

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ І. І. МЕЧНИКОВА
ФАКУЛЬТЕТ ХІМІЇ ТА ФАРМАЦІЇ

О. В. ПЕРЛОВА, Л. М. СОЛДАТКІНА

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВОДНИХ І НЕВОДНИХ РОЗЧИНІВ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять

**для студентів факультету хімії та фармації
спеціальності 102 «Хімія», 014 «Середня освіта (Хімія)»**

ОДЕСА
ОНУ
2022

УДК 54-3:628.1.03(075.8)
П26

Рецензенти:

Олена Олексіївна Стрельцова – доктор хімічних наук, професор, зав. кафедри фізичної та колоїдної хімії Одеського національного університету імені І. І. Мечникова;

Микола Володимирович Хитрич – кандидат хімічних наук, доцент кафедри неорганічної хімії та хімічної освіти Одеського національного університету імені І. І. Мечникова.

Рекомендовано вченою радою
факультету хімії та фармації ОНУ імені І. І. Мечникова.
Протокол № 7 від 12.04.2022 р.

Перлова О. В.

П26 Теоретичні основи водних і неводних розчинів : метод. вказівки до практичних занять для студентів ф-ту хімії та фармації / О. В. Перлова, Л. М. Солдаткіна. – Одеса : Одес. нац. ун-т ім. І. І. Мечникова, 2022. – 62 с.

Методичні вказівки містять плани 5 практичних занять з дисципліни «Теоретичні основи водних і неводних розчинів», які згідно з робочою програмою відповідають змістовому модулю 1. Наведено основні теоретичні відомості для підготовки до занять, питання та тестові завдання для контролю рівня опорних знань студентів, приклади розв'язання задач, задачі для роботи на занятті та для самостійного опрацювання, контрольні питання та тести для закріплення одержаних на занятті знань.

Рекомендується для аудиторної, самостійної та індивідуальної роботи студентів факультету хімії та фармації.

УДК 54-3:628.1.03(075.8)

©Перлова О. В., Солдаткіна Л. М., 2022
©Одеський національний університет імені І. І. Мечникова, 2022

З М І С Т

ВСТУП	4
Практичне заняття № 1. Розчини. Основні поняття.	
Класифікація розчинів.....	5
Практичне заняття № 2. Способи вираження концентрації	
розчинів	11
Практичне заняття № 3. Розчинність газів, рідин та твердих	
речовин у рідинах	21
Практичне заняття № 4. Термодинаміка і кінетика	
розчинення.....	34
Практичне заняття № 5. Парціальні мольні величини, їх	
розрахунок	47
ЛІТЕРАТУРА	60

ВСТУП

Впровадження навчальної дисципліни «Теоретичні основи водних і неводних розчинів» у навчальний процес студентів факультету хімії та фармації обумовлений великою роллю, яку відіграють розчини у природі, побуті, сільському господарстві, науці (зокрема, в медицині, фармації, біології) та техніці. Хімія розчинів є теоретичною основою гідрометалургії, галургії, аналітичної хімії. Виробництва, в основі яких лежать хімічні процеси, зазвичай пов'язані з розчинами; великотоннажні синтези в хімічній промисловості здійснюються, як правило, в розчинах. Крім того, певні види класифікацій речовин базуються на їх властивостях у розчинах.

Знання теоретичних основ водних і неводних розчинів знадобляться студентам при вивченні загальнохімічних дисциплін – аналітичної, органічної, фізичної, колоїдної хімії, хімії координаційних сполук тощо.

Підготовка і видання методичних вказівок, які пропонуються, обумовлені необхідністю формування у студентів системних знань з даного розділу хімії. Оволодіння системними знаннями складає основу для створення у студентів хімічного стилю мислення. Зважаючи на те, що системний підхід передбачає всебічне вивчення певної проблеми, він є корисним у випадках, коли намагаються дослідити об'єкт з різних боків, комплексно.

Виконуючи запропоновані завдання під час проведення практичних занять, студент знайомиться з методами та прийомами, які дозволяють отримати реальні відомості про властивості водних та неводних розчинів, що підвищує зацікавленість до досліджень, поглиблює та закріплює практичні навички, дозволяє накопичити досвід, який у подальшій самостійній діяльності хіміка (та викладача хімії) дасть змогу студентові вирішувати наукові, педагогічні та виробничі задачі.

Практичне заняття № 1

РОЗЧИНИ. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ. КЛАСИФІКАЦІЯ РОЗЧИНІВ

Мета: поглибити знання студентів щодо основних понять, які використовуються при вивченні розчинів; систематизувати знання студентів щодо класифікації розчинів за різними ознаками.

Основні поняття: істинний розчин, розчинник, розчинена речовина, гомогенна система, тверді розчини.

Навчальний час: 2 години

ПЛАН

I. Основні питання теми

1. Сучасні формулювання поняття «істинний розчин».
2. Зіставлення розчинів з хімічними сполуками та механічними сумішами.
3. Принципи визначення розчинника і розчиненої речовини у складі розчину.
4. Класифікація розчинів.
5. Використання розчинів у природі, побуті, медицині, фармації, техніці тощо.

II. Контроль опорних знань

2.1. Вимоги до теоретичної готовності студентів до виконання практичного заняття

В результаті підготовки до заняття студент повинен

Знати:

- визначення істинного розчину;
- відмінні ознаки істинного розчину;
- складові частини розчину;
- схожість та відмінність розчинів від хімічних сполук і механічних сумішей;
- принципи класифікації розчинів.

Вміти:

- наводити приклади розчинів та галузі їх використання;

- розрізняти істинні розчини та колоїдні розчини;
- визначати речовини, які є розчинником та розчиненою речовиною при утворенні розчинів;
- формулювати переваги здійснення хімічних реакцій та технологічних процесів у розчинах.
- здійснювати класифікацію рідких розчинів за різними ознаками.

2.2. Питання для перевірки базових знань за темою заняття

Питання для перевірки вхідних знань

1. Який розчин називається істинним?
2. Який розмір частинок розчиненої речовини у істинних розчинах?
3. Якою системою є істинний розчин – гомогенною чи гетерогенною?
4. Порівняйте істинні розчини з хімічними сполуками.
5. Порівняйте істинні розчини з механічними сумішами.
6. Скільки компонентів утворює розчин?
7. Чи можливо розглядати розчини як дисперсні системи? Відповідь обґрунтуйте.

Тести для перевірки вхідного рівня знань

1. Оберіть вірне визначення істинного розчину:
 - а) гетерогенна система, у якій частинки однієї з речовини можна побачити у промені світла;
 - б) суміш двох рідин, що не змішуються;
 - в) гомогенна багатокомпонентна система змінного складу;
 - г) гетерогенна система, у якій частинки однієї з речовин можна побачити візуально.
2. Який розмір (м) частинок у істинному розчині?
 - а) менший від 10^{-9} ;
 - б) $10^{-7} - 10^{-9}$;
 - в) $10^{-5} - 10^{-7}$;
 - г) $10^{-3} - 10^{-5}$.
3. За якою ознакою істинний розчин схожий з колоїдним?

- а) за прозорістю;
- б) за здатністю до осадження дисперсної фази;
- в) за спроможністю до коагуляції;
- г) за наявністю електричного заряду.

4. Істинним розчином є

- а) глина у воді;
- б) кров;
- в) цукор у воді;
- г) крохмаль у воді.

5. Яка з наведених речовин розчиняється у воді?

- а) олія;
- б) нітратна кислота;
- в) метан;
- г) золото.

6. Оберіть ознаки, спільні для розчинів та механічних сумішей:

- а) можуть бути розділені на компоненти фізичними методами;
- б) при їх утворенні протікають хімічні реакції;
- в) не мають сталого складу;
- г) при їх утворенні змінюється об'єм, може виділятися чи поглинатися теплота;
- д) однорідність системи.

III. Обговорення теоретичних питань

Існує кілька тотожних сучасних формулювань істинних розчинів.

1. Розчини – це гомогенні (однорідні) багатокомпонентні системи змінного складу, які можуть безперервно змінюватись в певних межах без стрибкоподібної зміни їх властивостей.

2. Розчини – це термодинамічно стійкі гомогенні системи змінного складу, які складаються з двох чи більше речовин та утворюються самочинно (зі зменшенням вільної енергії Гіббса чи Гельмгольца $\Delta G < 0$; $\Delta F < 0$).

3. Розчини – це дисперсні системи з молекулярним чи іонним ступенем дисперсності дисперсної фази (розчиненої речовини).

За агрегатним станом розрізняють газоподібні, рідкі та тверді розчини.

Рідкі розчини підрозділяють за:

1) здатністю до асоціації та дисоціації (за здатністю проводити чи не проводити електричний струм) – на розчини електролітів (іонні) та розчини неелектролітів (молекулярні);

2) молекулярною масою розчинених речовин – на низькомолекулярні та високомолекулярні розчини;

3) агрегатним станом розчиненої речовини – на розчини газів, рідин та твердих речовин у рідинах (у випадку розчинів рідин у рідинах рідини мають необмежено змішуватись одна з одною);

4) концентрацією розчиненої речовини:

- розбавлені (масова частка розчиненої речовини менша за 10 %) та концентровані;
- насичені, ненасичені, пересичені розчини.

У рідких розчинах розрізняють розчинник та розчинену речовину.

Розчинником називають рідку складову розчину яка, як правило, знаходиться у надлишку порівняно з розчиненою речовиною і після закінчення процесу розчинення знаходиться у попередньому (тобто рідкому) агрегатному стані. Розчинники підрозділяють на воду (водні розчини) та неводні (спирти, індивідуальні вуглеводні, фракції вуглеводнів, кислоти, етери та естери тощо).

Якщо розчинник і розчинена речовина близькі за природою або містяться у розчині практично у рівних кількостях, поділ на розчинник та розчинену речовину умовний (приклад – вода –етанол). Але у випадку розчинів електролітів у воді розчинником завжди є вода незалежно від концентрації розчиненої речовини (приклад 96 % розчин сульфатної кислоти у воді).

Позначення складових частин розчину проводиться шляхом написання нижніх індексів 1, 2, 3 ... Причому індекс 1 належить розчинникові.

IV. Практичні завдання

4.1. Зміст завдань

Хімічна естафета на тему «Використання розчинів»

Студенти розділяються на дві команди.

1 тур. Кожний студент команди № 1 називає реальний розчин, студенти з команди № 2 пропонують галузі його використання.

2 тур. Команди № 1 і № 2 міняються місцями.

Викладач фіксує правильність прикладів істинних розчинів, повноту наведення галузей їх використання.

4.3. Матеріали контролю для заключного етапу заняття

1. Написати есе на тему «Розчини в моєму житті».

Тестові завдання для закріплення знань

1. Виберіть твердження, яке характеризує рідкий розчин:

- а) неоднорідна суміш кількох речовин;
- б) неоднорідна суміш речовин в рідкому стані;
- в) хімічна речовина у рідкому стану;
- г) однорідна суміш в рідкому агрегатному стані.

2. Приготували розчин, що містить 50 % метанолу у воді. Визначте, сполуку, яка є розчиненою речовиною.

- а) вода;
- б) метанол;
- в) і вода, і метанол, поділ умовний.

3. Оберіть ознаки, спільні для розчинів та хімічних сполук:

- а) можуть бути розділені на компоненти фізичними методами;
- б) мають сталий склад;
- в) при їх утворенні змінюється об'єм, може виділятися чи поглинатися теплота;
- г) система є однорідною.

4. Оберіть розчини електролітів:

- а) КОН у воді;
- б) C_2H_5OH у воді;

- в) AgCl у воді;
- г) CH_3COOH у гексані.

5. Оберіть тверді розчини:

- а) мінерал пірит;
- б) перлина;
- в) мідний купорос;
- г) сплав золота і срібла.

6. Приготували розчин, що містить 50 % нітратної кислоти у воді. Визначте речовину, яка є розчинником:

- а) вода;
- б) нітратна кислота;
- в) і вода, і нітратна кислота, поділ умовний.

7. Вкажіть найкращий розчинник гептану:

- а) вода;
- б) етанол;
- в) бензен;
- г) амоніак.

4.4. Питання (завдання) для самостійної позааудиторної роботи (домашнє завдання)

1. Скласти кросворд (не менше 20 слів) на тему «Розчини».
3. Підготувати презентацію на тему «Використання розчинів» (не менше 15 слайдів).

V. Підведення підсумків

Практичне заняття № 2

СПОСОБИ ВИРАЖЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ РОЗЧИНІВ

Мета: поглибити знання студентів щодо способів вираження концентрації розчинів. Сформувані у студентів вміння та навички взаємного перерахунку різних видів концентрацій.

