість реакції збільшиться у 6561 раз.

Відповідь: збільшиться у 6561 раз.

Задача 3. Визначити середнє значення константи швидкості реакції першого порядку розкладу H_2O_2 , якщо на титрування однакових об'ємів реакційної суміші витрачено такі об'єми розчину $KMnO_4$:

τ , час відбору проби, хв.	0	10	20	30
V , об'єм $KMnO_4$, cm^3	21,6	12,4	7,2	4,1

Алгоритм розв'язування



Початкова концентрація $C_0 = -21,6$, концентрація для відповідних проміжків часу C_x : 12,4; 7,2; 4,1 cm^3 .

1. За рівнянням константи швидкості реакції першого порядку

$$K = \frac{2,303}{\tau} \cdot \lg \frac{C_0}{C_x}$$

обчислюємо величини K для різних проміжків часу:

$$K_1 = \frac{2,303}{10} \cdot \lg \frac{21,6}{12,4} = 0,0555 \text{ хв}^{-1}$$

$$K_2 = \frac{2,303}{20} \cdot \lg \frac{21,6}{7,2} = 0,0550 \text{ хв}^{-1}$$

$$K_3 = \frac{2,303}{10} \cdot \lg \frac{21,6}{4,1} = 0,0554 \text{ хв}^{-1}$$

2. Розрахуємо середнє значення константи швидкості реакції:

$$K_{\text{середнє}} = \frac{\hat{E}_1 + \hat{E}_2 + \hat{E}_3}{3} = 0,0554 \text{ хв}^{-1}.$$

Відповідь: $K_{\text{середнє}} = 0,0554 \text{ хв}^{-1}$.

Задача 4. Визначити температурний коефіцієнт реакції, якщо при підвищенні температури на 50°C швидкість реакції зросла у 1024 рази?

Алгоритм розв'язування

Використовуючи рівняння Вант-Гоффа запишемо:

$$v_{T_2} = v_{T_1} \cdot \gamma^{\frac{\Delta T}{10}}; \frac{v_{T_2}}{v_{T_1}} = \gamma^{\frac{\Delta T}{10}}; 1024 = \gamma^{\frac{50}{10}} = \gamma^5$$

після логарифмування одержимо:

$$\lg \gamma = \frac{\lg 1024}{5} = 0,602; \gamma = \text{alg } 0,602 = 3,98.$$

Відповідь: температурний коефіцієнт реакції дорівнює 3,98.

Задача 5. Виразити енергію активації реакції, якщо константи швидкості цієї реакції при 273 К і 280 К відповідно дорівнюють $4,04 \cdot 10^{-5}$ і $7,72 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$.

Алгоритм розв'язування

1. Записуємо рівняння, що встановлює залежність швидкості реакції від температури (рівняння Арреніуса):

$$\ln \frac{k_{T_2}}{k_{T_1}} = \frac{E}{R} \cdot \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right).$$

2. Обчислюємо енергію активації

$$E_{\text{актив}} = \frac{2,303 \cdot R}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} \cdot \lg \frac{k_{T_2}}{k_{T_1}} = \frac{2,303 \cdot R \cdot T_1 \cdot T_2}{T_1 - T_2} \cdot \lg \frac{k_{T_2}}{k_{T_1}}$$

$$E_{\text{актив}} = \frac{2,303 \cdot 8,314 \cdot 273 \cdot 280}{280 - 273} \cdot \lg \frac{7,72 \cdot 10^{-5}}{4,04 \cdot 10^{-5}} = 58803 \text{ Дж} = 58,8 \text{ кДж}.$$

Відповідь: енергія активації дорівнює 58,8 кДж.

Задача 6. Яка маса радіоактивного ізотопу Ві залишиться через 10 годин, якщо його початкова маса становила 200 мг, а період піврозпаду дорівнює 2 години?

Алгоритм розв'язування

1. Об'єднаємо рівняння константи швидкості реакції I порядку і період піврозпаду:

$$K = \frac{2,303}{\tau} \cdot \lg \frac{m_0}{m_t} \text{ і } K = \frac{0,693}{\tau_{1/2}}; \frac{2,303}{\tau} \cdot \lg \frac{m_0}{m_t} = \frac{0,693}{\tau_{1/2}}$$

2. Знайдемо час, який пройшов від початку реакції:

$$\tau = 3,32 \cdot \tau_{1/2} \cdot \lg \frac{m_0}{m_t}$$

3. Підставимо значення:

$$10 = 3,32 \cdot 2 \cdot \lg(200/m_1); \lg(200/m_1) = 1,51;$$

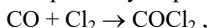
$$\frac{200}{m_1} = \lg 1,51 = 32,4; m_1 = 6,18.$$

Відповідь: залишилось 6,18 мг радіоактивного ізотопу.

Завдання для самостійного розв'язування

410. Швидкість хімічної реакції.
 411. Методи вимірювання швидкості хімічної реакції.
 412. Молекулярність елементарного акту хімічної реакції.
 413. Порядок хімічної реакції.
 414. Кінетичне рівняння реакції нульового порядку.
 415. Кінетичне рівняння реакції першого порядку.
 416. Кінетичне рівняння реакції другого порядку.
 417. Кінетичне рівняння псевдомономолекулярної реакції.
 418. Залежність константи швидкості реакцій різних порядків від одиниць, в яких виражені концентрації.
 419. Період піврозпаду для хімічних реакцій різного порядку.
 420. Покажіть, що період піврозпаду речовини в хімічній реакції є функцією початкової концентрації, що залежить від порядку реакції.
 421. Вплив природи розчинника та концентрації реагуючих речовин на швидкість хімічної реакції.
 422. Залежність швидкості хімічної реакції від температури. Рівняння Арреніуса.
 423. Складні, ланцюгові та фотохімічні реакції.
 424. Кінетика гетерогенних процесів.
 425. Теорії активних зіткнень та перехідного стану.
 426. Активні молекули та енергія активації.
 427. Методи визначення енергії активації.
 428. Зв'язок між константою швидкості хімічної реакції та енергією активації.
 429. Теорія активованого комплексу.
 430. Загальні положення та закономірності каталізу.
 431. Гомогенний каталіз.
 432. Кислотно-основний каталіз і його типи.
 433. Гетерогенний каталіз.
 434. Автокатализ.
 435. Ферментативний каталіз.
 436. Каталізатори та хімічна рівновага.
 437. 1 дм³ 2 М розчину CH₃COOH змішали з 1 дм³ 3 М розчину C₂H₅OH. Визначити швидкість реакції утворення етилацетату

$$\text{CH}_3\text{COOH} + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} \rightarrow \text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{OC}_2\text{H}_5 + \text{H}_2\text{O}$$
у початковий момент. Як зміниться початкова швидкість, якщо перед змішуванням розчини розвели однаковими об'ємами води?
 438. Величина константи швидкості реакції $\text{A} + 2\text{B} = \text{AB}_2$ дорівнює $5 \cdot 10^{-3}$ кмоль·м³·с⁻¹. Визначити швидкість реакції при $[\text{A}] = 0,5$ кмоль·м⁻³ і $[\text{B}] = 0,4$ кмоль·м⁻³.
 439. Обчислити константу швидкості реакції утворення фосгену:



якщо при 300 К кількість реагуючих речовин змінюється так:

час, хв.	0	12	24
----------	---	----	----

концентрація, кмоль · м ⁻³	0,01873	0,01794	0,01734
---------------------------------------	---------	---------	---------

Визначити концентрацію початкових речовин через 3 години після початку реакції.

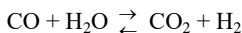
440. Константа швидкості реакції першого порядку дорівнює $5,2 \cdot 10^{-2} \text{ хв}^{-1}$.

Визначити, скільки відсотків вихідної речовини розкладається за 10 хв. і скільки часу потрібно для розкладу 99 % вихідної речовини.

441. У скільки разів збільшується швидкість реакції при підвищенні температури від 283 К до 373 К, якщо температурний коефіцієнт швидкості реакції дорівнює 2?

442. При якій температурі слід проводити реакцію, щоб її швидкість при 323 К зменшилася в 10 разів? Температурний коефіцієнт швидкості реакції дорівнює 2,5.

443. Обчислити швидкість реакції:



при 313,2 К, якщо при цій температурі константа швидкості реакції дорівнює $8,15 \cdot 10^{-3} \text{ кмоль} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{хв}^{-1}$ і початкові концентрації реагуючих речовин CO і H₂O відповідно дорівнюють 0,1 і 0,2 кмоль · м⁻³.

444. Як зміниться швидкість реакції $2\text{NO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}_2$, якщо тиск збільшити у 6 разів?

445. Розклад N₂O₅ є реакцією першого порядку, константа швидкості якої дорівнює 0,002 хв⁻¹. Визначити, скільки відсотків N₂O₅ розкладеться за 5 годин.

446. В реакції синтезу аміаку збільшили тиск у три рази, зберігаючи температуру сталою. Як зміниться швидкість прямої реакції?

447. Визначити порядок реакції $2\text{CO} = \text{CO}_2 + \text{C}$ при 583,2 К, якщо в одному випадку тиск за 30 хв. зменшився від $1,049 \cdot 10^5$ до $0,924 \cdot 10^5$ Па, а в другому за той сам проміжок часу – від $0,714 \cdot 10^5$ до $0,624 \cdot 10^5$ Па ($V = \text{const}$).

448. Швидкість реакції другого порядку дорівнює $4,5 \cdot 10^{-7} \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$ при концентрації одного реагенту $1,5 \cdot 10^{-2}$ і другого $2,5 \cdot 10^{-1} \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1}$. Визначити константу швидкості в $\text{см}^3 \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$.

449. Внаслідок взаємодії формальдегіду з пероксидом водню утворюється мурашина кислота $\text{НСНО} + \text{H}_2\text{O}_2 = \text{НСООН} + \text{H}_2\text{O}$. Якщо змішати рівні об'єми 1 М розчинів H₂O₂ і НСНО, то через 2 години при 383 К концентрація мурашиної кислоти становитиме 0,214 моль · л⁻¹. Вирахувати константу швидкості реакції та визначити, за який час прореагує 90 % вихідних речовин.

450. Як зміниться швидкість реакції $2\text{NO} + \text{O}_2 = 2\text{NO}_2$, якщо: а) збільшити об'єм, який займають газу у два рази; б) збільшити концентрацію NO у три рази?

451. Реакція першого порядку пройшла при 298 К за 4,9 хв. на 34,5 %. Визначити константу швидкості цієї реакції.

452. Реакція $\text{A} + \text{B} = \text{C}$ другого порядку. При однакових концентраціях вихідних речовин за 500 с реакція проходить на 20 %. За який час прореагує 60 % вихідних речовин?

453. При 95 °С реакція закінчується за 16 хвилин. За який час закінчиться ця реакція при 135 °С, якщо температурний коефіцієнт цієї реакції дорівнює 2,0?

454. Як зміниться швидкість прямої реакції $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3$, якщо об'єм газової суміші зменшити в 3 рази?

455. У скільки разів швидкість прямої реакції $3\text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{O}_3$ більша від швидкості зворотної реакції при збільшенні тиску в 3 рази?

456. В системі $2\text{NO} + \text{Cl}_2 \rightleftharpoons 2\text{NOCl}$ концентрацію NO збільшили від 0,3 до 1,2 моль/дм³, а Cl_2 – від 0,2 до 0,6 моль/дм³. У скільки разів зросте швидкість прямої реакції?
457. Як зміниться швидкість реакції між оксидом вуглецю (II) і киснем, якщо концентрацію вихідних речовин збільшити в 5 разів?
458. У скільки разів необхідно збільшити концентрацію водню в системі
- $$\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3,$$
- щоб швидкість прямої реакції збільшилась у 125 разів?
459. Як зміниться швидкість реакції окиснення монооксиду азоту киснем при зменшенні об'єму газової суміші в 3 рази?
460. Як зміниться швидкість реакції взаємодії заліза з хлором, якщо тиск у системі збільшити в 4 рази?
461. У скільки разів збільшиться швидкість реакції, що проходить при 25 °С, якщо при введенні каталізатора енергія активації реакції зменшилась на 10 кДж?
462. У скільки разів необхідно збільшити тиск у системі при окисненні SO_2 киснем, щоб швидкість реакції збільшилась у 1000 разів?
463. У скільки разів зросте швидкість реакції при підвищенні температури на 60 °С, якщо $\gamma = 2,4$?
464. На скільки градусів потрібно підвищити температуру, щоб швидкість реакції зросла у 64 рази, якщо $\gamma = 2,0$?
465. Швидкість реакції при 40 °С дорівнює 0,5 моль·л⁻¹·с⁻¹. Чому дорівнює швидкість цієї реакції при 80 °С, якщо $\gamma = 4,0$?
466. За який час реакція $\text{H}_2 + \text{Cl}_2 = 2\text{HCl}$ пройде на 60 %, якщо при однакових концентраціях реагуючих речовин за 500 с реакція пройшла на 20 %?
467. Період піврозпаду ²⁴Na дорівнює 15 год. Через скільки годин залишиться 12,5 % вихідної кількості радіоактивного натрію?
468. Через скільки днів продукти розпаду радіоактивного ізотопу ⁴⁹K будуть становити 75 % від початкової маси, якщо період піврозпаду дорівнює 12,44 дня?
469. Період піврозпаду ізотопу хлору ³⁷Cl дорівнює 37,3 хв. Через який час (в хв) залишиться 6,25 % вихідної кількості радіоактивного хлору?
470. Період піврозпаду радіоактивного ізотопу радію дорівнює 1590 років. Вирахувати константу швидкості процесу розпаду (в с⁻¹)?
471. Чому дорівнює період піврозпаду радіонукліду, якщо через 100 годин кількість його зменшилась в 4 рази?
472. Яка кількість радіоактивного радію (в мг) залишиться через 2,5 години, якщо його початкова маса дорівнювала 5 мг, а період піврозпаду 19,7 хв.?
473. Чому дорівнює період піврозпаду радіоактивного стронцію-90, якщо від початкової маси, яка становила 1,0 г, через 2 роки залишиться 0,953 г?
474. Скільки радіоактивного стронцію-90 залишиться через 5 років, якщо його початкова маса становить 1,0 г, а період напіврозпаду дорівнює 29,1 року?
475. У медицині для лікування раку застосовують радіоактивний кобальт ⁶⁰₂₇Co з періодом піврозпаду 1826 діб. Визначити константу розпаду ізотопу кобальту і число атомів кобальту, які розпалися протягом доби в 1 мг Co.

476. Активність ізотопу полонію $^{210}_{84}\text{Po}$ за 35 діб зменшилась на 16,1 %. Визначити константу розпаду, період піврозпаду і час, протягом якого розпадається 90 % вихідної кількості ізотопу полонію.
477. Період піврозпаду речовини в реакції першого порядку при 323,2 К дорівнює 100 хв., а при 353,2 К – 15 хв. Визначити температурний коефіцієнт швидкості цієї реакції.
478. Реакція термічного розкладу етану є реакцією I порядку. При 823 К константа швидкості цієї реакції дорівнює $2,5 \cdot 10^5 \text{ c}^{-1}$, а при 903 К – $141,5 \cdot 10^5 \text{ c}^{-1}$. Розрахувати період піврозпаду для цієї реакції при 873 К.
479. Період піврозпаду речовини в реакції I порядку при 323 К складає 100 хв, а при 353 К – 15 хв. Визначити температурний коефіцієнт швидкості хімічної реакції.
480. Період піврозпаду радіоактивного ^{14}C складає 5720 років. Розрахувати константу швидкості реакції.
481. Період піврозпаду радію дорівнює 19,7 хв. Яка кількість радію (початкова маса 5 мг) залишиться через 2,5 години?
482. Чому дорівнює температурний коефіцієнт реакції, якщо при підвищенні температури на 60 °С швидкість зросла в 1500 раз?
483. При 20 °С константа швидкості реакції дорівнює 10^{-4} хв^{-1} , а при 50 °С – $8 \cdot 10^{-4} \text{ хв}^{-1}$. Визначити температурний коефіцієнт γ .
484. Визначити температурний коефіцієнт швидкості омилення етилацетату лугом для кожного температурного інтервалу і середній температурний коефіцієнт швидкості реакції в межах від 273 до 298 К, якщо константа швидкості цієї реакції змінюється із зміною температури так:

T, K	273	293	298
K, $\text{кмоль}^{-1} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{хв}^{-1}$	1,17	5,08	6,56

485. У скільки разів збільшується швидкість розчинення заліза в 5 % розчині соляної кислоти при підвищенні температури від 293 до 343 К, якщо температурний коефіцієнт швидкості розчинення дорівнює 2,8?
486. Відома залежність константи швидкості розкладу N_2O_5 від температури:

T, K	273	308	328	338
K, c^{-1}	$7,67 \cdot 10^{-7}$	$1,46 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$4,87 \cdot 10^{-3}$

Визначити середній температурний коефіцієнт швидкості реакції, енергію активації і константу швидкості реакції при 298 К.

487. Константа швидкості реакції $\text{C} + \text{O}_2 = \text{CO}_2$ змінюється із зміною температури так:

T, K	773	873	973	1073	1173	1273
K, хв^{-1}	0,073	0,447	2,15	6,81	13,72	19,99

Визначити температурний коефіцієнт швидкості реакції для кожного температурного інтервалу і температурний коефіцієнт швидкості реакції в межах від 773 до 1273 К.

488. У скільки разів збільшиться швидкість реакції при підвищенні температури від 293 К до 373 К, якщо температурний коефіцієнт швидкості реакції дорівнює 3?
489. При 283 К реакція між 1 дм^3 0,05 М розчину етилацетату і 1 дм^3 0,05 М розчину NaOH за 16,8 хв. відбувається на 50 %. Визначити, за який час відбудеться омилення половини ефіру при 308 К, якщо всі інші умови не змінюються. Температурний коефіцієнт швидкості реакції дорівнює 2.

490. У скільки разів зросте швидкість реакції при підвищенні температури від 273 К до 383 К, якщо температурний коефіцієнт реакції дорівнює 3?
491. Чому дорівнює енергія активації реакції $A + B = C$, якщо константа швидкості реакції при 443 °С дорівнює $6,7 \cdot 10^{-3}$, а при 508 °С – $1,06 \cdot 10^{-1} \text{ с}^{-1}$?
492. Яке значення відповідає енергії активації реакції (кДж/моль), якщо константи швидкості цієї реакції при 273 та 280 К відповідно дорівнюють $4,04 \cdot 10^{-5}$ і $7,72 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$?
493. У скільки разів збільшиться швидкість реакції, що проходить при 298 К, якщо енергію активації процесу зменшити на 4,0 кДж/моль?
494. Реакція першого порядку за 35 хв. проходить на 30 %. Яка швидкість реакції ($\text{моль} \cdot \text{л}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$), якщо концентрація реагуючої речовини дорівнює 0,01 моль/дм³?
495. Чому дорівнює енергія активації реакції, якщо при підвищенні температури від 290 до 300 К її швидкість зросла у 2 рази?
496. Яке значення (кДж/моль) відповідає енергії активації реакції, швидкість якої при 300 К у 10 разів більша, ніж при 280 К?
497. Визначити енергію активації (в кДж/моль) процесу розкладу оксиду азоту (IV) за схемою $2\text{NO}_2 \rightleftharpoons 2\text{NO} + \text{O}_2$, якщо константи швидкості при 600 і 640 К відповідно дорівнюють 83,3 та 407,0 с^{-1} .
498. Константа швидкості розкладу пероксиду водню йодоводневою кислотою за рівнянням $\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{HI} = 2\text{H}_2\text{O} + \text{I}_2$ змінюється залежно від температури:

T, К	293	303
K, кмоль ⁻¹ · м ³ · хв ⁻¹	4,32	8,38

Визначити енергію активації і константу швидкості реакції при 298 К.

