

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЧЕРНІГІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МЕХАНІКА ТА МОЛЕКУЛЯРНА ФІЗИКА

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт з дисципліни “Фізика”,

для студентів спеціальностей

192 - “Будівництво та цивільна інженерія”,

193 - “Геодезія та землеустрій”

усіх форм навчання

Частина 1

Обговорено і рекомендовано
на засіданні кафедри
промислового і цивільного
будівництва
Протокол №9 від 23.03.2018 р.

Чернігів ЧНТУ 2018

Механіка та молекулярна фізика. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни “Фізика” для студентів спеціальностей 192 – “Будівництво та цивільна інженерія”, 193 – “Геодезія та землеустрій” усіх форм навчання. Частина 1 / Укл. : Ситников О.П. – Чернігів : ЧНТУ, 2018. – 29 с.

Укладач: Ситников Олександр Павлович, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри промислового і цивільного будівництва

Відповідальний за випуск: Савченко Олена Віталіївна, завідувач кафедри промислового і цивільного будівництва, кандидат технічних наук, професор

Рецензент: Завацький Сергій Володимирович, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри промислового і цивільного будівництва Чернігівського національного технологічного університету

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1. ОРГАНІЗАЦІЯ ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ	5
2. Лабораторна робота № 1 ВИЗНАЧЕННЯ ГУСТИНИ ТВЕРДОГО ТІЛА ПРАВИЛЬНОЇ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ФОРМИ	6
3. Лабораторна робота № 2 ВИЗНАЧЕННЯ ПРИСКОРЕННЯ ВІЛЬНОГО ПАДІННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ МАТЕМАТИЧНОГО МАЯТНИКА	10
4. Лабораторна робота № 3 ДОДАВАННЯ ВЗАЄМНО ПЕРПЕНДИКУЛЯРНИХ ГАРМОНІЧНИХ КОЛИВАНЬ	12
5. Лабораторна робота №4 ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКА АДІАБАТИ ДЛЯ ПОВІТРЯ МЕТОДОМ КЛЕМАНА-ДЕЗОРМА	18
6. Лабораторна робота № 5 ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ПОВЕРХНЕВОГО НАТЯГУ РІДИНИ МЕТОДОМ ВІДРИВУ КРАПЛІ	22
7. Лабораторна робота № 6 ВИВЧЕННЯ ФАЗОВИХ ПЕРЕХОДІВ У РІДКИХ КРИСТАЛАХ ЗА ЗМІНОЮ ТЕКСТУР	25
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА.....	29

ВСТУП

Дисципліна «Фізика» є нормативною і належить до циклу природничо-наукової та професійної підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр» галузі знань 19 – «Архітектура та будівництво» напрямів підготовки 192 – «Будівництво та цивільна інженерія», 193 – «Геодезія та землеустрій».

Предметом вивчення дисципліни є найбільш загальні закономірності явищ природи, властивості та будова матерії і закони її руху.

Відповідно до вимог кваліфікаційної характеристики фахівця з означеної галузі знань «Фізика» є базовою для вивчення таких дисциплін, як «Теоретична механіка», «Опір матеріалів», «Електротехніка в будівництві», «Будівельна механіка», «Радіоелектроніка», «Геодезичні прилади», «Метрологія і стандартизація». Набуті знання та вміння застосовуються під час вивчення спеціальних дисциплін.

Обов'язковою умовою викладання дисципліни є проведення лабораторного практикуму з використанням сучасного обладнання.

Метою викладання навчальної дисципліни «Фізика» є формування у майбутніх фахівців знань, що стосуються фундаментальних законів, за якими відбуваються процеси і явища навколишнього світу та теоретичної бази для вивчення спеціальних дисциплін.

Основними завданнями вивчення дисципліни «Фізика» є теоретична та практична підготовка студентів з розділів: фізичні основи механіки, молекулярна фізика і термодинаміка, електрика і магнетизм, колювання і хвилі, оптика, атомна та ядерна фізика.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні знати:

- методи і засоби фізичних вимірювань;
- визначення та одиниці виміру фізичних величин;
- фізичні явища;
- закони фізики;

вміти:

– використовуючи фізичні основи механіки, електрики та магнетизму, хвильових процесів, термодинаміки, оптики, атомної та ядерної фізики, давати фізичну оцінку явищ та процесів під час розв'язку прикладних задач;

– на основі випробувань і вимірювань, використовуючи відповідні методики, давати фізичну оцінку геодезичним та геоінформаційним задачам;

– в умовах професійної діяльності працювати з електровимірювальними, оптичними, радіологічними приладами та розуміти принцип їх дії.

