

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені І. І. МЕЧНИКОВА
ФАКУЛЬТЕТ ХІМІЇ ТА ФАРМАЦІЇ
КАФЕДРА ФІЗИЧНОЇ ТА КОЛОЇДНОЇ ХІМІЇ

**БУДОВА РЕЧОВИНИ.
ЕЛЕКТРИЧНІ ТА МАГНІТНІ ВЛАСТИВОСТІ
МОЛЕКУЛ**

ЕЛЕКТРОННИЙ МЕТОДИЧНИЙ ПОСІБНИК
для студентів факультету хімії та фармації

ОДЕСА
ОНУ
2023

**УДК 544.1(075.8)
Б903**

Укладачі:

О. В. Перлова, кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри фізичної та колоїдної хімії Одеського національного університету імені І. І. Мечникова.

Рецензенти:

І. П. Цимбал, кандидат хімічних наук, доцент кафедри фармації національного університету «Одеська політехніка»;

В. В. Менчук, кандидат хімічних наук, доцент, декан факультету хімії та фармації, доцент кафедри фізичної та колоїдної хімії Одеського національного університету імені І. І. Мечникова.

*Рекомендовано вченою радою факультету
хімії та фармації ОНУ імені І. І. Мечникова.
Протокол № 6 від 29.03.2023 р.*

Б903 **Будова речовини. Електричні та магнітні властивості молекул**
[Електронний ресурс] : електрон. метод. посіб. для студентів ф-ту хімії та фармації / уклад.: О. В. Перлова. – Одеса : Одес. нац. ун-т ім. І. І. Мечникова, 2023. – 62 с. – 1,2 МБ.

У методичному посібнику детально розглянуто теми змістового модуля 1 «Молекули в електричних та магнітних полях» курсу «Будова речовини», які згідно з робочою програмою дисципліни виносяться на практичні заняття. Кожна розроблена тема містить теоретичний мінімум, питання для самоконтролю, приклади розв'язання типових задач, задачі для аудиторної та самостійної роботи, серед них багатоваріантні задачі, а також завдання підвищеної складності. Для заняття на тему «Рефракція» пропонуються плани 3-х лабораторних робіт

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

УДК 544.1(075.8)

З М І С Т

ВСТУП.....	5
Практичне заняття 1. Ядерно-електронна будова макротіл та мікрочастинок.....	6
Теоретичний мінімум.....	6
Питання для самоконтролю.....	9
Приклади розв'язання задач.....	9
Задачі для роботи в аудиторії.....	10
Задачі підвищеної складності.....	10
Завдання для самостійної роботи.....	11
Практичне заняття 2. Дипольний момент. Поляризація, поляризованість.....	12
Теоретичний мінімум.....	12
Питання для самоконтролю.....	15
Приклади розв'язання задач.....	16
Задачі для роботи в аудиторії.....	19
Задачі підвищеної складності.....	19
Завдання для самостійної роботи.....	20
Багатоваріантна задача.....	21
Практичне заняття 3. Рефракція.....	22
Теоретичний мінімум.....	22
Питання для самоконтролю.....	23
Приклади розв'язання задач.....	23
Задачі для роботи в аудиторії.....	26
Задачі підвищеної складності.....	27
Завдання для самостійної роботи.....	27
Багатоваріантні задачі.....	28
Лабораторна робота 1.....	30
Лабораторна робота 2.....	33

Лабораторна робота 3.....	35
Практичне заняття 4. Методи визначення дипольних мо- ментів.....	37
Теоретичний мінімум.....	37
Питання для самоконтролю.....	40
Приклади розв'язання задач.....	40
Задачі для роботи в аудиторії.....	48
Задачі підвищеної складності.....	49
Завдання для самостійної роботи.....	49
Багатоваріантні задачі.....	50
Практичне заняття 5. Магнітні властивості молекул. По- ведінка молекул в електромагнітному полі.....	53
Теоретичний мінімум.....	52
Питання для самоконтролю.....	54
Приклади розв'язання завдань.....	55
Завдання для роботи в аудиторії.....	56
Завдання підвищеної складності.....	56
Завдання для самостійної роботи.....	57
Додаток.....	58
Відповіді.....	60
Список рекомендованої літератури.....	61

ВСТУП

Дисципліна «Будова речовини», що викладається для здобувачів вищої освіти очної та заочної форм навчання факультету хімії та фармації, сприяє підготовці фахівців із широким діапазоном знань та вмінь, здатних працювати на рівні міжнародних стандартів в умовах сучасної динамічної зміни пріоритетів щодо замовлення фахівців. Цей курс дає уявлення здобувачам про сучасні методи вивчення будови речовини і про шляхи використання експериментальних та теоретичних відомостей про будову речовини для вирішення хімічних проблем, які мають наукове й економічне значення.

Програма дисципліни «Будова речовини» передбачає вивчення як теоретичних, так і практичних питань, пов'язаних з проблемами зв'язку основних фізико-хімічних властивостей молекул з їх будовою. Практичні заняття сприяють більш глибокому пізнанню курсу, оволодінню студентами навичками сучасних розрахункових методів дослідження будови молекул. Такі заняття є необхідною складовою професійної підготовки студентів, оскільки сприяють надбанню студентами досвіду розв'язання практичних задач.

Кожне з запропонованих практичних занять містить необхідний теоретичний мінімум, питання для самоконтролю, різнопланові тестові завдання, приклади розв'язання задач, які допомагають здобувачам краще підготуватися до практичного заняття або працювати самостійно, задачі для роботи в аудиторії та самостійної роботи, серед них завдання підвищеної складності та багатоваріантні задачі. Такий підхід дозволяє індивідуально підходити до кожного студента, враховуючи його особистий рівень підготовки. Так, за допомогою багатоваріантних задач кожний здобувач отримуватиме індивідуальне домашнє завдання, а задачі підвищеної складності допоможуть найкращим здобувачам підвищити рівень здобутих знань та вмінь.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 1

ЯДЕРНО-ЕЛЕКТРОННА БУДОВА МАКРОТІЛ ТА МІКРОЧАСТИНОК

ТЕОРЕТИЧНИЙ МІНІМУМ

Основні теорії в галузі будови речовини

Вчення про будову речовини – основа знань про мікрочастинки, властивості газів, рідин та твердих тіл. Вчення про будову речовини виникло, існує і розвивається на межі між фізикою та хімією. Історія розвитку фізики і хімії – це історія розвитку знань про атоми і молекули. Основна проблема вчення про будову речовини – будова молекул та хімічний зв'язок. Вчення про будову речовини та хімічний зв'язок допомагає побудувати цілісну та гармонічну картину хімічних явищ. Властивості речовин визначаються атомним складом і будовою молекул чи кристалів. Хімічні перетворення зводяться до зміни атомного складу і будови молекул.

Історія розвитку вчення про будову речовини – історія розвитку уявлень про атоми і молекули. В галузі вчення про будову речовини існують теорії:

1. Класична теорія (Берцеліус, Лавуазьє, Дюма, Франкланд, Бутлеров, Кекуле, Вант-Гофф, Марковніков та інші);
2. Квантово-механічна теорія (Де-Бройль, Шредінгер, Борн, Гейзенберг та інші).

В межах класичної теорії існують хімічний та фізичний аспекти, а також проміжна область між ними.

Хімічний аспект класичної теорії базується на атомно-молекулярному вченні, описує будову молекул та її зв'язок з хімічними властивостями речовин. До цього аспекту входять:

- теорія радикалів (дуалістична теорія) – Лавуазьє, Берцеліус;
- теорія хімічних типів (унітарна теорія) – Дюма, Жерар, Лоран;
- сучасна теорія хімічної будови (Франкланд, Бутлеров).

Фізичний аспект класичної теорії (Клаузіус, Релей, Друде, Бєєр-рум, Волькенштейн) базується на моделі молекули як зв'язаної сукупності ефективних атомів, описує деякі властивості молекул (коливальний та обертальний рух) на підставі законів класичної фізики.

Суміжна область – встановлення зв'язку будови молекул (хімічний аспект) з їх фізичними властивостями (мольний об'єм, мольна теплоємність, мольна рефракція, теплота утворення тощо).

Ядерно-електронна будова макротіл і мікрочастинок

Макротіло – це матеріальні об'єкти, які складаються з великої кількості ядер та електронів. Макротіло – об'єкти певних розмірів. Наприклад, газ у балоні, вода у склянці, шматок крейди, срібний ланцюжок тощо.

Макротіло або їх сукупність можуть знаходитись:

- у термодинамічно рівноважному стані (властивості речовин при сталих зовнішніх умовах не змінюються з часом);
- у термодинамічно нерівноважному стані (властивості речовин при сталих зовнішніх умовах змінюються з часом).

Розрізняють однорідні та неоднорідні макротіла.

Однорідне макротіло – усі хімічні та питомі фізичні властивості однакові для будь-якого елемента об'єму, який ще можна розглядати як макротіло (дистильована вода; хімічно чистий силіцій(IV) оксид).

Неоднорідне макротіло – хімічні та питомі фізичні властивості різні для будь-якого елемента об'єму, який ще можна розглядати як макротіло (морська вода, пісок).

Макротіло складаються з мікрочастинок.

Мікрочастинка – невелика сукупність ядер та електронів, в якій ядра та електрони сильно взаємодіють між собою. Для того, щоб деяку сукупність ядер та електронів макротіла можна було розглядати як єдину хімічну мікрочастинку, необхідно, щоб у відсутності співударів

з іншими сукупностями вона могла існувати невизначено довгий час, не розпадаючись самочинно на менші структурні одиниці.

Мікрочастинки класифікують

- за зарядом:
 - електрично заряджені – прості та складні йони;
 - електронейтральні – атоми, молекули, радикали;
- за кількістю атомів (ядер):
 - одноатомні (одноядерні) – атоми, прості йони, прості радикали;
 - багатоатомні (багатоядерні) – молекули, складні йони, складні радикали.

Мікрочастинки складаються з ядер та електронів.

Ядро – центральна частина атома, в якій зосереджена основна частина його маси. Кількісні характеристики ядер: маса спокою (а. о. м.); масове число (нуклонне число); заряд; власний момент кількості руху (спін)

$$\hat{I}^2 = \frac{h^2}{4\pi^2} \cdot I \cdot (I + 1) \quad (1.1)$$

I – квантове число спіна ядра (0; 1/2; 1; 3/2....); h – стала Планка.

Електрон – стабільна елементарна частинка. Є складовою частиною усіх атомів. Електрони утворюють електронні оболонки атомів, які визначають електричні, оптичні, хімічні властивості атомів та молекул. Усі електрони однакові. Кількісні характеристики електронів: маса спокою ($9,109 \cdot 10^{-31}$ кг); заряд ($1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл); власний момент кількості руху (спін)

$$\hat{S}^2 = \frac{h^2}{4\pi^2} \cdot S \cdot (S + 1) \quad (1.2)$$

S – квантове число спіна електрона (1/2).

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Що вивчає дисципліна «Будова речовини»?
2. Яке значення має дисципліна «Будова речовини» в системі знань сучасного хіміка?
3. Як розвивалося вчення про будову речовини в історичному аспекті?
4. Охарактеризуйте фізичний аспект класичної теорії хімічної будови.
5. Які теорії входять до хімічного аспекту класичної теорії?
6. Охарактеризуйте теорію радикалів. Позитивні та негативні боки теорії радикалів.
7. Які експериментальні факти підтверджували теорію радикалів, а які суперечили їй?
8. Охарактеризуйте теорію хімічних типів. Позитивні та негативні боки теорії хімічних типів.
9. Наведіть основні положення сучасної теорії хімічної будови.
10. Які напрямки розвитку сучасної теорії хімічної будови Ви знаєте?
11. Що таке макротіла? Види макротіл.
12. Що таке мікрочастинки? Види мікрочастинок.
13. Граничні моделі мікрочастинок.
14. Характеристика ядер як складових мікрочастинок.
15. Характеристика електронів як складових мікрочастинок.

ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ

Задача 1

Охарактеризуйте ядерно-електронну будову зразка (срібний ланцюжок масою 5 г).

Розв'язання

Срібний ланцюжок масою 5 г – це макротіло, оскільки має певні розміри. Нехай вміст срібла у зразку складає 100 %. Це однорідне макротіло, знаходиться у термодинамічно рівноважному стані. Це макротіло складається з одноядерних електронейтральних мікрочастинок (атомів срібла).

Розрахуємо кількість ядер та електронів, що містяться в даному макротілі (порядковий номер 47, нуклонне число 108).

Кількість речовини $n(\text{Ag}) = m(\text{Ag}) / M(\text{Ag}) = 5 / 108 = 0,0463$ моль.