Основні поняття: концентрація; масова, об'ємна, мольна частка розчиненої речовини, молярна концентрація, молярна концентрація еквівалентів, молярна концентрація, титр.

Навчальний час: 2 години

ПЛАН

I. Основні питання теми

1. Вираження вмісту розчиненої речовини у масових, об'ємних та мольних частках.
2. Молярна концентрація.
3. Молярна концентрація еквівалентів. Фактор еквівалентності.
4. Молярна концентрація.
5. Титр розчину.

II. Контроль опорних знань

2.1. Вимоги до теоретичної готовності студентів до виконання практичного заняття

В результаті підготовки до заняття студент повинен

Знати:

- визначення поняття «концентрація» розчину;
- основні способи вираження концентрації розчину;
- відмінність між різними способами вираження концентрації розчинів;
- символічні позначення певного виду концентрації;
- одиниці вимірювання різних видів концентрації.

Вміти:

- розраховувати масову, об'ємну, молярну частку розчиненої речовини в розчині;

- розраховувати молярну, моляльну концентрацію;
- розраховувати молярну концентрацію еквівалентів;
- розраховувати титр розчину;
- здійснювати перерахунок між різними видами концентрації.

2.2. Питання для перевірки базових знань за темою заняття

Питання для перевірки вхідних знань

1. З якою метою використовується концентрація при використанні розчинів у хімії, фармації, побуті?
2. В яких межах може змінюватись концентрація розчину?
3. Наведіть приклади розчинів лікарських речовин з різними концентраціями.
4. Чим відрізняються молярна концентрація і молярна концентрація еквівалентів? Яка з цих величин зазвичай більша?
5. В якому випадку молярна концентрація і молярна концентрація еквівалентів є рівними?
6. Чим відрізняються молярна і моляльна концентрація?
7. Яку фізичну властивість розчину слід знати, щоб перерахувати моляльну концентрацію на молярну?
8. З якою метою використовується титр?

Тести для перевірки вхідного рівня знань

1. Вкажіть кількісну характеристику складу розчину:
 - а) маса;
 - б) об'єм;
 - в) концентрація;
 - г) густина.
2. Як найчастіше виражають вміст розчиненої речовини у розчинах, які використовуються у медицині?
 - а) молярна концентрація;
 - б) титр;
 - в) об'ємна частка;
 - г) масова частка.

3. Оберіть твердження, яке визначає величину χ_2 як відношення:

- а) маси розчину до його об'єму;
- б) кількості моль розчиненої речовини до об'єму розчину;
- в) кількості моль розчиненої речовини до суми кількості моль розчиненої речовини і розчинника;
- г) кількості моль розчинника до суми кількості моль розчиненої речовини і розчинника;
- д) кількості моль розчинника до маси розчинника.

4. Оберіть вірне позначення моляльної концентрації:

- а) C_M ;
- б) C_m ;
- в) S ;
- г) ω .

5. Оберіть види концентрації, для розрахунку яких слід використати об'єм розчину:

- а) масова частка;
- б) титр;
- в) молярна концентрація еквівалентів;
- г) мольна частка.

6. Оберіть види концентрації, для розрахунку яких слід використати масу розчинника:

- а) моляльна концентрація;
- б) масова частка;
- в) молярна концентрація;
- г) титр.

III. Обговорення теоретичних питань

Однією з найважливіших характеристик розчину є відносний вміст в розчині розчиненої речовини і розчинника, який називається концентрацією розчину.

При розрахунку концентрацій прийнято величини з індексом 1 відносити до розчинника; з індексом 2 – до розчиненої речовини.

Кількісно концентрацію розчину виражають багатьма способами, але найчастіше використовують такі.

1. Масова частка розчиненої речовини (ω) – відношення маси розчиненої речовини до маси розчину:

$$\omega = \frac{m_{\text{речовини}}}{m_{\text{розчину}}} \quad (2.1)$$

2. Об'ємна частка розчиненої речовини (φ) – відношення об'єму розчиненої речовини (газоподібної або рідкої) до об'єму розчину:

$$\varphi = \frac{V_{\text{речовини}}}{V_{\text{розчину}}} \quad (2.2)$$

3. Мольна частка i -го компоненту розчину (χ_i):

$$\chi_i = \frac{n_i}{\sum n_i} \quad (2.3)$$

4. Молярна концентрація (C або C_M) – кількість моль розчиненої речовини в одиниці об'єму розчину (найчастіше в 1 л). $[C_M] = \text{моль/л} = \text{моль/дм}^3$; моль/м^3 (СИ):

$$C_M = \frac{n_{\text{речовини}}}{V_{\text{розчину}}} = \frac{m_{\text{речовини}}}{M_{\text{речовини}} \cdot V_{\text{розчину}}} \quad (2.4)$$

1 М – одномолярний розчин; 0,1 М – децимолярний розчин; 0,01 – сантімолярний розчин; 0,001 – мілімолярний розчин.

5. Молярна концентрація еквівалентів (еквівалентна, або нормальна, концентрація), ($C_{\text{екв.}}$) – кількість речовини еквівалента розчиненої речовини в одиниці об'єму розчину (частіше в 1 л).

$[C_{\text{екв.}}] = \text{моль/л} = \text{моль/дм}^3$; моль/м^3 (СИ):

$$C_{\text{екв.}} = \frac{n_{\text{екв. речовини}}}{V_{\text{розчину}}} = \frac{m_{\text{речовини}}}{M_{\text{екв. речовини}} \cdot V_{\text{розчину}}} \quad (2.5)$$

6. Моляльна концентрація (моляльність) (C_m або m або b) – кількість моль розчиненої речовини в 1 кг розчинника. $[C_m] = \text{моль/кг}$:

$$C_m = \frac{n_{\text{речовини}}}{m_{\text{розчинника}}} = \frac{m_{\text{речовини}}}{M_{\text{речовини}} \cdot m_{\text{розчинника}}} \quad (2.6)$$

7. Титр (T) розчину – маса (г) розчиненої речовини і 1 мл (см^3) розчину. $[T] = \text{г/мл}$:

$$T = \frac{m_{\text{речовини}}}{V_{\text{розчину}}} \quad (2.7)$$

IV. Практичні завдання

4.1. Зміст завдань

Розв'язання задач

1. Для лікування запалення середнього вуха використовують 3 % розчин фенолу в гліцерині (вушні краплі). Виразіть склад лікарської форми в мольних частках.

2. Водний розчин з масовою часткою нікотинової кислоти $C_6H_5O_2N$ (вітамін PP) 1 % вводять внутрішньовенно при ішемічному інсульті. Розрахуйте маси компонентів, необхідні для приготування 100 ампул цієї лікарської форми, якщо кожна ампула містить 1 мл 1 % розчину. Виразіть склад ін'єкційного розчину різними способами. Густина розчину прийміть рівною 1 г/мл.

3. Димексид $(CH_3)_2SO$ застосовується у вигляді 10, 30, 50 та 70 % водних розчинів для зменшення запальних явищ та знеболювання при комплексній терапії ревматоїдного артриту та інших захворювань. Розрахуйте мольні частки компонентів у кожній з вказаних лікарських форм.

4. Розв'яжіть задачі та заповніть пусті місця у таблиці

№	Розчинена речовина	Концентрація, розчину	Об'єм (маса) розчину	m_1 , г	m_2 , г
1	$AgNO_3$	4 М	500 мл	-	?
2	$AlCl_3$	5 %	250 г	?	?
3	$Al_2(SO_4)_3$	1 %	200 г	?	?
4	$BaCl_2$	0.05 М	2 л	-	?
5	$ZnCl_2$	$\chi_2 = 0.01$	300 мл	?	?
6	$CaBr_2$	? (М)	150 мл		20
7	$CaCl_2$	? (%)	50 г	?	4
8	$Ca(NO_3)_2$	? (χ_2)	100 г	75	?
9	$NaOH$	? ($C_{\text{екв.}}$)	?	90	10
10	$NaCl$	? (Т)	25 мл		2

4.2. Рекомендації (інструкції) щодо виконання завдань (алгоритми виконання завдань).

Задача 1

Визначити масу натрій гідроксиду, необхідну для приготування 250 мл децимолярного розчину.

Дано:

$$V(p\text{-ну}) = 250 \text{ мл} = 0,25 \text{ л}$$

$$C_M = 0,1 \text{ моль/л}$$

$$m(\text{NaOH}) - ?$$

Розв'язання

1. Обчислюємо кількість речовини (n) натрій гідроксиду в 250 мл розчину:

$$n = C_M \cdot V_{p\text{-ну}}$$

$$n(\text{NaOH}) = 0,1 \text{ моль/л} \cdot 0,25 \text{ л} = 0,025 \text{ моль}$$

2. Обчислюємо масу натрій гідроксиду, необхідного для приготування розчину

$$m = n \cdot M$$

$$m(\text{NaOH}) = 0,025 \text{ моль} \cdot 40 \text{ г/моль} = 1 \text{ г.}$$

Відповідь: для приготування 250 мл децимолярного розчину потрібно 1 г натрій гідроксиду.

Задача 2

При 15 °C 20 % розчин сульфатної кислоти має густину 1,145 г/мл. Перерахуйте вказану концентрацію цього розчину на молярну, нормальну, моляльну концентрації та концентрацію в мольних частках.

Розв'язання

1. Розрахунок молярної концентрації

$$C_M = \frac{1000 \cdot \rho \cdot m_2}{M_2 \cdot 100} = \frac{1000 \cdot 1,145 \cdot 20}{98 \cdot 100} = 2,31 \text{ моль / л.}$$

2. Розрахунок молярної концентрації еквівалента (нормальної концентрації)

$$C_{\text{екв.}} = \frac{1000 \cdot \rho \cdot m_2}{M_{\text{екв.}} \cdot 100} = \frac{1000 \cdot 1,145 \cdot 20}{49 \cdot 100} = 4,62 \text{ моль / л.}$$

3. Розрахунок моляльної концентрації (прийняли, що маса розчину дорівнює 100 г)

$$C_m = \frac{1000 \cdot m_2}{M_2 \cdot (100 - m_2)} = \frac{1000 \cdot 20}{98 \cdot (100 - 20)} = 2,55 \text{ моль / кг.}$$

4. Розрахунок концентрації в мольних частках (прийняли, що маса розчину дорівнює 100 г)

$$\chi_2 = \frac{m_2 / M_2}{m_2 / M_2 + \frac{100 - m_2}{M_1}} = \frac{20 / 98}{20 / 98 + \frac{100 - 20}{18}} = 0,044.$$

Відповідь: $C_M=2,31$ моль/л; $C_{\text{екв.}}=4,62$ моль/л; $C_m=2,55$ моль/кг; $\chi_2=0,044$.

4.3. Матеріали контролю для заключного етапу заняття

Розв'язання задач (за індивідуальними варіантами)

1. Виразіть концентрацію водного розчину через молярність, моляльність, мольні частки та молярну концентрацію еквівалентів (нормальність).

№	Розчинена речовина	Задана концентрація, масова частка, %	Густина розчину, г/мл	Температура, °C
1	AgNO ₃	50	1,668	20
2	AlCl ₃	30	1,242	18
3	Al ₂ (SO ₄) ₃	20	1,226	19
4	BaCl ₂	10	1,092	20
5	BeCl ₂	14	1,095	18
6	CaBr ₂	25	1,250	20
7	CaCl ₂	30	1,282	20
8	Ca(NO ₃) ₂	30	1,259	18

2. Виразіть концентрацію водного розчину через масові частки, мольні частки, моляльність та молярну концентрацію еквівалентів (нормальність).

№	Розчинена речовина	Задана концентрація, моль/л	Густина розчину, г/мл	Температура, °С
1	AgNO ₃	1,405	1,194	20
2	AlCl ₃	1,185	1,129	18
3	BaCl ₂	1,444	1,253	20
4	CaCl ₂	1,190	1,101	20
5	Ca(NO ₃) ₂	1,100	1,128	18

3. Виразіть концентрацію водного розчину через масові частки, мольні частки, молярність та молярну концентрацію еквівалентів (нормальність).

№	Розчинена речовина	Задана концентрація, моль/кг	Густина розчину, г/мл	Температура, °С
1	Cu(NO ₃) ₂	1,33	1,189	20
2	CuCl ₂	1,86	1,205	20
3	FeCl ₂	1,97	1,200	18
4	CuSO ₄	1,37	1,206	20
5	FeSO ₄	1,65	1,213	18

Тестові завдання для закріплення знань

1. Оберіть одну чи кілька вірних відповідей щодо визначення концентрації розчинів:

- це відношення маси або кількості розчиненої речовини до одиниці маси чи об'єму розчину;
- це величина, яка характеризує кількість даного компонента у багатокомпонентній гетерогенній системі;
- це величина, яка характеризує відносну кількість даного компонента в гомогенній системі в об'ємному, масовому або молярному вимірах;
- це показник, що характеризує вміст твердого матеріалу у певному об'ємі гідросуміші.