1. ОРГАНІЗАЦІЯ ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Виконання і проведення лабораторних робіт включає: попередню підготовку до роботи, проведення експерименту, розрахунки шуканих величин, оцінювання похибок вимірювання, порівняння одержаних результатів із теоретично розрахованими або із довідниковими даними, перевірки відповідей на контрольні запитання. Виконання усіх цих етапів гарантує зарахування звіту з лабораторної роботи й оцінювання його певною кількістю балів.

- *Підготовка до лабораторної роботи.* Студенти самостійно вивчають теоретичну частину роботи, використовуючи для цього інструкцію до лабораторної роботи, конспект лекцій, додаткову літературу; ознайомлюються із ходом її виконання; письмово відповідають на контрольні запитання.

- *Проведення експерименту.* Після ознайомлення з експериментальною установкою студенти проводять прямі вимірювання фізичних величин згідно з планом, який поданий в інструкції до лабораторної роботи.

- *Розрахунки шуканих величин.* Фізичні величини, які є результатом лабораторній роботи, являють собою приклад непрямих вимірювань, тому їх розрахунок відбувається за допомогою робочої формули, компонентами якої є дані прямих вимірювань.

- *Оцінювання похибок вимірювань.* У лабораторних роботах оцінюються відносні випадкова, систематична і повна похибки. Після чого визначається абсолютна похибка вимірювання ΔA і результат подається у вигляді $A = \bar{A} \pm \Delta A$. Для оцінювання систематичних похибок використовуються паспортні дані приладів.

- *Порівняння одержаних результатів із теоретично розрахованими або із довідниковими даними.* Експеримент вважається успішним, якщо шукана фізична величина в межах, що визначаються абсолютною похибкою, відповідає значенню цієї самої величини, яка або розраховується за допомогою теоретичної формули або знаходиться в таблицях довідника.

- *Перевірка відповідей на контрольні запитання.* Правильність відповідей на контрольні запитання студент може з'ясувати з викладачем на консультації. Неповні або неправильні відповіді на контрольні запитання свідчить про неготовність студента до заняття й є приводом для не зарахування звіту з лабораторної роботи.

2. Лабораторна робота № 1

2.1. ВИЗНАЧЕННЯ ГУСТИНИ ТВЕРДОГО ТІЛА ПРАВИЛЬНОЇ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ФОРМИ

Густина – це фізична величина, яка чисельно дорівнює масі одиниці об'єму тіла: $\rho = \frac{m}{V}$ де m – маса тіла, яка має об'єм V . Густина є однією з основних характеристик речовини і в системі СІ вимірюється в кілограмах на метр кубічний (кг/м^3).

Досліджуване в роботі тіло має правильну геометричну форму. Вимірювальними величинами є маса і лінійні розміри тіла. Маса тіла знаходиться шляхом зважування, лінійні розміри тіла вимірюються або штангенциркулем або мікрометром.

Щоб підвищити точність лінійних вимірів використовують **ноніус** і **мікрометричний гвинт**. Ноніус являє собою додаткову шкалу, яка переміщується вздовж основної шкали. Основну шкалу називають **масштабом**. Мікрометричний гвинт являє собою гвинт з малим, але точно витриманим кроком. Ноніус є складовою частиною штангенциркуля, теодоліта, кутоміра та інших приладів. Мікрометричний гвинт є складовою частиною мікрометра.

Основою штангенциркуля є штанга 2, відносно якої переміщується рамка 1 з ноніусом (рис. 2.1). Рухому рамку закріплюють на штанзі за допомогою стопорного гвинта 3. При цьому всі три розміри дорівнюють один одному. Значення лінійного розміру тіла d визначається в міліметрах, оскільки ціна поділки масштабу для штангенциркуля дорівнює $C_m = 1 \frac{\text{мм}}{\text{под}}$. Тоді абсолютна похибка масштабу відповідає значенню половини ціни поділки шкали, тобто $\Delta d_m = \pm 0,5 \text{ мм}$.