Кількість атомів $N(\text{Ag}) = n(\text{Ag}) \cdot N_A = 0,0463 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 2,79 \cdot 10^{22}$

Кількість ядер = кількості атомів = $2,79 \cdot 10^{22}$

Кількість протонів $47 \cdot 2,79 \cdot 10^{22} = 1,31 \cdot 10^{23}$

Кількість електронів $47 \cdot 2,79 \cdot 10^{22} = 1,31 \cdot 10^{23}$

ЗАДАЧІ ДЛЯ РОБОТИ В АУДИТОРІЇ

Охарактеризуйте ядерно-електронну будову заданого зразка

№	Зразок	Маса, г	Домішки	Масова частка домішок, %
1	H ₂ O (дист.)	100	-	-
2	H ₂ O (морська)	200	пісок	5
3	NaCl (х.ч.)	20	-	-
4	NaCl (техн.)	40	пісок	3
5	CaC ₂ (х.ч.)	50	-	-
6	CaC ₂ (техн.)	150	пісок	10

ЗАДАЧІ ПІДВИЩЕНОЇ СКЛАДНОСТІ

Охарактеризуйте ядерно-електронну будову заданого зразка

№	Зразок	Маса, г (об'єм, л)	Склад	
			Речовина	Вміст, %
1	Природний газ	(300)	CH ₄	98
			C ₂ H ₆	0,5
			C ₃ H ₈	0,1
			N ₂	0,4

			CO ₂	1,0
2	Кам'яне вугілля	1000	C	80
			H ₂	6
			O ₂	14
3	Повітря*	(1000)	N ₂	78
			O ₂	21
			CO ₂	0,03
			Ar	0,03

*Іншими складовими повітря знехтувати

ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

Охарактеризуйте ядерно-електронну будову заданого зразка

№	Зразок	Маса, г	Домішки	Масова частка домішок, %
1	Золото (585 проба)	10	Срібло	8
			Мідь	33
2	CaCO ₃ (х. ч.)	100	-	-
3	He	50	-	-
4	Діамант	0,2	-	-
5	Бензен	$7,8 \cdot 10^{-23}$	-	-

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 2

ДИПОЛЬНИЙ МОМЕНТ. ПОЛЯРИЗАЦІЯ, ПОЛЯРИЗОВАНІСТЬ

ТЕОРЕТИЧНИЙ МІНІМУМ

Електричний дипольний момент – це властивість молекули в цілому. Він утворюється розподілом усіх її електронів та позитивних зарядів. Якщо молекула немає електричної симетрії, тобто якщо центри позитивних та негативних зарядів зміщені на деяку відстань l , то утворюється електричний диполь.

Електричний диполь – це система, яка складається з рівних за величиною та протилежних за знаком електричних зарядів q , які знаходяться на відстані l один від одного. Електричний диполь характеризується спрямованою величиною дипольного моменту:

$$\mu = q \cdot l \quad (2.1)$$

Поняття дипольного моменту дозволяє поділити усі молекули на два класи, які значно відрізняються характером розподілу позитивних та негативних зарядів у молекулі, а також за їх електричними властивостями.

Якщо центри позитивних та негативних зарядів у молекулі не співпадають для рівноважних конфігурацій ядер, така молекула у відсутності зовнішнього електричного поля має власний дипольний момент, який відрізняється від 0 ($\mu \neq 0$), і володіє властивостями електричного диполя, такі молекули називаються полярними.

Якщо центри позитивних чи негативних зарядів у молекулі співпадають для рівноважної конфігурації ядер, така молекула не володіє властивостями електричного диполя, оскільки її власний дипольний момент у відсутності зовнішнього поля дорівнює 0, такі молекули звуться неполярними.

Наявність у молекули дипольного моменту, який не дорівнює 0, вказує на характер її симетрії.

Наприклад:

- $\mu(\text{H}_2\text{O})=1,84 \text{ Д}$ *Висновок:* молекула несиметрична.
- $\mu(\text{CO})= 0,1 \text{ Д}$ *Висновок:* молекула полярна
- $\mu(\text{CO}_2)=0 \text{ Д}$ *Висновок:* молекула симетрична

Дані про дипольні моменти молекул дозволяють створити загальну картину полярної структури молекул і простежити зв'язок між хімічною будовою молекул різних класів та їх дипольним моментом.

Слід розрізняти полярність молекули в цілому і полярність окремих зв'язків. Наприклад, для молекул з валентним кутом β між зв'язками (наприклад, H_2O , H_2S , CO_2 тощо), дипольний момент молекули можна розрахувати за рівнянням:

$$\mu_{\text{H}_2\text{O}} = 2 \cdot \mu_{\text{O-H}} \cdot \cos \frac{\beta}{2} \quad (2.2)$$

де $\mu_{\text{H}_2\text{O}}$ – дипольний момент молекули; $\mu_{\text{O-H}}$ – дипольний момент зв'язку.

При поміщенні неполярних і полярних молекул у статне електричне поле з окремими молекулами і речовиною в цілому відбуваються зміни, які поєднуються загальним терміном «поляризація». Молярна поляризація речовини P_M описується рівнянням:

$$P_M = P_{\text{def}} + P_{\text{op}} = P_{\text{el}} + P_{\text{at}} + P_{\text{op}}, \quad (2.3)$$

де P_{def} – деформаційна поляризація; P_{el} – електронна поляризація; P_{at} – атомна поляризація; P_{op} – орієнтаційна поляризація.

Рівняння Клаузіуса-Моссотті використовується для розрахунку молярної поляризації неполярних молекул:

$$P_M = \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} \cdot \frac{M}{\rho} = \frac{1}{3\varepsilon_0} \cdot N_A \cdot \alpha \quad (\text{CI}) \quad (2.4)$$

$$P_M = \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} \cdot \frac{M}{\rho} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot N_A \cdot \alpha, \quad (\text{CGSE}) \quad (2.5)$$

де ε – діелектрична проникність; M – молярна маса; ρ – густина речовини; α – поляризованість; N_A – число Авогадро, ε_0 – електрична стала (діелектрична проникність вакууму).

Загальна поляризованість молекули описується рівнянням:

$$\alpha = \alpha_{def} + \alpha_{op} = \alpha_{at} + \alpha_{el} + \alpha_{op} \quad (2.6)$$

Електронна поляризованість спостерігається у видимій області спектра. Вона обумовлена пружним зміщенням електронних хмар відносно ядер при поміщенні молекул будь-якої будови (неполярних і полярних) як у сталі, так і у змінне електричне поле. Електронна поляризованість залежить від геометричних параметрів молекул, зокрема, від радіусу (r_0):

$$\alpha_{el} = 4\pi \cdot r_0^3 \quad (CI) \quad (2.7)$$

$$\alpha_{el} = r_0^3 \quad (CGSE) \quad (2.8)$$

Ядерна (атомна) поляризованість спостерігається в ІЧ області. Вона обумовлена пружним зміщенням ядер відносно електронної оболонки при поміщенні молекул будь-якої будови (неполярних і полярних) у сталі електричне поле. При розрахунках приймають, що ядерна поляризованість складає 10 % від електронної поляризованості:

$$\alpha_{яд.} = 0,1 \cdot \alpha_{el} \quad (2.9)$$

Орієнтаційна поляризованість спостерігається у радіохвильовій області спектра. Вона обумовлена орієнтацією постійних і індукційованих диполів за напрямком поля. Основне значення цей вид поляризованості має для полярних молекул, поміщених у електростатичне поле. Її чисельне значення залежить від величини власного дипольного моменту молекули і температури:

$$\alpha_{op} = \frac{\mu^2}{3kT} \quad (2.10)$$

де μ – власний дипольний момент молекули; k – стала Больцмана; T – абсолютна температура.

Рівняння Дебая-Ланжевена використовується для розрахунку молярної поляризації полярних молекул:

$$P_M = \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} \cdot \frac{M}{\rho} = \frac{1}{3\varepsilon_0} \cdot N_A \cdot (\alpha_{def.} + \frac{\mu^2}{3kT}) \quad (CI) \quad (2.11)$$

$$P_M = \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} \cdot \frac{M}{\rho} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot N_A \cdot (\alpha_{def.} + \frac{\mu^2}{3kT}) \cdot (CGSE) \quad (2.12)$$

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Дайте визначення електричного диполя. Наведіть усі відомі одиниці вимірювання дипольного моменту та зв'язок між ними.
2. Наслідком яких причин може бути відсутність у молекули власного дипольного моменту?
3. Наведіть приклади двох- і багатоатомних неполярних молекул.
4. Наведіть приклади двох- і багатоатомних полярних молекул.
5. Сформулюйте та обґрунтуйте умови використання рівнянь Клаузіуса-Моссотті та Дебая-Ланжевена. Які макроскопічні та мікроскопічні характеристики речовини вони об'єднують?
6. В яких одиницях вимірюється молярна поляризація в системах СІ та СГСЕ?
7. Порівняйте поведінку полярних та неполярних молекул в електростатичному полі.
8. Наведіть загальний вираз для поляризованості молекул.
9. Порівняйте види поляризованості для полярних і неполярних молекул. В якій області спектра можна визначити кожний з них?
10. В яких одиницях вимірюється поляризованість в системах СІ та СГСЕ?
11. Яку поляризованість називають електронною поляризованістю?
12. Як змінюється величина електронної поляризованості зі зростанням головного та орбітального квантових чисел?
13. Поясніть, чому ядерна поляризованість менша за електронну поляризованість?
14. Чи залежить орієнтаційна поляризованість від температури? Чому?
15. Наведіть графічну залежність молярної поляризації від температури для полярних і неполярних молекул.

ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ

Задача 1

Визначте поляризацію нітробензену при 293 К, якщо діелектрична проникність нітробензену 35,97, а його густина $1,2033 \cdot 10^3$ кг/м³.

Розв'язання

Проводимо розрахунки у системі СГСЕ.

Молекула нітробензену є полярною, тому для розрахунків використовуємо рівняння Дебая-Ланжевена (2.12).

Розраховуємо молярну масу нітробензену $C_6H_5NO_2$:

$$M(C_6H_5NO_2) = 12 \cdot 6 + 1 \cdot 5 + 14 \cdot 1 + 16 \cdot 2 = 123 \text{ г/моль.}$$

Переводимо чисельне значення густини в СГСЕ:

$$\rho = 1,2033 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 = 1,2033 \text{ г/см}^3$$

Розраховуємо молярну поляризацію за рівнянням (2.12):

$$P_M = \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} \cdot \frac{M}{\rho} = \frac{35,97 - 1}{35,97 + 2} \cdot \frac{123}{1,2033} = 94,43 \text{ см}^3/\text{моль}$$

Відповідь: $P_M = 94,143 \text{ см}^3/\text{моль}$.

Задача 2

Діелектрична проникність водню при температурі 273 К і тиску 101,3 кПа дорівнює 1,00025. Чому дорівнюють електронна та ядерна поляризованість водню?

Розв'язання

Проводимо розрахунки у системі СГСЕ.

Водень (H_2) – неполярна молекула, тому для розрахунків використовуємо рівняння Клаузіуса-Моссотті (2.5).

При розрахунку молярної поляризації враховуємо, що $T=273$ К і $P=101,3$ кПа – це нормальні умови. За нормальних умов 1 моль газу займає об'єм 22,4 л, тобто молярний об'єм газу

$$V_m = M/\rho = 22,4 \text{ л/моль} = 22\,400 \text{ см}^3/\text{моль.}$$

$$P_M = \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} \cdot \frac{M}{\rho} = \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} \cdot V_m = \frac{1,00025 - 1}{1,00025 + 2} \cdot 22400 = 1,867 \text{ см}^3/\text{моль}$$

Знаходимо поляризованість молекули водню, використовуючи праву частину рівняння (2.5):

$$P_M = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot N_A \cdot \alpha$$

Звідси

$$\alpha = \frac{P_M \cdot 3}{4 \cdot \pi \cdot N_A} = \frac{1,867 \cdot 3}{4 \cdot 3,14 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}} = 7,41 \cdot 10^{-25} \text{ см}^3$$

Для подальших розрахунків використовуємо рівняння (2.6). Для неполярних молекул $\alpha_{def} \ll \alpha_{op}$, тому величиною орієнтаційної поляризованості в рівнянні (2.6) можна знехтувати. Отже, знайдена поляризованість – це деформаційна поляризованість:

$$\alpha = \alpha_{def} = \alpha_{at} + \alpha_{el}$$

Підставляємо в останнє рівняння співвідношення (2.9) і отримуємо:

$$\alpha_{def} = 0,1 \cdot \alpha_{el} + \alpha_{el} = 1,1 \cdot \alpha_{el}$$

Звідси

$$\alpha_{el} = \frac{\alpha_{def}}{1,1} = \frac{7,41 \cdot 10^{-25}}{1,1} = 6,74 \cdot 10^{-25} \text{ см}^3$$

Ядерну поляризованість знаходимо з рівняння (2.9):

$$\alpha_{яд} = 0,1 \cdot \alpha_{el} = 0,1 \cdot 6,74 \cdot 10^{-25} = 6,74 \cdot 10^{-26} \text{ см}^3$$

$$\text{Відповідь: } \alpha_{el} = 6,74 \cdot 10^{-25} \text{ см}^3; \alpha_{яд} = 6,74 \cdot 10^{-26} \text{ см}^3.$$

Задача 3

Густина SiHBr_3 складає 2690 кг/м^3 при 298 К , діелектрична проникність дорівнює $3,57$, а дипольний момент складає $0,72 \text{ Д}$. Визначте деформаційну поляризованість молекули SiHBr_3 .

Розв'язання

Проводимо розрахунки у системі СГСЕ.

Молекула SiHBr_3 є полярною, тому для розрахунків використовуємо рівняння Дебая-Ланжевена (2.12).