2. Оберіть твердження, яке визначає величину χ_1 як відношення:

- а) маси розчину до його об'єму;
- б) кількості моль розчиненої речовини до об'єму розчину;
- в) кількості моль розчиненої речовини до суми кількості моль розчиненої речовини і розчинника;
- г) кількості моль розчинника до суми кількості моль розчиненої речовини і розчинника;
- д) кількості моль розчинника до маси розчинника.

3. Оберіть вірне позначення молярної концентрації:

- а) C_M ;
- б) C_m ;
- в) S ;
- г) ω .

4. Оберіть види концентрації, для розрахунку яких слід використати масу розчину:

- а) масова частка;
- б) титр;
- в) молярна концентрація еквівалентів;
- г) мольна частка.

5. Оберіть твердження, яке визначає густину розчину як відношення:

- а) маси розчиненої речовини до об'єму розчину;
- б) маси розчиненої речовини до маси розчину;
- в) маси розчину до об'єму розчину;
- г) об'єму розчинника до об'єму розчину.

6. Який спосіб вираження концентрації розчину НЕ МОЖНА використовувати, якщо розчинена речовина знаходиться у твердому агрегатному стані?

- а) масова частка;
- б) об'ємна частка;
- в) молярна частка;
- г) титр.

4.4. Питання (завдання) для самостійної позааудиторної роботи (домашнє завдання)

Розв'язання задач (за індивідуальними завданнями)

1. Виразіть концентрацію водного розчину через масові частки, молярність, моляльність та молярну концентрацію еквівалентів (нормальність).

№	Розчинена речовина	Задана концентрація, мольні частки	Густина розчину, г/мл	Температура, °C
1	HCl	0,05	1,05	20
2	HBr	0,25	1,679	20
3	AlCl ₃	0,083	1,341	15
4	CaBr ₂	0,084	1,635	20
5	CaCl ₂	0,10	1,396	20

2. Виразіть концентрацію водного розчину через масові частки, молярність, моляльність та мольні частки, якщо відома молярна концентрація еквівалентів.

№	Розчинена речовина	Задана концентрація, моль/л	Густина розчину, г/мл	Температура, °C
1	AlCl ₃	1,93	1,071	18
2	BaCl ₂	2,00	1,179	20
3	CaCl ₂	2,38	1,101	20
4	Ca(NO ₃) ₂	4,604	1,259	18
5	CdSO ₄	2,068	1,198	18

V. Підведення підсумків

Практичне заняття № 3

РОЗЧИННІСТЬ ГАЗІВ, РІДИН ТА ТВЕРДИХ РЕЧОВИН У РІДИНАХ

Мета: узагальнити знання про розчинність газів, рідин та твердих речовин у рідинах, про вплив температури, тиску, концентрації домішок на розчинність; опрацювати розрахунок розчинності різних речовин.

Основні поняття: розчинність; ненасичений, насичений, пересичений розчин.

Навчальний час: 4 години

ПЛАН

I. Основні питання теми

1. Розчинність (визначення, способи вираження, одиниці вимірювання).
2. Ненасичені, насичені, пересичені розчини (визначення, термодинамічне обґрунтування).
3. Розчини газів у рідинах. Приклади. Розчинність. Вплив температури, тиску, концентрації електролітів на розчинність газів.
4. Розчини рідин у рідинах. Приклади. Розчинність.
5. Розчини твердих речовин у рідинах. Приклади. Розчинність. Вплив природи розчинника і розчиненої речовини, температури на розчинність.

II. Контроль опорних знань

2.1. Вимоги до теоретичної готовності студентів до виконання практичного заняття

В результаті підготовки до заняття студент повинен

Знати:

- визначення поняття «розчинність»;
- визначення ненасичених, насичених та пересичених розчинів;
- вплив природи розчиненої речовини на її розчинність;
- вплив температури на розчинність газів, рідин та твердих речовин;

- вплив тиску на розчинність газів;
- вплив концентрації електролітів у розчині на розчинність газів.

Вміти:

- розрізняти ненасичені, насичені та пересичені розчини;
- термодинамічно обґрунтовувати утворення ненасичених, насичених та пересичених розчинів;
- розраховувати розчинність речовин при певній температурі;
- формулювати закон Генрі;
- аналізувати рівняння Сеченова;
- визначати характер впливу температури на розчинність речовин;
- визначати теплоту розчинення.

2.2. Питання для перевірки базових знань за темою заняття

Питання для перевірки вхідних знань

1. Яка властивість речовини називається розчинністю?
2. Що є мірою розчинності речовини?
3. Які одиниці вимірювання розчинності Ви знаєте?
4. Порівняйте розчинність речовини з концентрацією насичених, ненасичених, пересичених розчинів.
5. Наведіть фактори, від яких залежить величина розчинності речовин.
6. Яким чином тиск впливає на розчинність газів?
7. Як змінюється розчинність газів при підвищенні температури?
8. В якому середовищі розчинність газів більша – у річковій чи океанській воді? Відповідь обґрунтуйте.
9. Як впливає температура на розчинність рідин?
10. Як впливає температура на розчинність твердих речовин у рідинах?
11. Чим пояснюється аномально висока розчинність амоніаку у воді?
12. Як впливає природа хімічного зв'язку між атомами у молекулі розчиненої речовини на її розчинність у воді?

13. Яким чином впливає утворення водневого зв'язку між молекулами розчиненої речовини і розчинника на розчинність даної речовини в даному розчиннику?

Тести для перевірки вхідного рівня знань

1. Оберіть вірне співвідношення між концентрацією розчиненої речовини у ненасиченому розчині та розчинністю даної речовини:

- а) концентрація розчиненої речовини у розчині дорівнює її розчинності при даній температурі;
- б) концентрація розчиненої речовини у розчині менша за її розчинність;
- в) концентрація розчиненої речовини у розчині більша за її розчинність при даних температурі та тиску;
- г) концентрація розчиненої речовини у розчині дорівнює розчинності розчиненої речовини при даному тиску.

2. Розчин якої речовини у воді буде насиченим, але розведеним:

- а) гіпсу;
- б) мідного купоросу;
- в) питної соди;
- г) кальцинованої соди.

3. У гранично розбавлених розчинах концентрація розчиненої речовини складає:

- а) 0,01-0,02 М;
- б) 0,03-0,04 М;
- в) 0,05-0,06 М;
- г) 0,07-0,08 М.

4. Розчинність рідких речовин у воді збільшується, якщо:

- а) збільшити тиск;
- б) розчин нагріти;
- в) розчин охолодити;
- г) зменшити тиск.

5. Розчинення речовин у воді супроводжується:

- а) лише дифузії;

- б) лише виділенням теплоти;
- в) зростанням тиску;
- г) одночасно дифузією і поглинанням або виділенням теплоти.

6. Ненасичений розчин солі у воді можна перевести в насичений наступним чином:

- а) випарувати розчин;
- б) додати сіль;
- в) поставити в темне місце;
- г) додати воду.

7. Розчинність газів зменшується, якщо:

- а) розчин нагріти;
- б) збільшити тиск;
- в) розчин охолодити;
- г) зменшити тиск.

8. При розчиненні газів у рідині теплота...

- а) поглинається;
- б) виділяється;
- в) може виділятися або поглинатися залежно від природи газу.

9. Яким принципом якісно описується вплив природи компонентів розчину на розчинність?

- а) повна маса замкненої системи залишається постійною;
- б) будь-яка хімічна сполука, незалежно від способу її отримання, завжди містить певні елементи в однаковому ваговому відношенні;
- в) подібне розчиняється у подібному;
- г) Ле-Шательє.

10. Як змінюється розчинність речовини при утворенні між нею та розчинником водневого зв'язку?

- а) зростає;
- б) не змінюється;
- в) зменшується;
- г) залежить від умов та природи речовин.

11. Як змінюється розчинність твердих речовин у воді з підвищенням температури

- а) не змінюється;
- б) завжди збільшується;
- в) завжди зменшується;
- г) може збільшуватись або зменшуватись залежно від природи речовини;
- д) спочатку збільшується, потім зменшується.

12. Які чинники ЗАВЖДИ впливають на розчинність речовин:

- а) природа розчинника і розчиненої речовини;
- б) тиск;
- в) концентрація домішок;
- г) температура.

III. Обговорення теоретичних питань

Розчинністю називається властивість речовини розчинятися у тому чи іншому розчиннику. Мірою розчинності речовини є концентрація її насиченого розчину S .

Розчинність газів у рідинах залежить від природи газу та розчинника, тиску, температури на концентрації електролітів.

Залежність розчинності газів від парціального тиску у розбавлених розчинах виражається законом Генрі:

$$S = k_{\Gamma} \cdot P, \quad (3.1)$$

де S – розчинність газу у рідині (концентрація насиченого розчину газу), k – коефіцієнт пропорційності, що залежить від температури та природи газу (константа Генрі). Константа Генрі залежить від способу вираження розчинності та одиниць вимірювання тиску.

При визначенні розчинності газів використовують також коефіцієнт абсорбції газу (константа Бунзена) α – кількість об'ємів газу, які поглинаються одиницею об'єму розчинника при н. у. Часто закон Генрі записують, використовуючи мольну частку газу у розчині:

$$\chi_{2(\text{роз.})} = k_{\Gamma} \cdot P, \quad (3.2)$$

де P – парціальний тиск газу над розчином

$$P = \chi_{2(\text{газ.})} \cdot P_{\text{газ.}} \quad (3.3)$$

Залежність розчинності газів від температури виражається рівнянням:

$$\ln \frac{S_2}{S_1} = -\frac{\Delta H_{\text{розч.}}}{R} \cdot \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right), \quad (3.4)$$

де S_1 і S_2 – розчинність газів у рідині при температурах T_1 і T_2 ; $\Delta H_{\text{розч.}}$ – теплота розчинення, Дж/моль.

Залежність розчинності газів у рідині від концентрації електролітів виражається рівнянням Сеченова (S_0 і S – розчинність газу у чистому розчиннику та розчині електроліту з концентрацією $C_{\text{ел.}}$; k' – константа, що залежить від природи газу і температури):

$$S = S_0 \cdot e^{-k' \cdot C_{\text{ел.}}} \quad (3.5)$$

Вплив температури на розчинність твердих речовин залежить від теплового ефекту, який має місце при розчиненні даної речовини, тому при підвищенні температури розчинність твердих речовин може як збільшуватись (якщо при розчиненні теплота поглинається), так і зменшуватись (якщо при розчиненні теплота виділяється).

IV. Практичні завдання

4.1. Зміст завдань

Розв'язання задач

1. Крізь $2,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ води продувають сухе повітря при 283 К та $1,01 \cdot 10^6 \text{ Па}$. Визначте концентрації χ_2 азоту і кисню у воді при досягненні рівноваги, враховуючи, що розчин ідеальний. Коефіцієнти Генрі при 283 К складають для азоту $677,14 \cdot 10^7 \text{ Па}$, а для кисню $331,44 \cdot 10^7 \text{ Па}$.

2. Скільки грамів CO_2 розчиниться у $0,001 \text{ м}^3$ води при 20 °С, якщо над водою знаходиться повітря, що містить 0,03 % CO_2 , а об'єм розчиненого газу (приведений до 0 °С та 760 мм рт. ст.) складає $0,878 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$?

3. При тиску 154,6 кПа в 1 л аніліну розчиняється 31,6 г H_2S . Скільки грамів H_2S виділиться з 1 л розчину, якщо зменшити тиск H_2S до 52,0 кПа?

4. При 15 °С розчинність водню у воді та водних розчинах NaCl характеризується наступними коефіцієнтами абсорбції (α):

C(NaCl), моль/л	0	1,0	2,0	3,0
α	0,01833	0,01478	0,01144	0,00880

Скільки кг водню розчиниться в 1 м³ води та в 1 м³ розчину, що містить 3 кг/м³ NaCl, при 15 °С та парціальному тиску водню $1,013 \cdot 10^5$ н/м²?

5. Яку масу калій хлориду слід взяти для приготування насиченого при 20 °С розчину, якщо маса води складає 250 г, а коефіцієнт розчинності калій хлориду при даній температурі дорівнює 34,2.

6. Яку масу калій нітрату і води слід використати для приготування 150 г насиченого при 40 °С розчину, якщо k_{40} (KNO₃) = 63,9?

Дискусія щодо реальних ситуацій (питань практичного спрямування)

1. Як Ви вважаєте, у яких водоймах (географічне положення, клімат, температура, атмосферний тиск) створюються найсприятливіші умови для життєдіяльності водних організмів (риб)? Відповідь обґрунтуйте.