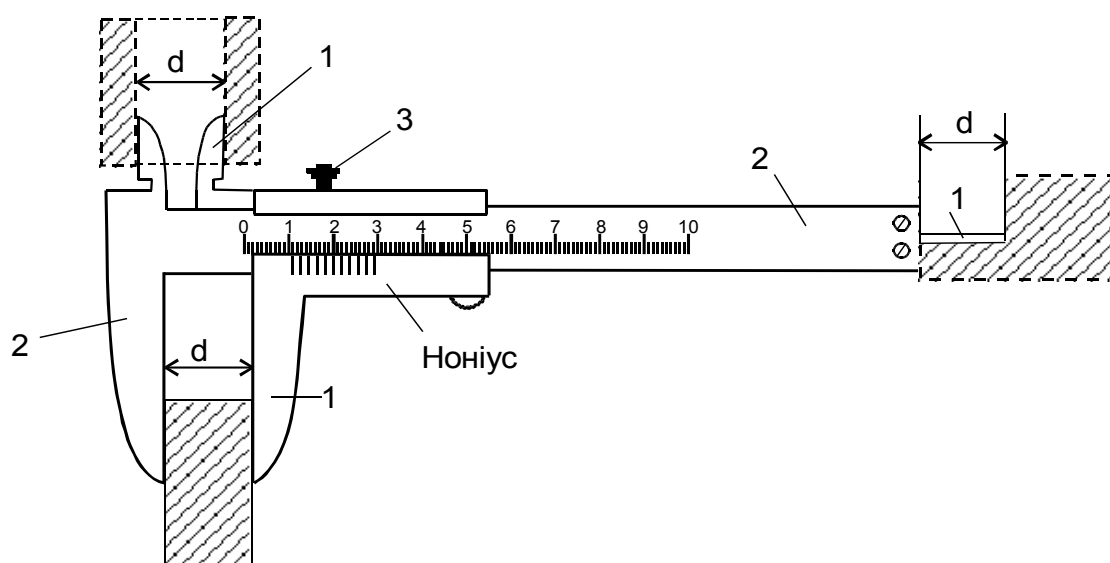


Рис. 2.1. Зовнішній вигляд штангенциркуля

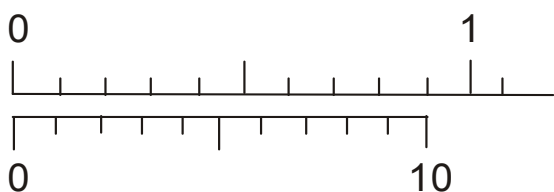


Рис. 2.2. Основна шкала (масштаб), додаткова шкала (ноніус) штангенциркуля

Ноніус є додатковою шкалою завдовжки 9 мм, яка поділена на 10 однакових поділок (рис. 2.2). Ціна поділки ноніуса дорівнює

$$C_n = \frac{9\text{мм}}{10\text{под}} = 0,9 \frac{\text{мм}}{\text{под}}$$

Різниця між ціною поділки масштабу і ціною поділки ноніуса

$$\Delta C = C_m - C_n = 1 \frac{\text{мм}}{\text{под}} - 0,9 \frac{\text{мм}}{\text{под}} = 0,1 \frac{\text{мм}}{\text{под}}$$

чисельно дорівнює **абсолютній похибці штангенциркуля** $\Delta d_{\text{ш}} = \pm 0,1\text{мм}$. Отже, ноніус зменшує абсолютну похибку масштабу або збільшує точність вимірювання лінійних розмірів тіла.

Точність вимірювання є характеристикою якості вимірювання. Вона показує, як близько результати вимірювання наближаються до істинного значення величини. Кількісно точність вимірювання оцінюють величиною, яка є оберненою до відносної похибки вимірювання.

Лінійні розміри тіла d визначаються за положенням нульового штриха ноніуса відносно поділок масштабу. На рис. 2.3 зафіксований лінійний розмір тіла $d=5,3\text{ мм}$.