Розраховуємо молярну масу SiHBr_3 .

$$M(\text{SiHBr}_3) = 28 \cdot 1 + 1 \cdot 1 + 80 \cdot 3 = 269 \text{ г/моль}.$$

Переводимо чисельне значення густини в СГСЕ:

$$\rho = 2690 \text{ кг/м}^3 = 2,69 \text{ г/см}^3$$

Розраховуємо молярну поляризацію за рівнянням (2.12):

$$P_M = \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} \cdot \frac{M}{\rho} = \frac{3,57 - 1}{3,57 + 2} \cdot \frac{269}{2,69} = 46,14 \text{ см}^3/\text{моль}$$

З рівняння (2.12) виражаємо $\alpha_{\text{деф.}}$.

$$\alpha_{\text{деф.}} = \frac{P_M \cdot 3}{4 \cdot \pi \cdot N_A} - \frac{\mu^2}{3kT}$$

Для коректної підстановки чисельного значення дипольного моменту, слід використовувати одиниці вимірювання в СГСЕ:

$$\mu = 0,72 \text{ Д} = 0,72 \cdot 10^{-18} \text{ од. дипольного моменту СГСЕ}.$$

$$\alpha_{\text{деф.}} = \frac{46,14 \cdot 3}{4 \cdot 3,14 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}} - \frac{(0,72 \cdot 10^{-18})^2}{3 \cdot 1,38 \cdot 10^{-16} \cdot 298} = 1,41 \cdot 10^{-23} \text{ см}^3$$

$$\text{Відповідь: } \alpha_{\text{деф.}} = 1,41 \cdot 10^{-23} \text{ см}^3.$$

Задача 4

Дипольний момент молекули метанолу при 298 К складає 1,69 Д. Визначте орієнтаційну поляризацію метанолу.

Розв'язання

Проводимо розрахунки у системі СГСЕ.

Молекула CH_3OH є полярною, тому для розрахунків використовуємо рівняння Дебая-Ланжевена (2.12).

Орієнтаційну поляризованість $\alpha_{\text{ор.}}$ розраховуємо за рівнянням (2.10), попередньо переводимо чисельне значення дипольного момен-

ту в СГСЕ:

$$\alpha_{op.} = \frac{\mu^2}{3kT} = \frac{(1,69 \cdot 10^{-18})^2}{3 \cdot 1,38 \cdot 10^{-16} \cdot 298} = 2,29 \cdot 10^{-23} \text{ см}^3$$

Для розрахунку орієнтаційної поляризації $P_{op.}$ використовуємо рівняння:

$$P_{op.} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot N_A \cdot \alpha_{op.} = \frac{4}{3} \cdot 3,14 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 2,29 \cdot 10^{-23} = 57,72 \text{ см}^3/\text{моль}$$

Відповідь: $P_{op.} = 57,72 \text{ см}^3/\text{моль}$.

ЗАДАЧІ ДЛЯ РОБОТИ В АУДИТОРІЇ

1. Оцініть ефективні заряди атомів у молекулах HF , KF , CsF , якщо відомо, що дипольні моменти цих молекул складають відповідно 1,91 Д, 7,33 Д та 7,88 Д, а між'ядерні відстані – 0,92 Å, 2,20 Å та 2,34 Å.

2. Дипольний момент NF_3 дорівнює 0,24 Д, NH_3 – 1,46 Д. Поясніть різницю.

3. Обчисліть дипольний момент зв'язку $\text{O} - \text{H}$, якщо дипольний момент молекули H_2O дорівнює 1,84 Д, а валентний кут складає 104° .

4. Розрахуйте радіуси молекул CO_2 та Cl_2 , якщо:

для CO_2 $\varepsilon = 1,000985$; $\rho = 1,9796 \text{ г/л}$

для Cl_2 $\varepsilon = 1,000786$; $\rho = 3,214 \text{ г/л}$.

5. Дипольний момент молекули HBr дорівнює 0,78 Д, а її діелектрична проникність при 273 К та $1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$ дорівнює 1,00313. Розрахуйте усі види поляризованості.

ЗАДАЧІ ПІДВИЩЕНОЇ СКЛАДНОСТІ

6. Покажіть, що якщо усі можливі орієнтації молекули відносно вектора електричного диполя рівномірні, то середній наведений дипольний момент молекули $\bar{\mu}$ пов'язаний з напруженістю поля рівнянням

$$\bar{\mu} = \alpha \cdot \bar{E},$$

де α – середня поляризованість молекули

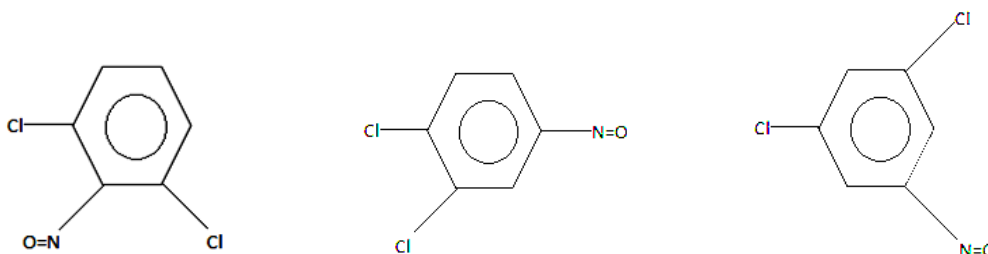
$$\alpha = \frac{1}{3}(\alpha_{xx} + \alpha_{yy} + \alpha_{zz}).$$

7. Дипольний момент зв'язку C-Cl дорівнює 1,97 Д. Знайдіть дипольні моменти *цис*- та *транс*-дихлоретену.

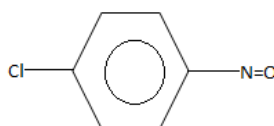
8. Дипольні моменти PCl_3 , $AsCl_3$ та $SbCl_3$ дорівнюють відповідно 0,78; 1,59 та 3,9 Д, кути Cl-E-Cl дорівнюють 100° . Розрахуйте момент зв'язку для наведених сполук та поясніть одержані значення.

9. Дипольний момент дихлоретану при звичайній температурі дорівнює 1,1 Д. При підвищенні температури він зростає та вище 270°C досягає 1,54 Д. Поясніть цей ефект.

10. У якій послідовності зростають дипольні молекул



Обґрунтуйте, де слід розташувати молекулу



11. Розрахуйте дипольний момент молекули H_2S , якщо $\mu_{S-H} = 0,67$ Д, а валентний кут $92^\circ 20'$.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

12. Виходячи з симетрії рівноважних конфігурацій молекул $H_2C=CH_2$; $H_2C=C(CH_3)_2$; $H_2C=C=CH_2$; $H_2C=C=C(CH_3)_2$, визначте, які з цих молекул мають в рівноважній конфігурації дипольні моменти, що відрізняються від нуля. Вздовж яких осей можуть бути спрямовані ці моменти?

13. Розташуйте у порядку зростання електронної поляризованості атоми та молекули:

а) Ar, Xe, He, Kr, Ne ;

б) HCl, HI, H_2, HBr ;

в) $NH_3; Ne, HF, H_2O$.

14. Поясніть походження дипольних моментів в молекулах H_2O , $NaCl$, HCN , N_2O .

15. Визначте валентний кут у молекулі метилового спирту, якщо $\mu = 1,69$ Д, $\mu_{O-CH_3} = 1,2$ Д, $\mu_{O-H} = 1,51$ Д.

16. Діелектрична проникність ксенону за нормальних умов дорівнює 1,001406. Чому дорівнює поляризованість атома ксенону?

БАГАТОВАРІАНТНА ЗАДАЧА

1. Розрахуйте молярну поляризацію та усі види поляризованості речовини A за температури T .

№	Речовина A	ε	ρ , кг/м ³	μ , Д	T , К
1	H_2O	80,08	998,2	1,84	293
2	$CHCl_3$	4,81	1489,0	1,18	293
3	CCl_4	2,24	1594,0	0	293
4	C_2H_5OH	25,00	789,3	1,67	293
5	CH_3COCH_3	21,40	790,5	2,71	293
6	$C_2H_5OC_2H_5$	4,38	713,5	1,22	293
7	C_6H_6	2,29	879,0	0	293
8	C_6H_5Br	5,40	1494,8	1,53	293
9	C_6H_5Cl	5,65	1106,2	1,57	293
10	$C_6H_5NO_2$	35,97	1203,3	3,93	293
11	CH_2CHCH_2OH	21,6	850,8	1,602	290
12	$C_6H_5NH_2$	6,89	1021,8	5,0	293
13	$C_6H_5CH_3OH$	13,1	1045,4	5,7	293
14	C_4H_9OH	17,8	808,6	5,54	293
15	$CH_2CHCH_2(OH)_3$	42,5	1259,4	0,93	293
16	C_2H_5COOH	3,33	992,0	5,84	293
17	$CH_3COOC_2H_5$	6,11	900,5	5,94	293

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 3

РЕФРАКЦІЯ

ТЕОРЕТИЧНИЙ МІНІМУМ

Молярна рефракція R_M відповідає електронній поляризації речовини при її розміщенні в електромагнітне поле видимого світла. Молярна рефракція може бути розрахована за рівнянням Лорентс-Лоренца:

$$P_{el} = R_M = \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \cdot \frac{M}{\rho} = \frac{1}{3\varepsilon_0} \cdot N_A \cdot \alpha_{el} \quad (\text{CI}) \quad (3.1)$$

$$P_{el} = R_M = \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \cdot \frac{M}{\rho} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot N_A \cdot \alpha_{el} \quad (\text{CGSE}) \quad (3.2)$$

де n – показник заломлення речовини.

Молярна рефракція володіє властивістю адитивності:

$$R_M = \sum_i n_i R_{i,am} + \sum_j n_j R_{j,zv} + \sum_k n_k R_{k,\mu}, \quad (3.3)$$

де $R_{i,am}$ – рефракція атомів i -го виду; n_i – кількість атомів i -го виду;
 $R_{j,zv}$ – рефракція кратних зв'язків; n_j – кількість кратних зв'язків;
 $R_{k,\mu}$ – рефракція циклів (неароматичних); n_k – кількість циклів.

Значення рефракцій атомів, кратних зв'язків та циклів наведено в Додатку (табл. А).

Питома рефракція r використовується при дослідженні розчинів і дорівнює

$$r = \frac{R_M}{M} = \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \cdot \frac{1}{\rho} \quad (3.4)$$

Питома рефракція розчину $r_{1,2}$ залежить від питомої рефракції розчинника r_1 і питомої рефракції розчиненої речовини r_2 , а також від масової частки розчиненої речовини ω :

$$r_{1,2} = r_1(1 - \omega) + r_2\omega \quad (3.5)$$

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Опишіть поведінку полярних і неполярних молекул у змінному електричному полі.
2. Яка величина характеризує ступінь поляризованості молекул в електромагнітному полі видимого світла?
3. Які макро- і мікроскопічні характеристики молекул поєднує рівняння Лорентс-Лоренца? Які умови його використання?
4. Для яких молекул – полярних чи неполярних – використовується поняття молярної рефракції та рівняння Лорентс-Лоренца? Відповідь обґрунтуйте.
5. В яких одиницях вимірюється молярна рефракція в системах СІ та СГСЕ?
6. Яке практичне значення властивості адитивності молярної рефракції?
7. В яких одиницях вимірюється питома рефракція в системах СІ та СГСЕ?
8. З рівняння (3.54) виведіть формулу для розрахунку масової частки розчиненої речовини.

ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ

Задача 1

Визначте молярну рефракцію нітробензену при 298 К, якщо його показник заломлення дорівнює 1,5522, а густина складає $1,2082 \cdot 10^3$ кг/м³.

Розв'язання

Проводимо розрахунки у системі СГСЕ.

Розраховуємо молярну масу $C_6H_5NO_2$:

$$M(C_6H_5NO_2) = 12 \cdot 6 + 1 \cdot 5 + 14 \cdot 1 + 16 \cdot 2 = 123 \text{ г/моль.}$$

Переводимо чисельне значення густини в СГСЕ:

$$\rho = 1,2033 \cdot 10^3 \text{ кг} / \text{м}^3 = 1,2033 \text{ г} / \text{см}^3$$

Молярну рефракцію розраховуємо за рівнянням Лорентс-Лоренца (3.2):

$$R_M = \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \cdot \frac{M}{\rho} = \frac{1,5522^2 - 1}{1,5522^2 + 2} \cdot \frac{123}{1,2082} = 32,802 \text{ см}^3/\text{моль}$$

Відповідь: $R_M = 32,802 \text{ см}^3/\text{моль}$.

Задача 2

Визначте молярну рефракцію аніліну при 298 К, якщо його показник заломлення дорівнює 1,5861, а густина складає $1,0218 \cdot 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$. Порівняйте одержане значення з розрахованим за правилом адитивності.

Розв'язання

Проводимо розрахунки у системі СГСЕ.

Розраховуємо молярну масу $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$:

$$M(\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2) = 12 \cdot 6 + 1 \cdot 7 + 14 \cdot 1 = 93 \text{ г}/\text{моль}.$$

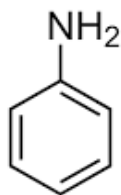
Переводимо чисельне значення густини в СГСЕ:

$$\rho = 1,0218 \cdot 10^3 \text{ кг} / \text{м}^3 = 1,0218 \text{ г} / \text{см}^3$$

Молярну рефракцію розраховуємо за рівнянням Лорентс-Лоренца (3.2):

$$R_M = \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \cdot \frac{M}{\rho} = \frac{1,5861^2 - 1}{1,5861^2 + 2} \cdot \frac{93}{1,0218} = 30,549 \text{ см}^3/\text{моль}$$

Записуємо структурну формулу аніліну і аналізуємо склад молекули. Молекула аніліну містить 6 атомів Карбону, 7 атомів Гідрогену, 1 атом Нітрогену (первинний ароматичний амін) і 3 подвійні зв'язки.