2. Чим обумовлене «цвітіння» водойм влітку? Які його наслідки?

3. Чому у Чорному морі влітку спостерігається викид сірководню? Які його наслідки?

4.2. Рекомендації (інструкції) щодо виконання завдань (алгоритми виконання завдань)

Задача 1

При 298 К та 51987 Па розчинність Н₂ в аніліні складає 10,6 кг/м³, а при 154628 Па та тій самій температурі – 31,6 кг/м³. Чи виконується за цих умов закон Генрі?

Розв'язання

$$S = k_{\Gamma} \cdot P$$

$$k_{\Gamma} = S / P$$

$$k'_{\Gamma} = S_1 / P_1 = \frac{10,6}{51987} = 2,04 \cdot 10^{-4}$$

$$k''_{\Gamma} = S_2 / P_2 = \frac{31,6}{154628} = 2,04 \cdot 10^{-4}$$

$k'_{\Gamma} = k''_{\Gamma}$ - закон Генрі дотримується

Відповідь: закон Генрі виконується.

Задача 2

Обчисліть константу Генрі для азоту при 298 К та 760 мм рт. ст. Коефіцієнт Бунзена $\alpha = 0,0143$. Густина води складає $0,997 \text{ г/см}^3$.

Розв'язання

$$\chi_{2(\text{роз.})} = k_{\Gamma} \cdot P$$

$$k_{\Gamma} = \chi_{2(\text{роз.})} / P$$

Для розрахунку константи Генрі слід розрахувати мольну частку азоту у розчині $\chi_{2(\text{роз.})}$.

Якщо об'єм води 1 см^3 , то

$$V_{N_2} = \alpha \cdot V_{H_2O} = 0,0143 \cdot 1 = 0,0143 \text{ см}^3 = 0,0143 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Розрахуємо кількість речовини азоту з використанням рівняння Менделєєва-Клапейрона

$$n_{N_2} = \frac{P \cdot V_{N_2}}{RT} = \frac{1,013 \cdot 10^5 \cdot 0,0143 \cdot 10^{-6}}{8,314 \cdot 298} = 5,85 \cdot 10^{-7} \text{ моль}$$

$$n_{H_2O} = \frac{m_{H_2O}}{M_{H_2O}} = \frac{V_{H_2O} \cdot \rho_{H_2O}}{M_{H_2O}} = \frac{1 \cdot 0,997}{18} = 0,0554 \text{ моль}$$

$$\chi_{2(\text{розч.})} = \frac{n_{N_2}}{n_{N_2} + n_{H_2O}} = \frac{5,85 \cdot 10^{-7}}{5,85 \cdot 10^{-7} + 0,0554} = 1,06 \cdot 10^{-5}$$

$$k_{\Gamma} = \frac{\chi_{2(\text{розч.})}}{P} = \frac{1,06 \cdot 10^{-5}}{1,013 \cdot 10^5} = 1,04 \cdot 10^{-10} \text{ Па}^{-1}$$

Відповідь: $k_{\Gamma} = 1,04 \cdot 10^{-10} \text{ Па}^{-1}$.

Задача 3

Обчисліть теплоту розчинення азоту у воді ($P_{N_2} = 760$ мм рт. ст.), використовуючи залежність константи Генрі від температури:

T, К	273	283	293	303
$1/k_H \cdot 10^{-7}$, мм рт. ст.	4,02	5,08	6,12	7,02

Розв'язання

Для розрахунку теплоти розчинення азоту використовуємо рівняння (3.4).

З врахуванням закону Генрі дане рівняння набуває вигляду:

$$\ln \frac{k_{H,2} \cdot P}{k_{H,1} \cdot P} = -\frac{\Delta H_{розч.}}{R} \cdot \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

або після скорочення тиску у лівій частині:

$$\ln \frac{k_{H,2}}{k_{H,1}} = -\frac{\Delta H_{розч.}}{R} \cdot \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

Звідси

$$\Delta H_{розч.} = -\frac{R \cdot \ln \frac{k_{H,2}}{k_{H,1}}}{\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)} = -\frac{R \cdot T_1 \cdot T_2 \cdot \ln \frac{k_{H,2}}{k_{H,1}}}{T_1 - T_2}$$

Виконуємо розрахунки:

1) $T_1=273$ К, $T_2= 283$ К

$$\Delta H_{розч.} = -\frac{R \cdot T_1 \cdot T_2 \cdot \ln \frac{k_{H,2}}{k_{H,1}}}{T_1 - T_2} = -\frac{8,314 \cdot 273 \cdot 283 \cdot \ln \frac{1/5,08}{1/4,02}}{273 - 283} = -15047 \text{ Дж / моль}$$

2) $T_1=283$ К, $T_2= 293$ К;

$$\Delta H_{розч.} = -\frac{R \cdot T_1 \cdot T_2 \cdot \ln \frac{k_{H,2}}{k_{H,1}}}{T_1 - T_2} = -\frac{8,314 \cdot 283 \cdot 293 \cdot \ln \frac{1/6,12}{1/5,08}}{283 - 293} = -13\,060 \text{ Дж / моль}$$

3) $T_1=293$ К, $T_2= 303$ К

$$\Delta H_{розч.} = -\frac{R \cdot T_1 \cdot T_2 \cdot \ln \frac{k_{H,2}}{k_{H,1}}}{T_1 - T_2} = -\frac{8,314 \cdot 293 \cdot 303 \cdot \ln \frac{1/7,02}{1/6,12}}{293 - 303} = -10\,180 \text{ Дж / моль}$$

4) $T_1=273$ К, $T_2= 303$ К

$$\Delta H_{\text{розч.}} = - \frac{R \cdot T_1 \cdot T_2 \cdot \ln \frac{k_{Г,2}}{k_{Г,1}}}{T_1 - T_2} = - \frac{8,314 \cdot 273 \cdot 303 \cdot \ln \frac{1/7,02}{1/4,02}}{273 - 303} = -12\,845 \text{ Дж / моль}$$

Розраховуємо середнє значення теплоти розчинення:

$$\Delta H_{\text{розч.}}(\text{сер.}) = -12\,783 \text{ Дж/моль} = -12,783 \text{ кДж/моль.}$$

Відповідь: -12,783 кДж/моль.

4.5. Матеріали контролю для заключного етапу заняття

Розв'язання задач

1. Яка маса сірководню розчиняється у 0,004 м³ води при 283 К під тиском 50,66·10⁴ Па, якщо розчинність сірководню у воді при 283 К і нормальному тиску дорівнює 5,16 кг/м³?

2. Барокамери використовуються для лікування багатьох захворювань. У барокамерах використовується тиск, що перевищує атмосферний у 1,5-3 рази. Поясніть, чим пояснюється лікувальний ефект?

3. Використовуючи дані, наведені у таблиці, розрахуйте розчинність газів у воді взимку (при температурі 0 °С) та влітку (при температурі 30 °С).

№	Газ	20 °С	100 °С
		Розчинність газів (л/1л Н ₂ О) при Р = 1 атм	
1	N ₂	0,0154	0,0095
2	O ₂	0,0310	0,0172
3	NH ₃	690	95

4. Розчинність натрій хлориду при 0 і 80 °С становить відповідно 35,8 і 38 г на 100 г води. Яка маса солі викристалізується, якщо з 150 г насиченого при 80 °С розчину натрій хлориду випарувати 15 г води і розчин охолодити до 0 °С?

Тестові завдання для закріплення знань

1. Оберіть твердження, яке характеризує процес розчинення сульфатної кислоти у воді:

- а) відбувається без теплового ефекту;
- б) теплота поглинається;
- в) теплота виділяється;
- г) ентропія збільшується.

2. Речовини з яким типом хімічного зв'язку між атомами в молекулах мають високу розчинність у воді?

- а) йонний;
- б) ковалентний полярний;
- в) ковалентний неполярний;
- г) металічний.

3. Оберіть вірне твердження щодо насиченого розчину:

- а) система знаходиться у стані рівноваги;
- б) вільна енергія Гіббса зменшується;
- в) система знаходиться у метастабільному стані;
- г) ентропія зменшується;
- д) масова частка розчиненої речовини більше за 80 %.

4. Які зміни будуть відбуватися з насиченим при певній температурі розчином калій нітрату при нагріванні?

- а) стане ненасиченим;
- б) випадуть кристали солі;
- в) концентрація розчину збільшиться;
- г) нічого не зміниться.

5. Вкажіть речовину, яка є кращим розчинником сірки:

- а) вода;
- б) етанол;
- в) етанова кислота;
- г) сірковуглець.

6. Розташуйте гази за збільшенням їх розчинності у воді при 298 К, враховуючи тип хімічного зв'язку:

- а) кисень;
- б) аргон;
- в) амоніак;
- г) вуглекислий газ.

7. При раптовому підйомі водолазів з глибини на поверхню у них може спостерігатися Кесонна хвороба. Який закон лежить в основі цього явища?

- а) закон збереження маси;
- б) закон діючих мас;
- в) закон Генрі;
- г) закон Рауля.

8. Яке рівняння описує вплив добавок електролітів на розчинність газів?

- а) рівняння Кольрауша;
- б) рівняння Менделєєва-Клапейрона;
- в) рівняння Ван-дер-Ваальса;
- г) рівняння Сеченова.

9. Встановіть послідовність процесів при розчиненні кристалічної речовини:

- а) руйнування кристалічної ґратки речовини;
- б) взаємодія частинок речовини з частинками розчинника;
- в) розподіл сольватованих частинок розчиненої речовини в об'ємі розчинника;
- г) дисоціація молекул розчиненої речовини.

10. Пересичений розчин солі у воді можна перевести в насичений наступним чином:

- а) випарувати;
- б) додати кристалик солі;
- в) перемішати;
- г) додати воду.

11. Оберіть вірне твердження щодо ненасиченого розчину:

- а) система знаходиться у стані рівноваги;
- б) утворення такого розчину є самочинним процесом;
- в) система знаходиться у метастабільному стані;
- г) при утворенні розчину ентропія збільшується;
- д) масова частка розчиненої речовини менша за 5 %.

4.4. Питання (завдання) для самостійної позааудиторної роботи (домашнє завдання)

Розв'язання задач (за індивідуальними завданнями)

1. Розрахуйте концентрацію кисню та вуглекислого газу (у мольних частках і моль/л) у венозній та артеріальній крові при 37 °С, використовуючи наступні дані:

Газ	P _i , мм рт. ст.		1/k _Г , мм рт. ст.
	Артеріальна кров	Венозна кров	
O ₂	100	40	40,7·10 ⁶
CO ₂	40	46	1,77·10 ⁶

2. Розрахуйте розчинність (мольні частки) газів у плазмі крові, якщо відомо, що середня концентрація електролітів у плазмі крові дорівнює 154 ммоль/л.

№	Газ	Розчинність у воді, об'ємна частка	k', л/моль
1	N ₂	0,0137	0,096
2	O ₂	0,0263	0,2
3	CO ₂	0,387	0,1

3. Визначте масу калій нітрату, який викристалізується з 600 г насиченого при 60 °С розчину, якщо його охолодити до 20 °С. Розчинність калій нітрату при 20 °С і 60 °С складає, відповідно, 32 г і 110 г на 100 г води.

V. Підведення підсумків

Практичне заняття № 4

ТЕРМОДИНАМІКА ТА КІНЕТИКА РОЗЧИНЕННЯ

Мета: сформувати у студентів знання про термодинаміку процесу розчинення газів, рідин та твердих речовин у рідинах, про швидкість процесу розчинення; опрацювати методику розрахунків $\Delta G_{\text{розч.}}$, $\Delta H_{\text{розч.}}$, $\Delta S_{\text{розч.}}$.

Основні поняття: термодинаміка розчинення; вільна енергія Гіббса, ентальпія, теплота, ентропія розчинення, швидкість розчинення.

Навчальний час: 4 години

ПЛАН

I. Основні питання теми

1. Термодинаміка розчинення газів у рідинах.
2. Термодинаміка розчинення рідин у рідинах.
3. Термодинаміка розчинення твердих речовин у рідинах. Рівняння Шредера.
4. Кінетика розчинення. Рівняння Фіка-Щукарева.
5. Регулювання швидкості розчинення.

II. Контроль опорних знань

2.1. Вимоги до теоретичної готовності студентів до виконання практичного заняття

В результаті підготовки до заняття студент повинен

Знати:

- основні стадії процесу розчинення;
- основні термодинамічні параметри процесу розчинення;
- принципи розрахунку теплоти розчинення;
- термодинамічні умови утворення розчинів;
- принципи розрахунку швидкості розчинення.