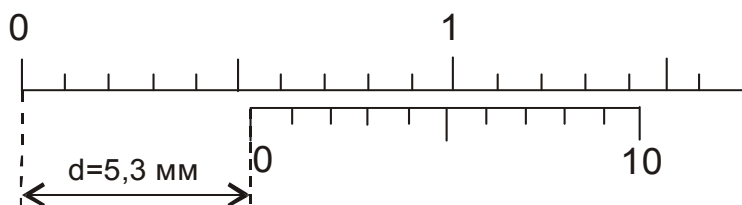


Рис. 2.3. Відлік лінійного розміру тіла за допомогою штангенциркуля

Таким чином, шуканий лінійний розмір тіла дорівнює кількості цілих поділок масштабу, на яку показує нульовий штрих ноніуса, плюс добуток абсолютної похибки штангенциркуля на номер штриха ноніуса, який збігається з будь-яким штрихом масштабу.

Мікрометр – це прилад для вимірювання лінійних розмірів тіл з точністю, яка перевищує точність штангенциркуля. Він складається зі сталюї скоби 8, що має опорну нерухому п'яту 1, стебла 3, мікрометричного гвинта 2 і стопорного гвинта 7 (рис. 2.4). Мікрометричний гвинт переміщується всередині спеціальної гільзи з різьбою, закріпленою в стеблі 3. Крок гвинта дорівнює 0,5 мм. На зовнішній поверхні стебла нанесено дві поздовжні шкали, зсунені одна відносно одної на 0,5 мм. Зовні стебло охоплює барабан 4, з'єднаний з мікрометричним гвинтом. Таким чином, під час обертання барабана обертається гвинт і переміщується його вимірювальна поверхня 2. Дія мікрометра ґрунтується на властивості гвинта здійснювати поступальне переміщення, яке пропорційне куту повороту. Скошений обід барабана 6 поділений на 50 однакових поділок. На правому кінці барабана є особливий фрикційний пристрій – тріскачка 5. Під час вимірювання слід обертати барабан тільки за головку тріскачки. Тіло, лінійні розміри якого вимірюються,

затискається між п'ятою і мікрометричним гвинтом. Після того, як досягнуто певний ступінь натиску на тіло (5-6 Н), фрикційна головка починає проковзувати, генеруючи характерний тріск. Завдяки цьому затиснуте тіло деформується порівняно мало, крім того, це запобігає псуванню мікрометричного гвинта.

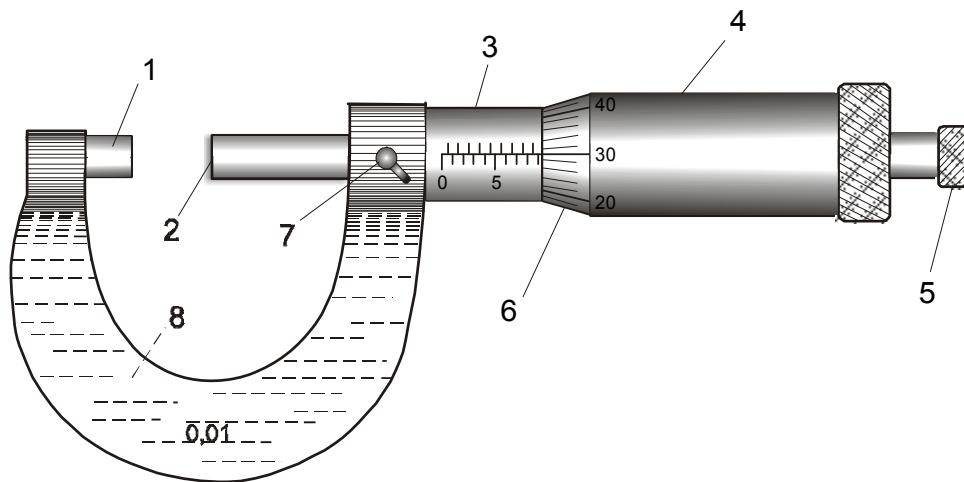


Рис. 2.4. Зовнішній вигляд мікрометра

За один оберт барабана (50 поділок) гвинт зміщується вздовж осі на 0,5 мм (це зміщення відзначається віддаленням кінця барабана від нульового штриха на стеблі). Тоді під час повороту барабана на одну поділку гвинт зміщується на 0,01 мм. Отже, ціна поділки барабана $C_B = 0,01 \frac{\text{мм}}{\text{под}}$. Вона чисельно дорівнює **абсолютній похибці мікрометра** $\Delta d_m = \pm 0,01 \text{ мм}$.