Розраховуємо молярну рефракцію аніліну за правилом адитивності:

$$R_M = 6 \cdot R(C) + 7 \cdot R(H) + R(N \text{ перв. аром. амін}) + 3 \cdot R(\text{подв. зв.})$$

$$R_M = 6 \cdot 2,418 + 7 \cdot 1,1 + 3,218 + 3 \cdot 1,733 = 30,625 \text{ см}^3/\text{моль}$$

Для порівняння значень молярної рефракції, розрахованих за рівнянням Лорентс-Лоренца (тобто за експериментальними даними) і правилом адитивності (теоретичне значення), розраховуємо похибку вимірювань δ :

$$\delta = \left| \frac{R_{M, \text{теор}} - R_{M, \text{експ.}}}{R_{M, \text{теор}}} \right| \cdot 100 = \left| \frac{30,625 - 30,549}{30,625} \right| \cdot 100 = 0,25(\%)$$

Відповідь: $R_{M, \text{експ.}} = 30,549 \text{ см}^3/\text{моль}$; $R_{M, \text{теор.}} = 30,625 \text{ см}^3/\text{моль}$; $\delta = 0,25 \%$.

Задача 3

Досліджено розчин хлороформу у хлорбензені. Визначте масову частку хлороформу в розчині, використовуючи наступні дані:

Об'єкт дослідження	n	ρ , кг/м ³
Хлорбензен	1,5248	1110
Хлороформ	1,4457	1488
Розчин	1,4930	1260

Розв'язання

Проводимо розрахунки у системі СГСЕ.

Позначимо складові частини розчину, переводимо чисельні значення густини в СГСЕ (для зручності, заносимо дані у таблицю):

Позначення складової частини розчину		Об'єкт дослідження	n	ρ , г/см ³
1	Розчинник	Хлорбензен	1,5248	1,110
2	Розчинена речовина	Хлороформ	1,4457	1,488
1,2	Розчин	Розчин	1,4930	1,260

Оскільки досліджено розчин, використовуємо поняття питомої рефракції і розраховуємо питому рефракцію розчинника (r_1), розчиненої речовини (r_2) і розчину ($r_{1,2}$) за рівнянням (3.4):

$$r_1 = \frac{n_1^2 - 1}{n_1^2 + 2} \cdot \frac{1}{\rho_1} = \frac{1,5248^2 - 1}{1,5248^2 + 2} \cdot \frac{1}{1,11} = 0,276 \text{ см}^3/\text{Г}$$

$$r_2 = \frac{n_2^2 - 1}{n_2^2 + 2} \cdot \frac{1}{\rho_2} = \frac{1,4457^2 - 1}{1,4457^2 + 2} \cdot \frac{1}{1,488} = 0,179 \text{ см}^3/\text{Г}$$

$$r_{1,2} = \frac{n_{1,2}^2 - 1}{n_{1,2}^2 + 2} \cdot \frac{1}{\rho_{1,2}} = \frac{1,4930^2 - 1}{1,4930^2 + 2} \cdot \frac{1}{1,26} = 0,231 \text{ см}^3/\text{Г}$$

Для розрахунку масової частки розчиненої речовини використовуємо рівняння (3.5), з якого виражаємо ω :

$$\omega = \frac{r_{1,2} - r_2}{r_1 - r_2} = \frac{0,231 - 0,179}{0,276 - 0,179} = 0,536 \text{ або } 53,6 \%$$

Відповідь: $\omega = 53,6 \%$.

ЗАДАЧІ ДЛЯ РОБОТИ В АУДИТОРІЇ

1. Показник заломлення алілового спирту C_3H_6O дорівнює 1,4125, а густина $850,8 \text{ кг/м}^3$ при 20°C . Розрахуйте молярну рефракцію та порівняйте її з обчисленою за правилом адитивності.

2. Знайдіть поляризованість йонів Na^+ та Cl^- , виходячи з наступних даних:

$$R_{KCl} = 11,23 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{моль}$$

$$R_{KF} = 4,73 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{моль}$$

$$R_{NaF} = 3,0 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{моль}$$

$$R_{F^-} = 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{моль}.$$

3. Речовина $CHCl_2F$ має густину 1426 кг/м^3 та показник заломлення 1,372. Розрахуйте електронну поляризованість молекули.

4. Густина нітробензену при 20°C дорівнює $1203,3 \text{ кг/м}^3$, а показник заломлення – 1,5524. Визначте молярну рефракцію $C_6H_5NO_2$ та, користуючись правилом адитивності, розрахуйте рефракцію групи NO_2 .

5. Встановіть структуру сполуки з емпіричною формулою $C_5H_8O_2$, якщо при 298 К її показник заломлення дорівнює 1,4045, а густина 928 кг/м³.

6. Показник заломлення водного розчину етанолу 1,3580, густина 935,2 кг/м³. Розрахуйте масову частку етанолу в розчині, якщо показники заломлення та густини етанолу і води відповідно дорівнюють:

	n	ρ , кг/м ³
етанол	1,3611	789,3
вода	1,333	998,2.

ЗАДАЧІ ПІДВИЩЕНОЇ СКЛАДНОСТІ

7. Елементарний аналіз органічної сполуки показав, що до її складу входять: Карбон – 54,5 %, Оксиген – 36,4 %, Гідроген – 9,1 % (за масою). Показник заломлення та густина при 293 К відповідно дорівнюють 1,398 та 955 кг/м³. Молярна маса речовини дорівнює $88 \cdot 10^{-3}$ кг/моль. Визначте структурну формулу речовини.

8. Показник заломлення газоподібного хлору при 273 К і тиску $1,013 \cdot 10^5$ Па дорівнює 1,000773. Розрахуйте молярну рефракцію і радіус молекули хлору.

9. При 293 К густина 44 % розчину цукрози $C_{12}H_{22}O_{11}$ у воді складає 1191 кг/м³, а показник заломлення розчину дорівнює 1,406. Розрахуйте молярну рефракцію цукрози, якщо за даних умов показник заломлення води дорівнює 1,333, а густина – 998,23 кг/м³.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

10. Показник заломлення пропілхлорформіату (пропілового естеру хлорметанової кислоти) дорівнює 1,4035, а густина складає 1090 кг/м³ при 293 К. Розрахуйте молярну рефракцію. Порівняйте одержаний результат зі значенням молярної рефракції, розрахованим за правилом адитивності.

11. При 293 К показник заломлення диметилкетону C_3H_6O дорівнює 1,3690, а густина складає 791 кг/м^3 . Розрахуйте радіус молекули диметилкетону.

12. Густина та показник заломлення піридину при 20°C відповідно дорівнюють $982,5 \text{ кг/м}^3$ та 1,5100. Визначте рефракцію Нітрогену в піридині.

13. Показник заломлення водного розчину оцтової кислоти 1,3540, а густина $1038,3 \text{ кг/м}^3$. Показник заломлення та густина оцтової кислоти дорівнюють відповідно 1,3718 та $1049,1 \text{ кг/м}^3$; води: 1,333 та $998,2 \text{ кг/м}^3$. Розрахуйте масову частку оцтової кислоти в розчині.

БАГАТОВАРІАНТНІ ЗАДАЧІ

1. Розрахуйте молярну рефракцію, електронну поляризованість та радіус речовини A . Порівняйте отримані дані з розрахованими за правилом адитивності.

№	Речовина A	n	ρ , кг/м^3
1	$\text{CH}_2\text{CHCH}_2\text{OH}$	1,4125	850,8
2	$\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$	1,5861	1021,8
3	CH_3COCH_3	1,3565	785,0
4	$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{OH}$	1,5405	1045,4
5	C_6H_6	1,5011	879,0
6	$\text{C}_6\text{H}_5\text{Br}$	1,5601	1494,8
7	$\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$	1,3993	808,6
8	$\text{CH}_2\text{OHCHONCH}_2\text{OH}$	1,4744	1259,4
9	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_5$	1,3526	713,5
10	CH_3OH	1,3288	791,5
11	$\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$	1,5524	1203,3
12	CH_3NO_2	1,3819	1138,2
13	CCl_4	1,4603	1594,0
14	CH_3COOH	1,3718	1049,1
15	CH_3CONH_2	1,3311	783,0
16	C_6H_{12}	1,4263	778,6

17	$\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$	1,3726	900,5
18	CFCl_3	1,5246	1487,0
19	CS_2	1,6277	1263,2
20	HCOOH	1,3714	1219,6

2. Досліджено розчин речовини A у розчиннику B з масовою часткою розчиненої речовини ω . При 293 К густина дорівнює ρ , показник заломлення n . Розрахуйте молярну рефракцію речовини A , якщо при 293 К густина розчинника дорівнює ρ_0 , а його показник заломлення n_0 .

№	ω , %	Речовина A	Розчинник B	ρ , кг/м ³	n
1	20	HCl	CH_3OH	915	1,374
2	31	HCl	H_2O	1157	1,407
3	30	H_2SO_4	H_2O	1220	1,370
4	40	HClO_3	H_2O	1293	1,367
5	17	LiBr	H_2O	1129	1,362
6	35	LiCl	H_2O	1174	1,414
7	24,5	NaCl	H_2O	1187	1,377
8	12,5	Na_2SO_4	H_2O	1116	1,352
9	9	K_2SO_4	H_2O	1075	1,345
10	50	SnCl_4	$\text{C}_2\text{H}_3\text{OOC}_2\text{H}_5$	1487	1,476
11	44	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	H_2O	1121	1,400
12	90	$\text{C}_2\text{H}_4\text{Br}_2$	$\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$	1866	1,503
13	22	CCl_3COOLi	H_2O	1128	1,365
14	29	CH_3COOH	H_2O	1038	1,353
15	50	CH_3COOH	C_6H_6	947	1,434
16	50	CH_3COCH_3	C_6H_6	839	1,428
17	45	CCl_3COOH	H_2O	1255	1,395
18	42	CCl_3COONa	H_2O	1295	1,397
19	52	SCNC_3H_5	$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{NH}$	1075	1,580
20	25	SCNC_3H_5	<i>o</i> - $\text{C}_6\text{H}_4(\text{CH}_3)_2$	968	1,551
21	40	$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{NH}$	SCNC_3H_5	1085	1,582
22	37	$\text{C}_6\text{H}_5\text{SO}_3\text{H}$	H_2O	1135	1,406
23	66	$\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	959	1,516
24	3,6	$\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$	$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$	856	1,493

Показник заломлення (n_o) та густина (ρ_o) розчинника B

Розчинник B	n_o	ρ_o , кг/м ³
H ₂ O	1,333	1000
CH ₃ OH	1,329	805
C ₂ H ₅ OH	1,364	808
C ₂ H ₃ COOC ₂ H ₅	1,375	903
C ₃ H ₇ OH	1,386	807
SCNC ₃ H ₅	1,530	1019
C ₅ H ₁₀ NH	1,461	863
C ₆ H ₆	1,504	885
C ₆ H ₅ CH ₃	1,497	867
<i>o</i> - C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂	1,505	881

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1

ВИЗНАЧЕННЯ МОЛЯРНОЇ РЕФРАКЦІЇ РЕЧОВИНИ ТА ВСТАНОВЛЕННЯ БУДОВИ МОЛЕКУЛ

Мета роботи: Експериментально визначити молярну рефракцію речовини. З використанням властивості адитивності молярної рефракції встановити структурну формулу речовини.

Реактиви: Органічні рідини (C₄H₁₀O, C₅H₁₂O, C₄H₈O₂ тощо), дистильована вода.

Обладнання: Рефрактометр Аббе. Аналітичні терези. Капілярний пікнометр. Капіляр або піпетка. Гумова груша. Фільтрувальний папір.

Теоретична частина

При поміщенні молекули в електричне поле з нею відбуваються певні зміни – вона поляризується. В загальному випадку молярну поляризацію можна розглядати як суму деформаційної і орієнтаційної поляризацій. У свою чергу, деформаційна поляризація складається з електронної та ядерної поляризацій. Отже, молярна поляризація є сумою електронної, ядерної та орієнтаційної поляризацій (рівняння 2.3).

При поміщенні молекули будь-якої будови (як полярної, так і неполярної) в електромагнітне поле видимого світла з довжиною хвиль 380-780 нм (частотою коливань $(4-8) \cdot 10^{14} \text{ с}^{-1}$) виникає поляризація, обумовлена лише зміщенням електронів. Це пов'язано з тим, що електрони мають таку малу інерцію, що час встановлення електронної поляризації в молекулі під дією електричного поля порівняний з періодом світлових коливань (час зрушення зарядів у результаті встановлення електронної поляризації дуже малий, порядку 10^{-14} - 10^{-16} с). Ядра, які мають значно більшу масу, не встигають переміщатися з такою швидкістю, тому ядерна поляризація в цьому випадку не виникає. Те ж саме відноситься і до орієнтації сталих чи наведених диполів у напрямку поля.

Таким чином, дослідження поведінки молекул у видимому світлі дозволяє визначити поляризацію і поляризованість, які обумовлені лише зміщенням електронів. Отже, електронній поляризації молекул у змінному електромагнітному полі видимого світла відповідає молярна рефракція (R_M), яку можна розрахувати на підставі експериментальних вимірювань за рівнянням Лорентс-Лоренца (рівняння 3.1, 3.2).

Молярна рефракція є важливою молекулярною сталою. Вона характеризує міру поляризованості молекул в електромагнітному полі видимого світла, обумовлену пружним зміщенням електронних хмар. Ця характеристика дозволяє у ряді випадків визначити деталі будови складної молекули. Це базується на властивості адитивності молярної рефракції (рівняння 3.3).

Для визначення будови молекули пишуть різні структурні формули речовини, для кожної з них розраховують молярну рефракцію за правилом адитивності, після чого підбирають таку структурну формулу, для якої розрахована за правилом адитивності молярна рефракція має найближче значення до молярної рефракції, визначеної експериментально.

Хід роботи

1. Оберіть досліджувану речовину за завданням викладача. Запишіть її брутто-формулу.

2. Визначте показник заломлення (n) речовини при заданій температурі, використовуючи рефрактометр Аббе.

3. Визначте густину (ρ) досліджуваної речовини при заданій температурі пікнометричним (ваговим) методом.