Вміти:

- аналізувати зміну вільної енергії Гіббса, ентальпії та ентропії розчинення;

- розраховувати зміну вільної енергії Гіббса, ентальпії та ентропії розчинення;
- розраховувати швидкість процесу розчинення;
- аналізувати вплив різних факторів на швидкість розчинення.

2.2. Питання для перевірки базових знань за темою заняття

Питання для перевірки вхідних знань

1. Які процеси мають місце при розчиненні речовин у рідинах?
2. Порівняйте теплоту фазового переходу та теплоту сольватації.
3. Проаналізуйте зміну ентропії в процесі розчинення.
4. Чому розчинення газів та рідин у воді є екзотермічним процесом?
5. Чому при розчиненні газів спостерігається зменшення ентропії?
6. Чому при розчиненні рідин і кристалічних речовин спостерігається збільшення ентропії?
7. Як змінюється вільна енергія Гіббса при утворенні ненасиченого розчину?
8. Яке значення набуває зміна вільної енергії Гіббса при утворенні насиченого розчину? Відповідь обґрунтуйте.
9. Чому у рівняння Шредера входить теплота плавлення, а не теплота розчинення кристалічної речовини?
10. Яка стадія процесу розчинення має найменшу швидкість?
11. Як Ви розумієте вислів: «процес розчинення відбувається у дифузійному режимі»?
12. Яка величина називається швидкістю розчинення?
13. У чому полягає фізичний зміст коефіцієнту дифузії?
14. Наведіть та проаналізуйте рівняння Фіка-Щукарєва.
15. Запропонуйте шляхи керування швидкістю процесу розчинення.

Тести для перевірки вхідного рівня знань

1. Яким процесом є сольватація кристалічних речовин у рідинах з точки зору термодинаміки?
а) ендотермічний;

- б) екзотермічний;
- в) теплота розчинення залежить від природи розчиненої речовини і розчинника;
- г) теплота розчинення залежить від концентрації розчиненої речовини.

2. Як змінюється ентропія в процесі розчинення кристалічних речовин і рідин у воді?

- а) збільшується;
- б) зменшується;
- в) не змінюється;
- г) спочатку зменшується, потім збільшується.

3. Які речовини називають «необмежено розчинними»?

- а) які не утворюють перенасичених розчинів;
- б) які не утворюють насичених розчинів;
- в) які не утворюють насичених і пересичених розчинів;
- г) які не утворюють ненасичених розчинів.

4. Відомо, що при розчиненні кристалічних речовин у рідинах одночасно відбувається і розчинення, і кристалізація розчиненої речовини. Як співвідносяться швидкості цих процесів при утворенні у насиченого розчину?

- а) вони рівні;
- б) швидкість розчинення більша;
- в) швидкість кристалізації більша;
- г) залежить від температури.

5. Яким процесом може бути розчинення кристалічних речовин у рідинах з точки зору термодинаміки?

- а) ендотермічний;
- б) екзотермічний;
- в) і екзо-, і ендотермічний;
- г) теплота не виділяється і не поглинається.

6. Вкажіть правильні відповіді, які характеризують зміну ентропії при розчиненні газів у рідинах.

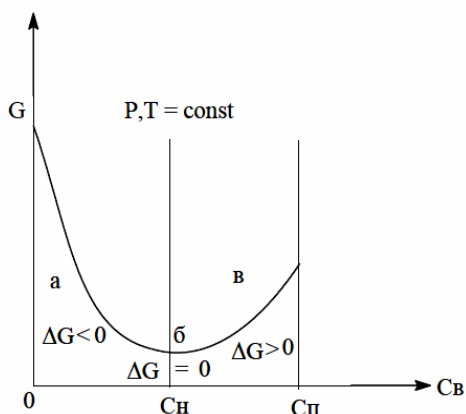
- а) $\Delta S_{\text{ф.п.}} < 0$;

б) $\Delta S_{\text{сольв.}} > 0$;

в) $\Delta S_{\text{диф.}} < 0$;

г) $\Delta S_{\text{розч.}} < 0$.

7. Оберіть вірну відповідь, яка характеризує криву **аб** на рисунку:



а) насичений розчин, рівноважний стан;

б) ненасичений розчин, самочинний процес;

в) пересичений розчин, самочинний процес;

г) ненасичений розчин, несамоchинний процес.

8. В який момент часу швидкість розчинення є максимальною?

а) на початку процесу розчинення;

б) наприкінці процесу розчинення;

в) усередині процесу розчинення;

г) протягом усього процесу.

9. Яким є кінетичний порядок процесу розчинення?

а) 1 за розчиненою речовиною та 0 за розчинником;

б) 0 за розчиненою речовиною та 1 за розчинником;

в) 1 за розчиненою речовиною та 1 за розчинником;

г) 0 за розчиненою речовиною та 0 за розчинником.

10. Як змінюється ентропія розчинення по мірі збільшення концентрації розчину?

а) збільшується;

б) зменшується;

в) спочатку збільшується, потім зменшується;

г) спочатку зменшується, а потім збільшується.

III. Обговорення теоретичних питань

Термодинаміка розчинення

Теплота розчинення $\Delta H_{\text{розч.}}$ є сумою теплот фазового переходу $\Delta H_{\text{ф.п.}}$, сольватації $\Delta H_{\text{сольв.}}$ та дифузії $\Delta H_{\text{диф.}}$:

$$\Delta H_{розч.} = \Delta H_{ф.н.} + \Delta H_{сольв.} + \Delta H_{диф.} \quad (4.1)$$

$\Delta H_{диф.}$ незначна величина, нею зазвичай нехтують.

Зміна ентропії розчинення $\Delta S_{розч.}$ є сумою зміни ентропій фазового переходу $\Delta S_{ф.н.}$, сольватації $\Delta S_{сольв.}$ та дифузії $\Delta S_{диф.}$:

$$\Delta S_{розч.} = \Delta S_{ф.н.} + \Delta S_{сольв.} + \Delta S_{диф.} \quad (4.2)$$

Розчинення газів

$$\Delta H_{ф.н.} < |\Delta H_{сольв.}| \quad \text{тому} \quad \Delta H_{розч.} < 0$$

$$\Delta S_{ф.н.} < 0$$

(упорядкування системи внаслідок переходу молекул із газової фази у рідку)

$\Delta S_{сольв.} < 0$ (упорядкування стану системи внаслідок сольватації)

$$\Delta S_{дифузії} > 0$$

$$|\Delta S_{ф.н.} + \Delta S_{сольв.}| \ll \Delta S_{дифузії},$$

$$\text{тому} \quad \Delta S_{розч.} < 0.$$

$$\Delta H_{розч.} > T \cdot \Delta S_{розч.}$$

$$\Delta G_{розч.} = \Delta H_{розч.} - T \cdot \Delta S_{розч.} \quad (4.3)$$

$$\Delta G_{розч.} < 0$$

Розчинення рідин

$$\Delta H_{ф.н.} < |\Delta H_{сольв.}| \quad \text{тому} \quad \Delta H_{розч.} < 0$$

$\Delta S_{ф.н.} > 0$ (руйнування упорядкованої структури рідини)

$\Delta S_{сольв.} < 0$ (упорядкування стану системи внаслідок сольватації)

$$|\Delta S_{сольв.}| \ll \Delta S_{ф.н.},$$

$$\text{тому} \quad \Delta S_{розч.} > 0.$$

$$\Delta H_{розч.} < T \cdot \Delta S_{розч.}$$

$$\Delta G_{розч.} = \Delta H_{розч.} - T \cdot \Delta S_{розч.}$$

$$\Delta G_{розч.} < 0$$

У випадку необмежено розчинних рідин стан насичення не настає.

Розчинення кристалічних речовин

$\Delta H_{ф.н.} > 0$ (руйнування кристалічної ґратки).

$\Delta H_{сольв.} < 0$ (сольватація).

Теплота розчинення кристалічних речовин може мати різний знак залежно від співвідношення абсолютних значень $\Delta H_{ф.н.}$ та $\Delta H_{сольв.}$

$$\Delta S_{ф.н.} > 0 \text{ (руйнування кристалічної ґратки)}$$

$$\Delta S_{сольв.} < 0 \text{ (упорядкування стану системи внаслідок сольватації)}$$

$$|\Delta S_{сольв.}| \ll \Delta S_{ф.н.},$$

тому

$$\Delta S_{розч.} > 0.$$

$$\Delta H_{розч.} < T \cdot \Delta S_{розч.}$$

$$\Delta G_{розч.} = \Delta H_{розч.} - T \cdot \Delta S_{розч.}$$

$$\Delta G_{розч.} < 0 \text{ (утворення ненасиченого розчину).}$$

По мірі збільшення концентрації розчину зміна ентропії зменшується і при певній концентрації

$$\Delta H_{розч.} = T \cdot \Delta S_{розч.} \quad \Delta G_{розч.} = 0 \text{ (утворення насиченого розчину).}$$

Якщо вивчається термодинаміка розчинення важкорозчинних сполук, для розрахунку $\Delta G_{розч.}$ використовують рівняння

$$\Delta G_{розч.} = -RT \ln DP, \quad (4.4)$$

де DP – добуток розчинності важкорозчинної речовини.

Для розрахунку теплоти розчинення $\Delta H_{розч.}$ використовують залежність розчинності (або DP) кристалічної речовини від температури:

$$\ln \frac{S_2}{S_1} = -\frac{\Delta H_{розч.}}{R} \cdot \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right), \quad (4.5)$$

де S_1 і S_2 – розчинність при температурах T_1 і T_2 ; $\Delta H_{розч.}$ – теплота розчинення, Дж/моль.

Для визначення внеску $\Delta H_{ф.н.}$ ($\Delta H_{пл.}$) у $\Delta H_{розч.}$ використовують залежність розчинності твердих речовин, що утворюють ідеальний розчин, від температури (рівняння Шредера):

$$\left(\frac{d \ln \chi_2}{dT} \right)_{p,нас} = \frac{\Delta H_{пл.}}{RT^2}, \quad (4.6)$$

де χ_2 – мольна частка розчиненої речовини в насиченому розчині; $\Delta H_{пл.}$ – теплота плавлення цієї речовини.

В інтегральному вигляді рівняння Шредера має вигляд:

$$\ln \chi_2 = -\frac{\Delta H_{пл.}}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{пл.}} \right) = \frac{\Delta H_{пл.} \cdot (T - T_{пл.})}{R \cdot T \cdot T_{пл.}}, \quad (4.7)$$

де $T_{пл.}$ – температура плавлення чистої кристалічної речовини.

Кінетика розчинення

Кінетика процесу розчинення описується рівнянням Фіка-Щукарева:

$$\frac{\Delta C}{\Delta t} = D \cdot \frac{(C_{нас.} - C)}{\delta} \cdot s, \quad (4.8)$$

де $\Delta C/\Delta t$ – швидкість процесу розчинення (кількість речовини, що розчиняється за одиницю часу в одиниці об'єму розчину); s – площа поверхні речовини, що розчиняється; $C_{нас.}$ – концентрація речовини у насиченому розчині; C – концентрація речовини у розчині в даний момент часу; D – коефіцієнт дифузії; δ – товщина шару рідини, що оточує частинку, через яку відбувається дифузія.

IV. Практичні завдання:

4.1. Зміст завдань

Розв'язання задач

1. Теплота розчинення BaCl_2 складає – 8,66 кДж/моль, а теплота гідратації цієї солі при переході до $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ дорівнює -29,16 кДж/моль. Визначте теплоту розчинення $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

2. Розрахуйте розчинність n -дибромбензену у бензені при температурі 20 та 40 °С, вважаючи, що утворився ідеальний розчин. Теплота плавлення n -дибромбензену при температурі його плавлення 86,9 °С дорівнює 13,22 кДж/моль.

3. Розрахуйте зміну вільної енергії Гіббса, ентальпії та ентропії розчинення диметилгліоксимату нікелю (A_2Ni) у воді, використовуючи такі дані:

T, К	298	303	308	313	318
$S \cdot 10^5$, моль/л	0,105	0,139	0,184	0,240	0,307

4. Шматок мармуру зі сталою поверхнею розчиняється в 1 л розчину хлоридної кислоти з концентрацією 1 моль/л. Протягом

першої хвилини швидкість розчинення дорівнює 5 г/хв за умови постійного перемішування. Визначте об'єм вуглекислого газу (за нормальних умов), що виділився протягом 20 хв. За який час виділиться такий самий об'єм газу, якщо занурити ідентичний шматок у 2 л такого ж розчину.

4.2. Рекомендації (інструкції) щодо виконання завдань (алгоритми виконання завдань)

Задача 1

Теплоти розчинення $MgSO_4$, та $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ відповідно дорівнюють -84,85 та 15,9 кДж/моль. Чому дорівнює теплота гідратації?