499. Для реакції розкладу $2\text{HI} = \text{H}_2 + \text{I}_2$ константа швидкості при 575 К і 700 К відповідно дорівнює $1,22 \cdot 10^{-6}$ і $1,16 \cdot 10^{-3} \text{ кмоль} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{хв}^{-1}$. Визначити енергію активації, константу швидкості реакції при 625 К і температурний коефіцієнт швидкості реакції.
500. Константа швидкості реакції при 298 К і 323 К відповідно дорівнює 0,0093 та 0,0806 хв^{-1} . Визначити енергію активації цієї реакції.
501. Константа швидкості реакції інверсії тростинного цукру при 293 К дорівнює 0,0096 хв^{-1} , а при 313 К – 0,0734 хв^{-1} . Вирахувати енергію активації у заданому проміжку температур.

Розділ 6

Фізико-хімія поверхневих явищ

Значення матеріалу теми. Поверхневі явища відіграють велику роль у медицині і фармації. На великій поверхні розділу фаз у живому організмі ($\sim 15000 \text{ м}^2$) відбуваються процеси обміну, синтезу, адсорбції, десорбції, ферментативні реакції та інші процеси, пов'язані з життєдіяльністю організму.

Величина поверхневого натягу відноситься до фізико-хімічних констант, а її зміна має діагностичне значення. При лікуванні гострих отруєнь вагоме значення мають адсорбційна терапія і гемосорбція. Іонообмінна адсорбція застосовується у хроматографії, з іонообміном пов'язане функціонування біологічних структур і мембран, а також очистка стічних вод та вилучення забруднень з навколишнього середовища.

Мета роботи. Вивчити закономірності процесів сорбції, їх медико-біологічне значення та застосування у фармації. Навчитись на практиці застосовувати теоретичні положення вчення про адсорбцію, вміти використати іонообмінний метод для кількісного аналізу деяких лікарських речовин, ознайомитись з хроматографічним методом розділення сумішей кольорових електролітів у розчинах.

Алгоритми розв'язування типових задач

Задача 1. Визначити величину і знак адсорбції органічної кислоти при 293 К в розчині з концентрацією 30,2 моль/л. Поверхневий натяг розчину $60,0 \cdot 10^{-3}$, а води – $73,0 \cdot 10^{-3}$ Дж/м²

Алгоритм розв'язування

1. Адсорбцію на межі розчин – газ кількісно визначають за зміною поверхневого натягу, використовуючи рівняння Гіббса:

$$\tilde{A} = - \frac{C}{RT} \cdot \left(\frac{\Delta\sigma}{\Delta C} \right),$$

для розбавлених розчинів $\frac{\Delta\sigma}{\Delta C} = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{C_2 - C_1}$

2. Підставляємо значення і вираховуємо Г:

$$\tilde{A} = - \frac{30,2}{8,314 \cdot 293} \cdot \frac{(50,0 - 73,0) \cdot 10^{-3}}{30,2} = 5,34 \cdot 10^{-6} \text{ моль/м}^3.$$

Відповідь: адсорбція позитивна і дорівнює $5,36 \cdot 10^{-6}$ моль/м³.

Задача 2. Визначити величину адсорбції $\tilde{A} = \frac{x}{m}$ і рівноважну концентрацію $C^{\text{к}}_{\text{рівн}}$

оцтової кислоти, якщо в 200 мл розчину для проведення адсорбції було внесено 5 г активованого вугілля. На титрування 10 мл розчину кислоти у присутності фенолфталеїну до і після адсорбції пішло відповідно 6,3 і 2,25 мл 0,1 М розчину NaOH

Алгоритм розв'язування

1. Визначаємо концентрацію кислоти C_0 до адсорбції:

$$C_0 = \frac{0,1 \cdot 6,3}{10} = 0,0630 \text{ моль/мл.}$$

2. Визначаємо рівноважну концентрацію кислоти $C_{\text{рівн}}$:

$$\tilde{N}_{\text{діа}} = \frac{0,1 \cdot 2,25}{10} = 0,0225 \text{ моль/мл.}$$

3. За формулою $\tilde{A} = \frac{x}{m} = \frac{(C_0 - C_{\text{рівн}}) \cdot V_{\text{д-іо}}}{m}$ розраховуємо величину адсорбції

$$\tilde{A} = \frac{(0,0630 - 0,0225) \cdot 200}{5} = 1,62 \text{ ммоль/г.}$$

Відповідь: $\Gamma = 1,62 \text{ ммоль/г}$, $C_{\text{рівн}} = 0,0225$.

Завдання для самостійного розв'язування

502. Вільна поверхнева енергія та поверхневий натяг. Поверхневі явища та їх значення в біології, медицині та фармації.
503. Класифікація поверхневих явищ за агрегатним станом контактуючих фаз. Причини виникнення поверхневої енергії.
504. Визначення поверхневого натягу методом П.А.Рейнольда (суть методу, схема приладу, виведення розрахункової формули)
505. Поверхнево-активні та поверхнево-інактивні речовини (ПАР та П-інаР). Навести приклади. Особливості будови молекул ПАР.
506. Навести ізотерми поверхневого натягу розчинів ПАР. Пояснити їх хід. Охарактеризувати методи визначення поверхневого натягу.
507. Залежність поверхневого натягу від температури та інших факторів. Навести графіки та пояснити з молекулярної точки зору.
508. Рівняння Шішковського. Поверхнева активність. Методи їх визначення. Правило Дюкло-Траубе.
509. Спонтанні процеси на межі поділу фаз багатокомпонентних систем. Дві групи поверхневих явищ в дисперсних системах.
510. Сорбційні процеси та їх класифікація. Адсорбція: основні поняття та визначення.
511. Орієнтація молекул ПАР у поверхневому шарі. Що таке насичений моношар? Навести графік та рівняння залежності поверхневого тиску від загальної площі молекул ПАР.
512. Будова біологічних мембран.
513. Рівняння Гіббса та його аналіз. Ізотерма адсорбції Гіббса. Як визначити адсорбцію за допомогою ізотерми поверхневого натягу?
514. Правило Дюкло-Траубе. Визначення розмірів молекул ПАР.
515. Адсорбція на межі поділу тверде тіло – газ. Адсорбційна рівновага. Фізична та хімічна адсорбція (хемосорбція).
516. Залежність адсорбції газів на нерухомій поверхні поділу фаз від різних факторів (тиску, температури, природи газу та сорбенту).
517. Основні положення теорії мономолекулярної адсорбції Ленгмюра. Рівняння адсорбції Ленгмюра та його аналіз.
518. Виведення рівняння адсорбції Ленгмюра. Фізичний зміст та визначення констант рівняння.

519. Ізотерма абсорбції Ленгмюра, рівняння ізотерми адсорбції. Застосування рівняння Ленгмюра для розрахунку граничної адсорбції.
520. Визначення площі молекули адсорбтиву на межі поділу розчин – повітря. Етапи експерименту та розрахунки.
521. Адсорбція. Полімолекулярна адсорбція її відміна від теорії мономолекулярної адсорбції Ленгмюра. Ізотерма БЕТ.
522. Адсорбція на межі поділу тверде тіло – розчин і фактори від яких вона залежить.
523. Закономірності характерні для молекулярної адсорбції.
524. Експериментальне визначення адсорбції на межі поділу тверде тіло – газ і тверде тіло – розчин. Описати етапи експерименту і розрахунки.
525. Емпіричне рівняння адсорбції Фрейндліха, визначення констант рівняння графічним і алгебраїчним методами. Застосування рівняння Фрейндліха у фармації.
526. Моно- і полімолекулярна адсорбція. Ізотерма БЕТ. Гемосорбція.
527. Фактори, що впливають на абсорбцію газів і розчинених речовин. Правило вирівнювання полярностей. Гідрофільні і гідрофобні адсорбенти.
528. Зв'язок між рівняннями Фрейндліха і Нернста–Шилова для розподілу речовин між двома фазами. Перехід від рівняння Фрейндліха до рівняння Нернста–Шилова.
529. Явище змочування. Крайовий кут змочування. Рівняння Юнга. Вибіркове змочування. Теплоута змочування.
530. Адсорбція електролітів. Еквівалентна та вибіркова адсорбції. Правило Панета–Фаянса та його пояснення на підставі будови кристалічної решітки адсорбенту.
531. Іонообмінна адсорбція. Іоніти, їх класифікація. Селективність та специфічність іонітів.
532. Катіоніти, аніоніти, амфоліти. Що являють собою іонообмінні смоли: сульфокислотні, карбоксильні та фосфорнокислотні?
533. Застосування іонітів для демінералізації води та у фармації для кількісного визначення лікарських та інших речовин.
534. Хроматографія. Суть методу. Класифікація хроматографічних методів за технікою виконання та механізмом процесу.
535. Моделювання сорбційних процесів на селективних гемосорбентах.
536. Застосування хроматографії для одержання, аналізу та очищення лікарських речовин. Гельфільтрація.
537. Дати визначення поняття: вільна поверхнева енергія, поверхневий натяг, поверхнева активність. Причини їх виникнення та фактори, від яких вони залежать.
538. Поверхнева енергія Гіббса і поверхневий натяг ПАР і П-інАР. Чому частинки ПАР у водних розчинах переносяться до межі поділу фаз?
539. Будова та орієнтація молекул ПАР на поверхні води. Навести ізотерми поверхневого натягу для ПАР і П-інАР та пояснити хід кривих.
540. Від яких факторів залежить сорбція газів на твердій поверхні? Фізична та хімічна адсорбція. Для яких видів адсорбції процес є необоротним?
541. Дати характеристику основних методів визначення поверхневого натягу. Як побудувати ізотерму поверхневого натягу?
542. Суть теорії адсорбції Ленгмюра. Застосування рівняння адсорбції Ленгмюра.

543. Загальна характеристика сорбційних явищ. Тверді сорбенти, їх застосування у медицині та фармації.
544. Насичений мономолекулярний поверхневий шар. Будова моношару у залежності від концентрації ПАР.
545. Особливості адсорбції з розчинів. Застосування адсорбції з розчинів на твердих адсорбентах у медицині та фармації.
546. Сорбція: адсорбція, абсорбція, хемосорбція і капілярна конденсація. Еквівалентна та вибіркова адсорбція сильних електролітів
547. Пояснити як змінюється поверхневий натяг ряду 0,1М розчинів C_2H_5OH , C_3H_7OH і C_4H_9OH . Визначення довжини молекули та площі, що вона займає в насиченому адсорбційному шарі.
548. Природні і синтетичні іоніти. Неорганічні іоніти. Записати схематичні рівняння іонообмінної демінералізації води.
549. Одержання знесолоної води та встановлення її якості.
550. Поверхневий натяг води при $10^\circ C$ $74,22 \cdot 10^{-3}$ Дж·м⁻², а розчину пеларгонової кислоти $C_{18}H_{17}COOH$ з концентрацією 50 мг/л – $57,0 \cdot 10^{-3}$ Дж·м⁻². Визначити величину і знак адсорбції.
551. Визначити величину і знак адсорбції (моль/м²) хлориду кальцію в 20% водному розчині ($\rho = 1,77$ г/мл) при 293 К, якщо поверхневий натяг розчину $80 \cdot 10^{-3}$, а води – $73,0 \cdot 10^{-3}$ Дж/м².
552. Поверхневий натяг 20% розчину NaOH ($\rho = 1,219$ г/мл) при 293 К складає $85,8 \cdot 10^{-3}$, а води – $72,75 \cdot 10^{-3}$ Дж/м². Визначити величину і знак адсорбції.
553. Визначити величину і знак адсорбції ацетону при $15^\circ C$ з водного розчину з концентрацією 49,0 г/л ($\rho = 0,990$ г/мл), якщо поверхневий натяг розчину $59,4 \cdot 10^{-3}$, а води – $73,49 \cdot 10^{-3}$ Дж/м².
554. Поверхневий натяг водного розчину KOH з концентрацією 4 моль/л при $19^\circ C$ дорівнює $86,4 \cdot 10^{-3}$, а води – $72,9 \cdot 10^{-3}$ Дж/м². Визначити величину і знак адсорбції.
555. Вирахувати величину адсорбції (моль/м²) пропанолу при 288 К із водного розчину з концентрацією 0,12 моль/л, якщо поверхневий натяг розчину складає $63,3 \cdot 10^{-3}$ Н/м, а води – $73,49 \cdot 10^{-3}$ Дж/м².
556. Вирахувати величину адсорбції (моль/м²) пропіонової кислоти із водного розчину з концентрацією 0,5 моль/л при 288 К, якщо поверхневий натяг розчину дорівнює $54,1 \cdot 10^{-3}$, а води – $73,49 \cdot 10^{-3}$ Дж/м².
557. Вирахувати поверхневу активність оцтової кислоти (Н·м²/моль), якщо її розчини з концентрацією 0,01 і 0,1 моль/л при 298 К мають відповідно поверхневий натяг $70,02 \cdot 10^{-3}$ і $66,88 \cdot 10^{-3}$ Н/м.
558. Вирахувати величину адсорбції H_2SO_4 (моль/м³) у її розчині ($\rho = 1,139$ г/мл) при 298 К, якщо поверхневий натяг розчину дорівнює $75,2 \cdot 10^{-3}$, а води – $71,97 \cdot 10^{-3}$ Н/м.
559. Вирахувати величину і знак адсорбції лугу при $25^\circ C$ з концентрацією 3 моль/л, якщо поверхневий натяг розчину $84,3 \cdot 10^{-3}$, а води – $71,97 \cdot 10^{-3}$ Дж/м².
560. Яка поверхнева активність фенолу (Н·м²/моль), якщо його розчини з концентрацією 0,02 і 0,06 моль/л при 298 К мають відповідно поверхневий натяг $58,2 \cdot 10^{-3}$ і $43,3 \cdot 10^{-3}$ Н/м?
561. Визначити величину і знак адсорбції масляної кислоти у 0,1 М розчині при 298 К, якщо її поверхнева активність дорівнює $-2,90 \cdot 10^{-4}$ Н·м²/моль.

562. Визначити величину адсорбції фенолу (моль/м²) при 293 К, якщо поверхневий натяг його розчинів з концентрацією 0,0156 і 0,0625 моль/м³ дорівнює відповідно $58,2 \cdot 10^{-3}$ і $43,3 \cdot 10^{-3}$ Н/м.
563. Яка поверхнева активність органічної кислоти (Н.м²/моль), якщо її розчини з концен-трацією 0,03 і 0,25 моль/л мають відповідно поверхневий натяг $57,3 \cdot 10^{-3}$ і $35,1 \cdot 10^{-3}$ Н/м?
564. Вирахувати величину адсорбції ізовалеріанової кислоти (моль/м²) при 288 К, якщо для її водних розчинів з концентрацією 0,0312 і 0,25 моль/л поверхневий натяг відповідно дорівнює $57,5 \cdot 10^{-3}$ і $35,0 \cdot 10^{-3}$ Н/м.
565. Для водних розчинів капронової кислоти з концентрацією 0,005 і 0,01 моль/л при 273 К поверхневий натяг відповідно дорівнює $65,83 \cdot 10^{-3}$ і $60,05 \cdot 10^{-3}$ Н/м. Вирахувати величину адсорбції в моль/м².
566. Вирахувати величину адсорбції масляної кислоти на поверхні поділу водний розчин – повітря при 283 К і концентрації $C = 0,104$ моль/л, побудувати графік $\sigma = f(C)$, пояснити хід кривої за такими експериментальними даними:
- | | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| C, моль/л | 0,00 | 0,021 | 0,050 | 0,104 | 0,246 | 0,485 |
| $\sigma \cdot 10^{-3}$ Дж/м ² | 74,01 | 69,51 | 64,30 | 59,85 | 51,09 | 44,00 |
567. Вирахувати і побудувати криву адсорбції вуглекислого газу на активованому вугіллі в межах рівноважних тисків $10 \cdot 10^2 - 400 \cdot 10^2$ Н/м², якщо в рівнянні Ленгмюра $\Gamma_{\infty} = 182,103$, а $K = 1 \cdot 10^{-3}$.
568. Теплота адсорбції аміаку на подрібненому залізі дорівнює 71,13 кДж/моль. Вирахува- ти кількість теплоти (в кДж), що виділиться при поглинанні порошком заліза 5,61 л (н.у.) аміаку.
569. При адсорбції 2,8 г кисню активованим вугіллям при 68 К виділяється 1,36 кДж теплоти. Вирахувати теплоту адсорбції кисню на вугіллі (в кДж/ моль).
570. Активна поверхня 1 г силікагелю дорівнює 465 м². Розрахувати кількість молекул бром, що поглинається 1 м² поверхні адсорбенту при адсорбції на 10 г силікагелю $5 \cdot 10^{-3}$ г бром.
571. Активна поверхня активованого вугілля сягає 1000 м² на 1 г вугілля. Вирахувати скільки фосгену (в г) поглинає 10 м² поверхні вугілля, якщо адсорбційна здатність його складає 440 мл (н.у.) газу на 1 г вугілля.
572. Вирахувати товщину мономолекулярного шару (в м) масляної кислоти на поверхні поділу вода – повітря, якщо площа, яку займає одна молекула в поверхневому шарі дорівнює $3,2 \cdot 10^{-19}$ м², а густина та молярна маса відповідно – 978 кг/м³ і 88 г/моль.
573. Після адсорбції оцтової кислоти із 60 мл розчину 3 г активованого вугілля початкова концентрація розчину 0,44 моль/л зменшилась до 0,35 моль/л. Вирахувати величину адсорбції оцтової кислоти (в г) 1 г вугілля.
574. Початкова концентрація розчину аскорбінової кислоти дорівнює 360 ммоль/л. Після адсорбції розчищеної речовини із 50 мл розчину 5 г твердого адсорбенту концентрація розчину зменшилась до 240 ммоль/л. Вирахувати величину адсорбції в ммоль/г.
575. До 150 мл розчину CH₃COOH певної концентрації при 293 К додали 5 г активованого вугілля. При титруванні 10 мл розчину кислоти до і після адсорбції витрачено 16,45 і 12,25 мл 0,1н розчину NaOH. Вирахувати величину адсорбції CH₃COOH (в г) 1 г вугілля.

576. Початкова концентрація розчину дорівнює 220 ммоль/л. Після адсорбції розчиненої речовини із 50 мл розчину 5 г твердого адсорбенту концентрація розчину зменшилась до 110 ммоль/л. Вирахувати величину адсорбції в ммоль/г.
577. До 200 мл розчину CH_3COOH при 293 К додали 5 г цеоліту. При титруванні 20 мл розчину кислоти до і після адсорбції витрачено 21,25 і 16,45 мл 0,1 н розчину лугу. Вирахувати величину адсорбції CH_3COOH (в г) 1 г адсорбенту.
578. Після адсорбції розчиненої речовини із 60 мл розчину 3 г твердого адсорбенту, кон- центрація розчину зменшилась до 350 ммоль/дм³. Вирахувати величину адсорбції в ммоль/г, якщо початкова концентрація розчину дорівнювала 440 ммоль/дм³.
579. До 100 мл розчину кислоти при 20 °С додали 3 г активованого вугілля. Початкова концентрація кислоти 0,0111 ммоль/мл, а після адсорбції 0,0024 ммоль/мл. Вирахувати величину адсорбції у ммоль/г.
580. Початкова концентрація розчину дорівнює 520 ммоль/л. Після адсорбції розчиненої речовини із 50 мл розчину 2 г твердого адсорбенту концентрація розчину зменшилась до 480 ммоль/л. Вирахувати величину адсорбції в ммоль/г.
581. До 100 мл розчину оцтової кислоти при 20 °С додали 3 г активованого вугілля. Вирахувати величину адсорбції в ммоль/г , якщо на титрування 25 мл розчину кислоти 0,1 М розчином NaOH у присутності фенолфталеїну до адсорбції пішло 2,75 мл лугу, а після адсорбції 0,60 мл.
582. До 100 мл розчину кислоти при 20 °С додали 3 г твердого адсорбенту. Після адсорбції початкова концентрація 340 ммоль/л зменшилась до 280 ммоль/л. Вирахувати величину адсорбції в ммоль/г.
583. До 100 см³ розчину CH_3COOH певної концентрації при 295 К додали 3 г активова- ного вугілля. При титруванні 10 см³ розчину кислоти до і після адсорбції витрачено 18,25 і 13,45 см³ 0,1 н розчину NaOH . Вирахувати величину адсорбції CH_3COOH (в г) 1 г вугілля.
584. До 200 см³ розчину CH_3COOH певної концентрації при 295 К додали 5 г активованого вугілля. При титруванні 25 см³ розчину кислоти до і після адсорбції витрачено відповідно 22,45 і 14,4 см³ 0,1 н розчину NaOH . Вирахувати величину адсорбції кислоти (в г) 1 г адсорбенту.
585. До 100 мл розчину кислоти при 288 К додали 3 г твердого адсорбенту. При титруванні 25 мл кислоти до і після адсорбції пішло 3,90 і 1,05 мл 0,1 М розчину KOH . Вирахувати величину адсорбції в ммоль/г.
586. До 200 мл розчину пропіонової кислоти при 20 °С додали 6 г активованого вугілля. При титруванні 25 мл розчину кислоти до і після адсорбції пішло 5,60 і 1,83 мл 0,1 М розчину NaOH . Вирахувати величину адсорбції в ммоль/г.
587. До 100 мл розчину оцтової кислоти при 288 К додали 3 г активованого вугілля. При титруванні 25 мл розчину кислоти до і після адсорбції витрачено 11,50 і 5,10 мл 0,1 М розчину NaOH . Вирахувати величину адсорбції в ммоль/г.
588. Яка адсорбція азоту на цеоліті (в ммоль/г) при 293 К і парціальному тиску 280 Па, якщо гранична адсорбція дорівнює 1,39 ммоль/г, а $K = 641$?
589. Згідно рівняння Ленгмюра знайти величину максимальної адсорбції (в моль/м²), якщо при рівноважній концентрації 0,03 моль/л величина адсорбції $6 \cdot 10^{-3}$ моль/м², а $K = 0,8$.
590. Згідно рівняння Ленгмюра обчислити величину адсорбції ізоамілового спирту на поверхні поділу водний розчин – повітря при 292 К і рівноважній концентрації 0,1 моль/л, якщо гранична адсорбція дорівнює $8,7 \cdot 10^{-9}$ моль/м², а $K = 42$.