3.1. Чистий та висушений пікнометр зважте на аналітичних терезах з точністю до 0,0001 г (m_0).

3.2. Заповніть пікнометр дистильованою водою до мітки.

3.3. Зважте пікнометр з дистильованою водою (m_1).

3.4. Вилийте воду і висушіть пікнометр.

3.5. Заповніть пікнометр до мітки рідиною, яку досліджуєте.

3.6. Зважте пікнометр з досліджуваною рідиною на аналітичних терезах (m_2).

3.7. Густина рідини розрахуйте за рівнянням:

$$\rho = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \cdot \rho_{\text{H}_2\text{O}},$$

де $\rho_{\text{H}_2\text{O}}$ – густина дистильованої води при температурі досліджу, кг/м³ (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Густина дистильованої води

$t, ^\circ\text{C}$	10	15	18	20	22	25	28	30
$\rho, \text{кг/м}^3$	999,73	999,13	998,62	998,23	997,80	997,07	996,26	995,67

4. Розрахуйте експериментальне значення молярної рефракції ($R_{\text{м,експ.}}$) речовини за рівнянням Лорентс-Лоренца (3.1).

5. На підставі брутто-формули сполуки, яка досліджується, запишіть усі можливі структурні формули.

6. Розрахуйте теоретичне значення молярної рефракції ($R_{M, теор.}$) для кожної запропонованої структури за рівнянням адитивності молярної рефракції (3.3). Для знаходження чисельних значень рефракцій атомів $R_{i, ат.}$, кратних зв'язків $R_{i, зв.}$ і циклів $R_{i, ц}$ використайте табл. А у Додатку.

7. Зіставте експериментально одержане значення молярної рефракції з розрахованими теоретично значеннями шляхом розрахунку відносної похибки (δ) вимірювань за рівнянням:

$$\delta = \left| \frac{R_{M, теор} - R_{M, експ.}}{R_{M, теор}} \right| \cdot 100, \%$$

8. Дані вимірювань та обчислень запишіть у таблицю:

Об'єкт дослідження _____ (брутто-формула)

Структурна формула	n	m_0 , г	m_1 , г	m_2 , г	ρ , кг/м ³	$R_{M, експ.}$, м ³ /моль	$R_{M, теор.}$, м ³ /моль	δ , %
1.								
2.								
3.								
....								

9. Зробіть висновок відносно структури речовини, яка досліджувалася, а також щодо універсальності цього методу для встановлення структури певної речовини.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2

ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДУ БІНАРНОЇ СУМІШІ ЗА ВЕЛИЧИНОЮ ПИТОМОЇ РЕФРАКЦІЇ

Мета роботи: Визначити кількісний склад бінарної суміші з використанням питомих рефракцій суміші та її окремих компонентів.

Реактиви: Дистильована вода. Розчинник, розчинена речовина, їх рідка суміш невідомого складу.

Обладнання: Рефрактометр Аббе. Аналітичні терези. Капілярний пікнометр. Капіляр або піпетка. Гумова груша. Фільтрувальний папір.

Хід роботи

1. Отримайте у викладача завдання щодо зразків розчиненої речовини, розчинника та рідкої бінарної суміші цих речовин.

2. Виміряйте показник заломлення розчинника (n_1), розчиненої речовини (n_2), та їх бінарної суміші ($n_{1,2}$), використовуючи рефрактометр Аббе.

3. Визначте густину розчинника (ρ_1), розчиненої речовини (ρ_2) та їх бінарної суміші ($\rho_{1,2}$) пікнометричним методом (див. п. 3 у лабораторній роботі 1).

4. Розрахуйте питому рефракцію розчинника (r_1), розчиненої речовини (r_2) та їх бінарної суміші ($r_{1,2}$) за рівнянням (3.4).

5. Розрахуйте масову частку розчиненої речовини (ω) у бінарній суміші за допомогою рівняння:

$$\omega = \frac{r_{1,2} - r_1}{r_2 - r_1},$$

виведеного з рівняння (3.5).

6. Результати дослідів та обчислень запишіть у таблицю:

Зразок, який досліджується	n	m_0 , г	m_1 , г	m_2 , г	ρ , кг/м ³	r , м ³ /кг	ω
Розчинник (1)							-
Розчинена речовина (2)							-
Бінарна суміш (1, 2)							

7. Зробіть висновок щодо універсальності і раціональності обчислення складу будь-яких сумішей за описаним методом, його переваги і недоліки.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3

ВИЗНАЧЕННЯ МОЛЯРНОЇ РЕФРАКЦІЇ РОЗЧИНЕНОЇ РЕЧОВИНИ

Мета роботи: Визначити молярну рефракцію розчиненої речовини за питомими рефракціями розчинника та розчину відомого складу.

Реактиви: Дистильована вода. Розчинник, розчин відомого складу.

Обладнання: Рефрактометр Аббе. Аналітичні терези. Капілярний пікнометр. Капіляр або піпетка. Гумова груша. Фільтрувальний папір.

Хід роботи

1. Отримайте у викладача завдання щодо природи розчиненої речовини, розчинника та складу розчину.
2. Виміряйте показник заломлення розчинника (n_1) та розчину ($n_{1,2}$).
3. Визначте густину розчинника (ρ_1) та розчину ($\rho_{1,2}$) пікнометричним методом (див. п. 3 у лабораторній роботі 1).
4. Розрахуйте питому рефракцію розчинника (r_1) та розчину ($r_{1,2}$) за рівнянням (3.4).
5. Розрахуйте питому рефракцію (r_2) розчиненої речовини за рівнянням (3.5).
6. Розрахуйте молярну рефракцію розчиненої речовини ($R_{M, \text{експ.}}$) за рівнянням (3.4):

$$R_M = r_2 \cdot M_2 ,$$

де M_2 – молярна маса розчиненої речовини, кг/моль.

7. Розрахуйте теоретичне значення молярної рефракції ($R_{M, \text{теор.}}$) розчиненої речовини за рівнянням адитивності молярної рефракції (рі-

вняння 3.3). Якщо розчинена речовина є органічною сполукою, використовуйте дані табл. А (див. Додаток). Якщо розчинена речовина є йонною сполукою, використовуйте дані табл. Б (див. Додаток).

8. Зіставте експериментально одержане значення молярної рефракції розчиненої речовини з розрахованими теоретично значеннями шляхом розрахунку відносної похибки (δ) вимірювань за рівнянням:

$$\delta = \left| \frac{R_{M, теор} - R_{M, експ.}}{R_{M, теор}} \right| \cdot 100, \%$$

9. Дані вимірювань та обчислень зведіть у таблицю:

Зразок, який досліджується	n	m_0 , г	m_1 , г	m_2 , г	ρ , кг/м ³	r , м ³ /кг	$R_{M, експ.}$, м ³ /моль	$R_{M, теор.}$, м ³ /моль	δ , %
Розчинник							-	-	-
Розчин							-	-	-
Розчинена речовина									

9. Зробіть висновок щодо універсальності і раціональності обчислення молярної рефракції розчиненої речовини описаним методом, його переваги і недоліки.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 4

МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ДИПОЛЬНИХ МОМЕНТІВ

ТЕОРЕТИЧНИЙ МІНІМУМ

Методи визначення дипольних моментів (1 і 2 методи Дебая) базуються на застосуванні рівняння Дебая-Ланжевена.

1 метод Дебая використовують для визначення дипольних моментів індивідуальних речовин в газовій фазі. В першому різновиді цього методу треба знайти залежність молярної поляризації від температури.

Рівняння (2.12) можна представити у вигляді:

$$P_M = \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} \cdot \frac{M}{\rho} = \frac{4}{3} \pi N_A (\alpha_{am} + \alpha_{el}) + \frac{4}{9} \cdot \frac{\pi N_A \cdot \mu^2}{k} \cdot \frac{1}{T} \quad (4.1)$$

або

$$P_M = a + \frac{b}{T}, \quad (4.2)$$

де

$$a = \frac{4}{3} \pi N_A (\alpha_{am} + \alpha_{el}), \quad (4.3)$$

$$b = \frac{4}{9} \pi N_A \frac{\mu^2}{k}, \quad (4.4)$$

З рівняння (4.4) отримуємо

$$\mu = \sqrt{\frac{9kb}{4\pi N_A}}, \quad (4.5)$$

Після підстановки сталих величин у рівняння (4.5), отримуємо рівняння для розрахунку електричного моменту диполя в одиницях СІ:

$$\mu = 4,274 \cdot 10^{-29} \sqrt{b}, \quad (4.6)$$

де b – коефіцієнт, який виражається в $\text{м}^3 \cdot \text{К} / \text{моль}$.

Після підстановки сталих величин у рівняння (4.5), в системі СГСЕ електричний момент диполя виражається рівнянням

$$\mu = 0,01283 \sqrt{b} \cdot 10^{-18}, \quad (4.7)$$

Коефіцієнт b може бути знайдений графічним шляхом як тангенс кута нахилу прямої в координатах $P_M = f(I/T)$.

В другому різновиді 1 методу Дебая використовують значення молярної поляризації та молярної рефракції речовини при певній температурі.

Враховуючи рівняння (2.6) і (3.1), нехтуючи атомною поляризацією, рівняння (2.12) можна записати у вигляді

$$P_M = R_M + \frac{4}{9} \cdot \frac{\pi N_A}{kT} \cdot \mu^2 \quad (4.8)$$

Звідси після підстановки сталих величин і простих математичних перетворень, одержуємо вирази для розрахунку електричного моменту диполя молекули за другим різновидом 1 методу Дебая:

$$\mu = 4,274 \cdot 10^{-29} \sqrt{(P_M - R_M) T} \quad (\text{СИ}) \quad (4.9)$$

$$\mu = 0,01283 \sqrt{(P_M - R_M) T} \cdot 10^{-18} \quad (\text{СГСЕ}) \quad (4.10)$$

Зауважимо, що для розрахунків за рівняннями (4.9) і (4.10) молярну поляризацію і молярну рефракцію можна знаходити будь-яким відомим методом.

Другий метод Дебая використовується для визначення дипольного моменту речовин, розчинених у неполярних розчинниках.

Припускаючи адитивність властивостей компонентів, що входять до складу розчину, можна записати:

$$P_{1,2} = \frac{\varepsilon_{1,2} - 1}{\varepsilon_{1,2} + 2} \cdot \frac{M_1 \cdot \chi_1 + M_2 \cdot \chi_2}{\rho_{1,2}} \quad (4.11)$$

або

$$P_{1,2} = P_1 \cdot \chi_1 + P_2 \cdot \chi_2 \quad , \quad (4.12)$$

де $P_{1,2}$, P_1 і P_2 – відповідно, поляризації розчину, розчинника і розчиненої речовини; $\rho_{1,2}$ – густина розчину; χ_1 і χ_2 – мольні частки розчинника і розчиненої речовини у розчині.

З рівняння (4.12) можна розрахувати значення молярної поляризації розчиненої речовини:

$$P_2 = \frac{P_{1,2} - P_1 \cdot \chi_1}{\chi_2} \quad (4.13)$$

Величина P_2 залежить від концентрації розчину і, зазвичай, зростає зі зменшенням концентрації розчиненої речовини.

Для визначення дипольного моменту за 2 методом Дебая

- готують 5-6 розбавлених розчинів досліджуваної речовини при сталій температурі (в інтервалі концентрацій від 0,001 до 0,01 або від 0,02 до 0,1);
- вимірюють діелектричну проникність і густину кожного розчину;
- розраховують поляризацію кожного розчину за рівнянням (4.11), знаючи молярні маси розчинника (M_1) і розчиненої речовини (M_2);
- вимірюють діелектричну проникність і густину розчинника;
- розраховують молярну поляризацію розчинника за рівнянням (2.5);
- розраховують значення P_2 за рівнянням (4.13) для кожної концентрації, використовуючи одержані дані щодо P_1 і $P_{1,2}$ для кожної концентрації розчинів;
- будують графік залежності $P_2 = f(\chi_2)$ на міліметровому папері або з використанням програми MS Excel, екстраполюють P_2 до перетину з віссю ординат ($\chi_2 = 0$) і знаходять значення молярної поляризації розчиненої речовини при нескінченному розведенні $P_{2,\infty}$:

$$P_{2,\infty} = \lim_{\chi_2 \rightarrow 0} P_2 = \lim_{\chi_2 \rightarrow 0} \left(\frac{P_{1,2} - P_1 \cdot \chi_1}{\chi_2} \right) \quad (4.14)$$

- одержане значення $P_{2,\infty}$ підставляють в рівняння (4.9) чи (4.10) замість P_M і розраховують дипольний момент молекули розчиненої речовини.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. На використанні якого рівняння базуються методи визначення дипольних моментів?
2. Дипольні моменти яких речовин можна визначити за 1 методом Дебая? Відповідь обґрунтуйте.
3. Які умови використання 2 методу Дебая визначення дипольних моментів?
4. Які експериментальні дані слід використовувати для визначення дипольного моменту речовини 1 методом Дебая (1 різновид)?
5. Які експериментальні дані слід використовувати для визначення дипольного моменту речовини 1 методом Дебая (2 різновид)?
6. Наведіть графік залежності молярної поляризації від температури для полярних речовин. З якою метою використовується цей графік при визначенні дипольних моментів речовин?
7. Які теоретичні дані можна використовувати для знаходження дипольних моментів речовин за 1 методом Дебая (2 різновид)?
8. Як визначити молярну поляризацію розчиненої речовини при нескінченному розведенні?
9. Наведіть алгоритм розрахунку дипольного моменту речовини за 2 методом Дебая.
10. У чому полягає векторно-адитивна схема розрахунку дипольних моментів?

ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ

Задача 1

Визначте електричний момент диполя молекули нітробензену при 298 К, якщо поляризація нітробензену при нескінченному розведенні дорівнює $354,435 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{моль}$, молярна рефракція $32,802 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{моль}$.

Розв'язання

Оскільки досліджується індивідуальна речовина при одній температурі, використовуємо 1 метод Дебая, 2 різновид. Для розрахунку дипольного моменту молекули використовуємо рівняння (4.9) і (4.10):

в СІ:

$$\mu = 4,274 \cdot 10^{-29} \sqrt{(354,435 \cdot 10^{-6} - 32,802 \cdot 10^{-6}) \cdot 298} = 132,1 \cdot 10^{-31} \text{ Кл} \cdot \text{м};$$

в СГСЕ (попередньо переводимо молярну поляризацію і молярну рефракцію в см³/моль):

$$\mu = 0,012813 \sqrt{(354,435 - 32,802) \cdot 298 \cdot 10^{-18}} = 3,96 \cdot 10^{-18} \text{ од. дип. моменту СГСЕ} = 3,96 \text{ Д.}$$

Відповідь: $\mu = 3,96 \text{ Д.}$

Задача 2

Розрахуйте дипольний момент C_6H_5F , якщо відомі значення молярної поляризації при різних температурах:

$t, ^\circ\text{C}$	343,6	371,4	414,0	453,2	507,0
$P \cdot 10^6, \text{ м}^3/\text{моль}$	69,9	66,8	62,5	59,3	55,8

Розв'язання

Проводимо розрахунки у системі СГСЕ.

Оскільки досліджується індивідуальна речовина при різних температурах, використовуємо 1 метод Дебая, 1 різновид. Для розрахунку дипольного моменту молекули використовуємо рівняння (4.7). Для знаходження коефіцієнта b слід побудувати графік залежності в координатах $P_M = f(1/T)$.

Попередньо переводимо чисельні значення температури в Кельвіні і розраховуємо $1/T$. Переводимо чисельні значення молярної поляризації в СГСЕ. Заносимо одержані дані у таблицю:

$t, ^\circ\text{C}$	343,6	371,4	414,0	453,2	507,0
$T, \text{ К}$	616,6	644,4	687,0	726,2	780,0
$1/T, \text{ К}^{-1}$	0,00162	0,00155	0,00146	0,00138	0,00128
$P \cdot 10^6, \text{ м}^3/\text{моль}$	69,9	66,8	62,5	59,3	55,8
$P, \text{ см}^3/\text{моль}$	69,9	66,8	62,5	59,3	55,8

У таблиці виділено строки, які використовуємо для побудови графіка у програмі MS Excel.

1 етап. Нанесення експериментальних точок на графік.

Слід звернути увагу на правильне оформлення графічного матеріалу:

- обрання типу діаграми (Вставка – діаграма – точкова без ліній);
- обрання правильного масштабу (на діаграмі не є обов'язковими точки з координатами (0;0)),
- оформлення осей:
- *формат осі – лінія – суцільна – чорний;
- *параметри тексту – поділки – головні – усередину
- позначення осей (відповідна буква та одиниці вимірювання наведених величин);
- відсутність координатної сітки;
- підпис під графіком (зразок див. рис. 4.1).

На рис. 4.1 наведено побудований графік після виконання 1 етапу.

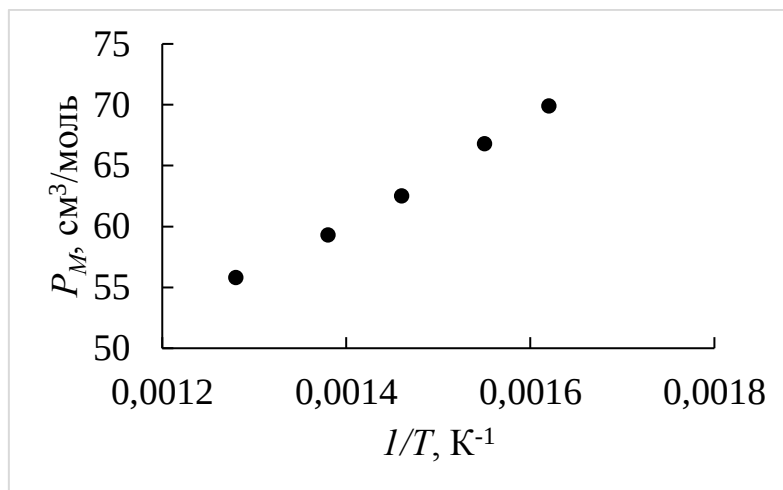


Рис. 4.1. Залежність молярної поляризації (P_M) фторбензену від зворотної температури ($1/T$)

2 етап. Після побудови графіку необхідно додати лінію тренда (лінійна залежність), показати рівняння лінії тренда на діаграмі.

На рис. 4.2 наведено побудований графік після виконання 2 етапу.

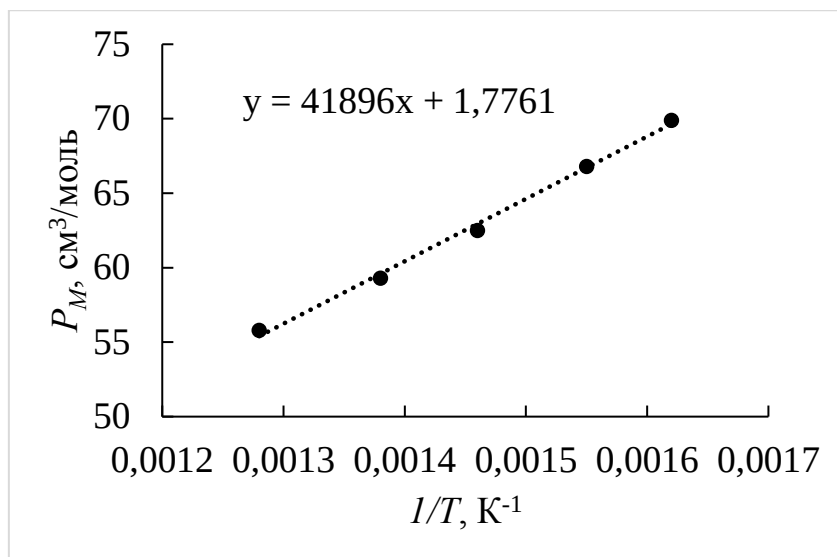


Рис. 4.2. Залежність молярної поляризації (P_M) фторбензену від зворотної температури ($1/T$) з рівнянням лінії тренда

З рівняння лінії тренда

$$y = 41896x + 1,7761$$

визначаємо кутовий коефіцієнт (тангенс кута нахилу)

$$b = 41\,896.$$

Підставляємо одержане значення у рівняння (4.7) і розраховуємо дипольний момент молекули фторбензену:

$$\mu = 0,01283 \cdot \sqrt{41896} \cdot 10^{-18} = 2,63 \cdot 10^{-18} \text{ од. дип. моменту СГСЕ} = 2,63 \text{ Д.}$$

Відповідь: $\mu = 2,63 \text{ Д.}$

Задача 3

Визначте електричний момент диполя молекули СО, деформаційна поляризовність якої дорівнює $1,926 \cdot 10^{-30} \text{ м}^3$. Відомо, що при температурі $1,37^\circ\text{C}$ і тиску $101,3 \text{ кПа}$ діелектрична проникність карбон (II) оксиду дорівнює $1,0007$.

Розв'язання

Проводимо розрахунки у системі СГСЕ.

Для розрахунку використовуємо рівняння Дебая-Ланжевена (2.12).

Переводимо чисельне значення температури у К:

$$T = 1,37\text{ }^{\circ}\text{C} + 273 = 274,37\text{ K},$$

тиск – у Па:

$$P = 101,3\text{ кПа} = 101,3 \cdot 10^3\text{ Па} = 1,013 \cdot 10^5\text{ Па}$$

деформаційну поляризованість у систему СГСЕ:

$$\alpha_{def.} = 1,926 \cdot 10^{-30}\text{ м}^3 = 1,926 \cdot 10^{-24}\text{ см}^3$$

Оскільки невідома густина досліджуваної речовини при даній температурі, розраховуємо молярний об'єм газу за рівнянням Менделєєва-Клапейрона:

$$P \cdot V = \nu \cdot R \cdot T,$$

де ν – кількість речовини (моль). Приймаємо $\nu = 1$ моль.

$$V = \frac{\nu \cdot R \cdot T}{P} = \frac{1 \cdot 8,314 \cdot 274,37}{1,013 \cdot 10^5} = 2,25 \cdot 10^{-2}\text{ м}^3 = 2,25 \cdot 10^4\text{ см}^3$$

$$V_m = 2,25 \cdot 10^4\text{ см}^3 / \text{моль}$$

Розраховуємо молярну поляризацію Карбон(II) оксиду за рівнянням Дебая-Ланжевена:

$$P_M = \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} \cdot \frac{M}{\rho} = \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} \cdot V_m = \frac{1,0007 - 1}{1,0007 + 2} \cdot 2,25 \cdot 10^4 = 5,249\text{ см}^3/\text{моль}$$

З правої частини рівняння Дебая-Ланжевена виражаємо дипольний момент:

$$\mu = \sqrt{\left(\frac{P_M \cdot 3}{4 \cdot \pi \cdot N_A} - \alpha_{def.}\right) \cdot 3kT}$$

Підставляємо чисельні значення і виконуємо розрахунки:

$$\mu = \sqrt{\left(\frac{5,249 \cdot 3}{4 \cdot 3,14 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}} - 1,926 \cdot 10^{-24}\right) \cdot 3 \cdot 1,38 \cdot 10^{-16} \cdot 274,37} = 1,33 \cdot 10^{-19}$$

од. дип. моменту СГСЕ = 0,133 Д

Відповідь: $\mu = 0,133\text{ Д}$

Задача 4

За значенням діелектричної провідності розчинів нітробензену в бензені та густини розчинів при декількох концентраціях при 298 К визначте поляризацію нітробензену при нескінченному розведенні та дипольний момент молекули нітробензену:

χ	ρ , кг/м ³	ε
0	874	2,27
0,0312	885	2,98
0,0704	901	3,86
0,1028	914	4,64.

Розв'язання

Проводимо розрахунки у системі СГСЕ.

Оскільки досліджено розчин полярної речовини у неполярному розчиннику, для визначення дипольного моменту розчиненої речовини використовуємо 2 метод Дебая.

Розраховуємо молярні маси розчинника і розчиненої речовини:

$$M_1(C_6H_6) = 12 \cdot 6 + 1 \cdot 6 = 78 \text{ г/моль}$$

$$M_2(C_6H_5NO_2) = 12 \cdot 6 + 1 \cdot 5 + 14 \cdot 1 + 16 \cdot 2 = 123 \text{ г/моль}$$

Переводимо чисельне значення густини в СГСЕ, записуємо одержані дані у таблицю:

χ	0	0,0312	0,0704	0,1028
ρ , г/см ³	0,874	0,885	0,901	0,914

Аналізуючи дані, наведені в умові задачі, приходимо до висновку, що наведено мольна частка розчиненої речовини, тобто система, для якої $\chi = 0$ відповідає чистому розчиннику.

Розраховуємо молярну поляризацію розчинника за рівнянням (2.5):

$$P_1 = \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} \cdot \frac{M}{\rho} = \frac{2,27 - 1}{2,27 + 2} \cdot \frac{78}{0,874} = 26,54 \text{ см}^3/\text{моль}$$

Розраховуємо поляризацію розчинів за рівнянням (4.11):

$$P_{1,2} = \frac{\varepsilon_{1,2} - 1}{\varepsilon_{1,2} + 2} \cdot \frac{M_1 \cdot \chi_1 + M_2 \cdot \chi_2}{\rho_{1,2}}$$

$$1) \chi_2 = 0,0312$$

$$P_{1,2} = \frac{2,98 - 1}{2,98 + 2} \cdot \frac{78 \cdot (1 - 0,0312) + 123 \cdot 0,0312}{0,885} = 35,67 \text{ см}^3/\text{моль}$$

$$2) \chi_2 = 0,0704$$

$$P_{1,2} = \frac{3,86 - 1}{3,86 + 2} \cdot \frac{78 \cdot (1 - 0,0704) + 123 \cdot 0,0704}{0,901} = 43,97 \text{ см}^3/\text{моль}$$

$$3) \chi_2 = 0,1028$$

$$P_{1,2} = \frac{4,64 - 1}{4,64 + 2} \cdot \frac{78 \cdot (1 - 0,1028) + 123 \cdot 0,1028}{0,914} = 49,56 \text{ см}^3/\text{моль}$$

Розраховуємо молярну поляризацію розчиненої речовини за рівнянням (4.13):

$$P_2 = \frac{P_{1,2} - P_1 \cdot \chi_1}{\chi_2}$$

$$1) \chi_2 = 0,0312$$

$$P_2 = \frac{35,67 - 26,54 \cdot (1 - 0,0312)}{0,0312} = 319,17 \text{ см}^3/\text{моль}$$

$$2) \chi_2 = 0,0704$$

$$P_2 = \frac{43,97 - 26,54 \cdot (1 - 0,0704)}{0,0704} = 274,13 \text{ см}^3/\text{моль}$$

$$3) \chi_2 = 0,1028$$

$$P_2 = \frac{49,56 - 26,54 \cdot (1 - 0,1028)}{0,1028} = 250,47 \text{ см}^3/\text{моль}$$

Будуємо графік залежності $P_2 = f(\chi_2)$ з використанням програми MS Excel (рис. 4.3). Виконуємо етапи 1 і 2 (див. розв'язання задачі 2).