Розв'язання

При розчиненні безводної солі мають місце два процеси : руйнування кристалічних ґраток (фазовий перехід – плавлення) та сольватація (гідратація):

$$\Delta H_{\text{розч.}}(MgSO_4) = \Delta H_{\text{ф.п.}} + \Delta H_{\text{сольв.}}$$

При розчиненні кристалогідрату має місце лише руйнування кристалічних ґраток (фазовий перехід – плавлення):

$$\Delta H_{\text{розч.}}(MgSO_4 \cdot 7H_2O) = \Delta H_{\text{ф.п.}}$$

Отже,

$$\Delta H_{\text{розч.}}(MgSO_4) = \Delta H_{\text{розч.}}(MgSO_4 \cdot 7H_2O) + \Delta H_{\text{сольв.}}$$

Звідси

$$\Delta H_{\text{сольв.}} = \Delta H_{\text{розч.}}(MgSO_4) - \Delta H_{\text{розч.}}(MgSO_4 \cdot 7H_2O)$$

Підставляємо чисельні значення

$$\Delta H_{\text{сольв.}} = -84,85 - 15,9 = -100,75 \text{ кДж/моль}$$

Відповідь: -100,75 кДж/моль.

Задача 2

Розрахуйте розчинність антрацену в толуолі при температурі 25 °С, вважаючи, що утворився ідеальний розчин. Теплота плавлення антрацену 28,80 кДж/моль, температура плавлення 217 °С.

Дано:

$$T_{\text{пл.}} = 217 \text{ °С} + 273 = 490 \text{ К}$$

$$T = 25 \text{ °С} + 273 = 298 \text{ К}$$

$$\Delta H_{\text{пл.}} = 28,8 \text{ кДж/моль} = 28\,800 \text{ Дж/моль}$$

χ_2 -?

Розв'язання

Для розрахунку використовуємо рівняння Шредера в інтегральній формі (4.7). Підставляємо дані з умови задачі:

$$\ln \chi_2 = -\frac{28800}{8,314} \cdot \left(\frac{1}{298} - \frac{1}{490} \right) = -4,55$$

$$\chi_2 = e^{-4,55} = 0,01$$

Відповідь: $\chi_2 = 0,01$.

Задача 3

Таблетка бензойної кислоти з площею поверхні 2 см^2 поміщена в розчин бензойної кислоти (10 л), при енергійному перемішуванні, $C=0,003 \text{ моль/л}$ при температурі 298 К, коефіцієнт дифузії складає $0,75 \text{ см}^2/\text{добу}$, розчинність $C_{\text{нас.}} = 0,024 \text{ моль/л}$. За 15 хв розчинилося $0,0029 \text{ моль}$ кислоти. Яка товщина шару, через який відбувається дифузія?

Дано:

$$s = 2 \text{ см}^2 = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$V = 10 \text{ л} = 10 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$C = 0,003 \text{ моль/л} = 3 \text{ моль/м}^3$$

$$C_{\text{нас.}} = 0,024 \text{ моль/л} = 24 \text{ моль/м}^3$$

$$t = 15 \text{ хв} = 900 \text{ с}$$

$$\Delta n = 0,0029 \text{ моль}$$

δ - ?

Розв'язання

Розраховуємо швидкість розчинення

$$\frac{\Delta C}{\Delta t} = \frac{\Delta n}{V \cdot \Delta t} = \frac{0,0029}{10 \cdot 10^{-3} \cdot 900} = 3,22 \cdot 10^{-4} \text{ моль}/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$$

Знаходимо товщину дифузійного шару

$$\delta = D \cdot \frac{(C_{\text{нас.}} - C)}{\Delta C / \Delta t} \cdot s = \frac{8,57 \cdot 10^{-10} \cdot (24 - 3) \cdot 2 \cdot 10^{-4}}{3,22 \cdot 10^{-4}} = 1,12 \cdot 10^{-8} \text{ м}$$

Відповідь: $\delta = 1,12 \cdot 10^{-8} \text{ м}$.

Задача 4

Обчисліть теплоту розчинення 40 г H_2SO_4 в 160 г води. Використовуйте дані щодо залежності інтегральних теплот від концентрації, наведені у довіднику.

Розв'язання

Процес розчинення можна представити схемою:



Теплоту розчинення $\Delta H_{\text{розч.}}$ розраховуємо за рівнянням

$$\Delta H_{\text{розч.}} = \Delta H_{\text{інт.}} \cdot n_2,$$

де $\Delta H_{\text{інт.}}$ – інтегральна теплота розчинення, віднесена до 1 моль сульфатної кислоти (є у довіднику). Знаходимо $n_1(\text{H}_2\text{O}) : n_2(\text{H}_2\text{SO}_4)$, оскільки в довіднику концентрації виражені в молярних співвідношеннях:

$$n_1(\text{H}_2\text{O}) : n_2(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} : \frac{m(\text{H}_2\text{SO}_4)}{M(\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{160}{18} : \frac{40}{98} = 8,89 : 0,408 = 21,79.$$

За значенням молярного співвідношення знаходимо в довіднику інтегральну теплоту розчинення $\Delta H_{\text{інт.}} = -71,71$ кДж/моль.

Розраховуємо $\Delta H_{\text{розч.}}$:

$$\Delta H_{\text{розч.}} = 0,408 \cdot (-71,71) = -29,25 \text{ кДж}.$$

Відповідь: -29,25 кДж.

4.3. Матеріали контролю для заключного етапу заняття:

Розв'язання задач

1. Теплота розчинення Na_2SO_3 при 18 °С дорівнює - 11,30 кДж/моль, а теплота гідратації цієї солі при переході $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ складає - 58,16 кДж/моль. Визначте теплоту розчинення $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

2. Обчисліть теплоту розчинення 60 г H_2SO_4 в 160 г води. Використовуйте дані щодо залежності інтегральних теплот від концентрації, наведені у довіднику.

3. Розрахуйте температуру, при якій чистий кадмій знаходиться в рівновазі з розплавом Cd-Bi, мольна частка кадмію в якому

дорівнює 0,846. Теплота плавлення кадмію при температурі його плавлення 321,1 °С дорівнює 6,23 кДж/моль.

Тестові завдання для закріплення знань

1. Яким процесом є фазовий перехід при розчиненні кристалічних речовин у рідинах з точки зору термодинаміки?

- а) ендотермічний;
- б) екзотермічний;
- в) теплота розчинення залежить від природи розчиненої речовини і розчинника;
- г) теплота розчинення залежить від концентрації розчиненої речовини.

2. Як змінюється ентропія в процесі розчинення газів у воді?

- а) збільшується;
- б) зменшується;
- в) не змінюється;
- г) спочатку зменшується, потім збільшується.

3. Які речовини відносять до «необмежено розчинних» у воді?

- а) натрій гідроксид;
- б) кисень;
- в) толуен;
- г) нітратна кислота.

4. Відомо, що при розчиненні кристалічних речовин у рідинах одночасно відбувається і розчинення, і кристалізація розчиненої речовини. Як співвідносяться швидкості цих процесів при утворенні у ненасиченого розчину?

- а) вони рівні;
- б) швидкість розчинення більша;
- в) швидкість кристалізації більша;
- г) залежить від температури.

5. Яким процесом є розчинення газів у рідинах з точки зору термодинаміки?

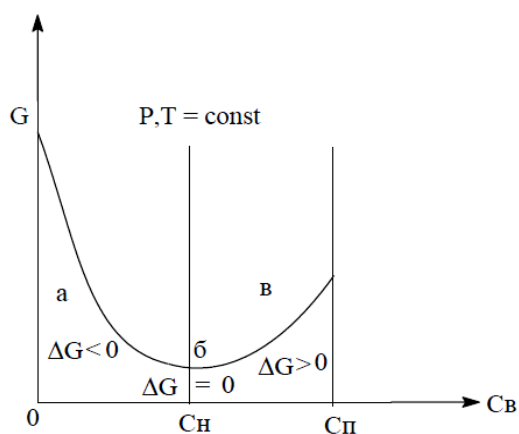
- а) ендотермічний;

- б) екзотермічний;
- в) і екзо-, і ендотермічний;
- г) теплота не виділяється і не поглинається.

6. Вкажіть правильні відповіді, які характеризують зміну ентропії при розчиненні кристалічних речовин у рідинах.

- а) $\Delta S_{\text{ф.п.}} < 0$;
- б) $\Delta S_{\text{сольв.}} > 0$;
- в) $\Delta S_{\text{диф.}} < 0$;
- г) $\Delta S_{\text{розч.}} < 0$.

7. Оберіть вірну відповідь, яка характеризує точку **б** на рисунку:



- а) насичений розчин, рівноважний стан;
- б) ненасичений розчин, самочинний процес;
- в) пересичений розчин, самочинний процес;
- г) ненасичений розчин, несамоchинний процес.

8. В який момент часу швидкість розчинення є мінімальною?

- а) на початку процесу розчинення;
- б) наприкінці процесу розчинення;
- в) усередині процесу розчинення;
- г) протягом усього процесу.

9. Які чинники сприяють збільшенню швидкості процесу розчинення?

- а) охолодження розчину;
- б) нагрівання розчину;
- в) збільшення тиску;
- г) інтенсифікування перемішування розчину.

10. Які величини можна розрахувати, використовуючи рівняння Шредера?

- а) теплоту сольватації;
- б) теплоту фазового переходу;
- в) зміну ентропії розчинення;
- г) температуру плавлення.

4.4. Питання для самостійної позааудиторної роботи (домашнє завдання)

Розв'язання задач

1. Тепловий ефект розчинення безводного Li_2SO_4 дорівнює $-26,71$ кДж/моль. Тепловий ефект розчинення кристалогідрату $\text{Li}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ складає $14,31$ кДж/моль при 298 К. Чому дорівнює теплота гідратації?
2. Обчисліть теплоту розчинення 80 г H_2SO_4 в 160 г води. Використовуйте дані щодо залежності інтегральних теплот від концентрації, наведені у довіднику.
3. Розчинність молочної кислоти у 100 г води складає $2,35$ г при 0°C та $6,76$ г при $24,8^\circ\text{C}$. Розрахуйте теплоту, зміну вільної енергії Гіббса і зміну ентропії в процесі розчинення кислоти у воді.
4. Коефіцієнти розчинності барій сульфату у воді дорівнюють $0,0002448$ г/100 мл (20°C) $0,000285$ г/100 мл (30°C). Розрахуйте розчинність барій сульфату у воді при 50°C .

V. Підведення підсумків

Практичне заняття № 5

ПАРЦІАЛЬНІ МОЛЬНІ ВЕЛИЧИНИ, ЇХ РОЗРАХУНОК

Мета: сформувати у студентів знання, вміння та навички розрахунку парціальних мольних величин.

Основні поняття: параметри стану системи, екстенсивні параметри, інтенсивні параметри, парціальні мольні величини.

Навчальний час: 2 години

ПЛАН

I. Основні питання теми

1. Параметри стану системи. Екстенсивні, інтенсивні параметри.
2. Парціальні мольні величини. Визначення.
3. Вираження загальної екстенсивної властивості розчинів через парціальні мольні величини (для двохкомпонентного та k -компонентного розчину).
4. Властивості парціальних мольних величин.
5. Методи визначення парціальних мольних величин.
6. Графічні методи визначення парціальних мольних величин.

II. Контроль опорних знань

2.1. Вимоги до теоретичної готовності студентів до виконання практичного заняття

В результаті підготовки до заняття студент повинен

Знати:

- принципи віднесення певних параметрів стану системи до екстенсивних та інтенсивних параметрів;
- формулювання парціальної мольної величини;
- практичне значення парціальних мольних величин;
- властивості, притаманні парціальним мольним величинам;
- аналітичні та графічні методи визначення чисельних значень парціальних мольних величин.

Вміти:

- обирати інтенсивні та екстенсивні параметри стану системи;

- пояснювати особливості властивостей парціальних мольних величин;
- розраховувати парціальні мольні величини;
- визначати зміну парціальних мольних величин.

2.2. Питання для перевірки базових знань за темою заняття

Питання для перевірки вхідних знань

1. Які властивості системи називаються екстенсивними?
2. Які властивості системи не залежать від маси системи? Наведіть приклади.
3. Яким чином змінюються екстенсивні властивості ідеальних розчинів?
4. Яка мета введення поняття парціальної мольної величини?
5. Який вчений запропонував поняття парціальних мольних величин?
6. Від яких чинників залежать загальна інтегральна властивість розчину?
7. Наведіть символічне позначення, математичний вираз та формулювання парціальної мольної величини.
8. У чому полягає практичне значення парціальних мольних величин?
9. Які чисельні значення можуть набувати парціальні мольні величини?
10. Чи залежать парціальні мольні величини від складу розчину? Відповідь обґрунтуйте.
11. Які методи визначення парціальних мольних величин Ви знаєте?
12. У чому полягає метод відрізків?
13. Наведіть алгоритм визначення парціальних мольних величин за тангенсом кута нахилу дотичної.