591. Знайти величину граничної адсорбції (в моль/м²), якщо при рівноважній концентрації 0,015 моль/л величина адсорбції $5,3 \cdot 10^{-4}$ моль/м², а константа К рівняння Ленгмюра дорівнює 0,78.
592. Вирахувати величину адсорбції (в моль/м²) при 295 К, якщо гранична адсорбція дорівнює 0,166 моль/м², рівноважна концентрація 31 ммоль/л, а К рівняння Ленгмюра дорівнює 0,82.
593. Визначити рівноважну концентрацію (в моль/л), якщо 1 г вугілля адсорбує $3,76 \cdot 10^{-3}$ моль оцтової кислоти, а константи К і n рівняння Фрейндліха відповідно дорівнюють 2,82 і 2,44.
594. Вирахувати рівноважну концентрацію масляної кислоти в ммоль/г, якщо 2,35 ммоль кислоти адсорбувалось на 5 г карболену. Константи К і n рівняння Фрейндліха відповідно дорівнюють 3,85 і 1,33.
595. Вирахувати рівноважну концентрацію СН₃СООН (в моль/л), якщо величина адсорбції за рівнянням Фрейндліха дорівнює 0,012 моль/л, а константи К і n відповідно дорівнюють 0,25 і 3,10.
596. Вирахувати рівноважну концентрацію (ммоль/мл) оцтової кислоти, якщо 0,87 ммоль кислоти адсорбувалось на 3 г твердого адсорбенту. Константи К і 1/n рівняння Фрейндліха відповідно дорівнюють 0,59 і 0,48.
597. Величина адсорбції за рівнянням Фрейндліха дорівнює 0,38 ммоль/г, а константи К та n відповідно дорівнюють 0,59 і 2,008. Вирахувати рівноважну концентрацію органічної кислоти (в моль/л).
598. Визначити константи К та n рівняння Фрейндліха у випадку, адсорбції при 298 К оксалатної кислоти активованим вугіллям:

С, ммоль/мл	0,28	0,44	0,66	1,26	2,95
x/m, ммоль/г	1,26	1,58	2,00	2,80	4,00

599. Визначити графічно константи К і 1/n рівняння ізотерми адсорбції Фрейндліха, якщо:

С, ммоль/мл	0,268	0,471	0,872
x/m, ммоль/г	1,550	2,040	2,480

600. Побудувати криву адсорбції вуглекислого газу на активованому вугіллі при 271 К в інтервалі тисків від $2 \cdot 10^2$ до $30 \cdot 10^2$ Н/м, якщо в рівнянні Фрейндліха $K = 1,6 \cdot 10^{-3}$, а $1/n = 0,48$.
601. Побудувати ізотерму адсорбції оцтової кислоти на активованому вугіллі при 293 К та визначити константи К та 1/n у рівнянні Фрейндліха за такими даними:

С, ммоль/мл	0,240	0,417	0,730	2,040	5,000
x/m, ммоль/г	0,29	0,38	0,51	0,85	1,29

Розділ 7

Одержання дисперсних систем

Значення матеріалу теми. Об'єктами дослідження колоїдної хімії є гетерогенні високодисперсні системи, до яких належать порошки, суспензії, колоїдні розчини (зол), емульсії, піни та ін. Колоїдні системи надзвичайно розповсюджені в природі і відіграють важливу роль у життєдіяльності людини. Складні життєві процеси, що відбуваються в живих організмах у значній мірі мають колоїдно-хімічний характер. Біологічні рідини – кров, плазма, лімфа, спино-мозкова рідина білки, слизи є колоїдними системами.

У фармацевтичній практиці деякі препарати використовуються у вигляді колоїдів (коларгол, протаргол, іхтіол та ін.). Деякі технологічні операції в фармацевтичній промисловості належать до колоїдних процесів. Наприклад, приготування емульсій, суспензій, кремів, мазей зводиться до диспергування речовин у відповідних середовищах.

Знання закономірностей одержання колоїдних систем та їх властивостей необхідні майбутньому провізору для вибору раціональної технології різних лікарських форм.

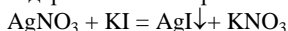
Мета роботи. Засвоїти принципи класифікації дисперсних систем за різними ознаками та основні методи одержання і очистки ліофобних золів. Вміти складати формули міцел золів отриманих різними методами

Алгоритми розв'язування типових задач

Задача 1. Для одержання золю йодиду срібла до 20 мл 0,01 М розчину йодиду калію додали 28 мл 0,005 М розчину нітрату срібла. Написати формулу міцели одержаного золю та визначити заряд гранули.

Алгоритм розв'язування

Записуємо рівняння реакції одержання золю срібла:



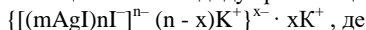
Визначаємо кількість AgNO_3 і KI , які приймають участь в реакції:

$$\text{AgNO}_3: 0,005 \cdot 28 = 1,4 \text{ ммоль,}$$

$$\text{KI}: 0,01 \cdot 20 = 2 \text{ ммоль}$$

Розрахунок показує, що в розчині є надмір KI , який буде стабілізатором. Тому гідрофобні частинки AgI адсорбують іони Γ^- (правило Панета-Фаянса), які надаватимуть гранулі негативний заряд. Протиіонами будуть іони K^+ .

Схема міцели золю йодиду срібла в цьому випадку буде такою:



(mAgI) – агрегат

$[(\text{mAgI})\text{nI}]^{n-}$ – ядро

$(\text{n} - \text{x})\text{K}^+$ – адсорбційний шар

xK^+ – дифузійний шар

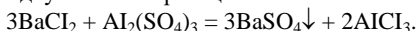
$\{[(\text{mAgI})\text{nI}]\text{nI}^{n-} (\text{n} - \text{x})\text{K}^+\}^{\text{x}-}$ – гранула.

Відповідь: гранула заряджена негативно.

Задача 2. Який об'єм 0,002 н розчину BaCl_2 потрібно додати до 30 мл 0,0006 н $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, щоб одержати позитивно заряджені частинки золю сульфату барію? Написати формулу міцели одержаного золю.

Алгоритм розв'язування

Утворення золю BaSO_4 відбувається за реакцією:

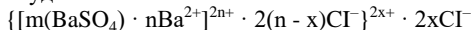


Об'єм BaCl_2 , необхідний згідно рівняння реакції, розраховуємо за рівнянням:

$$V_{\text{BaCl}_2} = \frac{N_{\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3} \cdot V_{\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3}}{N_{\text{BaCl}_2}} = \frac{6 \cdot 10^{-4} \cdot 30}{2 \cdot 10^{-3}} = 9,0 \text{ л}$$

Для одержання золю BaSO_4 з позитивним зарядом частинок, потрібно взяти надлишок хлориду барію порівняно з сульфатом алюмінію, а саме, більше, ніж 9,0 мл.

Схема будови міцели буде такою:

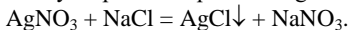


Відповідь: більше 9,0 мл.

Задача 3. До якого з електродів рухатимуться в електричному полі частинки золю AgCl при змішуванні 15 мл 0,025 М розчину AgNO₃ з 85 мл 0,005 М розчину NaCl? Напишіть формулу міцели золю.

Алгоритм розв'язування.

Записуємо рівняння реакції утворення гідрозолу AgCl:

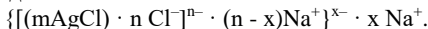


Визначаємо, який з вихідних розчинів взятий у надлишку, тобто є стабілізатором міцелутворення:

$$n \text{ AgNO}_3 = V \text{ AgNO}_3 \cdot C \text{ AgNO}_3 = 15 \cdot 0,025 = 0,375 \text{ ммоль}$$

$$n \text{ NaCl} = V \text{ NaCl} \cdot C \text{ NaCl} = 85 \cdot 0,005 = 0,425 \text{ ммоль}.$$

Отже, в розчині є надлишок NaCl, який виконує функцію стабілізатора і формула міцели має такий вигляд:



Оскільки гранули золю AgCl мають негативний заряд, то під впливом постійного струму частинки будуть рухатись до анода.

Відповідь: до анода.

Задача 4. Визначити дисперсність та питому поверхню золю йодиду срібла, у якого сферичні частинки дисперсної фази мають радіус $1,8 \cdot 10^{-9}$ м.

Алгоритм розв'язування

Мірою подрібненості системи є величина обернена до діаметру частинок, яку називають дисперсністю (D). Отже, якщо діаметр частинок золю AgI становить

$$d = 2r = 2 \cdot 1,8 \cdot 10^{-9} = 3,6 \cdot 10^{-8} \text{ м},$$

то дисперсність

$$D = 1/d = 1/3,6 \cdot 10^{-9} = 2,78 \cdot 10^8 \text{ м}^{-1}.$$

Під питомою поверхнею золю ($S_{\text{пит}}$) розуміють відношення загальної поверхні дисперсної фази S до її загального об'єму (V):

$$S_{\text{пит}} = S/V \text{ (м}^{-1}\text{)}.$$

Якщо частинка сферичної форми, то питому поверхню дисперсної фази обчислюють за формулою $S_{\text{пит}} = 3/r$. Отже, для гідрозолу AgI питома поверхня становить:

$$S_{\text{іод}} = \frac{S}{V} = \frac{3}{r} = \frac{3}{1,8 \cdot 10^{-9}} = 1,67 \cdot 10^9 \text{ м}^{-1}.$$

Задача 5. Визначити діаметр частинок аерозолу, якщо в об'ємі $V_0 = 4 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3$ підраховано $n = 120$ частинок. Концентрація золю $C = 1 \cdot 10^{-4} \text{ кг/м}^3$, а густина дисперсної фази $\rho = 2,2 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$.

Алгоритм розв'язування

Знаходимо кількість частинок в одиниці об'єму за формулою

$$v = \frac{n}{V_0},$$

де n – загальна кількість частинок, V_0 – загальний об'єм.

Розраховуємо об'єм однієї частинки, виходячи із масової концентрації частинок (C) за формулою:

$$V = \frac{C}{v \cdot \rho}, \text{ а́́ V} = \frac{C \cdot V_0}{n \cdot d}$$

Прийнявши форму частинок за кулеподібну, вираховуємо середній радіус частинок, виходячи із формул:

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3 \quad \text{та} \quad V = \frac{C \cdot V_0}{n \cdot d},$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{3C \cdot V_0}{4\pi \cdot n \cdot \rho}} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 1 \cdot 10^{-4} \cdot 4 \cdot 10^{-11}}{4 \cdot 3,14 \cdot 120 \cdot 2,2 \cdot 10^3}} = 1,535 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

Діаметр частинок дорівнює

$$D = 2 \cdot r = 1,535 \cdot 10^{-7} \cdot 2 = 3,07 \cdot 10^{-7} \text{ м.}$$

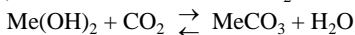
Відповідь: $3,07 \cdot 10^{-7}$ м.

Завдання для самостійного розв'язування

602. Які системи називають дисперсними? Назвати компоненти дисперсної системи.
603. За якими ознаками можна класифікувати дисперсні системи?
604. Навести приклади класифікації колоїдних систем: а) за агрегатним станом дисперсної фази і дисперсійного середовища; б) за ступенем взаємодії дисперсної фази з дисперсійним середовищем; в) за наявністю або відсутністю взаємодії між колоїдними частинками.
605. Які основні властивості колоїдних розчинів (золів); в чому їх відмінність від справжніх розчинів та від суспензій?
606. Навести основні методи одержання ліофобних золів. Дати приклади.
607. Одержання золів методами диспергування і конденсації. Навести приклади.
608. Що таке ступінь дисперсності? Як класифікують дисперсні системи за розміром частинок дисперсної фази?
609. Охарактеризувати механічне та ультразвукове диспергування.
610. Охарактеризуйте дисперсні системи з рідким дисперсійним середовищем і наведіть приклади таких систем.
611. Охарактеризуйте дисперсні системи з газоподібним дисперсійним середовищем і наведіть приклади таких систем.
612. Охарактеризуйте дисперсні системи з твердим дисперсійним середовищем і наведіть приклади таких систем.
613. Опишіть класифікацію дисперсних систем за характером взаємодії дисперсної фази і дисперсійного середовища. Наведіть приклади оборотних та необоротних, ліофобних та ліофільних колоїдів.
614. Опишіть класифікацію дисперсних систем за рухливістю дисперсної фази (за взаємодією між частинками системи). Наведіть приклади вільнодисперсних і зв'язанодисперсних систем
615. За яким принципом класифікують одержання золів методом хімічної конденсації? Навести приклади.
616. Як можна відрізнити золь від: а) розчину низькомолекулярної речовини; б) грубодисперсних систем (емульсій, суспензій)?
617. Як можна очистити колоїдні розчини від домішок: а) розчинених низькомолекулярних сполук; б) грубодисперсних часточок?
618. Електричний метод та метод Шальникова і Рогінського одержання золю.
619. Охарактеризуйте одержання золів методом пептизації. З чого одержують золі цим методом?

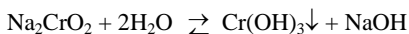
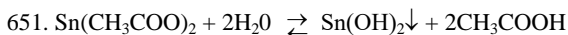
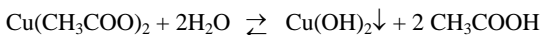
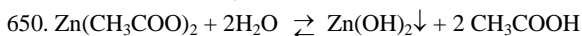
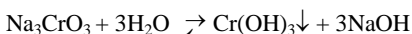
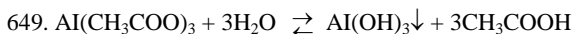
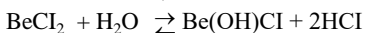
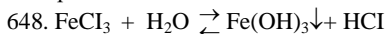
620. Наведіть приклад одержання золю методом безпосередньої (адсорбційної) пептизації. Поясніть механізм пептизації і будову міцели золю.
621. Наведіть приклад одержання золю методом посередньої (дисольюційної) пептизації. Поясніть механізм пептизації і будову міцели золю.
622. Наведіть приклад одержання золю методом промивання осаду розчинником. Поясніть механізм цього виду пептизації і будову міцели золю.
623. Поясніть закономірності пептизації осадів при одержанні колоїдних розчинів. Залежність швидкості пептизації від концентрації пептизатора (правило осадків Оствальда).
624. У чому відмінність методу пептизації від диспергаційних і конденсаційних методів одержання золів? Що таке посередня та безпосередня пептизація? Навести приклади.
625. Яка будова міцели? Назвати складові частини колоїдної частинки. Правило Панета-Фаянса. Що таке потенціалвизначаючий йон, адсорбційний і дифузійний шари?
626. За допомогою яких методів можна визначити заряд колоїдної частинки? Забарвлена пляма, яка утворилася при нанесенні краплинки гідрозолу берлінської блакиті на фільтрувальний папір не розтікається. Визначить заряд колоїдної частинки. З надлишком якого реагенту був одержаний золь? Складіть формулу міцели і вказати її складові частини.
627. На прикладі гідрозолів AgCl , As_2S_3 розглянути умови утворення золів з позитивним і негативним зарядом гранул. Складіть схеми будови міцели.
628. Що таке діаліз і електродіаліз? Від яких домішок можна очистити колоїдний розчин методом електродіалізу?
629. Опишіть принцип роботи ультрафільтра. Застосування ультрафільтрації у фармацевтичних та медико-біологічних дослідженнях.
630. Як можна очистити колоїдну систему від надлишку електроліту? Що відбувається з нею, якщо повністю вилучити електроліт?
631. Чим принципово відрізняється діаліз від ультрафільтрації? Яке фізико-хімічне явище відіграє основну роль в дії штучної нирки?
632. За якими формулами визначають питому та загальну площі поверхні частинок золю, їх середній радіус?
633. Чим зумовлений хаотичний рух колоїдних частинок?
634. Напишіть формули колоїдних частинок золю сульфату барію, одержаних:
 а) при надлишку сульфату натрію;
 б) при надлишку хлориду барію
 Складіть формули міцели, в яких гранули знаходяться в ізоелектричному стані.
635. Складіть формулу міцели золота (агрегат частинки (mAu)), одержаного розпиленням золота в розчині NaAuO_2 .
636. Золь кремнієвої кислоти H_2SiO_3 одержали взаємодією силікату калію з хлоридною кислотою. Складіть формули міцели золю, визначить, який з електролітів був у надлишку, якщо протійони в електричному полі рухаються по катоду.
637. При тривалому стоянні сірководневої води внаслідок окиснення H_2S киснем повітря утворюється сірка в колоїдному стані. Напишіть будову міцели золю сірки і визначити знак заряду її частинок. Яким методом одержано золь?

638. Напишіть будову міцели золю гідроксиду алюмінію, одержаного обробкою свіжоосадженого осаду гідроксиду алюмінію невеликою кількістю соляної кислоти. До якого типу пептизації відноситься цей метод?
639. Золь сульфату барію одержано змішуванням однакових об'ємів розчинів нітрату барію і сірчаної кислоти. Напишіть формулу міцели золю і визначить чи однакові концентрації вихідних речовин були взяті для змішування, якщо гранула золю в електричному полі переміщується до анода.
640. При пропусканні надлишку сірководню в підкислений соляною кислотою розчин солі арсену (III) утворився золь сульфиду арсену. Напишіть будову міцели і визначить знак заряду його частинок.
641. Золь фероціанату міді одержано при дії на сіль міді(II) надлишком розчину $K_4[Fe(CN)_6]$. Складіть будову міцели золю. Які іони є потенціалвизначальними?
642. Який електроліт потрібно вилучити діалізом із золю гідроксиду заліза(III), одержаного гідролізом його солі? Складіть будову міцели.
643. Чи можна одержати стійкий золь, за реакцією подвійного обміну, якщо реагенти взяті в еквівалентних кількостях? Відповідь мотивувати на конкретних прикладах.
644. При дії розчину NaOH на розчин $MgCl_2$ утворюється білий колоїдний розчин. У присутності I_2 колоїдний розчин приймає буре забарвлення. Складіть формулу міцели при надлишку NaOH та $MgCl_2$.
645. При довгому зберіганні насичених розчинів $Ca(OH)_2$, $Sr(OH)_2$ і $Ba(OH)_2$ у відкритих посудинах, через деякий час з'являється осад. малорозчинних карбонатів цих металів, внаслідок поглинання CO_2 із повітря.