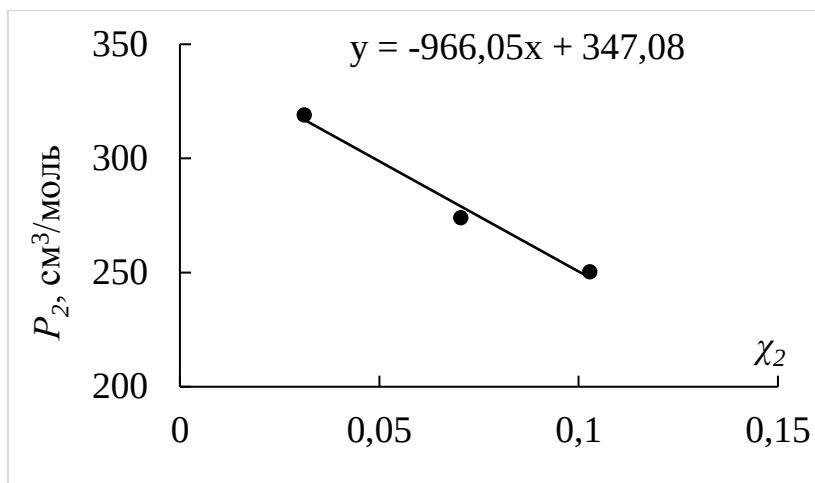


Рис. 4.3. Залежність молярної поляризації (P_2) нітробензену (розчиненої речовини) від мольної частки розчиненої речовини (χ_2) з рівнянням лінії тренда

Відрізок, який відтинає пряма на осі ординат при $\chi_2 = 0$ ($P_{2,\infty}$), можна визначити двома способами.

1. Знайти $P_{2,\infty}$ з рівняння лінії тренда. При $\chi_2 = 0$ $P_2 = P_{2,\infty}$. Отже, $P_{2,\infty}$ – це вільний член в рівнянні лінії тренда. В даному випадку $P_{2,\infty} = 347,08$ см³/моль.
2. Знайти $P_{2,\infty}$ шляхом екстраполяції. Для цього слід продовжити експериментальну пряму $P_2 = f(\chi_2)$ до перетину з віссю ординат (пунктирна лінія на рис. 4.4). Значенню $P_{2,\infty}$ відповідає біла точка на осі ординат. З врахуванням масштабу одержуємо $P_{2,\infty} = 347$ см³/моль.

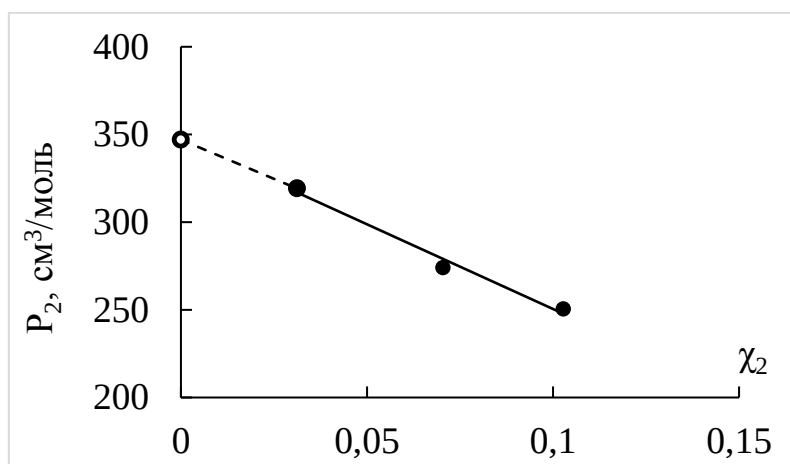


Рис. 4.4. Залежність молярної поляризації (P_2) нітробензену (розчиненої речовини) від мольної частки розчиненої речовини (χ_2)

Для розрахунку дипольного моменту нітробензену записуємо рівняння (4.10) у вигляді:

$$\mu = 0,01283 \sqrt{(P_{2,\infty} - R_M)T} \cdot 10^{-18} . \quad (4.15)$$

З рівняння (4.15) видно, що додатково слід знайти величину молярної рефракції нітробензену. Це можна зробити або, використовуючи рівняння Лоренс-Лоренца (за показником заломлення і густиною нітробензену при заданій температурі), або з використанням властивості адитивності.

У задачі 1 (приклади розв'язання задач), практичне заняття 3, було знайдено молярну рефракцію нітробензену за показником заломлення і густиною. $R_M = 32,802 \text{ см}^3/\text{моль}$.

Підставляємо необхідні чисельні значення у рівняння (4.15) і розраховуємо дипольний момент молекули нітробензену:

$$\mu = 0,01283 \sqrt{(347,08 - 32,802) \cdot 298} \cdot 10^{-18} = 3,93 \cdot 10^{-18} \text{ од. дип. моменту СГСЕ} = 3,93 \text{ Д.}$$

Відповідь: $\mu = 3,93 \text{ Д.}$

ЗАДАЧІ ДЛЯ РОБОТИ В АУДИТОРІЇ

1. Розрахуйте дипольний момент, деформаційну поляризованість та радіус молекули ацетофенону $C_6H_5COCH_3$, використовуючи дані про молярну поляризацію при різних температурах:

$t, ^\circ\text{C}$	0	20	30	40	50
$P \cdot 10^6, \text{ м}^3/\text{моль}$	224,6	218,1	212,5	206,5	201,3

2. Густина $SiHBr_3$ складає 2690 кг/м^3 при $25 ^\circ\text{C}$, показник заломлення дорівнює 1,578, а діелектрична проникність дорівнює 3,57. Розрахуйте дипольний момент.

3. Розрахуйте дипольний момент молекули діетилового етеру з даних залежності густини та діелектричної проникності розчинів етеру в бензені від концентрації ($T=298 \text{ K}$).

$\chi_{\text{бензен}}$	ρ , кг/м ³	ε
0,15	746	3,691
0,50	788	3,183
0,85	830	2,713
1,00	874	2,270

ЗАДАЧІ ПІДВИЩЕНОЇ СКЛАДНОСТІ

4. Діелектрична проникність газоподібного SO_2 дорівнює 1,00993 при 273 К та 1,00569 при 373 К ($P=1,013 \cdot 10^5$ Па). Визначте дипольний момент, усі види поляризації та поляризованості.

5. Визначте дипольний момент NF_3 на підставі наступних експериментальних значень діелектричної проникності:

t , °C	-5	25	55
$(\varepsilon-1) \cdot 10^6$	1357	1268	1246.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

6. Залежність молярної поляризації NH_3 від температури характеризується наступними даними:

t , °C	19,1	35,9	113,9	139,9
$P \cdot 10^6$, м ³ /моль	57,57	55,01	44,99	42,51

Розрахуйте дипольний момент молекули амоніаку та складову поляризації, зумовлену заміщенням ядер.

7. Повна поляризація ацетону в пароподібному стані складає:

при 0 °C $183,8 \cdot 10^{-6}$ м³/моль;

при 30 °C $167,2 \cdot 10^{-6}$ м³/моль.

Розрахуйте дипольний момент та рефракцію. Одержане значення рефракції порівняйте з розрахованим за показником заломлення світла (1,3591) та густиною ацетону в рідкому стані при 20 °C (790,5 кг/м³).

8. На підставі значень діелектричної проникності розчинів аніліну в діоксані та густини розчинів при 298 К визначте поляризацію аніліну при нескінченному розведенні та дипольний момент молекули аніліну:

$\chi_{C_6H_5NH_2}$	ρ , кг/м ³	ε
0	1028,0	2,6037
0,00977	1027,9	2,2508
0,03567	1027,6	2,3744

БАГАТОВАРІАНТНІ ЗАДАЧІ

1. Розрахуйте дипольний момент молекули речовини A на підставі даних про діелектричну проникність та густину цієї речовини при декількох температурах.

№	Речовина A	T , К	ε	ρ , кг/м ³
1	H ₂ O	273	87,83	999,9
		283	83,86	999,7
		293	80,08	998,2
		303	76,47	995,6
		313	73,02	992,2
		323	67,73	988,0
2	CHCl ₃	273	5,19	1526,4
		283	5,00	1507,7
		293	4,81	1489,0
		303	4,64	1470,6
		313	4,47	1450,9
		323	4,31	1433,4
3	C ₂ H ₅ OH	273	27,88	806,2
		283	26,41	797,9
		293	25,00	789,3
		303	23,52	781,0
		313	22,16	772,2
		323	20,87	763,2
4	CH ₃ COCH ₃	273	23,3	812,5

		283	22,5	801,4
		293	21,4	790,5
		303	20,5	779,3
		313	19,5	768,2
		323	18,7	756,0
5	$C_2H_5OC_2H_5$	273	4,80	736,2
		283	4,58	724,8
		293	4,38	713,5
		303	4,15	701,9
6	C_6H_5Br	273	5,70	1521,8
		283	5,50	1508,3
		293	5,40	1494,8
		303	5,30	1481,5
		313	5,10	1468,2
		323	5,00	1454,6
7	CS_2	273	2,695	1292,7
		283	2,668	1277,8
		293	2,641	1263,2
		303	2,614	1248,2
8	$C_6H_5CH_3$	273	2,439	885,5
		283	2,415	873,2
		293	2,391	867,0
		303	2,367	848,0
		313	2,343	848,3
9	C_6H_5Cl	273	6,09	1127,9
		293	5,65	1106,2
		313	5,37	1084,0
		323	5,23	1063,3

2. Розрахуйте дипольний момент молекули речовини A за даними про поляризацію при нескінченному розведенні та молярну рефракцію при температурі 293 К.

№	Речовина A	ε	n	ρ , кг/м ³
1	H ₂ O	80,08	1,333	998,2
2	CHCl ₃	4,81	1,4456	1489,0
3	C ₂ H ₅ OH	25,00	1,3611	789,3
4	CH ₃ COCH ₃	21,40	1,3591	790,5
5	C ₂ H ₅ OC ₂ H ₅	4,38	1,3526	713,5
6	C ₆ H ₅ Br	5,40	1,5601	1494,8
7	C ₆ H ₅ Cl	5,65	1,5248	1106,2
8	C ₆ H ₅ NO ₂	35,97	1,5524	1203,3
9	CH ₂ CHCH ₂ OH	21,6	1,4125	850,8
10	C ₆ H ₅ NH ₂	6,89	1,5861	1021,8
11	C ₆ H ₅ CH ₂ OH	13,1	1,5405	1045,4
12	C ₄ H ₉ OH	17,8	1,3993	808,6
13	CH ₃ OH	33,62	1,3288	791,5
14	CH ₃ NO ₂	35,8	1,3819	1138,2
15	CH ₃ COOH	6,14	1,3718	1049,1
16	C ₂ H ₈ N ₂	14,2	1,4568	897,7
17	CH ₃ COOC ₂ H ₅	6,11	1,3726	900,5
18	CS ₂	2,641	1,6277	1263,2
19	HCOOH	57,0	1,3714	1219,6
20	(C ₄ H ₉) ₃ PO ₄	6,8	1,422	972,7

3. Розрахуйте дипольний момент молекули газоподібної речовини A , використовуючи наступні дані:

№	Речовина A	$\alpha \cdot 10^{30}$, м ³	ε	$T_{\text{кип.}}$, °C
1	HBr	3,492	1,003	-66,38
2	HCl	2,561	1,005	-85,08
3	HI	5,199	1,002	-35,36
4	H ₂ O	1,444	1,013	100
5	H ₂ S	3,642	1,004	-60,28
6	NH ₃	1,695	1,007	-33,34
7	N ₂ O	2,921	1,001	-88,70
8	SO ₂	3,774	1,0093	-10,01

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 5

МАГНІТНІ ВЛАСТИВОСТІ МОЛЕКУЛ. ПОВЕДІНКА МОЛЕКУЛ В ЕЛЕКТРОМАГНІТНОМУ ПОЛІ

ТЕОРЕТИЧНИЙ МІНІМУМ

Магнетохімія вивчає взаємозв'язок електронного, молекулярного та кристалічного стану речовини з її магнітними властивостями. Для характеристики речовини в магнітному полі використовують величини намагніченості речовини (M), питомої намагніченості (σ), питомої магнітної сприйнятливості (χ), власного (μ) та індукційованого магнітного моменту ($\mu_{ind.}$).

Поведінка речовин в неоднорідному магнітному полі залежить від будови речовини, а саме від наявності чи відсутності в складі молекул неспарених електронів. Класифікація речовин за їх магнітними властивостями наведена нижче:

	Тип речовини		
	Діамагнетик	Парамагнетик	Феромагнетик
Будова молекули	$\mu = 0$	$\mu \neq 0$	$\mu \neq 0$
Знак χ	-	+	+
Порядок χ	10^{-6} - 10^{-5}	10^{-5} - 10^{-3}	$\approx 10^5$
$\chi = f(T)$	Не залежить	Залежить	Залежить
$\chi = f(H)$	Не залежить	Не залежить	Залежить
Взаємодія з магнітним полем	Виштовхується	Помірно втягується	Дуже сильно втягується
Порівняння намагніченості речовини M з намагніченістю вакууму M_0	$M < M_0$	$M > M_0$	$M \gg M_0$
Приклади	H_2, N_2 , інертні гази	O_2, NO, NO_2 , перехідні елементи	Fe, Co, Ni , їх сплави

Джерелом парамагнетизму є неспарені електрони, тому власний магнітний момент парамагнетиків не дорівнює нулю. Для його наближеного розрахунку (в магнетонах Бора) використовується рівняння

$$\mu = \sqrt{4S(S+1)} = \sqrt{n(n+2)}, \quad (5.1)$$

де S – повний спін атома чи йона, n – кількість неспарених електронів.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Якими фізичними величинами можна характеризувати магнітні властивості речовин?
2. Дайте визначення намагніченості речовини. Як вона пов'язана з магнітним моментом молекули?
3. Як можна класифікувати речовини за їх магнітними властивостями? Наведіть приклади.
4. Охарактеризуйте поведінку речовин кожного класу в неоднорідному магнітному полі.
5. Поясніть, чому молекули діамагнетиків виштовхуються з неоднорідного магнітного поля.
6. Поясніть, чому молекули парамагнетиків помірно втягуються в неоднорідне магнітне поле.
7. Проаналізуйте залежність питомої магнітної сприйнятливості парамагнетиків від температури.
8. Які сучасні фізико-хімічні методи досліджень базуються на вивченні магнітних властивостей речовин?
9. Як змінюються магнітні властивості речовин під час перебігу хімічних реакцій?
10. Порівняйте магнітні властивостей ядер та електронів.
11. Перелічіть фактори, від яких залежить намагніченість діамагнетиків.
12. Охарактеризуйте анізотропію магнітної сприйнятливості.
13. Який фізичний зміст має температура Кюрі?