Тести для перевірки вхідного рівня знань

1. Виберіть інтенсивний параметр системи:
 - а) об'єм;
 - б) тиск;
 - в) ентропія;

г) маса.

2. Виберіть правильний вираз для парціальної мольної величини i -го компоненту:

а)	$\overline{X}_i = \left(\frac{\partial X_{\text{заг.}}}{\partial n_{\text{заг.}}} \right)_{P,T,n_{j \neq i}} \times C$	б)	$\overline{X}_i = \left(\frac{\partial X_i}{\partial n_i} \right)_{P,T,n_{j \neq 0}}$
в)	$\overline{X}_i = \left(\frac{\partial X_i}{\partial n_i} \right)_{P,T,n_{j \neq i}}$	г)	$\overline{X}_i = \left(\frac{\partial X_i}{\partial n_i} \right)_{n_{j \neq i}}$

3. Виберіть правильне твердження:

- а) парціальні мольні величини приймають виключно додатні значення;
- б) парціальні мольні величини приймають будь-які значення;
- в) парціальні мольні величини приймають виключно від'ємні значення;
- г) парціальні мольні величини є безрозмірними і приймають значення від 0 до 1.

4. Що відображають парціальні мольні величини?

- а) внесок i -го компонента суміші в загальне значення певної екстенсивної властивості системи;
- б) внесок i -го компонента суміші в загальне значення певної екстенсивної властивості системи, віднесений до 1 моль даного компоненту;
- в) тангенс кутів нахилу дотичних до точок на графіку залежності об'єму від складу суміші;
- г) швидкість зміни екстенсивної властивості відносно кількості i -го компонента суміші за умови сталості тиску, температури і кількостей речовин інших компонентів суміші.

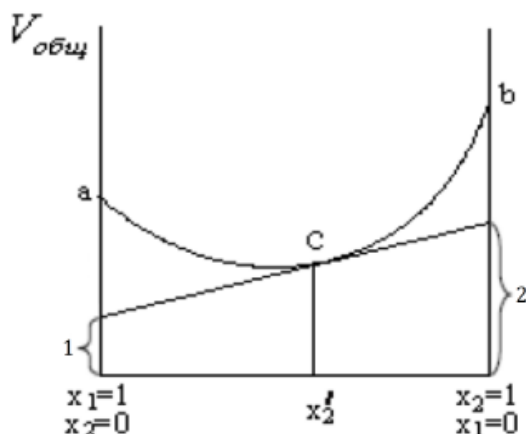
5. Який з методів визначення парціальних мольних величин досить зручний для використання і найточніший?

- а) аналітичний;
- б) метод відрізків;
- в) метод знаходження тангенса кута нахилу дотичної;
- г) метод графічного інтегрування.

6. Який вчений запропонував поняття парціальних мольних величин?

- а) Льюїс;
- б) Френкель;
- в) Дальтон;
- г) Рауль;
- д) Менделєєв.

7. Який метод визначення парціальних мольних величин наведено на графіку?



- а) аналітичний;
- б) метод відрізків;
- в) метод знаходження тангенса кута нахилу дотичної;
- г) метод графічного інтегрування.

III. Обговорення теоретичних питань

Парціальною мольною величиною i -го компоненту розчину $\bar{X}_i$ називають відношення нескінченно малої зміни властивості розчину (об'єм, ізобарний потенціал, ентропія тощо) при додаванні до нього нескінченно малої кількості i -го компоненту при сталості P , T та кількості інших компонентів:

$$\bar{X}_i = \left(\frac{\partial X_i}{\partial n_i} \right)_{P, T, n_{j \neq i}} \quad (5.1)$$

Поняття парціальних мольних величин було введено для того, щоб інтегральні властивості розчинів при сталих P і T можливо було розраховувати за принципом адитивності. Наприклад, для двохкомпонентного розчину з мольними частками розчинника і розчиненої речовини χ_1 та χ_2 :

$$X_{\text{заг.}} = \chi_1 \cdot \bar{X}_1 + \chi_2 \cdot \bar{X}_2. \quad (5.2)$$

Загальну інтегральну властивість розчину можна виразити через кількість речовини (моль) компонентів) n_i :

$$X_{\text{заг.}} = n_1 \cdot \overline{X}_1 + n_2 \cdot \overline{X}_2 + \dots + n_k \cdot \overline{X}_k \quad (5.3)$$

Практичне значення парціальних мольних величин полягає в тому, що між ними зберігаються за формою ті ж термодинамічні співвідношення, що і між звичайними термодинамічними величинами. Термодинамічні рівняння при використанні парціальних мольних величин мають такий саме вигляд, як і рівняння для індивідуальних речовин.

Зміна парціальної мольної величини i -го компоненту визначається рівнянням:

$$\Delta \overline{X}_i = \overline{X}_i - X_i^0, \quad (5.4)$$

де $\Delta \overline{X}_i$ – зміна парціальної мольної величини i -го компоненту; X_i^0 – властивість 1 моль чистого i -го компоненту.

Парціальні мольні величини бінарних систем можна визначити аналітичними та графічними методами. До графічних методів відносяться методи відрізків; тангенсу кута нахилу дотичної до кривої для певного складу; графічного інтегрування.

IV. Практичні завдання

4.1. Зміст завдань

Розв'язання задач

1. Розчин, що містить 60 мас. % метанолу у воді, має густину 0,895 г/см³ при 20 °С. Парціальний мольний об'єм води у розчині цього складу дорівнює 16,8 см³. Розрахуйте парціальний мольний об'єм спирту.

2. Розрахуйте зміну парціальної мольної ентальпії оцтової кислоти, якщо при змішуванні 79,4 г оцтової кислоти та 20,6 г води виділяється 805,0 Дж теплоти. Зміна парціальної мольної ентальпії води в цьому розчині складає -133,9 Дж/моль.

3. Розрахуйте густину розчинів метанолу.

№	Вміст метанолу, масові частки, %	$\bar{V}_{\text{H}_2\text{O}}, \text{см}^3$	$\bar{V}_{\text{CH}_3\text{OH}}, \text{см}^3$
1	20	18,0	37,8
2	40	17,5	39,0
3	60	16,8	39,8
4	80	15,4	40,4
5	90	15,0	40,5

4.2. Рекомендації (інструкції) щодо виконання завдань (алгоритми виконання завдань)

Задача 1

Визначте парціальний мольний об'єм амоній нітрату у 35 % водному розчині, об'єм якого дорівнює 86,87 см³, якщо парціальний мольний об'єм води складає 17,96 см³/моль.

Розв'язання

Основне рівняння для розрахунку – рівняння (5.3). Запишемо його для загальної екстенсивної властивості розчину – об'єму ($V_{\text{заг.}}$)

$$V_{\text{заг.}} = n_1 \cdot \bar{V}_1 + n_2 \cdot \bar{V}_2 \quad (5.5)$$

Підставляємо відомі величини

$$86,87 = \frac{65}{18} \cdot 17,96 + \frac{35}{80} \cdot \bar{V}_2$$

Знаходимо

$$\bar{V}_2 = 50,33 \text{ см}^3 / \text{моль}$$

Відповідь: 50,33 см³/моль.

Задача 2

Розрахуйте питому теплоємність водного розчину сульфатної кислоти з мольною часткою розчиненої речовини 0,1. Парціальні мольні теплоємності при 298 К дорівнюють: для води 77,8 Дж/(моль·К), для кислоти 61,7 Дж/(Моль·К).

Розв'язання

Загальну теплоємність розраховуємо за рівнянням:

$$c_{\text{заг.}} = \chi_1 \cdot \bar{c}_1 + \chi_2 \cdot \bar{c}_2 = 0,9 \cdot 77,8 + 0,1 \cdot 61,7 = 76,19 \text{ Дж} / (\text{моль} \cdot \text{К})$$

Відомо, що питома теплоємність дорівнює:

$$c_{\text{пит.}} = c_{\text{заг.}} / M_{\text{сер.}}$$

Для розрахунку середньої молярної маси розчину (суміші) використовуємо правило адитивності:

$$M_{\text{сер.}} = \chi_1 \cdot M_1 + \chi_2 \cdot M_2 = 0,9 \cdot 18 + 0,1 \cdot 98 = 26 \text{ г / моль}$$

Розраховуємо питому теплоємність

$$c_{\text{пит.}} = c_{\text{заг.}} / M_{\text{сер.}} = 76,19 / 26 = 2,93 \text{ Дж/(г·К)}$$

Відповідь: 2,93 Дж/(г·К).

Задача 3

Загальний об'єм розчину натрій хлориду (см^3), що міститься в 1 кг води при 298 К, описується виразом:

$$V_{\text{заг.}} = 1000 + 16,4 \cdot C_m + 2,5 \cdot C_m^2 - 1,2 \cdot C_m^3$$

Визначте парціальні мольні об'єми компонентів у одномоляльному розчині.

Розв'язання

За умови задачі $C_m = 1$ моль/кг. Підставляємо в рівняння для загального об'єму і розраховуємо загальний об'єм:

$$V_{\text{заг.}} = 1000 + 16,4 \cdot 1 + 2,5 \cdot 1^2 - 1,2 \cdot 1^3 = 1017,7 \text{ см}^3$$

Знаходимо парціальний мольний об'єм розчиненої речовини, враховуючи рівняння, згідно з яким парціальна мольна величина – це похідна від загальної екстенсивної властивості розчину за кількістю даної речовини:

$$\bar{V}_2 = \left(\frac{\partial V_{\text{заг.}}}{\partial C_m} \right)_{P,T} = 16,4 + 2 \cdot 2,5 \cdot C_m - 3 \cdot 1,2 \cdot C_m^2 = 16,4 + 5 \cdot 1 - 3,6 \cdot 1^2 = 17,8 \text{ см}^3 / \text{моль}$$

Для розрахунку парціального мольного об'єму розчинника використовуємо рівняння (5.5).

В цьому рівнянні вже відомі загальний об'єм, парціальний мольний об'єм розчиненої речовини, її кількість речовини ($n_2 = 1$ моль – одномоляльний розчин). Кількість речовини розчинника можемо розрахувати

$$n_1 = m_1 / M_1 = 1000 / 18 = 55,56 \text{ моль}$$

Знаходимо парціальний мольний об'єм розчинника:

$$\bar{V}_1 = \frac{V_{\text{заг.}} - n_2 \cdot \bar{V}_2}{n_1} = \frac{1017,7 - 17,8 \cdot 1}{55,56} = 17,997 \text{ см}^3 / \text{моль}.$$

Відповідь: $\bar{V}_2 = 17,8 \text{ см}^3 / \text{моль}$; $\bar{V}_1 = 17,997 \text{ см}^3 / \text{моль}$.

Задача 4

У системі «талій (II) – меркурій (I)» зміна парціальних мольних ізобарних потенціалів та ентропій талію та меркурію при 298 К для розчину з мольною часткою талію 0,45 дорівнює $\Delta \bar{G}_2 = -163,3 \text{ Дж/моль}$, $\Delta \bar{G}_1 = -2130 \text{ Дж/моль}$, $\Delta \bar{S}_2 = 3,48 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$, $\Delta \bar{S}_1 = 5,4 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$. Визначте зміну парціальних мольних ентальпій, а також зміну ентальпії, ентропії та ізобарного потенціалу при утворенні 1 кг розчину даної концентрації з чистих компонентів.

Розв'язання

1. За рівнянням (5.2) визначимо зміну ізобарного потенціалу для 1 моль розчину:

$$\begin{aligned} \Delta G_{\text{заг.}} &= \chi_1 \cdot \Delta \bar{G}_1 + \chi_2 \cdot \Delta \bar{G}_2 = \\ &= 0,55 \cdot (-2130) + 0,45 \cdot (-163,3) = -1245 \text{ Дж / моль}. \end{aligned}$$

Середню молярну масу розчину розраховуємо за правилом адитивності:

$$M_{\text{сер.}} = 0,55 \cdot 200,6 + 0,45 \cdot 204,4 = 110,3 + 92,0 = 202,3 \text{ г / моль}$$

Розрахуємо зміну ізобарного потенціалу для 1 кг розчину.