Складіть формули міцел і вказати знак заряду колоїдних частинок.

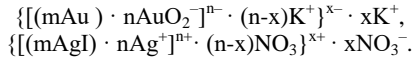
646. При осадженні іонів Ba^{2+} дією гарячого розчину K_2CrO_4 утворюється осад $BaCrO_4$. Складіть формулу міцели і вказати знак заряду частинок золю.
647. В якому порядку слід зливати розчини а) H_3AsO_3 і $(NH_4)_2S$; б) $CdCl_2$ і Na_2S ; в) H_3AsO_4 і $(NH_4)_2S$, щоб одержати колоїдну систему з: а) додатними; б) від'ємними зарядами частинок золю? Складіть формули міцел золь, які утворились.
- При розчиненні деяких речовин у воді проходить гідроліз, який при розведенні розчину поглиблюється і приводить до утворення золю. Складіть формули міцел, вказати знак електричного заряду колоїдної частинки золю, якщо гідроліз проходить за схемою:



652. Суспензія кварцу містить сферичні частинки дисперсної фази радіусом $1 \cdot 10^{-5}$ м. Яка питома поверхня кварцу?
653. Золь диоксиду кремнію містить сферичні міцели, радіус яких становить $2 \cdot 10^{-8}$ м. Визначить питому поверхню золю.
654. Написати схему будови міцели золю сульфату барію, одержаного змішуванням 1 л 0,0001 н. розчину BaCl_2 з таким же об'ємом 0,001 н. розчину Na_2SO_4 .
655. Написати схему будови міцел сульфиду цинку, що утворюються при одержанні золю: а) у надлишку ZnSO_4 ; б) у надлишку $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ за реакцією
- $$\text{ZnSO}_4 + (\text{NH}_4)_2\text{S} \rightarrow \text{ZnS} \downarrow + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4.$$
656. При доливанні до свіжовиготовленого осаду гідроксиду заліза (III) розчину хлорного заліза одержують гідрозоль $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Як буде заряджена гранула і яка будова міцели? Яким методом одержано золь?
657. Який об'єм 0,005 М розчину AgNO_3 потрібно додати до 25 мл 0,016 М розчину KI , щоб одержати золь AgI з від'ємним зарядом гранул? Написати формулу міцели і назвати її складові частини.
658. Гідрозоль AgCl одержали змішуванням 12 мл 0,02 М розчину KCl із 100 мл 0,005 М розчину AgNO_3 . Напишіть будову міцели цього золю і вкажіть, які іони є потенціалвизначаючими.
659. Який об'єм 0,005 М розчину AgNO_3 потрібно додати до 20 мл 0,015 М розчину KI , щоб одержати гідрозоль AgI з позитивним зарядом гранул? Напишіть будову міцели золю.
660. Напишіть будову міцели золю гідроксиду алюмінію, одержаного обробкою свіжоосадженого $\text{Al}(\text{OH})_3$ невеликою кількістю розчину соляної кислоти. До якого типу пептизації відноситься цей метод?
661. Гідрозоль гексаціаноферату міді (II) одержали дією на сіль міді надлишком $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$. Напишіть будову міцели золю. Які іони є потенціалвизначальними?
662. Гідрозоль сірки одержано доливанням 5 мл спиртового розчину сірки до 100 мл води. Яким методом одержано золь? Чим пояснити блакитний відтінок золю при розгляданні його при боковому освітленні?
663. Гідрозоль AgBr одержано при змішуванні 215 мл 0,008 М розчину KBr з 18 мл 0,0096 М розчину AgNO_3 . Визначить знак заряду гранул і напишіть будову міцели золю.
664. Напишіть будову міцели і вкажіть до якого електрода будуть рухатись гранули золю $\text{Al}(\text{OH})_3$, що утворюється під час гідролізу солі алюмінію. Вважати, що гідроліз відбувається не повністю.
665. Визначить до якого електрода будуть зміщуватися гранули золю, одержаного при взаємодії H_3AsO_4 з невеликим надлишком H_2S . Напишіть формулу міцели.
666. Розчин якого електроліту необхідно додати до свіжовиготовленого осаду $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$, щоб методом адсорбційної пептизації одержати золь берлінської блакиті з негативно зарядженими гранулами? Напишіть формулу міцели золю.
667. В наслідок реакції $\text{AgNO}_3 + \text{KBr} = \text{AgBr} \downarrow + \text{KNO}_3$ утворився гідрозоль AgBr з позитивно зарядженими гранулами. Напишіть формулу будови міцели і вкажіть який з електролітів був узятий у надлишку.
668. Визначить дисперсність золю ртуті, частинки якого мають сферичну форму, а діаметр частинок складає $6,66 \cdot 10^{-8}$ м.

669. Скільки мл 0,005 М розчину $ZnCl_2$ необхідно долити до 20 мл 0,015 М розчину $(NH_4)_2S$, щоб одержати золь ZnS з позитивно зарядженими гранулами? Напишіть формулу міцели цього золю.
670. Свіжовиготовлений осад $Al(OH)_3$ обробили невеликою кількістю розчину соляної кислоти. Напишіть формулу міцели золю, що утворився та вкажіть до якого електрода рухатимуться гранули в постійному електричному полі.
671. Золь сульфату барію одержали зливанням рівних об'ємів розчинів $Ba(NO_3)_2$ та H_2SO_4 . Чи однакові були вихідні молярні концентрації, якщо гранули в постійному електричному полі рухались до анода? Напишіть формулу міцели золю.
672. Скільки мл 0,0025 М розчину KI потрібно додати до 0,035 л 0,003 М розчину $Pb(NO_3)_2$, щоб протіони гідрозолю PbI_2 рухались до анода? Напишіть формулу міцели.
673. Напишіть формулу міцели та визначить заряд гранул золю AgI одержаного при зливанні 0,02 мл 0,01 М розчину KI з 0,028 л 0,005 М розчину $AgNO_3$.
674. Скільки мл 0,001 М розчину $FeCl_3$ потрібно додати до 0,03 л 0,002 М розчину $AgNO_3$, щоб частинки золю $AgCl$ рухались до анода? Напишіть формулу міцели золю.
675. До 3 мл 0,005 М розчину $FeCl_3$ додали 1 мл 0,005 М розчину $K_4[Fe(CN)_6]$. Визначить знак заряду гранул гідрозолю берлінської блакиті і напишіть формулу міцели золю.
676. При змішуванні 1 мл 0,005 М розчину $FeCl_3$ з 3 мл 0,005 М розчину $K_4[Fe(CN)_6]$ відбувається реакція подвійного обміну. До якого електрода будуть рухатись гранули гідрозолю берлінської блакиті, що утворилися? Напишіть формулу міцели.
677. До 10 мл 0,001 М розчину $AgNO_3$ додали декілька крапель 1% розчину K_2CO_3 і 1 мл 0,1% розчину таніну і підігріли. При цьому утворився гідрозоль срібла. Напишіть формулу міцели золю. До якого з електродів будуть рухатися гранули золю у постійному електричному полі? Які фармацевтичні препарати виготовляють із золю срібла?
678. До 54 мл води додали 0,5 мл спиртового розчину сірки. Утворився гідрозоль сірки з блакитною опалесценцією. Яким методом одержано золь і чим зумовлена опалесценція розчину?
679. Визначить діаметр частинок гідрозолю сірки, якщо дисперсність золю складає $5 \cdot 10^6 \text{ м}^{-1}$.
680. Гідрозоль фториду барію одержано при повільному доливанні розчину $NaFy$ розведеної розчин $BaCl_2$. Яким методом одержано золь та який з електролітів є стабілізатором? Напишіть формулу міцели.
681. Для одержання золю $AgCl$ змішали 12 мл 0,02 М розчину KCl з 100 мл 0,005 М. Які іони є потенціалвизначаючими? Напишіть будову міцели цього золю.
682. При кип'ятінні розведеного розчину $FeCl_3$ утворюється червоний золь $Fe(OH)_3$. Яким методом одержано золь? Напишіть будову міцели.
683. Що таке стабілізатор міцелоутворення? Який стабілізатор був використаний при одержанні гідрозолю As_2S_3 з наступною будовою міцели:

$$\{[(mAs_2S_3) \cdot nHS^-]^{n-} \cdot (n-x)H^+\}^{x-} \cdot xH^+$$
684. Які іони електроліту, згідно правилу Панета-Фаянса, можуть бути потенціалвизначаючими? Вкажіть потенціалвизначаючі іони в гідрозолях йодиду срібла та золота, що мають такі формули міцел:



685. Який з перелічених методів (діаліз, фільтрування через паперовий фільтр, ультрафільтрацію, електродіаліз) доцільно використати, щоб очистити золь від грубодисперсних домішок? Відповідь обґрунтуйте.
686. До свіжоосадженого осаду $Cr(OH)_3$ додали розчину $CrCl_3$ і при цьому утворився зеленкуватий золь. Яким методом одержано золь? Напишіть формулу міцели цього золю.
687. Визначить який об'єм 0,0025 М розчину KI необхідно додати до 0,035 л 0,003 н. розчину $Pb(NO_3)_2$, щоб протиіони золю PbI_2 рухались до анода. Напишіть формулу міцели.
688. Розрахуйте сумарну площу поверхні частинок золю сульфідів арсену та кількість частинок у 0,5 л золю, якщо 1 л золю містить 2,25 г As_2S_3 . Частинки золю мають форму куба з довжиною ребра $1,2 \cdot 10^{-7}$ м. Густина As_2S_3 дорівнює 3506 кг/м^3 .
689. Аерозоль одержали розпиленням 0,5 кг вугілля в 1 м^3 повітря. Частинки мають кулеподібну форму з діаметром $8 \cdot 10^{-5}$ м. Розрахуйте питому поверхню і число частинок аерозолю, густина вугілля дорівнює $1,8 \text{ кг/дм}^3$.
690. При ультрамікроскопії гідрозоль золота у видимому об'ємі $12 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3$ підраховано 5 частинок. Приймаючи форму частинок за кулеподібну, розрахуйте їх середній радіус. Концентрація золю $30 \cdot 10^{-2} \text{ кг/м}^3$, а густина дисперсної фази $19,3 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.
691. Визначить діаметр частинок аерозолю, якщо в об'ємі $V_0 = 2 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3$ підраховано 60 частинок (n). Концентрація золю $0,5 \cdot 10^{-4} \text{ кг/м}^3$, а густина дисперсної фази $2,2 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Розділ 8

Електричні та оптичні властивості колоїдних систем.

Стійкість та коагуляція дисперсних систем

Значення матеріалу теми. Вивчення явищ стабілізації дисперсних систем та їх поведінка в електричному полі становить велике зацікавлення для біологів, медиків та фармацевтів. Стабілізація лікарських форм, які застосовуються у вигляді суспензій, мікстур, мазей, досягається наданням частинкам дисперсної фази однойменних електричних зарядів.

Величина електрокінетичного (дзета-) потенціалу ліофобних золів є найважливішою характеристикою їх стійкості та прояву фізіологічної дії. Методом електрофорезу та електроосмосу користуються для визначення величини електрокінетичного потенціалу дисперсних частинок, для очистки і розділення білків, ферментів та інших речовин. Електрофоретичний аналіз застосовується у клінічних лабораторіях з метою діагностики, а електрофорез – як одна з дуже ефективних фізіотерапевтичних процедур у лікувальній справі.

Стабілізація лікарських форм, що використовуються у вигляді суспензій, золів, емульсій і мазей, досягається після набуття частинками дисперсної фази однойменних зарядів, або за допомогою інших факторів. У ряді випадків у боротьбі з забрудненням навколишнього середовища, необхідно порушити стійкість дрібних нейтральних частинок, тобто здійснити коагуляцію.

Коагуляція є важливим колоїдно-хімічним процесом як в технології, так і в біологічних явищах (виділення каучуку із латексів, осадження білків, утворення відкладень в кровоносних судинах, нирках, тощо).

Важливим фізіологічним явищем живого організму є фактор колоїдного захисту, що запобігає утворенню каміння в органах, а в практичній діяльності допомагає стабілізувати препарати золів срібла, ртуті, радіоактивних ізотопів, тощо.

Фармакологічна дія ліків, що є колоїдними розчинами, залежить від ступеня їх дисперсності.

Для визначення розмірів колоїдних частинок, молекулярної маси високомолекулярних речовин і концентрації дисперсної фази в золях часто застосовують нефелометрію. За допомогою ультрамікроскопії та електронної мікроскопії визначають розмір і форму частинок дисперсної фази, їх будову, товщину і склад адсорбційних шарів. Електронна мікроскопія, забезпечуючи збільшення у сотні тисяч разів, дає змогу побачити окремі колоїдні частинки, макромолекули нуклеїнових кислот, структурні елементи клітин, мікроби, віруси, фаги тощо.

Мета роботи. Засвоїти методику розрахунку величини електрокінетичного (дзета-) потенціалу, порогу коагуляції та коагулюючої здатність електролітів з іонами-коагуляторами різної валентності. Засвоїти теоретичні основи світлорозсіювання в золях, уміти розраховувати розміри колоїдних частинок за рівнянням Релея.

Алгоритми розв'язування типових задач

Задача 1. Розрахувати електрокінетичний потенціал частинок золю коларголу, якщо за 5 хв при напрузі 300 В його частинки перемістилися на 10 мм при відстані між електродами 20 см ($\eta = 10^{-3}$ Па · с, $D=81$, $\epsilon = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м).

Алгоритм розв'язування

Використовуємо формулу Гельмгольца-Смолуховського, де підставляємо значення відомих величин у СІ:

$$\zeta = \frac{S \cdot l \cdot \eta}{\tau \cdot E \cdot D \cdot \varepsilon} = \frac{10 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot 20 \cdot 10^{-2} \text{ м} \cdot 10^{-3} \text{ В} \cdot \tilde{\eta} \cdot \tilde{n}}{5 \cdot 60 \tilde{n} \cdot 300 \text{ \AA} \cdot 81 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ \AA} / \text{м}} = 0,031 \text{ \AA} = 31 \text{ нм}$$

Відповідь: ξ -потенціал частинок золю коларголу становить 31 нм.

Задача 2. Обчислити градієнт потенціалу, якщо електрокінетичний потенціал частинок золю броміду срібла становить 61,5 мВ, а електрофоретична швидкість – $5,24 \cdot 10^{-6}$ м/с. В'язкість середовища $\eta = 10^{-3}$ Па·с, діелектрична проникність $D = 81$.

Алгоритм розв'язування

1. Градієнт потенціалу (H) – це відношення напруги прикладеної до електродів (E) до відстані між ними (l):

$$H = \frac{E}{l}$$

2. Електрофоретична швидкість (V) – це шлях, який проходять частинки золю за час τ при градієнті потенціалу $H = 1$ В/м.

$$V = \frac{S}{\tau H}$$

3. Використавши формулу Гельмгольца–Смолуховського, знаходимо градієнт потенціалу:

$$\zeta = \frac{S \cdot l \cdot \eta}{\tau \cdot E \cdot D \cdot \varepsilon}; \quad \frac{E}{l} = \frac{S \cdot \eta}{\tau \cdot D \cdot \varepsilon \cdot \zeta}$$

$$H = V \cdot \frac{\eta}{D \cdot \varepsilon \cdot \zeta} = 5,24 \cdot 10^{-6} \text{ м} / \tilde{n} \cdot \frac{10^{-3} \text{ В} \cdot \tilde{\eta} \cdot \tilde{n}}{81 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ \AA} / \tilde{n} \cdot 61,5 \cdot 10^{-3} \text{ В}} = 118,9 \text{ \AA} / \text{м}$$

Відповідь: градієнт потенціалу становить 118,9 В/м.

Задача 3. Обчислити об'ємну швидкість електроосмосу (V), яка спостерігається у системі водний розчин КСl – мембрана з полістиролу при таких умовах: дзета-потенціал $\zeta = 6 \cdot 10^{-3}$ В, сила струму $I = 7 \cdot 10^{-3}$ А, питома електропровідність $9 \cdot 10^{-1}$ См·м⁻², в'язкість $\eta = 10^{-3}$ Па·с, діелектрична проникність $D = 81$ та абсолютна діелектрична проникність вакууму $\varepsilon = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

Алгоритм розв'язування

Використовуємо формулу Гельмгольца–Смолуховського для електроосмосу, з якої обчислимо швидкість V :

$$\zeta = \frac{\eta \cdot \chi \cdot V}{D \cdot \varepsilon \cdot I}; \quad V = \frac{\zeta \cdot D \cdot \varepsilon \cdot I}{\eta \cdot \chi}$$

$$V = \frac{6 \cdot 10^{-3} \text{ В} \cdot 81 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф} / \text{м} \cdot 7 \cdot 10^{-3} \text{ А}}{10^{-3} \text{ В} \cdot \tilde{\eta} \cdot \tilde{n} \cdot 9 \cdot 10^{-2} \tilde{N} \tilde{i} \cdot \text{м}^{-1}} = 3,35 \cdot 10^{-10} \text{ м} / \tilde{n} = 3,35 \cdot 10^{-10} \cdot (10^2)^3 \tilde{i} \text{ м}^3 / \tilde{n}$$

Відповідь: об'ємна швидкість електроосмосу становить $0,35 \text{ мм}^3/\text{с}$.

Задача 4. До якого полюса будуть переміщуватися молекули альбуміну під час електрофорезу в буферному розчині з концентрацією іонів водню $[\text{H}^+] = 1,32 \cdot 10^{-6}$ моль/л, якщо ізоелектричний стан цього білка настає при рН = 4,8?

Алгоритм розв'язування

1. Розрахувати рН буферного розчину

$$pH = -\lg [H^+] = -\lg(1,32 \cdot 10^{-6}) = 6 - 0,12 = 5,88$$

2. Оскільки рН буферного розчину більший від ізоелектричної точки альбуміну ($pH_{\text{ИЕТ}} = 4,8$), то частинки альбуміну будуть заряджені негативно (внаслідок іонізації груп $-\text{COOH}$) і пересуватимуться до позитивно зарядженого електрода.

Відповідь: частинки білка альбуміну з ізоелектричною точкою 4,8 у буферному розчині з $[H^+] = 1,32 \cdot 10^{-6}$ моль/л будуть пересуватися до позитивного полюса.

Задача 5. Для коагуляції 2 см^3 золю AgI необхідно було додати $0,4 \text{ см}^3$ $0,005 \text{ М}$ розчину BaCl_2 . Знайти поріг коагуляції.

Алгоритм розв'язування

1. Розрахуємо кількість ммоль BaCl_2 , що міститься в $0,4 \text{ см}^3$ $0,05 \text{ М}$ розчину.

$$n = 0,05 \text{ моль/л} \cdot 0,4 \text{ см}^3 = 0,05 \text{ ммоль/см}^3 \cdot 0,4 \text{ см}^3 = 0,02 \text{ ммоль.}$$

2. Загальний об'єм розчину після коагуляції:

$$V = 2 + 0,4 = 2,4 \text{ см}^3 = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ л}$$

3. Знайдемо поріг коагуляції, що являє собою мінімальну кількість ммолів BaCl_2 , яка необхідна для коагуляції 1 л золю:

$$\frac{n}{V} = \bar{\gamma} = \frac{0,02 \text{ ммоль}}{2,4 \cdot 10^{-3}} = 8,3 \text{ ммоль/л.}$$

Відповідь: $8,3 \text{ ммоль/л}$.

Задача 6. У скільки разів зменшиться поріг коагуляції, якщо для коагуляції золю As_2S_3 замість $0,5 \text{ М}$ розчину NaCl (його потрібно $1,2 \text{ см}^3$ на 10 см^3 золю) використано $0,4 \text{ см}^3$ $0,036 \text{ М}$ розчину MgCl_2 або $0,1 \text{ см}^3$ $0,01 \text{ М}$ розчину AlCl_3 для коагуляції 10 см^3 того ж золю.