14. Які речовини звуться антиферромагнетиками? Як вони взаємодіють з магнітним полем? Які особливості будови їх молекул? Наведіть приклади.

15. Які речовини звуться ідеальними діамагнетиками? Як вони взаємодіють з магнітним полем? Які особливості будови їх молекул? Чому дорівнює їх питома магнітна сприйнятливість? Наведіть приклади.

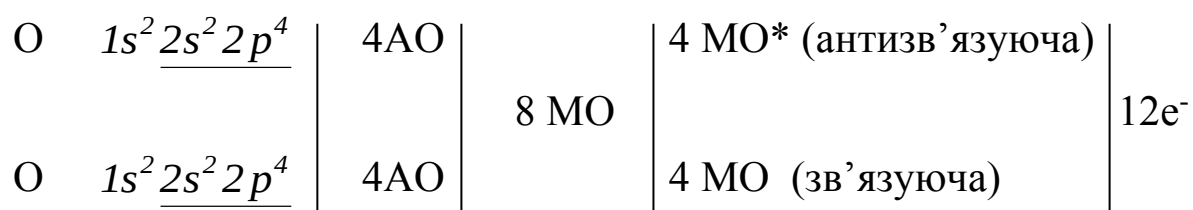
ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАВДАНЬ

Задача 1

Опишіть електронну конфігурацію молекули O_2 за методом молекулярних орбіталей (МО). Визначте кратність (порядок) зв'язку. Зробіть висновок щодо магнітних властивостей даної речовини. Опишіть поведінку цієї речовини в магнітному полі.

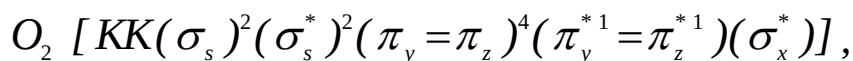
Розв'язання

Запишемо вихідні дані: електронну конфігурацію атомів; валентні електрони; число валентних атомних орбіталей; число молекулярних орбіталей, із них число зв'язуючих, антизв'язуючих і незв'язуючих; число валентних електронів:



(Підкреслено валентні атомні орбіталі)

Електронна конфігурація молекули O_2 запишеться таким чином:



де KK означає завершеність першого електронного рівня для кожного атома Оксигену.

Порядок зв'язку в двохатомній молекулі знаходимо за формулою

$$n = \frac{n_e - n_e^*}{2},$$

де n_e, n_e^* – число електронів на зв'язуючих та антизв'язуючих орбіталах.

Для молекули O_2 маємо:

$$n = \frac{8-4}{2} = 2.$$

Наявність двох неспарених електронів на π^* антизв'язуючих молекулярних орбіталах молекули O_2 визначає парамагнітні властивості молекули. Така молекула має власний магнітний момент, помірно втягується у зовнішнє магнітне поле. Її намагніченість дещо більша від намагніченості вакууму в полі такої ж напруженості. Під дією поля молекула кисню, по-перше, починає рівномірно обертатися, внаслідок чого в ній виникає індукційований магнітний момент, величина якого менша за величину власного магнітного моменту. По-друге, вісь власного магнітного моменту прагне зорієнтуватися за напрямком поля. Це сприяє помірному втягуванню молекул парамагнетика в магнітне поле.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ РОБОТИ В АУДИТОРІЇ

1. Наведіть енергетичну діаграму (за методом МО) заданої молекули (молекулярного йона). Визначте кратність (порядок) зв'язку. Зробіть висновок щодо магнітних властивостей даної речовини. Опишіть поведінку цієї речовини в магнітному полі.

№	1	2	3	4	5	6
Молекула (молекулярний йон)	C_2	B_2	N_2	BN	BN^-	BN^+

ЗАВДАННЯ ПІДВИЩЕНОЇ СКЛАДНОСТІ

2. Наведіть енергетичну діаграму (за методом МО) заданої молекули (молекулярного йона). Визначте кратність (порядок) зв'язку.

Зробіть висновок щодо магнітних властивостей даної речовини. Опишіть поведінку цієї речовини в магнітному полі.

№	1	2	3	4	5	6
Молекула (молекулярний йон)	BeH_2	NH_3	H_2O	CH_4	CO_2	HF

ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

3. Наведіть енергетичну діаграму (за методом МО) заданої молекули (молекулярного йона). Визначте кратність (порядок) зв'язку. Зробіть висновок щодо магнітних властивостей даної речовини. Опишіть поведінку цієї речовини в магнітному полі.

№	1	2	3	4	5	6	7	8
Молекула (молекулярний йон)	BO	BO^+	BO^-	CO^-	CO^+	NO^-	NO^+	CO

№	9	10	11	12	12	14	15	16
Молекула (молекулярний йон)	NO	H_2^+	O_2	F_2	He_2	CN^-	N_2^-	Be_2

ДОДАТОК

Таблиця А

Рефракції атомів, кратних зв'язків, циклів

Атом, група, зв'язок, цикл	$R \cdot 10^6$, м ³ /моль	R , см ³ /моль
1. Нітроген		
1.1. В аліфатичних амінах		
1.1.1. Первинних	2,232	2,232
1.1.2. Вторинних	2,502	2,502
1.1.3. Третинних	2,840	2,840
1.2. В ароматичних амінах первинних	3,218	3,218
1.3. В амоніаку	2,480	2,480
1.4. В нітрогрупах аліфатичних сполук		
1.4.1. Первинних нітроалканах	6,718	6,718
1.4.2. Вторинних нітроалканах	6,618	6,618
1.5. В нітрогрупах ароматичних сполук	7,300	7,300
2. Бром	8,865	8,865
3. Йод	13,900	13,900
4. Хлор	5,967	5,967
5. Гідроген	1,100	1,100
6. Карбон	2,418	2,418
7. Оксиген		
7.1. В гідроксилі	1,525	1,525
7.2. В карбонілі	2,211	2,211
7.3. В ефірі	1,643	1,643
7.4. В пероксидах	2,190	2,190
8. Сульфур		
8.1. В групі SO ₃	11,130	11,130
8.2. В групі SO ₄	11,180	11,180
9. Подвійний зв'язок	1,733	1,733
10. Потрійний зв'язок	2,398	2,398
11. Тричленний цикл	0,710	0,710
12. Чотиричленний цикл	0,480	0,480
13. Неароматичний цикл C ₈ – C ₁₅	-0,550	-0,550

Таблиця Б

Рефракції йонів у розчинах

Йон	$R \cdot 10^6$, м ³ /моль	Йон	$R \cdot 10^6$, м ³ /моль
H ⁺	-0,61	OH ⁻	5,15
Na ⁺	0,20	NO ₃ ⁻	11,01
K ⁺	2,25	Cl ⁻	9,06
NH ₄ ⁺	4,31	Br ⁻	12,66
Ca ²⁺	0,71	I ⁻	19,21
Ba ²⁺	4,37	SO ₄ ²⁻	14,72

Таблиця В

Значення деяких основних фізичних констант

Стала Авогадро	$6,02 \cdot 10^{23}$ моль ⁻¹
Стала Больцмана	$1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К $1,38 \cdot 10^{-16}$ ерг/К
Стала Планка	$6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж·с
Швидкість світла у вакуумі	$3 \cdot 10^8$ м/с
Атомна одиниця маси (а.о.м)	$1,66 \cdot 10^{-27}$ кг
Заряд електрона	$1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл
Маса електрона	$9,109 \cdot 10^{-31}$ кг

Перевідні множники

$$1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ м} = 10 \text{ нм}$$

$$1 \text{ л} = 10^3 \text{ см}^3 = 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$1 \text{ Д} = 3,33 \cdot 10^{-30} \text{ Кл} \cdot \text{м} = 10^{-18} \text{ од. дипольного моменту СГСЕ}$$

ВІДПОВІДІ

<u>Практичне заняття 2</u>	<u>Практичне заняття 3</u>
1. $2,08 \cdot 10^{-10}$ од. заряду СГСЕ, $3,33 \cdot 10^{-10}$ од. заряду СГСЕ, $3,37 \cdot 10^{-10}$ од. заряду СГСЕ.	1. $16,98 \cdot 10^{-6}$ м ³ /моль; $17,112 \cdot 10^{-6}$ м ³ /моль; 0,77%
3. 1,49 Д.	2. $1,98 \cdot 10^{-30}$ м ³ ; $3,57 \cdot 10^{-30}$ м ³
4. $1,426 \cdot 10^{-10}$ м; $1,319 \cdot 10^{-10}$ м.	3. $7,7 \cdot 10^{-30}$ м ³ .
5. $3,88 \cdot 10^{-30}$ м ³ ; $3,88 \cdot 10^{-31}$ м ³ ; $5,38 \cdot 10^{-30}$ м ³ .	4. $32,68 \cdot 10^{-6}$ м ³ /моль; $7,473 \cdot 10^{-6}$ м ³ /моль.
7. 2,5 Д; 0 Д	6. 38,65 %.
11. 0,93 Д.	8. $5,77 \cdot 10^{-6}$ м ³ /моль; $1,277 \cdot 10^{-10}$ м
15. $102^{\circ}46'$.	9. $70,61 \cdot 10^{-6}$ м ³ /моль.
16. $5,68 \cdot 10^{-31}$ м ³ .	10. $27,4554 \cdot 10^{-6}$ м ³ /моль; $27,193 \cdot 10^{-6}$ м ³ /моль; 0,96%
	11. $1,872 \cdot 10^{-10}$ м.
	12. $1,261 \cdot 10^{-6}$ м ³ /моль.
	13. 31,65 %.
<u>Практичне заняття 4</u>	
1. 3,03 Д; $1,06 \cdot 10^{-29}$ м ³ ; $2,197 \cdot 10^{-10}$ м.	
2. 0,72 Д.	
3. 1,51 Д	
4. 2,27 Д.	
5. ≈ 0 Д	
6. 1,62 Д; $0,26 \cdot 10^{-6}$ м ³ /моль.	
7. 2,76 Д; $8,32 \cdot 10^{-6}$ м ³ /моль.	
8. $96,36 \cdot 10^{-6}$ м ³ /моль, 1,8 Д.	

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Стрельцова О. О. Будова речовини: навчальний посібник. Одеса : Астропринт, 2001.
2. Григорович О. В. Хімічний зв'язок і будова речовини: Розробка теми. Харків : Основа, 2004.
3. Яцимирський В. К. Фізична хімія: Підручник для вузів. К.; Ірпінь : Перун, 2007.
4. Скоробогатий Я. П., Федорко В. Ф. Хімія і методи дослідження си-
ровини і матеріалів. Львів : Компакт-ЛВ, 2005.
5. Циганков С. А., Швидко О. В., Янченко В. О. Будова речовини з
основами стереохімії: Навч. пос. Ніжин : НДУ імені Миколи Го-
голя, 2020.
6. Гомонай В. І. Фізична та колоїдна хімія : підруч. для студ. вищ.
навч. заклад. Вінниця : Нова Книга, 2014.
7. Брускова Д.-М. Я., Кущевська Н. Ф., Малишев В. В. Фізична та
колоїдна хімія: підручник. К. : Університет «Україна», 2020.
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.
9. Курта С. А. Будова речовини: навч.-метод. пос. Івано-Франківськ:
ВДВ ЦІТ Прикарпатського національного університету імені Ва-
силя Стефаника, 2007.
10. Перлова О. В., Кожемяк М. А. Будова речовини : збірка тестових
завдань для студентів спеціальностей 014 Середня освіта (Хімія),
102 Хімія. Одеса : Видавничий дім «Гельветика», 2021.

Навчальне видання

**БУДОВА РЕЧОВИНИ.
ЕЛЕКТРИЧНІ ТА МАГНІТНІ ВЛАСТИВОСТІ
МОЛЕКУЛ**

ЕЛЕКТРОННИЙ МЕТОДИЧНИЙ ПОСІБНИК
для студентів факультету хімії та фармації

Електронне практичне видання

Укладачі:

Перлова Ольга Вікторівна

В авторській редакції

Затвердж. авт. 07.11.2023. Шрифт Times New Roman.
Системні вимоги: операційна система сумісна з програмним
забезпеченням для читання файлів формату PDF.
Обсяг 1,2 МБ. Зам. № 2690.

Видавець і виготовлювач
Одеський національний університет імені І. І. Мечникова
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4215 від 22.11.2011 р.
65082, м. Одеса, вул. Єлісаветинська, 12, Україна
Тел.: (048) 723 28 39, e-mail: druk@onu.edu.ua