Попередньо знайдемо кількість речовини розчину

$$n_{\text{розчину}} = \frac{m_{\text{розчину}}}{M_{\text{сер.}}} = \frac{1000}{202,3} = 4,94 \text{ моль}$$

$$\Delta G = \Delta G_{\text{заг.}} \cdot n_{\text{розчину}} = -1245 \cdot 4,94 = -6150 \text{ Дж / кг}.$$

2. Розрахуємо зміну ентропії для 1 моль розчину (рівняння (5.2))

$$\begin{aligned} \Delta S_{\text{заг.}} &= \chi_1 \cdot \Delta \bar{S}_1 + \chi_2 \cdot \Delta \bar{S}_2 = \\ &= 0,55 \cdot 5,4 + 0,45 \cdot 3,48 = 2,97 + 1,57 = 4,54 \text{ Дж / (моль} \cdot \text{К)}. \end{aligned}$$

Розрахуємо зміну ентропії для 1 кг розчину

$$\Delta S = \Delta S \cdot n_{\text{розчину}} = 4,54 \cdot 4,94 = 22,4 \text{ Дж / (кг} \cdot \text{К)}.$$

3. Визначимо зміну ентальпії ΔH для 1 кг розчину

$$\Delta H = \Delta G + T \Delta S =$$

$$= -6150 + 298 \cdot 22,4 = -6150 + 6684 = 534 \text{ Дж / кг.}$$

4. Знаходимо зміну парціальних мольних ентальпії обох компонентів:

$$\begin{aligned}\overline{\Delta H_1} &= \overline{\Delta G_1} + T\overline{\Delta S_1} = \\ &= -2130 + 298 \cdot 5,4 = -2130 + 1609 = -521 \text{ Дж / моль;} \\ \overline{\Delta H_2} &= \overline{\Delta G_2} + T\overline{\Delta S_2} = \\ &= -163,3 + 298 \cdot 3,48 = -163 + 1037 = 874 \text{ Дж / моль.}\end{aligned}$$

Відповідь:

$$\Delta G = -6150 \text{ Дж / кг; } \Delta S = 22,4 \text{ Дж / (кг} \cdot \text{K). } \Delta H = 534 \text{ Дж / кг}$$

$$\overline{\Delta H_1} = -521 \text{ Дж / моль; } \overline{\Delta H_2} = 874 \text{ Дж / моль}$$

4.3. Матеріали контролю для заключного етапу заняття:

Розв'язання задач за індивідуальними завданнями

1. Розрахуйте теплоту розчинення HCl у воді, якщо відомі зміни парціальних мольних ентальпій H₂O та HCl.

№	Кількість речовини, моль		Зміна парціальних мольних ентальпій, кДж/моль	
	HCl	H ₂ O	HCl	H ₂ O
1	1	3	-5,77	36,28
2	1	5	-2,43	23,68
3	1	10	-4,18	11,38
4	1	20	-0,13	6,28
5	1	50	0,00	3,29
6	1	200	0,00	1,50
7	1	1600	0,00	0,60

Тестові завдання для закріплення знань

1. Виберіть вірне твердження:

- а) екстенсивні властивості реальних розчинів при зміні складу розчину в розрахунку на моль даного компонента суміші змінюються адитивно;

- б) інтенсивні властивості реальних розчинів при зміні складу розчину в розрахунку на моль даного компонента суміші змінюються адитивно;
- в) екстенсивні властивості реальних розчинів при зміні складу розчину в розрахунку на моль даного компонента суміші змінюються не адитивно;
- г) інтенсивні властивості реальних розчинів при зміні складу розчину в розрахунку на моль даного компонента суміші змінюються пропорційно екстенсивним.

2. Парціальний тиск газу – це:

- а) внесок даного газу в загальний тиск системи ідеальних газів;
- б) внесок даного газу в загальний тиск системи реальних газів;
- в) тиск даного газу, порцією в 1 моль;
- г) синонім терміну "тиск газу".

3. Що відображає рівняння $X_{заг.} = n_1 \cdot \bar{X}_1 + n_2 \cdot \bar{X}_2 + \dots + n_k \cdot \bar{X}_k$:

- а) залежність між екстенсивною властивістю розчину, його складом і відповідними парціальними мольними величинами компонентів;
- б) залежність між молярною концентрацією розчину, мольними частками його компонентів і відповідними кількостями речовин;
- в) залежність між проекцією дипольного моменту групи на вісь X, дипольними моментами зв'язків і векторами цих зв'язків;
- г) залежність між координатою X, частотою коливального руху і швидкістю світла.

4. Який з методів дослідження властивостей реального розчину відносно парціальної мольної величини i -го компонента є найбільш коректним?

- а) додавання до розчину кінцевого об'єму дуже маленької кількості i -го компонента;
- б) додавання до розчину кінцевого об'єму рівної кількості i -го компонента;
- в) додавання до розчину кінцевого об'єму 1 моль i -го компонента;
- г) додавання до розчину нескінченного об'єму нескінченної кількості i -го компонента.

5. Виберіть вірне твердження :

- а) парціальні мольні величини залежать виключно від інтенсивних параметрів системи;
- б) парціальні мольні величини є константами для кожної окремої сполуки;
- в) парціальні мольні величини залежать від складу розчину і інтенсивних параметрів системи;
- г) парціальні молярні величини залежать виключно від кількості розчинника і розчиненої речовини.

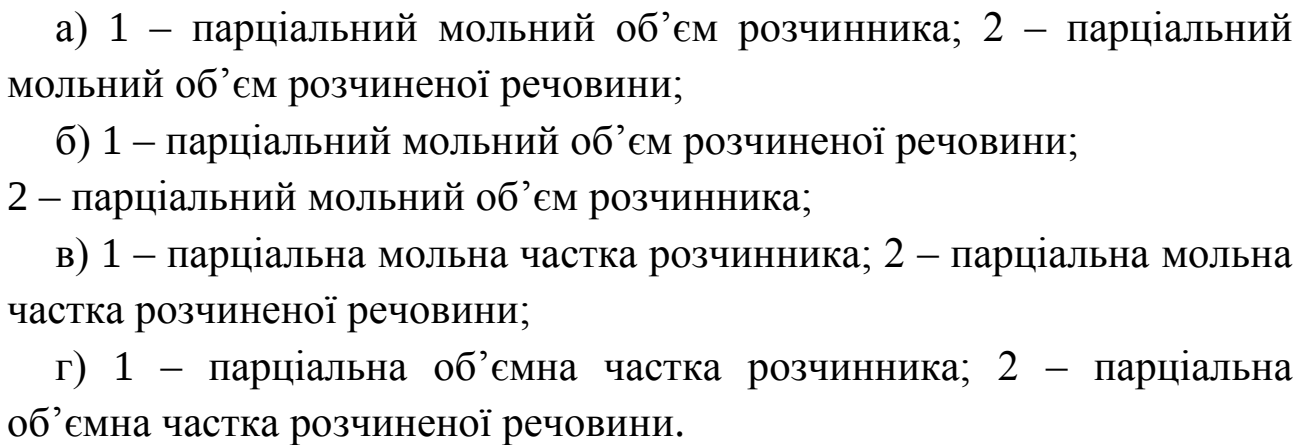
6. На чому заснований аналітичний метод визначення парціальних молярних величин?

- а) на побудові графіка залежності екстенсивної величини від складу розчину і знаходженню тангенсів кутів нахилу дотичних в точках, які відповідають заданому складу;
- б) на знаходженні експериментальної залежності досліджуваної екстенсивної властивості від кількості речовини даного компонента; диференціювання отриманого полінома за кількістю даного компонента і знаходження парціальної мольної величини;
- в) на побудові графіка залежності об'єму від кількості досліджуваного компонента при двох різних температурах і знаходження точки перетину.

7. Який з методів визначення парціальних молярних величин найбільш складний і найменш точний?

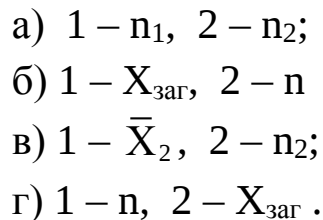
- а) аналітичний;
- б) метод відрізків;
- в) метод знаходження тангенса кута нахилу дотичної;
- г) метод графічного інтегрування.

8. На графіку наведено залежність загальної екстенсивної властивості розчину від його складу. Яким величинам відповідають відрізки 1 і 2 на графіку:



9. На рисунку наведено графік для визначення парціальної мольної величини у загальному вигляді.

I. Зіставте цифри 1-2 з підписами осей.



II. Який параметр відповідає величині $\operatorname{tg} \alpha$?

- $$\begin{array}{ll} \text{a) } \bar{V}_2; & \text{B) } X_{3ar}; \\ \text{б) } \bar{X}_2; & \text{Г) } (\bar{X}_1)^{-1}. \end{array}$$

4.5. Питання для самостійної позааудиторної роботи (домашнє завдання)

Розв'язання задач (за індивідуальними завданнями)

1. Визначте для системи «талій (2) – ртуть (1)» зміну парціальних мольних ентальпій та зміну ентальпії, ізобарного потенціалу, ентропії при утворенні 1 кг розчину вказаних концентрацій при 298 К (χ_2 – мольна частка талію).

№	χ_2	$\overline{\Delta G}_1$, Дж/моль	$\overline{\Delta G}_2$, Дж/моль	$\overline{\Delta S}_1$, Дж/(моль·К)	$\overline{\Delta S}_2$, Дж/(моль·К)
1	0,010	-12,97	-14402	0,04	29,25
2	0,050	-154,8	-9000	0,25	22,01
3	0,085	-305,4	-6862	0,63	17,36
4	0,150	-610,9	-4389	1,26	12,05
5	0,200	-849,4	-3163	1,67	10,17
6	0,250	-1130	-2171	2,34	7,70
7	0,290	-1343	-1619	2,97	6,07
8	0,360	-1711	-820,1	3,43	5,02
9	0,405	-1975	-355,6	4,14	3,85

2. Визначте зміну парціальної мольної ентальпії диметилкетону, якщо при додаванні 16,7 г диметилкетону до 83,3 г ізопропанолу при 293 К виділяється 1443,5 Дж. При додаванні 1 моль ізопропанолу до великого об'єму розчину цього складу виділяється 83,68 Дж. Скільки теплоти виділиться при додаванні 10 г диметилкетону до великого об'єму розчину цього складу?

V. Підведення підсумків

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Щеглова І. С., Масленко С. М. Розчини та фазові рівноваги: Навч. посібник. – Дніпропетровськ, 2006. – 68 с.
2. Нінова Т. С., Погребняк О. С. Сучасна теорія розчинів: метод.реком. з курсу (для самостійної роботи студентів спеціальності Хімія). – Черкаси, 2014. – 46 с.
3. Ковальчук Є. П., Решетняк О. В. Фізична хімія. – Львів: ВЦ ЛНУ імені Івана Франка, 2007. – 800 с.
4. Яцимирський В. К. Фізична хімія. – К.: Перун, 2007. – 512 с.
5. Лебідь В. І. Фізична хімія. – Харків: Фоліо, 2005. – 478 с.
6. Чумак В. Л., Іванов С. В. Фізична хімія. – К.: Книжкове вид-во НАУ, 2007. – 648 с.
7. Величини, що характеризують кількісний склад розчинів. Приготування розчинів. Колігативні властивості розчинів : метод. вказ. для студентів 1-го курсу / уклад. Г. О. Сирова, О. С. Каліненко, В. М. Петюніна та інш. – Харків: ХНМУ, 2017. – 28 с.
8. Загальна та неорганічна хімія : підруч. для студентів вищ. навч. закл. / Є. Я. Левітін, А. М. Бризицька, Р. Г. Ключова ; за заг. ред. Є.Я . Левітіна. – Харків : НФаУ : Золоті сторінки, 2017. – 512 с.
9. Калібабчук В. О., Чекман І. С., Галинська В. І. Медична хімія: підручник. – К. : ВСВ «Медицина», 2018. – 336 с.
10. Мороз А. С., Луцевич Д. Д., Яворська Л. П. Медична хімія. – Вінниця : Нова книга, 2008. – 776 с.
11. Аналітична хімія: підручник/ Під ред. В. М. Зайцева. – Донецьк: ДонНУ, 2009. – 415 с.
12. Reichardt Chr., Welton T. Solvents and Solvent Effects in Organic Chemistry. 4-th ed. WILEY-VCH, 2011. – 692 p.

Навчальне видання

Перлова Ольга Вікторівна

Солдаткіна Людмила Михайлівна

Теоретичні основи водних і неводних розчинів

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять

для студентів факультету хімії та фармації

Спеціальність 102 «Хімія», 014 «Середня освіта (Хімія)»

В авторській редакції

Підп. до друку 03.10.2022. Формат 60x84/16.

Ум.-друк. арк. 3,53. Тираж 10 пр.

Зам. № 2487.

Видавець і виготовлювач

Одеський національний університет

імені І. І. Мечникова

Україна, 65082, м. Одеса, вул. Єлісаветинська, 12

Тел.: (048) 723 28 39. E-mail: druk@onu.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4215 від 22.11.2011 р.