Алгоритм розв'язування

1. Кількість ммоль (n) кожного із електролітів, що витрачаються на коагуляцію 10 см^3 золю As_2S_2 :

$$n_1 = C_1 \cdot V_1 = 0,5 \text{ моль/л} \cdot 1,2 \text{ см}^3 = 0,5 \text{ ммоль/см}^3 \cdot 1,2 \text{ см}^3 = 0,6 \text{ ммоль NaCl};$$

$$n_2 = C_2 \cdot V_2 = 0,036 \text{ моль/л} \cdot 0,4 \text{ см}^3 = 0,036 \text{ ммоль/см}^3 \cdot 0,4 \text{ см}^3 = 0,0144 \text{ ммоль MgCl}_2;$$

$$n_3 = C_3 \cdot V_3 = 0,01 \text{ моль/л} \cdot 0,1 \text{ см}^3 = 0,01 \text{ ммоль/см}^3 \cdot 0,1 \text{ см}^3 = 0,001 \text{ ммоль AlCl}_3.$$

2. Загальні об'єми золю та розчину електроліта коагулянту (V):

$$V_1 = V_{\text{золю}} + V_1 = 10 + 1,2 = 11,2 \text{ см}^3 = 11,2 \cdot 10^{-3} \text{ л}$$

$$V_2 = V_{\text{золю}} + V_2 = 10 + 0,4 = 10,4 \text{ см}^3 = 10,4 \cdot 10^{-3} \text{ л}; V_3 = 10,1 \cdot 10^{-3} \text{ л.}$$

3. Пороги коагуляції для кожного з електролітів:

$$\bar{\gamma}_1 = \frac{n_1}{V_1} = \frac{0,6 \text{ ммоль}}{11,2 \cdot 10^{-3} \text{ л}} = 53,6 \text{ ммоль/л} \quad /\text{є NaCl}$$

$$\bar{\gamma}_2 = \frac{n_2}{V_2} = \frac{0,0144 \text{ ммоль}}{10,4 \cdot 10^{-3} \text{ л}} = 1,4 \text{ ммоль/л} \quad /\text{є MgCl}_2$$

$$\bar{\gamma}_3 = \frac{n_3}{V_3} = \frac{0,001 \text{ ммоль}}{10,1 \cdot 10^{-3} \text{ л}} = 0,1 \text{ ммоль/л} \quad /\text{є AlCl}_3$$

4. У скільки разів пороги коагуляції електролітів MgCl_2 і AlCl_3 менші, ніж для NaCl ?

$$\frac{\tilde{I}_1}{\tilde{I}_2} = \frac{53,6}{1,4} = 38,3 \text{ рази для } \text{MgCl}_2$$

$$\frac{\tilde{I}_1}{\tilde{I}_3} = \frac{53,6}{0,1} = 536 \text{ рази для } \text{AlCl}_3$$

Відповідь: у 38,3 рази для MgCl_2 і 536 разів для AlCl_3 .

Задача 7. До 10 см^3 0,03% розчину NaCl додали 25 см^3 0,001 М розчину AgNO_3 . Для вивчення процесу коагуляції до отриманого золю додали такі електроліти: KBr ; $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$; K_2CrO_4 ; MgSO_4 ; AlCl_3 ; K_3PO_4 . Який із добавлених електролітів має найменший поріг коагуляції, який має найменшу коагулюючу здатність?

Алгоритм розв'язування

1. Перераховуємо в молярну концентрацію 0,03 % розчин NaCl , враховуючи $\rho = 1 \text{ г/см}^3$ і $M(\text{NaCl}) = 58,5$.

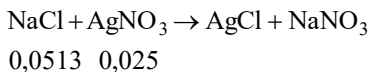
$$C_1 = \frac{0,003 \cdot 100}{58,5} = 0,00513 \text{ ммоль/см}^3$$

2. Розраховуємо кількість ммоль (n) кожної із реагуючих солей:

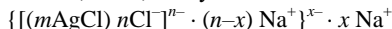
$$n_1 = C_1 \cdot V_1 = 0,00513 \text{ ммоль/см}^3 \cdot 10 \text{ см}^3 = 0,0513 \text{ ммоль } \text{NaCl};$$

$$n_2 = C_2 \cdot V_2 = 0,001 \text{ ммоль/см}^3 \cdot 25 \text{ см}^3 = 0,025 \text{ ммоль } \text{AgNO}_3.$$

3. Згідно реакції:



у надлишку буде сіль NaCl і, отже, виступатиме стабілізатором золю AgCl :



4. У відповідності з правилом Шульце–Гарді, коагуляцію цього золю будуть викликати катіони K^+ , Ba^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , причому поріг коагуляції тим нижчий, чим вищий заряд катіонів. Отже, для солі AlCl_3 поріг коагуляції мінімальний. При однаковій нормальності розчинів KBr , K_2CrO_4 і K_3PO_4 їх коагулююча здатність найменша.

Задача 8. Методом нефелометрії було встановлено, що золь протарголу № 1 з масовою часткою 1,5 % має однаковий ступінь світлорозсіювання із золем протарголу № 2 при висоті освітлених шарів відповідно $H_1 = 15,2 \text{ мм}$ $H_2 = 22,8 \text{ мм}$. Вирахувати масову частку протарголу (в %) в золі № 2.

Алгоритм розв'язування

При однаковому ступені світлорозсіювання концентрації золів обернено пропорційні висотам освітлених шарів:

$$\frac{\tilde{N}_1}{\tilde{N}_2} = \frac{H_2}{H_1}$$

З цієї залежності обчислюємо концентрацію досліджуваного золю протарголу:

$$C_2 = \frac{C_1 \cdot H_1}{H_2}, \quad C_2 = \frac{1,5\% \cdot 15,2 \text{ мм}}{22,8 \text{ мм}} = 1\%$$

Відповідь: 1%.

Задача 9. При ультрамікроскопічному дослідженні гідрозолу золота в об'ємі $V_0 = 1,6 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3$ підраховано 70 частинок (n). Концентрація золю $C = 7 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^3$, густина золота $d = 19,3 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Визначити середній радіус (в м) частинок дисперсної фази, прийнявши їх форму за сферичну.

Алгоритм розв'язування

Знаючи певний оптичний об'єм V_0 , в якому підраховано середнє число частинок n , масову концентрацію золю C і густину дисперсної фази d , знаходимо об'єм однієї частинки:

$$V = \frac{V_{\text{сдд}}}{n} = \frac{m}{d \cdot n} = \frac{C \cdot V_0}{n \cdot d}$$

З іншого боку, об'єм частинки кулястої форми дорівнює: $V = \frac{4}{3} \pi r^3$

Отже, звідси вираховуємо середній радіус частинок:

$$r = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot C \cdot V_0}{4 \cdot \pi \cdot n \cdot d}}$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 7 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^3 \cdot 1,6 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3}{4 \cdot 3,14 \cdot 70 \cdot 19,3 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3}} = \sqrt[3]{19,801 \cdot 10^{-24}} = 2,705 \cdot 10^{-8} \text{ м}$$

Відповідь: $2,705 \cdot 10^{-8} \text{ м}$.

Завдання для самостійного розв'язування

692. Які явища називають електрофорезом та електроосмосом?
693. Як можна виявити електричний заряд та його знак на гранулах колоїдних частинок?
694. Який потенціал називають електрокінетичним?
695. Поясніть механізм виникнення дзета-потенціалу.
696. Запишіть формулу міцели золю $\text{Fe}(\text{OH})_3$, одержаного у присутності електроліту-стабілізатора $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$. Покажіть на формулі місце виникнення дзета-потенціалу та поясніть механізм його виникнення.
697. Складіть формулу не менше трьох міцел в ізоелектричному стані. Що означає поверхневий потенціал міцели?
698. Наведіть формули за якими можна розрахувати дзета-потенціал.
699. Що називають критичним потенціалом і яка його роль у стійкості золю? Наведіть приклади.
700. Що таке катафоретична рухливість? Її зв'язок з градієнтом напруги та дзета-потенціалом.
701. Застосування електрофорезу у фармації.
702. Що таке коагуляція, її механізм? Наведіть приклади.
703. Які фактори викликають коагуляцію ліофобних золів?
704. На які періоди можна поділити процес коагуляції? Поясніть чим вони відрізняються.
705. Що таке поріг коагуляції? В яких величинах виражають його значення і від чого він залежить?
706. Сформулюйте правило Шульце-Гарді. Покажіть його на окремих прикладах
707. Що таке взаємна коагуляція золів? Наведіть приклади і поясніть.

708. Що таке ізоелектричний стан золю? Коли він виникає? Наведіть приклади.
709. Яке явище називають колоїдним захистом? Що є кількісною мірою захисної дії?
710. Яка роль колоїдного захисту в живих організмах?
711. Якими явищами супроводжується проходження світла крізь дисперсну систему? Опишіть їх.
712. У яких випадках відбувається розсіювання, а коли вбирання чи відбиття світла?
713. Явище світлорозсіювання і опалесценція в колоїдних системах. Дихроїзм золів.
714. Суть ефекту Тиндаля.
715. Які параметри впливають на інтенсивність розсіювання світла? Поясніть їх вплив.
716. Рівняння Релея, його аналіз.
717. Що можна визначити за результатами вимірювання світлорозсіювання?
718. Яка будова та принцип дії нефелометра та ультрамікроскопа? Їх застосування у фармацевтичних та медико-біологічних дослідженнях.
719. Яка будова та принцип дії ультрамікроскопа та електронного мікроскопа? Їх застосування у фармацевтичних та медико-біологічних дослідженнях.
720. Як розрахувати концентрацію золю за результатами нефелометрії?
721. Які особливості електроннефелометра?
722. Що називають: а) каламутністю розчину; б) оптичною густиною? Який зв'язок між цими величинами?
723. Як визначити форму та розміри колоїдних частинок на основі оптичних методів аналізу?
724. Які оптичні явища ми спостерігаємо при попаданні променю світла на дисперсну систему? Які методи дослідження дисперсних систем базуються на цих явищах?
725. Які оптичні методи використовують для визначення розмірів частинок дисперсних систем? Суть цих методів.
726. Написати і проаналізувати рівняння Релея для визначення інтенсивності розсіювання світла дисперсною системою.
727. Як впливає концентрація дисперсної фази та довжина хвилі падаючого світла на інтенсивність світлорозсіювання дисперсною системою?
728. Виходячи з формули Релея, показати, як розрахувати радіус колоїдних частинок.
729. Чим відрізняється метод нефелометрії від колориметрії? Нарисувати схему нефелометра, показати, як розрахувати концентрацію дисперсної фази у розчині.
730. Яка принципова різниця між оптичним, ультра- та електронним мікроскопами? Коли вони застосовуються для дослідження дисперсних систем?
731. Оптичні методи визначення концентрації та розмірів колоїдних частинок. Нефелометрія, ультрамікроскопія.
732. Вирахувати швидкість електрофорезу колоїдних частинок берлінської блакиті ($\text{м}^2/\text{с}\cdot\text{В}$), якщо ξ -потенціал складає $0,058 \text{ В}$, $H = 5 \cdot 10^{-2} \text{ В/м}$.
733. Вирахувати ξ -потенціал (в мВ) золю берлінської блакиті за даними електрофорезу: $E = 250 \text{ В}$, $l = 15 \text{ см}$, $S = 1 \text{ см}$, $\tau = 3 \text{ хв}$.

734. Вирахувати ξ -потенціал (в мВ) золю сірки за даними електрофорезу: $E = 200$ В; $l = 22$ см; $S = 1$ см.
735. Вирахувати електрофоретичну швидкість частинок золю миш'яку (в $\text{м}^2/(\text{с}\cdot\text{В})$), якщо $\xi = 89,5$ мВ; $E = 240$ В; $l = 20$ см.
736. Обчислити ξ -потенціал (в мВ) частинок білка, які під час електрофорезу за 15 хв переміщуються на 20 мм між електродами віддаленими на 12 см при напрузі 220 В.
737. Вирахувати ξ -потенціал (в мВ) золю коларголу, якщо при електрофорезі одержані такі результати: $S = 2$ см; $l = 25$ см; $E = 300$ В; $\tau = 12$ хв.
738. Вирахувати електрофоретичну швидкість (в $\text{м}^2/\text{В}\cdot\text{с}$) частинок золю золота, якщо ξ -потенціал дорівнює 58,0 мВ; градієнт потенціалу 10 В/м; $\eta = 1,14 \cdot 10^{-3}$ Па·с.
739. Електрофорез золю золота проводили на протязі 5 хв. при градієнті потенціалу 25 В/см. Визначити ξ -потенціал (в мВ), якщо $S = 12$ мм.
740. Вирахувати величину ξ -потенціалу (в мВ) золю срібла за даними електрофорезу: $S = 2$ см; $l = 22$ см; $E = 200$ В; $\tau = 15$ хв.
741. Який ξ -потенціал (в мВ) мають гранули золю коларголу, якщо при електрофорезі за 5 хв. при напрузі 300 В межа золю змістилась на 1 см до анода, який віддалений від катода на 20 см?
742. Електрофорез золю протарголу проводили на протязі 5 хв. при градієнті потенціалу 30 В/см при цьому межа золю змістилась на 1 см. Визначити ξ -потенціал (в мВ).
743. Вирахувати відстань (в м), яку пройшли частинки під час електрофорезу за 10 хв, якщо ξ -потенціал дорівнює 42 мВ, $E = 240$ В, відстань між електродами 30 см.
744. Вирахувати ξ -потенціал (в мВ) золю $\text{Al}(\text{OH})_3$ за даними електрофорезу: $E = 150$ В; $l = 30$ см; $S = 12$ мм; $\tau = 10$ хв.
745. Вирахувати ξ -потенціал (в мВ) частинок золю As_2S_3 за даними електрофорезу: $E = 240$ В; $l = 30$ см; $S = 14,36$ мм; $\tau = 15$ хв.
746. Вирахувати ξ -потенціал (в мВ) частинок золю гідроксиду заліза, використовуючи дані дослідів: $E = 300$ В; $l = 20$ см; $S = 2$ см; $\tau = 5$ хв.
747. Для коагуляції 10 мл золю $\text{Al}(\text{OH})_3$ потрібно 1,2 мл 0,01 М розчину K_2SO_4 . Вирахувати поріг коагуляції (в ммоль/л).
748. Для коагуляції 10 мл золю AgI потрібно 0,45 мл 0,05 М розчину $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$. Знайти поріг коагуляції золю (в ммоль/л).
749. Яку кількість 0,01 М розчину $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ потрібно додати до 1 мл золю $\text{Al}(\text{OH})_3$, якщо поріг коагуляції дорівнює 0,063 моль/л?
750. До 5 мл золю $\text{Fe}(\text{OH})_3$ для початку явної коагуляції необхідно додати 4 мл 3 М розчину HCl . Знайти поріг коагуляції (в ммоль/л).
751. Для коагуляції 30 мл золю $\text{Al}(\text{OH})_3$ необхідно 5,3 мл 1 М розчину NH_4Cl . Знайти поріг коагуляції (в ммоль/л).
752. Знайти поріг коагуляції золю As_2S_3 (в ммоль/л), якщо для коагуляції 10 мл його необхідно 1,2 мл 0,5 М розчину NaCl .
753. Знайти поріг коагуляції золю AgI (в ммоль/л), якщо для коагуляції 15 мл золю необхідно 0,8 мл 0,04 М розчину MgCl_2 .
754. Яку кількість 1 М NaCl (в мл) необхідно додати до 300 мл золю $\text{Fe}(\text{OH})_3$, щоб викликати коагуляцію, якщо поріг коагуляції складає 104 ммоль/л?

755. На 100 мл стічних вод для коагуляції колоїдних частинок необхідно 1 мл 5 М розчину NaCl. Визначити поріг коагуляції (в ммоль/л).
756. Поріг коагуляції золю срібла складає 0,5 ммоль/л. Яку кількість 0,1 М розчину $AlCl_3$ (в мл) необхідно додати до 500 мл золю, щоб викликати його коагуляцію ?
757. До 15 мл золю AgI додали 2 мл 1 % розчину крохмалю і відтитрували розчином NaCl до помутніння золю. На титрування витрачено 1,5 мл 10 % розчину NaCl. Вирахувати захисне число крохмалю.
758. До 20 мл золю золота додали 4 мл 0,5 % розчину гуміарабіку і відтитрували розчином NaCl до зміни кольору золю. На титрування витрачено 2 мл 10 % розчину NaCl. Вирахувати захисне число гуміарабіку.
759. До 20 мл золю золота додали 4 мл 0,5 % розчину гуміарабіку і відтитрували розчином NaCl до зміни кольору золю. На титрування витрачено 2 мл 10 % розчину NaCl. Вирахувати захисне число гуміарабіку.
760. Яку кількість розчину $Al_2(SO_4)_3$ що має концентрацію 0,01 моль/л, потрібно для коагуляції 1 л золю As_2S_3 ? Поріг коагуляції 96,0-10 моль/м³
761. Для коагуляції 10 мл золю AgI потрібно 0,45 мл розчину $Ba(NO_3)_2$. Концентрація електроліту 0,05 моль/л. Знайти поріг коагуляції золю.
762. Яку кількість електроліту $K_2Cr_2O_7$ потрібно додати до 1 л золю Al_2O_3 , щоб викликати його коагуляцію? Концентрація електроліту 0,01 моль/л, поріг коагуляції 0,63 моль/м³
763. Як зміниться величина порогу коагуляції, якщо для коагуляції 10 мл золю AgI замість 1,5 мл розчину KNO_3 з концентрацією 1 моль/л взяти 0,5 мл розчину $Ca(NO_3)_2$ з концентрацією 0,1 моль/л або 0,2 мл розчину $Al(NO_3)_3$ з концентрацією 0,01 моль/л?
764. Золь хлориду срібла одержано змішуванням рівних об'ємів 0,0095 М KCl та 0,012 н. $AgNO_3$. Який з даних електролітів $K_3[Fe(CN)_6]$, $K_4[Fe(CN)_6]$ або $MgSO_4$ буде мати найменшу коагулюючу здатність і чому?
765. Пороги коагуляції електролітів (ммоль/л) для даного золю виявились такими:
- | | | |
|-------------------|---------------------|-------------------------|
| $C(KNO_3) = 50,0$ | $C(MgCl_2) = 0,717$ | $C(AlCl_3) = 0,093$ |
| $C(NaCl) = 51,0$ | $C(MgSO_4) = 0,810$ | $C(Al(NO_3)_3) = 0,095$ |
- Визначити знак заряду частинок золя.
765. Пороги коагуляції електролітів для золю AgI (ммоль/л):
- | | | |
|--------------------|-----------------------|-------------------------|
| $C(KCl) = 256,0$ | $C(Ba(NO_3)_2) = 6,0$ | $C(Al(NO_3)_3) = 0,067$ |
| $C(KNO_3) = 260,0$ | $C(Sr(NO_3)_2) = 7,0$ | |
- Визначити знак заряду частинок золю і вирахувати коагулюючу здатність кожного з електролітів.
766. До 100 см³ 0,03% розчину хлориду натрію додана 250 см³ 0,001 % $AgNO_3$. Для одержання коагуляції до одержаного золю хлориду срібла додано електроліти: KBr , $Ba(NO_3)_2$, K_2CrO_4 , $MgSO_4$, $AlCl_3$. Який з доданих електролітів має найменший поріг коагуляції; найменшу коагулюючу здатність?
767. Золь йодиду срібла одержано шляхом змішування рівних об'ємів розчинів йодиду калію та нітрату срібла. Пороги коагуляції для різних електролітів та даного золю мають такі значення (в ммоль/л):
- | | | |
|-----------------------|--------------------|-------------------|
| $C(Ca(NO_3)_2) = 315$ | $C(NaCl) = 300$ | $C(MgCl_2) = 320$ |
| $C(Na_3PO_4) = 0,6$ | $C(Na_2SO_4) = 20$ | $C(AlCl_3) = 330$ |
- У якого з електролітів: KI чи $AgNO_3$ концентрація більше? Дайте обґрунтовану відповідь.