Розглянемо два випадки вимірювання лінійного розміру тіла за допомогою мікрометра (рис. 2.5). Для положення барабана на рис. 2.5,а виміряна довжина дорівнює $d_1 = 2 \text{ мм} + 0,35 \text{ мм} = 2,35 \text{ мм}$.

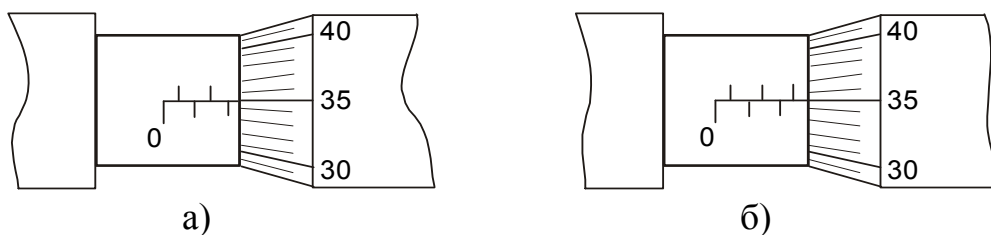


Рис. 2.5. Відлік лінійного розміру тіла за допомогою мікрометра:

а) $d_1 = 2,35 \text{ мм}$;

б) $d_2 = 2,85 \text{ мм}$

Для положення барабана на рис. 2.5,б виміряна довжина дорівнює $d_2 = 2,85 \text{ мм}$, хоч у першому та другому випадках проти горизонтальної лінії стебла одне й теж значення поділки барабана. У другому випадку підрахунок повинен враховувати відкритий штрих верхньої шкали стебла, тому

$$d_2 = 2 \text{ мм} + 0,5 \text{ мм} + 0,35 \text{ мм} = 2,85 \text{ мм}.$$

Мета роботи: ознайомитися з будовою й навчитися користуватися штангенциркулем, мікрометром і терезами; навчитися оцінювати похибки вимірювань; визначити густину тіла правильної геометричної форми, визначивши по довіднику, з якого матеріалу зроблений зразок.

Прилади і матеріали: терези, важки, штангенциркуль, мікрометр, досліджуване тіло.

2.2. Завдання та обробка результатів вимірювань

2.2.1. Зважуванням визначити масу досліджуваного тіла. Абсолютна похибка терезів дорівнює $\Delta m = \pm 1 \cdot 10^{-5}$ кг.

2.2.2. Відповідно до геометричної форми тіла вивести робочу формулу для обрахунку густини речовини.

2.2.3. Штангенциркулем і мікрометром визначити лінійні розміри досліджуваного тіла. Виміри зробити не менш трьох разів. Дані занести до таблиці.

2.2.4. Оцінити випадкову, систематичну і повну відносні похибки. Оцінити абсолютну похибку вимірювання. Зробити висновки.

№ виміру	$m, \text{кг}$ 10^{-3}	$d, \text{М}$ 10^{-3}	$d, \text{М}$ 10^{-3}	$d, \text{М}$ 10^{-3}	$\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\Delta\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\left(\frac{\Delta\bar{\rho}}{\bar{\rho}}\right)_{\text{вип}}, \%$	$\left(\frac{\Delta\rho}{\rho}\right)_{\text{сист}}, \%$	$\left(\frac{\Delta\rho}{\rho}\right)_{\text{пов}}, \%$
1									
2									
3									
сер.									

Контрольні запитання

1. Що являє собою ноніус, мікрометричний гвинт?
2. Яку будову має штангенциркуль?
3. Чому дорівнює абсолютна похибка штангенциркуля?
4. Які правила вимірювання штангенциркулем?
5. Що називають точністю вимірювання?
6. Що називається ціною поділки шкали?
7. Яку будову має мікрометр?
8. Чому дорівнює абсолютна похибка мікрометра?
9. Які правила вимірювання мікрометром?
10. Які вимірювання називають прямими, непрямими?

3. Лабораторна робота № 2

3.1. ВИЗНАЧЕННЯ ПРИСКОРЕННЯ ВІЛЬНОГО ПАДІННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ МАТЕМАТИЧНОГО МАЯТНИКА

Маятником називають тіло, що коливається під дією сили тяжіння. **Математичним маятником** називають матеріальну точку, підвішену на невагомій і нерозтяжній нитці, що коливається у вертикальній площині під дією сили тяжіння. До математичного маятника за своїми властивостями найбільш подібна система, що складається з нерозтяжної легкої нитки, до одного з кінців якої підвішена металева кулька. Маса кульки набагато перевищує масу нитки, а довжина нитки набагато перевищує розміри кульки.