768. Для вивчення явища коагуляції взято золь $\text{Fe}(\text{OH})_3$ та 0,01 н. K_2SO_4 . Розчин електроліту розвели водою у співвідношенні 1:1, 1:2, 1:4, 1:6, 1:7, 1:8, 1:15. У сім пробірок відміряли по 10 cm^3 золь і добавили по 5 cm^3 відповідного розведеного розчину K_2SO_4 , збовтали, відстояли. При цьому спостерегли:

розведення	1:1	1:2	1:4	1:6	1:7	1:8	1:15
спостереження	осад	осад	осад	осад	помутніння	–	–

Вирахувати поріг коагуляції для K_2SO_4 (моль-екв/л).

769. Для позитивного золь $\text{Al}(\text{OH})_3$ іонами–коагуляторами є аніони. Пороги коагуляції солей з однозарядними аніонами близькі між собою і складають у середньому 10,69 ммоль/л. Солі з двозарядними аніонами також мають близькі пороги коагуляції 0,200 ммоль/л. У скільки разів коагулююча здатність двозарядних аніонів більша від однозарядних?

770. Коагуляція від'ємного золь сульфіді миш'яку (III) викликається катіонами. Пороги коагуляції для електролітів KNO_3 , MgCl_2 та AlCl_3 відповідно дорівнюють: 50,0; 6,5; 0,093 ммоль/л. Як відносяться між собою коагулюючі здатності катіонів різної валентності?

771. Золі яких речовин: гідроксиду заліза (III), кремніевої кислоти, сульфіді миш'яку (III), йодиду срібла (позитивний золь), йодиду срібла (від'ємний золь) потрібно змішати, щоб відбулася взаємна коагуляція?

772. Для очищення водопровідної води від завислих частинок та піску додають невелику кількість сульфату алюмінію. Чому в цьому випадку спостерігаємо швидше зсідання частинок? Дайте обґрунтовану відповідь

773. До 5 cm^3 золь $\text{Fe}(\text{OH})_3$ для початку видимої коагуляції необхідно додати один з цих розчинів: 4 cm^3 3 н. HCl ; 0,5 cm^3 0,01 н. K_2SO_4 ; 3,9 cm^3 0,0005 н. $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$. Вирахувати пороги коагуляції та визначити, у якого з електролітів найбільша коагулююча здатність.

774. Для визначення срібного числа до 25 мл золь срібла додали 4 мл 0,25 % розчину декстрину та відтитрували 10 % розчином NaCl до помутніння золь. На титрування витрачено 2,5 мл розчину NaCl . Вирахувати срібне число декстрину.

775. Яку кількість 0,01 М $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (cm^3) потрібно додати до 1 л золь $\text{Al}(\text{OH})_3$, щоб викликати коагуляцію? Поріг коагуляції 0,63 ммоль/л.

776. Який з електролітів: KCl , $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, CaCl_2 , AlCl_3 буде мати найменший поріг коагуляції для золь, що одержаний шляхом додавання до розчину H_2SO_4 надлишку BaCl_2 ?

777. Гідрозоль AgI одержано шляхом змішування рівних об'ємів 0,008 н. KI та 0,01 н. AgNO_3 . Який з двох електролітів – MgSO_4 чи $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$, буде мати більший поріг коагуляції для даного гідрозоль?

778. Пороги коагуляції електролітів для певного гідрозоль наступні (у ммоль-екв/л):

$$C(\text{NaNO}_3) = 300$$

$$C(\text{MgCl}_2) = 25$$

$$C(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 295$$

$$C(\text{AlCl}_3) = 295$$

Який заряд несуть частинки золь?

779. До 10 мл золь $\text{Fe}(\text{OH})_3$ добавили 1 мл 0,5 % розчину желатину і титрували розчином NaCl до помутніння золь. На титрування пішло 5 мл 10 % розчину NaCl . Вирахувати захисне число желатину.

780. Поріг коагуляції золю $\text{Al}(\text{OH})_3$ складає 0,63 ммоль/л. Яку кількість 0,01 М розчину $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ потрібно додати до 100 мл золю, щоб викликати його коагуляцію?
781. За допомогою нефелометра було знайдено, що золь сірки № 1 ($C_1 = 1,6 \text{ кг/м}^3$) має однаковий ступінь світлорозсіювання з золем сірки № 2 при висоті освітлених шарів $h_1 = 20,8 \text{ мм}$ і $h_2 = 32,6 \text{ мм}$. Вирахувати концентрацію золю № 2.
782. Визначити діаметр частинок аерозолю (диму), якщо в об'ємі $4,0 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$ підраховано 120 частинок, концентрація аерозолю 10^{-4} кг/м^3 , а густина дисперсної фази $2,2 \text{ г/см}^3$.
783. За допомогою рівняння Релея порівняти інтенсивності світла, розсіяного двома видами емульсій з однаковими радіусами частинок і концентраціями: бензолу ($n_1 = 1,501$) у воді та н-пентану ($n_2 = 1,357$) у воді. Показник заломлення води дорівнює $n_0 = 1,333$.
784. Визначити діаметр частинок диму, якщо в об'ємі $4,4 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$ підраховано 174 частинки. Концентрація аерозолю $1 \cdot 10^{-4} \text{ кг/м}^3$, а густина дисперсної фази 2 г/см^3 .

Розділ 9

Мікрогетерогенні дисперсні системи: аерозолі, порошки, суспензії, емульсії.

Значення матеріалу теми. Мікрогетерогенні системи, відіграють важливу роль у природі, зокрема в житті людини. Багато лікарських засобів використовуються у вигляді аерозолів, пін, порошоків, суспензій та емульсій, як для зовнішнього, так і для внутрішнього вживання.

До мікрогетерогенних систем відносять системи з газоподібним дисперсійним середовищем (аерозолі, порошки) і з рідким дисперсійним середовищем (суспензії, емульсії, піни). Властивості вказаних систем у загальному визначаються поверхневими явищами – адсорбцією, змочуванням, адгезією. Разом з тим для них характерні свої особливі властивості, вивчення яких представляє великий теоретичний і практичний інтерес.

Мета роботи. Засвоїти основні властивості мікрогетерогенних дисперсних систем. Навчитись визначати тип емульсій та знати механізм дії емульгаторів в стабілізації емульсій. Вміти визначати розміри частинок суспензій і визначати кількісний вміст окремих фракцій. Знати основні властивості колоїдних поверхнево-активних речовин.

Алгоритми розв'язування типових задач

Задача 1. При ультрамікроскопічному дослідженні гідрозолю золота в об'ємі $V_0 = 1,6 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3$ підраховано 70 частинок (n). Концентрація золю $C = 7 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^3$, густина золота $d = 19,3 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Визначити середній радіус (в м) частинок дисперсної фази, прийнявши їх форму за сферичну.

Алгоритм розв'язування

Знаючи певний оптичний об'єм V_0 , в якому підраховано середнє число частинок n , масову концентрацію золю C і густину дисперсної фази d , вираховуємо середній радіус частинок:

$$r = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot C \cdot V_0}{4 \cdot \pi \cdot n \cdot d}}$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 7 \cdot 10^{-6} \cdot 1,6 \cdot 10^{-11}}{4 \cdot 3,14 \cdot 70 \cdot 19,3 \cdot 10^3}} = \sqrt[3]{19,801 \cdot 10^{-24}} = 2,705 \cdot 10^{-8} \text{ м}$$

Відповідь: $2,705 \cdot 10^{-8}$ м.

Задача 2. Для отримання стійкої розведеної емульсії прямого типу змішати 1,0 г бензолу ($\rho = 0,9 \text{ г/см}^3$) з водою, що містить олеат натрію. Визначити мінімальну кількість (мл) дисперсійного середовища необхідного для отримання вказаної емульсії.

Алгоритм розв'язування

За вмістом дисперсної фази емульсії класифікують на:

- розведені (до 0,1 % об.);
- концентровані (від 0,1 до 74 % об.);
- висококонцентровані (понад 74 % об.).

Оскільки до складу суміші входить олеат натрію, робимо висновок про утворення емульсії прямого типу м/в.

Визначаємо об'єм дисперсної фази (бензолу):

$$V = 1,0 : 0,9 \text{ г/см}^3 = 1,1 \text{ см}^3$$

Визначаємо мінімальний об'єм дисперсійного середовища.

Якщо $1,1 \text{ см}^3$ складає 0,1 % (об.),

то $x \text{ см}^3$ — 99,9 % (об.)

$$x = 1098,9 \text{ см}^3$$

Відповідь: $1098,9 \text{ см}^3$.

Задача 3. Який об'єм толуолу і води необхідно змішати в присутності олеату калію ($\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COOK}$) для отримання 200,0 мл концентрованої емульсії? Вкажіть її тип.

Алгоритм розв'язування

Олеати одновалентних металів сприяють утворенню емульсій прямого типу (м/в).

Якщо для утворення 100,0 мл концентрованої емульсії необхідно від 0,1 до 74,0 мл дисперсної фази, а дисперсійного середовища відповідно від 99,9 до 26,0 мл, то для утворення 200 мл цієї ж емульсії необхідно взяти дисперсної фази (толуол) від 0,2 до 148,0 мл і дисперсійного середовища (вода) від 199,8 до 52,0 мл відповідно.

Завдання для самостійного розв'язування

785. Класифікація та способи одержання аерозолів.
786. Оптичні, молекулярно-кінетичні та електричні властивості аерозолів.
787. Коагуляція аерозолів та методи їх руйнування.
788. Практичне значення аерозолів та захист від них.
789. Загальні відомості про порошки та способи їх одержання.
790. Фізико-хімічні властивості порошків.
791. Роль порошків в медичній та фармацевтичній практиці.

792. Піни та методи їх одержання.
793. Практичне значення пін та піноутворення. Способи піногасіння.
794. Що називають ступенем дисперсності системи?
795. Нарисуйте графіки осадження для моно-, бі-, та полідисперсної системи і поясніть хід цих ліній.
796. Яка мета седиментаційного аналізу?
797. Дайте формулювання законів Стокса та Архімеда.
798. Виведіть формулу для розрахунку радіусу частинок суспензії.
799. Як розрахувати середній радіус кожної з фракцій порошку?
800. Як за допомогою графіка знайти вміст окремої фракції порошку в його загальній масі?
801. Що називають функцією розподілу? Як її розрахувати?
802. Що називають емульсіями? До якої групи дисперсних систем їх відносять?
803. Класифікація емульсій, способи їх одержання та властивості.
804. Які речовини використовують як емульгаторів? Їх класифікація.
805. Будова і механізм дії емульгаторів. Вплив емульгатора на тип утвореної емульсії. Правило Банкрофта.
806. Причини руйнування емульсії та способи їх усунення.
807. Який процес називають оберненням фаз емульсії і як його здійснити?
808. Як практично визначити тип емульсії?
809. Медичне застосування емульсій та біологічна роль емульгування.
810. Який з аерозолів – туман, дим чи пил є найбільш високодисперсним?
811. Яким методом одержують більш однорідні за ступенем дисперсності аерозолі?
812. Яке із оптичних явищ найбільш інтенсивне в аерозолях?
813. Чим відрізняються порошки від аерозолів з твердою дисперсною фазою?
814. Які властивості є основою гранулювання порошків?
815. Як підвищити агрегативну стійкість суспензій?
816. Які спільні властивості мають колоїдні розчини та суспензії?
817. Як одержати пряму стійку емульсію ?
818. Розмір частинок крохмалю у воді дорівнює 10^{-5} м, а розмір молекул води 10^{-10} м. У скільки разів частинки дисперсної фази більші від частинок дисперсійного середовища?
819. Діаметр краплин води в тумані дорівнює $5 \cdot 10^{-7}$ м. Вирахувати дисперсність системи.
820. Діаметр краплин води у хмарах дорівнює 10^{-5} м. Вирахувати дисперсність системи.
821. Визначити ступінь дисперсності масла в емульсії, виготовленої в ручному міксері, якщо розмір краплинок дисперсної фази дорівнює $2 \cdot 10^{-5}$ м.
822. Визначити ступінь дисперсності масла в емульсії, виготовленої в електричному міксері, якщо розмір краплинок дисперсної фази дорівнює $4 \cdot 10^{-6}$ м.
823. Вирахувати питому і загальну поверхню 1 г вугільного пилу з діаметром частинок рівним $8 \cdot 10^{-5}$ м. Питома густина вугілля $1,8 \cdot 10^3$ кг/м³.
824. Вирахувати кількість краплинок масла в 100 г 75 % емульсії м/в, якщо маса кожної краплини дорівнює $3,0 \cdot 10^{-13}$ кг.

825. Вирахувати питому та загальну поверхню 100 г емульсії, що містить 60 % риб'ячого жиру. Діаметр кожної краплини дорівнює $2 \cdot 10^{-6}$ м, густина риб'ячого жиру дорівнює $0,9 \cdot 10^3$ кг/м³.
826. Колоїдний розчин сірки містить в 1 см³ $2 \cdot 10^8$ сферичних частинок сірки з діаметром $1 \cdot 10^{-7}$ м. Вирахувати загальну поверхню речовини дисперсної фази, яка міститься в 1 л розчину.
827. Вирахувати кількість краплинок жиру у 0,5 кг коров'ячого молока з жирністю 3,2 %. Діаметр краплинок $2 \cdot 10^{-6}$ м, густина жиру $0,95 \cdot 10^3$ кг/м³.
828. Розмір частинок рисового крохмалю дорівнює $2 \cdot 10^{-6}$ м. Вирахувати дисперсність.
829. Визначити діаметр частинок диму, якщо в об'ємі $4,0 \cdot 10^{-11}$ м³ підраховано 120 частинок, концентрація аерозолу $1 \cdot 10^{-4}$ кг/м³, а густина дисперсної фази $2,2 \cdot 10^3$ кг/м³.
830. Визначити діаметр частинок диму, якщо в об'ємі $4,4 \cdot 10^{-11}$ м³ підраховано 174 частинки, концентрація аерозолу $1 \cdot 10^{-4}$ кг/м³, а густина дисперсної фази $2 \cdot 10^3$ кг/м³.
831. Визначити діаметр частинок диму мартенівської печі, якщо в об'ємі $2,2 \cdot 10^{-11}$ м³ підраховано 87 частинок, концентрація аерозолу $1 \cdot 10^{-4}$ кг/м³, а густина дисперсної фази $2 \cdot 10^3$ кг/м³.
832. Визначити середній радіус частинок масляного туману, якщо в об'ємі $1,33 \cdot 10^{-11}$ м³ підраховано 50 частинок, концентрація аерозолу $25 \cdot 10^{-6}$ кг/м³, а густина дисперсної фази $0,9 \cdot 10^3$ кг/м³.
833. Який середній радіус частинок аерозолу сірки, якщо в об'ємі $2 \cdot 10^{-11}$ м³ підраховано 100 частинок? Концентрація аерозолу $6,5 \cdot 10^{-5}$ кг/м³, а густина дисперсної фази $2,1 \cdot 10^3$ кг/м³.
834. Яку кількість (мл) ксилолу необхідно змішати з водою, що містить олеат натрію (C₁₇H₃₃COONa), щоб отримати 100 мл висококонцентрованої емульсії?
835. Змішати 1 мл бензолу і 200 мл води в присутності олеату натрію. Якого типу і яка (розведена, концентрована чи висококонцентрована) емульсія утвориться? Відповідь обгрунтуйте розрахунками.
836. В колбу, що містить невелику кількість олеату свинцю, додати 3 мл води і 1 мл толуолу. Визначити тип емульсії і класифікуйте її за вмістом дисперсної фази. Відповідь обгрунтуйте розрахунками.

Розділ 10

Фізико-хімія високомолекулярних речовин (ВМР)

Значення матеріалу теми: Високомолекулярними речовинами (ВМР) або полімерами називають природні або синтетичні речовини з молекулярною масою від декількох тисяч (не нижче 10 – 15 тисяч) до мільйонів і більше атомних одиниць маси. Біополімери (білки, вуглеводи, нуклеїнові кислоти) утворюються в процесі біосинтезу в клітинах і є важливими складовими частинами усіх живих організмів.

ВМР мають велике значення у медицині та фармації. Їх використовують як лікарські засоби (ферменти, полісахариди, слизи, екстракти тощо) і як допоміжні речовини при приготуванні різних лікарських форм (основи для мазей і супозиторіїв, емульгатори, стабілізатори, пролонгатори, солюбілізатори, коригенти, як допоміжні речовини в технології крово- та плазмозамінників). Різні модифікації целюлози

застосовують для виготовлення бинтів та вати із антимікробними та кровоспинними властивостями. Полімери використовують для виготовлення медичних капсул, покриття таблеток тощо.

Тому вивчення природи і властивостей ВМР сприятиме кращому розумінню доцільності та необхідності застосування цієї групи речовин у медицині та фармації.

Мета заняття: Вивчити основні методи одержання ВМР, особливості їх будови та властивості. Ознайомитись з термодинамікою набрякання і розчинення ВМР.

Навчитись готувати розчини ВМР, експериментально визначати ступінь набрякання, ІЕТ поліелектролітів за набряканням. Вивчити вплив різних факторів на процес набрякання. Освоїти віскозиметричний метод визначення ІЕТ білків та молекулярної маси полімерів.

Алгоритм розв'язування типових задач

Задача 1. Взірець вулканізованого каучуку об'ємом $2,23 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$ (V_0) помістили у тетрахлоретан. Через 5 год. витримування об'єм зразка збільшився до $6,24 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$ (V). Вирахувати ступінь набрякання полімеру (i %).

Алгоритм розв'язування

Ступінь набрякання полімеру у % вираховуємо за формулою:

$$i = \frac{V - V_0}{V_0} \cdot 100\% = \frac{\Delta V}{V_0} \cdot 100\%$$
$$i = \frac{6,24 \cdot 10^{-5} - 2,23 \cdot 10^{-5}}{2,23 \cdot 10^{-5}} \cdot 100\% = \frac{4,01 \cdot 10^{-5}}{2,23 \cdot 10^{-5}} \cdot 100\% = 179,82\%$$

Відповідь: 179,82 %

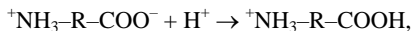
Задача 2. До якого з електродів рухаються частинки гемоглобіну під час електрофорезу ($\text{pH}_{\text{ІЕТ}} = 6,8$), якщо дослід проводили у буферному розчині з $[\text{H}^+] = 3,5 \cdot 10^{-5}$ моль/л?

Алгоритм розв'язування

1. Вирахуємо рН буферного розчину, в якому $[\text{H}^+] = 3,5 \cdot 10^{-5}$ моль/л.

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+] = -\lg(3,5 \cdot 10^{-5}) = 5 - 0,5441 = 4,4559 = 4,46$$

2. Оскільки рН буферного розчину менший від $\text{pH}_{\text{ІЕТ}}$, частинки гемоглобіну матимуть додатний заряд:



тому під час електрофорезу вони рухатимуться до від'ємного електрода – катода.

Відповідь: частинки гемоглобіну рухатимуться до катода.

Задача 3. Вирахувати осмотичний тиск (в Па) розчину етилцелюлози в аніліні з масовою концентрацією $3,4 \text{ кг/м}^3$ при 45°C , якщо середня молярна маса полімеру становить $53,23 \text{ кг/моль}$. Константу «b» рівняння Галлера вважати $0,51$.

Алгоритм розв'язування

Осмотичний тиск (в Па) полімеру вираховуємо за формулою (рівняння Галлера):

$$\Pi = \frac{CRT}{M} \cdot bC^2$$

$$\Pi = \frac{3,4 \cdot 8,314 \cdot (273 + 45)}{53,23} \cdot 0,51 \cdot 3,4^2 = \frac{8,9891 \cdot 10^3}{53,23} + 5,8956 = 174,77 \text{ Па} .$$

Відповідь: 174,77 Па.

Завдання для самостійного розв'язування

837. Дайте визначення поняттям: ВМР, мономер, елементарна ланка, ступінь полімеризації, гель.
838. За допомогою яких реакцій одержують ВМР? Навести приклади.
839. Що таке поліконденсація? В результаті якої реакції утворюються в живих організмах білки?
840. Навести приклади класифікації білків за такими ознаками: а) джерела одержання; б) структура полімерного ланцюга; в) хімічна природа атомів, що входять в полімерний ланцюг макромолекули; г) в залежності від типу елементарних ланок.
841. Схематично зобразити і пояснити будову елементарних ланок стереорегулярних (ізотактичних) і нерегулярних (анактичних) ВМР.
842. Які відомі Вам важливі природні полімери та їх похідні?
843. Спільні і відмінні властивості розчинів ВМР та істиних розчинів.
844. Спільні та відмінні властивості розчинів ВМР та ліофобних золів.
845. Які ВМР називають поліелектролітами? Навести приклади. Поліамфоліти. Ізоелектричний стан білків.
846. Ізоелектрична точка. Від чого залежить $pH_{\text{ІЕТ}}$ білка? Методи визначення ІЕТ.
847. Стійкість, в'язкість, осмотичний тиск та ступінь набрякання ВМР, що знаходиться в ізоелектричному стані.
848. Процеси набрякання і розчинення полімерів. Механізм і стадії набрякання.
849. Як впливає на швидкість набрякання ВМР «вік» полімера та ступінь його подрібнення, температура, тиск, значення pH середовища, присутність електролітів, коли ВМР перебуває в одному і тому ж розчиннику?
850. Який процес переує розчиненню ВМР? Типи набрякання. У яких розчинниках ВМР утворюють: а) молекулярні розчини; б) золі або дисперсії? Чим пояснюється добра розчинність желатини у воді?
851. Стадії процесу набрякання. Визначення ступеня набрякання за допомогою розрахункової формули. Графік залежності ступеня набрякання желатини у холодній воді від часу.
852. Чому гума не розчиняється у жодному розчиннику? Відповідь обґрунтувати.
853. Вплив pH середовища на набрякання білків. Зобразити схематично форму окремих ланок макромолекули білка при $pH < pH_{\text{ІЕТ}}$, $pH = pH_{\text{ІЕТ}}$, $pH > pH_{\text{ІЕТ}}$. При якому значенні pH електрофоретична рухливість білків буде максимальною?
854. Які амінокислоти (моноамінокарбонові, діамінокарбонові, моноамінодикарбонові) переважають у структурі (будові) макромолекул білка, $pH_{\text{ІЕТ}}$ якого більше 7, менше 7? Навести приклади «кислих» і «лужних» білків.
855. У якому розчиннику – воді чи гексані можна одержати термодинамічно стійкий розчин білка?
856. Роль явища набрякання у фізіології тварин та рослин. Приклади.
857. Охарактеризувати особливості в'язкості розчинів ВМР. Навести формули розрахунків відносної, питомої, приведеної та характеристичної в'язкості.

858. Від чого залежить в'язкість розчинів ВМР? Які розчини ВМР підлягають закону Ньютона?
859. Як змінюється в'язкість розчинів полімерів із збільшенням рН середовища?
860. Чому розведені розчини полімерів мають високу (аномальну) в'язкість?
861. Визначення молекулярної маси полімера за в'язкістю його розчинів. Яке рівняння використовується для розрахунків?
862. Порухення стійкості розчинів ВМР. Суть процесу висолювання. Розмістити аніони в порядку зростання їх висоложуючої дії: CH_3COO^- , Cl^- , I^- , SO_4^{2-} , SCN^- , NO_3^- . Від чого залежить їх висоложуюча дія?
863. Яка сіль NaCl чи NaI має більшу висоложуючу дію? Відповідь обґрунтувати.
864. Як зміниться ступінь набрякання полівінілового спирту у воді при додаванні NaCl ? Відповідь обґрунтувати.
865. Як можна розділити суміш білків на окремі фракції?
866. Як розділити суміш білків – пепсину шлункового соку і міозину м'язів?
867. Що таке драглювання? Які фактори сприяють утворенню драглів з розчинів полімерів? Властивості драглів.
868. При яких значеннях рН середовища процес драглювання виражений найсильніше? Розмістити аніони в порядку їх зростаючого впливу на драглювання: Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , SCN^- , I^- , CH_3COO^- ?
869. Денатурація білків. Приклади. Механізм денатурації і фактори, що її викликають.
870. У чому відмінність механізму коагуляції ліофобних колоїдів і порушення стійкості ВМР?
871. Оптичні властивості розчинів ВМР. Явище мутаротації.
872. Осмотичний тиск розчинів ВМР. Чому осмотичний тиск розчинів полімерів не підлягає закону Вант-Гоффа?
873. Яким рівнянням описується осмотичний тиск розчинів полімерів? Що таке онкотичний тиск плазми крові?
874. Осмометричний метод визначення молекулярної маси полімерів. Який вигляд має графік залежності π/C від C ? Як графічно знаходять відносну молекулярну масу полімеру методом осмометрії?
875. Застосування ВМР у медицині та фармації. Які вимоги пред'являють до цієї групи ВМР?
876. Полімери у медицині. Застосування полівінілового спирту та полівінілпіролідону.
877. До якого з електродів під час електрофорезу будуть рухатися частинки білка, що перебувають в ізоелектричному стані? Відповідь обґрунтувати.
878. Який заряд мають частинки полімеру, що знаходяться у буферному розчині з рН, більшому за $\text{pH}_{\text{ІЕТ}}$?
879. Який заряд мають частинки полімеру, що знаходиться у буферному розчині з рН, меншому за $\text{pH}_{\text{ІЕТ}}$?
880. Альбумін ($\text{pH}_{\text{ІЕТ}} = 4,8$) знаходиться у буферному розчині з $[\text{H}^+] = 3,7 \cdot 10^{-6}$ моль/л. До якого електрода будуть рухатись частинки білка під час електрофорезу?
881. До якого з електродів будуть рухатись частинки казеїну ($\text{pH}_{\text{ІЕТ}} = 4,6$) під час електрофорезу, якщо білок знаходиться у буферному розчині з $[\text{H}^+] = 4,2 \cdot 10^{-4}$ ммоль/л?

882. До якого з електродів рухатимуться під час електрофорезу частинки гемоглобіну ($pH_{\text{ІЕТ}} = 6,8$), якщо дослід проводили в буферному розчині з $[H^+]$ у 100 разів більшою, ніж у чистій воді?
883. Визначити знак заряду частинок глобуліну ($pH_{\text{ІЕТ}} = 5,4$), що знаходиться у буферно-му розчині з $pH = 3,2$. Відповідь мотивуйте.
884. Желатину, з $pH_{\text{ІЕТ}} = 4,7$, помістили у розчин, в якому $[OH^-]$ у 1000 разів більша, ніж у воді. Який заряд частинок желатини у розчині?
885. Казеїн з $pH_{\text{ІЕТ}} = 4,6$ помістили у розчин, в якому $[OH^-]$ у 10 разів менша, ніж у воді. Який заряд частинок казеїну у розчині?
886. Вкажіть напрям руху частинок альбуміну сироватки крові в буферному розчині з $pH = 3,8$ при електрофорезі, ІЕТ якого лежить при pH , що дорівнює 4,64. Поясніть відповідь.
887. Глобулін, ІЕТ якого лежить при $pH = 6,4$, поміщений у буферний розчин з концентрацією OH^- -іонів $2,9 \cdot 10^{-8}$ моль/л. Визначити знак заряду частинок глобуліну в розчині.
888. Взірець гуми масою $3,7 \cdot 10^{-2}$ кг помістили у бензин. Через 24 години витримання при $25^\circ C$ маса взірця стала $4,5 \cdot 10^{-2}$ кг. Вирахувати ступінь набрякання даного полімеру.
889. Взірець вулканізованого каучуку об'ємом $2,01 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$ за 6 год. витримання у тетрахлорметані збільшився на $5,14 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$. Вирахувати ступінь набрякання даного полімеру.
890. Взірець натурального каучуку масою $5,324 \cdot 10^{-3}$ кг помістили в толуол. Через 24 год. витримання при 293 К маса взірця стала $12,647 \cdot 10^{-3}$ кг. Вирахувати ступінь набрякання полімеру ($y\%$).
891. Взірець синтетичного каучуку об'ємом $2,081 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$ помістили в мазут. Через 5 год. витримання при 373 К об'єм взірця став $7,834 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$. Вирахувати ступінь набрякання полімеру у мазуті ($y\%$).
892. Певний об'єм води витікає з віскозиметра Оствальда за 15 с. Скільки часу потрібно для витікання такого ж об'єму α -гліцерину, що має відносну в'язкість $1,20 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$? В'язкість води дорівнює $1 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$.
893. Вирахувати відносну в'язкість розчину полімеру при 288 К , якщо час витікання його із віскозиметра Оствальда у 2,7 рази більший, ніж для води. В'язкість води дорівнює $1,1404 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$. Різницю між густинами знехтувати.
894. Вирахувати відносну в'язкість розчину декстрини при 293 К , якщо час витікання його із віскозиметра Оствальда у 3,4 рази більший, ніж для води. Різницю між густинами знехтувати.
895. Час витікання розчину альгінової кислоти густиною $2,13 \text{ г/см}^3$ при 293 К у віскозиметрі Оствальда дорівнює 32 с, а води – 17 с. Вирахувати відносну в'язкість розчину альгінової кислоти.
896. Час витікання розчину колагену густиною $1,7 \text{ г/см}^3$ при 293 К у віскозиметрі Оствальда у 2,5 рази більший ніж для очищеної води. Вирахувати відносну в'язкість розчину колагену.
897. Вирахувати час витікання із віскозиметра Оствальда розчину нітроклітковини густиною $1,21 \text{ кг/м}^3$, що має відносну в'язкість $1,73 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$, якщо такий самий об'єм води витікає за 15 с (густина води 1 кг/м^3 , а в'язкість – $1 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$).

898. Вирахувати осмотичний тиск (в Па) розчину етилцелюлози в аніліні з масовою концентрацією $3,1 \text{ г/см}^3$ при $45 \text{ }^\circ\text{C}$, якщо середня молярна маса полімеру становить $53,33 \text{ кг/моль}$. Константу « Φ » в рівнянні Галлера дорівнює $0,52$.
899. При набряканні 100 г каучуку поглинулось 978 см^3 хлороформу (густина $1,489 \text{ г/см}^3$). Вирахувати масову частку полімеру (у %) в одержаному гелі.
900. Желатина має ізоелектричну точку при $\text{pH} = 4,7$. До якого з електродів рухаються її частинки під час електрофорезу в ацетатному буферному розчині, що складається з 70 мл $0,1\text{M}$ CH_3COOH і 230 мл $0,1\text{M}$ CH_3COONa ? $K_{\text{дис}}\text{CH}_3\text{COOH}$ дорівнює $1,75 \cdot 10^{-5}$.
901. Гемоглобін має ізоелектричну точку при $\text{pH} = 6,8$. До якого з електродів рухатимуться його частинки під час електрофорезу в ацетатному буферному розчині, що складається з 50 мл $0,2 \text{ н.}$ CH_3COOH і 250 мл $0,2 \text{ н.}$ CH_3COONa ? $K_{\text{дис}}\text{CH}_3\text{COOH}$ дорівнює $1,75 \cdot 10^{-5}$.
902. У фосфатному буферному розчині, що складається з 60 мл $0,1\text{M}$ розчину NaH_2PO_4 і 140 мл $0,1\text{M}$ розчину Na_2HPO_4 , молекули білка під час електрофорезу рухаються до негативного електрода. У якій області значень pH лежить ІЕТ білка, якщо $K_{\text{дис}}\text{H}_2\text{PO}_4^-$ дорівнює $6,3 \cdot 10^{-8}$?
903. До якого з електродів під час електрофорезу рухатимуться у фосфатному буферному розчині ($K_{\text{дис}}\text{H}_2\text{PO}_4^- = 6,3 \cdot 10^{-8}$), що містить 100 мл $0,3 \text{ н.}$ NaH_2PO_4 і 200 мл $0,15 \text{ н.}$ Na_2HPO_4 молекули білків: а) α -глобуліну крові $\text{pH}_{\text{ІЕТ}} = 4,8$; б) гістону клітинних ядер $\text{pH}_{\text{ІЕТ}} = 8,5$?
904. Час витікання із вискозиметра Оствальда розчину пектину густиною $1,23 \text{ г/см}^3$ дорівнював 33 с , а очищеної води – 14 с . Вирахувати питому в'язкість розчину пектину, якщо в'язкість води дорівнює $1 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$, а густина води 1 г/см^3 .
905. Час витікання із вискозиметра Оствальда при 293 K розчину поліетиленгліколю густиною $1,73 \text{ г/см}^3$ у $3,5$ рази більший, ніж для води при тій же температурі. Вирахувати питому в'язкість розчину.
906. Вирахувати час витікання із вискозиметра Оствальда розчину ясного альбуміну густиною $1,21 \text{ г/см}^3$, питома в'язкість якого становить $1,27$, якщо час витікання такого ж об'єму води – 14 с , в'язкість води $1 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$, густина – 1 г/см^3 .
907. Характеристична в'язкість розчину взірця полістиролу у толуолі при 298 K дорівнює $2,54 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{моль}$. Яка середня молярна маса полімеру (в кг/моль), якщо константи в рівнянні Штаудінгера: $K = 1,34 \cdot 10^4$, $\alpha = 0,71$?
908. Вирахувати середню молярну масу натурального каучуку (в кг/моль), якщо характеристична в'язкість його розчину в бензолі дорівнює $1,28 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{моль}$, а константи рівняння Штаудінгера: $K = 4,8 \cdot 10^{-5}$, $\alpha = 0,65$.
909. Вирахувати середню молярну масу високомолекулярного полісахариду – декстрану (в кг/моль) за даними вискозиметричного методу: характеристична в'язкість його водого розчину дорівнює $8,2 \times 10^{-3} \text{ м}^3/\text{моль}$, константи рівняння Штаудінгера: $K = 1,23 \cdot 10^{-5}$, $\alpha = 0,62$.
910. Яка середня молярна маса бутадієнового каучуку (в кг/моль), якщо його розчин у бензолі з масовою концентрацією $4,95 \text{ кг/м}^3$ при $20 \text{ }^\circ\text{C}$ має осмотичний тиск $80,65 \text{ Па}$? Константа « Φ » рівняння Галлера становить $0,73$.
911. Вирахувати молекулярну масу полімеру (в г/моль), якщо його розчин в бензолі з концентрацією $1,5 \text{ кг/м}^3$ при $25 \text{ }^\circ\text{C}$ має осмотичний тиск $390,5 \text{ Па}$. Константа « Φ » рівняння Галлера дорівнює $0,7$.

912. Врахувати середню молярну масу полістиролу (в кг/моль), якщо його розчин в бензолі з масовою концентрацією $9,2 \text{ кг/м}^3$ має осмотичний тиск $288,9 \text{ Па}$ при 300 К . Константа «b» рівняння Галлера становить $0,45$.
913. Визначити константу «b» рівняння Галлера, якщо розчин полістиролу ($M = 91,4 \text{ кг/моль}$) в бензолі з концентрацією $4,17 \text{ кг/м}^3$ має осмотичний тиск $121,0 \text{ Па}$ при $25 \text{ }^\circ\text{C}$.

Рекомендована література

Основна (Базова)

1. Фізична та колоїдна хімія : базовий підруч. для студ. вищ. фамац. навч. закл. (фармац. ф-тів) IV рівня акредитації / В. І. Кабачний, Л. Д. Грицан, Т. О. Томаровська та ін.; за заг. ред. В. І. Кабачного. – 2-ге вид., перероб. та доп. – Харків : НФаУ : Золоті сторінки, 2015. – 432 с.
2. Гомонай В.І. Фізична та колоїдна хімія. Вид. третє., доп. – Вінниця: Нова книга.– 2015.- 494 с.
3. Біофізична та колоїдна хімія/ Мороз А.С., Яворська Л.П., Луцевич Д.Д. та ін.– Вінниця: НОВА КНИГА, 2007.– 600 с.

Додаткова

4. Єльцов С.В. Практикум з фізичної та колоїдної хімії : навчальний посібник для студентів нехімічних спеціальностей / С. В. Єльцов, Н. О. Водолазька. - 2-ге вид., виправл. і доповн. - Х. : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2018. -246 с.
5. Єльцов С.В., Водолазька Н.О. Практикум з фізичної та колоїдної хімії: [навчальний посібник]. - Х.: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2012. - 236 с.
6. Рубцов В.І. Фізична хімія: задачі і вправи. Рекомендовано МОН України як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. -Харків, вид ХНУ, 2011. 416 с.
7. Фізична та колоїдна хімія: Навчальний посібник для студентів факультетів медико-біологічного профілю / М.В.Бондарев, О.М.Цурко, Н.О.Водолазька, С.В.Єльцов. - Під ред. М.В.Бондарева. Рекомендовано Міністерством освіти і науки України як навчальний посібник для студентів біологічних і медичних спеціальностей вищих навчальних закладів. - Вид. друге, виправлене, перероблене. - Х.: ХНУ імені В.Н.Каразіна, 2008. - 324 с.

Таблиця 1

Значення основних фізичних констант

Назва величини	Позначення	Значення
Абсолютний нуль температури	T	-273,15 °C
Діелектрична проникність вакууму	ϵ_0	$8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м
Заряд електрона	e	$1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл
Мольний об'єм газу (н.у.)	V_m	$22,41 \cdot 10^{-3}$ м ³ /моль
Стала Авагадро	N_A	$6,02 \cdot 10^{23}$ моль ⁻¹
Стала Фарадея	F	$9,648 \cdot 10^4$ Кл/моль
Швидкість світла	c	$2,997 \cdot 10^8$ м/с

Таблиця 2

Позначення деяких фізико-хімічних величин

Величина	Позначення (символ)	Величина	Позначення (символ)
Адсорбція	Г	Коефіцієнт активності	f_a
Активність	a	– розчинності	k_s
Водневий показник	pH	– розподілу	k_p
Гідроксильний показник	pOH	– температурний (Вант-Гоффа)	γ
Добуток розчинності	ДР	Масова частка речовини	ω
Заряд	z	Мольна частка	χ
Константа	K	Об'ємна частка	φ
– дисоціації	K_{дис}	Ступінь дисоціації	α
– рівноваги	K_{рівн}	– гідролізу	h
– гідролізу	K_{гідр}	Фактор еквівалентності	f_{екв}
– нестійкості	K_{нест}	Число структурних одиниць	N

Таблиця 3

Стандартні редокс-потенціали деяких біосистем

Окислена форма	n_e	Відновлена форма	$e^0, \text{В}$
Метгемоглобін	e^-	Гемоглобін	0,15
Міоглобін (Fe^{3+})	e^-	Міоглобін (Fe^{2+})	0,05
Дигідроаскорбінова кислота	$2e^-$	Аскорбінова кислота	-0,05
Піруват	$2e^-$	Лактат	-0,185
Оцтовий альдегід	$2e^-$	Етанол	-0,20
НАД^+	$2e^-$	НАДН	-0,320
CO_2	$2e^-$	Форміат	-0,42

Таблиця 4

Схеми основних напівреакцій і величини стандартних окислювально-відновних потенціалів

Напівреакція			$e^0, \text{В}$
Окислена форма	n_e	Відновлена форма	
F_2^0	$2e^-$	2F^-	2,87
$\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$	$2e^-$	2SO_4^{2-}	2,01
$\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+$	$2e^-$	$2\text{H}_2\text{O}$	1,78
$\text{PbO}_2 + 4\text{H}^+$	$2e^-$	$\text{Pb}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	1,69
$\text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+$	$5e^-$	$\text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$	1,51
$\text{ClO}^- + 2\text{H}^+$	$2e^-$	$\text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$	1,49
$2\text{ClO}_3^- + 12\text{H}^+$	$10e^-$	$\text{Cl}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$	1,47
$\text{ClO}_3^- + 6\text{H}^+$	$6e^-$	$\text{Cl}^- + 3\text{H}_2\text{O}$	1,45
$\text{BrO}_3^- + 6\text{H}^+$	$6e^-$	$\text{Br}^- + 3\text{H}_2\text{O}$	1,44
$\text{ClO}_4^- + 8\text{H}^+$	$8e^-$	$\text{Cl}^- + 4\text{H}_2\text{O}$	1,39
Cl_2^0	$2e^-$	2Cl^-	1,36
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+$	$6e^-$	$2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$	1,35
$2\text{NO}_3^- + 12\text{H}^+$	$10e^-$	$\text{N}_2^0 + 6\text{H}_2\text{O}$	1,24
$\text{O}_2^0 + 4\text{H}^+$	$4e^-$	$2\text{H}_2\text{O}$	1,23
$2\text{IO}_3^- + 12\text{H}^+$	$10e^-$	$\text{I}_2^0 + 6\text{H}_2\text{O}$	1,20
$\text{IO}_3^- + 6\text{H}^+$	$6e^-$	$\text{I}^- + 3\text{H}_2\text{O}$	1,09
Br_2^0	$2e^-$	2Br^-	1,07
$\text{NO}_2^- + 2\text{H}^+$	e^-	$\text{NO} + \text{H}_2\text{O}$	1,00

Напівреакція			e ⁰ , В
Окислена форма	n _e	Відновлена форма	
$\text{NO}_3^- + 4\text{H}^+$	3e ⁻	$\text{NO} + 2\text{H}_2\text{O}$	0,96
$\text{ClO}^- + \text{H}_2\text{O}$	2e ⁻	$\text{Cl}^- + 2\text{OH}^-$	0,89
$\text{NO}_3^- + 2\text{H}^+$	2e ⁻	$\text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O}$	0,84
$\text{NO}_3^- + 2\text{H}^+$	e ⁻	$\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	0,78
Fe^{3+}	e ⁻	Fe^{2+}	0,77
$\text{O}_2^0 + 2\text{H}^+$	2e ⁻	H_2O_2	0,68
$\text{MnO}_4^- + 2\text{H}_2\text{O}$	3e ⁻	$\text{MnO}_2 + 4\text{OH}^-$	0,57
MnO_4^-	e ⁻	MnO_4^{2-}	0,54
I_2^0	2e ⁻	2I^-	0,54
$\text{O}_2 + 2\text{H}^+$	4e ⁻	4OH^-	0,40
$\text{SO}_4^{2-} + 8\text{H}^+$	6e ⁻	$\text{S}^0 + 4\text{H}_2\text{O}$	0,36
$\text{IO}_3^- + 3\text{H}_2\text{O}$	6e ⁻	$\text{I}^- + 6\text{OH}^-$	0,26
$\text{S}_4\text{O}_6^{2-}$	2e ⁻	$2\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$	0,22
$\text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}^+$	2e ⁻	$\text{SO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$	0,20
$\text{SO}_4^{2-} + 8\text{H}^+$	8e ⁻	$\text{S}^{2-} + 4\text{H}_2\text{O}$	0,15
Sn^{4+}	2e ⁻	Sn^{2+}	0,15
Cu^{2+}	2e ⁻	Cu^+	0,15
$\text{S}^0 + 2\text{H}^+$	2e ⁻	H_2S	0,14
$\text{N}_2 + 6\text{H}^+$	2e ⁻	2NH_3	0,06
$\text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$	2e ⁻	$\text{NO}_2^- + 2\text{OH}^-$	0,01
$\text{CrO}_4^{2-} + 4\text{H}_2\text{O}$	3e ⁻	$\text{Cr}(\text{OH})_3 + 5\text{OH}^-$	-0,13
H_2O_2	2e ⁻	2OH^-	-0,28
Cr^{3+}	e ⁻	Cr^{2+}	-0,41
S^0	2e ⁻	S^{2-}	-0,45
$\text{AsO}_4^{2-} + 2\text{H}_2\text{O}$	2e ⁻	$\text{AsO}_2^- + 4\text{OH}^-$	-0,67
$\text{SO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O}$	2e ⁻	$\text{SO}_3^{2-} + 2\text{OH}^-$	-0,93
$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	2e ⁻	$\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{OH}^-$	-1,37
H_2^0	2e ⁻	2H^-	-2,25

Таблиця 5

Стандартні потенціали найважливіших електродів

Назва	Схема електрода	e^0 , В
Хлорсрібний	Ag AgCl, KCl (нас.)	0,222
Каломельний	Hg Hg ₂ Cl ₂ , KCl (нас.)	0,244
Хінгідронний	Pt C ₆ H ₄ O ₂ , C ₆ H ₄ (OH) ₂	0,704
Скляний	Ag AgCl, 0,1 М HCl скляна мембрана	–

Таблиця 6

Кислотність (pK_A) і основність (pK_B) супряжених кислот та основ у воді

Кислоти	pK _A	Основи	pK _B
Дуже сильні		Дуже слабкі	
HCl	–6,00	Cl [–]	20,00
H ₂ SO ₄	–3,00	HSO ₄ [–]	17,00
Сильні		Слабкі	
HNO ₃	–1,32	NO ₃ [–]	15,32
H ₃ PO ₄	1,96	H ₂ PO ₄ [–]	12,04
HF	3,14	F [–]	10,86
HCOOH	3,70	HCOO [–]	10,30
Середні		Середні	
CH ₃ COOH	4,75	CH ₃ COO [–]	9,25
H ₂ CO ₃	6,25	HCO ₃ ^{2–}	7,75
H ₂ S	6,92	HS [–]	7,08
H ₂ PO ₄ [–]	7,12	HPO ₄ ^{2–}	6,88
Слабкі		Сильні	
NH ₄ ⁺	9,25	NH ₃	4,75
HCN	9,40	CN [–]	4,60
HCO ₃ [–]	10,40	CO ₃ ^{2–}	3,60
HS [–]	12,90	S ^{2–}	1,10
Дуже слабкі		Дуже сильні	
H ₂ O	15,74	OH [–]	–1,74
NH ₃	23,00	NH ₂ [–]	–9,00

Примітка. K_A – константа іонізації кислоти (константа кислотності)

K_B – константа іонізації основи (константа основності)

Таблиця 7

Ряд стандартних електродних потенціалів металів

Метал	$e^0, \text{В}$	Метал	$e^0, \text{В}$	Метал	$e^0, \text{В}$
Li⁺/Li	-3,045	Be²⁺/Be	-1,847	Fe³⁺/Fe	-0,037
Rb⁺/Rb	-2,925	Al³⁺/Al	-1,700	H⁺/H₂	0
K⁺/K	-2,924	Ti³⁺/Ti	-1,208	Bi³⁺/Bi	+0,215
Cs⁺/Cs	-2,923	Mn²⁺/Mn	-1,192	Sb³⁺/Sb	+0,240
Ra²⁺/Ra	-2,916	Cr²⁺/Cr	-0,852	Re³⁺/Re	+0,300
Ba²⁺/Ba	-2,905	Zn²⁺/Zn	-0,763	Cu²⁺/Cu	+0,338
Sr²⁺/Sr	-2,888	Ga³⁺/Ga	-0,560	Ru²⁺/Ru	+0,450
Ca²⁺/Ca	-2,864	Fe²⁺/Fe	-0,441	Ag⁺/Ag	+0,799
Na⁺/Na	-2,711	Cd²⁺/Cd	-0,404	Rh³⁺/Rh	+0,800
Ac³⁺/Ac	-2,600	In³⁺/In	-0,338	Hg²⁺/Hg	+0,852
La³⁺/La	-2,522	Co²⁺/Co	-0,277	Pd²⁺/Pd	+0,915
Y³⁺/Y	-2,372	Ni²⁺/Ni	-0,234	Pt²⁺/Pt	+0,963
Mg²⁺/Mg	-2,370	Sn²⁺/Sn	-0,141	Au³⁺/Au	+1,500
Sc³⁺/Sc	-2,077	Pb²⁺/Pb	-0,126	Au⁺/Au	+1,680

Таблиця 8

Константи дисоціації слабких електролітів

Назва	Формула	K_1	K_2
К и с л о т и			
Нітритна	HNO₂	$4,0 \cdot 10^{-4}$	
Ортоборатна	H₃BO₃	$5,8 \cdot 10^{-10}$	$1,8 \cdot 10^{-13}$
Карбонатна	H₂CO₃	$4,45 \cdot 10^{-7}$	$4,5 \cdot 10^{-11}$
Силікатна	H₂SiO₃	$2,2 \cdot 10^{-10}$	$1,6 \cdot 10^{-12}$
Ортоарсенатна	H₃AsO₄	$5,6 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-7}$ $K_3=2,9 \cdot 10^{-12}$
Ортоарсенітна	H₃AsO₃	$5,7 \cdot 10^{-10}$	$3,0 \cdot 10^{-14}$
Метаарсенітна	HAsO₂	$5,8 \cdot 10^{-10}$	
Пероксид водню	H₂O₂	$2,6 \cdot 10^{-12}$	
Селенатна	H₂SeO₄	$1 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$
Селенітна	H₂SeO₃	$3,5 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-8}$

Назва	Формула	K_1	K_2
Селенідна	H_2Se	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-11}$
Сульфїтна	H_2SO_3	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$6,3 \cdot 10^{-8}$
Сульфїдна	H_2S	$8,9 \cdot 10^{-8}$	$1,3 \cdot 10^{-13}$
Гїпохлоритна	$HOCl$	$5,0 \cdot 10^{-8}$	
Ортофосфатна	H_3PO_4	$7,5 \cdot 10^{-3}$	$6,3 \cdot 10^{-8}$ $K_3=1,3 \cdot 10^{-12}$
Ортофосфїтна	H_3PO_3	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$3,0 \cdot 10^{-7}$
Гїпофосфїтна	H_3PO_2	$9,0 \cdot 10^{-2}$	
Фторидна	HF	$6,6 \cdot 10^{-4}$	
Цїанїдна	HCN	$7,2 \cdot 10^{-10}$	
Бензоатна	C_6H_5COOH	$6,3 \cdot 10^{-5}$	
Тартратна	$H_2C_4H_4O_6$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$4,0 \cdot 10^{-5}$
Формїатна	$HCOOH$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	
Пропїонатна	C_2H_5COOH	$1,34 \cdot 10^{-5}$	
Ацетатна	CH_3COOH	$1,75 \cdot 10^{-5}$	
Бутиратна	C_3H_7COOH	$1,54 \cdot 10^{-5}$	
Монохлорацетатна	$CH_2ClCOOH$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	
Дихлорацетатна	$CHCl_2COOH$	$5,0 \cdot 10^{-2}$	
Оксалатна	$H_2C_2O_4$	$5,4 \cdot 10^{-2}$	$5,4 \cdot 10^{-5}$
О с н о в и			
Гїдроксид алюмінію	$Al(OH)_3$		$K_3=1,4 \cdot 10^{-9}$
– залїза (II)	$Fe(OH)_2$		$1,3 \cdot 10^{-4}$
– залїза (III)	$Fe(OH)_3$		$1,8 \cdot 10^{-11}$ $K_3=1,4 \cdot 10^{-12}$
– кадмїю	$Cd(OH)_2$		$5,0 \cdot 10^{-3}$
– магнїю	$Mg(OH)_2$		$2,5 \cdot 10^{-3}$
– мїдї (II)	$Cu(OH)_2$		$3,4 \cdot 10^{-7}$
– амонїю	NH_4OH	$1,8 \cdot 10^{-5}$	
– свинцю	$Pb(OH)_2$	$9,6 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-8}$
– берилїю	$Be(OH)_2$		$5,0 \cdot 10^{-11}$
– хрому (III)	$Cr(OH)_3$		$K_3=1,0 \cdot 10^{-10}$
– цинку	$Zn(OH)_2$		$4 \cdot 10^{-5}$

Таблиця 9

Склад найважливіших буферних систем

Назва буферного розчину	Склад	Границі рН
Ацетатний	$\text{CH}_3\text{COOH} + \text{CH}_3\text{COONa}$	3,7–5,6
Амонійний	$\text{NH}_4\text{OH} + \text{NH}_4\text{Cl}$	6,8–9,6
Гідрокарбонатний	$\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{NaHCO}_3$	6,3–7,3
Фосфатний	$\text{NaH}_2\text{PO}_4 + \text{Na}_2\text{HPO}_4$	5,8–7,7

Таблиця 10

Добуток розчинності важкорозчинних електролітів при 25 °С

Електроліт	ДР	Електроліт	ДР
AgBr	$6 \cdot 10^{-13}$	Fe(OH)₃	$3,7 \cdot 10^{-40}$
AgCl	$1,8 \cdot 10^{-10}$	FePO₄	$1,3 \cdot 10^{-22}$
Ag₂CrO₄	$4 \cdot 10^{-12}$	FeS	$5 \cdot 10^{-18}$
AgI	$1,1 \cdot 10^{-16}$	HgS	$1,6 \cdot 10^{-52}$
Ag₂S	$6 \cdot 10^{-50}$	MgCO₃	$2,1 \cdot 10^{-5}$
Ag₂SO₄	$2 \cdot 10^{-5}$	Mg(OH)₂	$1,3 \cdot 10^{-11}$
BaCO₃	$5 \cdot 10^{-9}$	MnS	$2,5 \cdot 10^{-10}$
BaCrO₄	$1,6 \cdot 10^{-10}$	PbBr₂	$9,1 \cdot 10^{-6}$
BaSO₄	$1,1 \cdot 10^{-10}$	PbCl₂	$2 \cdot 10^{-5}$
Ba₃(PO₄)₂	$6 \cdot 10^{-39}$	PbCrO₄	$1,8 \cdot 10^{-14}$
CaCO₃	$5 \cdot 10^{-9}$	PbCO₃	$7,5 \cdot 10^{-14}$
CaC₂O₄	$2 \cdot 10^{-9}$	PbI₂	$8,0 \cdot 10^{-9}$
CaF₂	$4 \cdot 10^{-11}$	PbS	$2,5 \cdot 10^{-27}$
CaSO₄	$6,3 \cdot 10^{-5}$	PbSO₄	$1,6 \cdot 10^{-8}$
Ca₃(PO₄)₂	$1 \cdot 10^{-29}$	SrCO₃	$1,1 \cdot 10^{-10}$
Cd(OH)₂	$2 \cdot 10^{-14}$	SrSO₄	$3,2 \cdot 10^{-7}$
CdS	$7,9 \cdot 10^{-27}$	ZnCO₃	$1,45 \cdot 10^{-11}$
Cu(OH)₂	$2,2 \cdot 10^{-20}$	Zn(OH)₂	$1 \cdot 10^{-17}$
CuS	$6 \cdot 10^{-36}$	ZnS	$1,6 \cdot 10^{-24}$
Fe(OH)₂	$1 \cdot 10^{-15}$		

Таблиця 11

Діелектрична проникність деяких речовин при 293 К

Речовина	ϵ	Речовина	ϵ
Вода	80,31	Пропанол	20,75
Нітробензол	35,72	Бутанол	17,90
Метанол	33,60	Толуол	2,38
Етиленгліколь	31,69	Бензол	2,28

Таблиця 12

Кріоскопічні та ебуліоскопічні сталі розчинників

Розчинник	K	$t_{\text{зам.}}$	E	$t_{\text{кип.}}$
Бензол	5,12	5,4	2,57	80,2
Вода	1,85	0,0	0,52	100,0
Оцтова кислота	3,90	16,6	3,07	118,5
Хлороформ	4,90	-63,2	3,88	61,2
Етанол	—	—	1,20	78,4

Таблиця 13

Гранична молярна електропровідність водних розчинів електролітів при 298 К

Електроліт	$\lambda_{\text{max}} \cdot 10^4$ $\text{См} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$	Електроліт	$\lambda_{\text{max}} \cdot 10^4$ $\text{См} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{моль}^{-1}$
AgNO ₃	133,36	KCl	149,85
CH ₃ COOH	390,71	K ₂ SO ₄	153,52
CH ₃ COOK	114,40	LiBr	116,82
CH ₃ COONa	91,00	LiCl	115,03
CH ₃ COONH ₄	114,50	Li ₂ SO ₄	118,70
C ₂ H ₅ NH ₃ OH	232,60	NH ₄ Cl	149,95
C ₃ H ₇ COOH	382,41	NH ₄ OH	271,90
CaC ₂ O ₄	133,60	NaCl	126,45
HCl	426,16	Na ₂ SO ₄	130,12
NaNO ₃	121,56	Na ₂ HPO ₄	107,10
KBr	151,64	NaH ₂ PO ₄	86,10

Таблиця 14

Абсолютна швидкість руху (U) і гранична електропровідність (λ_{\max}) іонів у розчинах при безмежному розведенні і температурі 298 К

Катіон	$U \cdot 10^8$ м ² /(В•с)	$\lambda_{\max} \cdot 10^4$ См•м ² /МОЛ Ь	Аніон	$U \cdot 10^8$ м ² /(В•с)	$\lambda_{\max} \cdot 10^4$ См•м ² /МОЛ Ь
Ag ⁺	6,41	61,90	Br ⁻	8,10	78,14
1/3Al ³⁺	6,53	63,00	СНОО ⁻	5,66	54,59
1/2Ba ²⁺	6,59	63,63	СН ₃ СОО ⁻	4,24	40,90
СН ₃ NH ₃ ⁺	6,08	58,72	СН ₂ СlСОО ⁻	4,12	39,80
С ₂ Н ₅ NH ₃ ⁺	3,55	34,30	С ₂ Н ₅ СОО ⁻	3,71	35,80
1/2Ca ²⁺	6,17	59,50	С ₃ Н ₇ СОО ⁻	3,38	32,60
1/2Co ²⁺	5,47	52,80	1/2СО ₃ ²⁻	7,18	69,30
1/3Cr ³⁺	6,94	67,00	1/2С ₂ О ₄ ²⁻	7,68	74,10
Cs ⁺	8,01	77,30	Сl ⁻	7,91	76,35
1/2Cu ²⁺	5,87	56,60	1/2СrО ₄ ²⁻	8,81	85,00
1/2Fe ²⁺	5,52	53,50	F ⁻	5,74	55,40
1/3Fe ³⁺	7,05	68,00	Г ⁻	8,17	78,84
H ₃ O ⁺	36,25	349,81	MnO ₄ ⁻	6,51	62,80
K ⁺	7,62	73,50	NO ₂ ⁻	7,46	72,00
Li ⁺	4,01	38,68	NO ₃ ⁻	7,41	71,46
1/2Mg ²⁺	5,50	53,05	ОН ⁻	20,55	198,30
NH ₄ ⁺	7,63	73,60	H ₂ PO ₄ ⁻	3,73	36,00
Na ⁺	5,19	50,10	1/2H ₂ PO ₄ ²⁻	5,31	57,00
1/2Ni ²⁺	5,60	54,00	1/2SO ₃ ²⁻	7,46	72,00
1/2Pb ²⁺	7,25	70,00	1/2SO ₄ ²⁻	8,29	80,02

Таблиця 15

Питома електропровідність розчинів КСІ (в См•м⁻¹)

Температура, °С	Концентрація розчину, кмоль/м ³		
	0,01	0,02	0,1
15	0,1147	0,2243	1,0480
16	0,1173	0,2290	1,072
18	0,1225	0,2397	1,1190
20	0,1278	0,2501	1,1670
22	0,1332	0,2606	1,2150
24	0,1386	0,2712	1,2650
25	0,1413	0,2765	1,2880

Таблиця 16

Густина (ρ), поверхневий натяг (σ) та в'язкість (η) води при різних температурах

t, °С	ρ , кг/м ³	$\sigma \times 10^3$, Н/м	$\eta \times 10^3$, Па•с
15	999,10	73,48	1,1404
16	998,94	73,34	1,1111
17	998,77	73,20	1,0828
18	998,59	73,05	1,0559
19	998,40	72,89	1,0299
20	998,20	72,75	1,0050
21	997,99	72,60	0,9810
22	997,77	72,44	0,9579
23	997,53	72,28	0,9358
24	997,29	72,12	0,9142
25	997,04	71,96	0,8937
26	996,78	71,80	0,8737