Нехай маса кульки m , а довжина нитки l (рис. 3.1). Коли система перебуває в стані спокою, то сила тяжіння врівноважується силою натягу нитки \vec{T} . З відхиленням маятника від положення рівноваги виникає повертаюча сила \vec{F} , яка є рівнодією сил тяжіння та натягу нитки: $F = mg \sin \varphi$, де g –

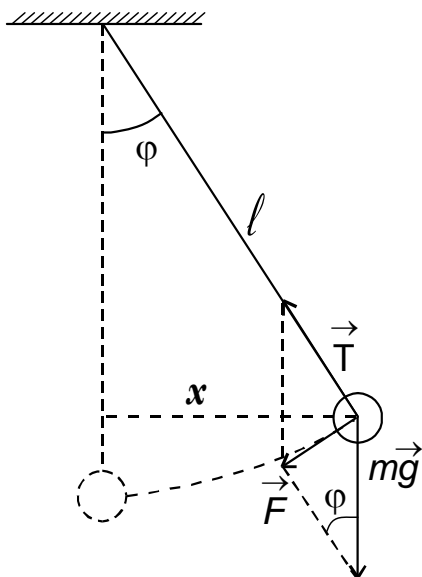


Рис. 3.1. Математичний маятник

прискорення вільного падіння. Для малих кутів відхилення маятника переміщення кульки по дузі можна замінити її переміщенням вздовж горизонтальної хорди x .

Тоді $\sin \varphi = \frac{x}{l}$, де x – зміщення маятника від положення рівноваги і вираз для повертаючої сили набуває вигляду: $F = -\frac{mg}{l}x = -kx$, де

$k = \frac{mg}{l}$ – коефіцієнт пропорційності. Знак “мінус” показує, що повертаюча сила протилежна до напрямку зміщення. Отже, при малих кутах відхилення маятника повертаюча сила пропорційна зміщенню. Ця сила за своєю природою не є пружною, тому її називають **квазіпружною**. Коливання системи під дією квазіпружної сили завжди є **гармонічними**.

Рівняння руху математичного маятника матиме вигляд:

$$ma = F, \quad \frac{md^2x}{dt^2} = -\frac{mg}{l}x \quad \text{або} \quad \frac{d^2x}{dt^2} + \omega_0^2x = 0,$$

де $\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{l}}$ – циклічна частота гармонічних коливань математичного маятника.

Оскільки $\omega_0 = \frac{2\pi}{T}$, то період коливань математичного маятника дорівнює:

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

Таким чином, період коливань математичного маятника не залежить від амплітуди коливань, маси маятника, а визначається його довжиною і прискоренням вільного падіння в даному місці Землі.

Мета роботи: визначити прискорення вільного падіння за допомогою математичного маятника в місці розташування лабораторії.

Прилади: математичний маятник, рулетка, секундомір.

3.2. Завдання та обробка результатів вимірювань

3.2.1. Встановити певну довжину l математичного маятника і виміряти її рулеткою.

3.2.2. Відхилити маятник від положення рівноваги на 3-4 градуса і визначити за допомогою секундоміра час t 30-40 коливань. Період коливання обчислити за формулою $T = \frac{t}{N}$, де N – кількість коливань маятника. Дані занести до таблиці.

3.2.3. Вивести робочу формулу та обчислити прискорення вільного падіння.

3.2.4. Оцінити відносну випадкову, систематичну і повну похибки. Оцінити абсолютну похибку вимірювання. Проаналізувати одержані результати. Зробити висновки.

№ виміру	$l, \text{м}$	$t, \text{с}$	N	$T, \text{с}$	$g, \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$	$\Delta g, \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$	$\left(\frac{\Delta \bar{g}}{\bar{g}}\right)_{\text{вип}}, \%$	$\left(\frac{\Delta g}{g}\right)_{\text{сист}}, \%$	$\left(\frac{\Delta g}{g}\right)_{\text{повн}}, \%$
1									
2									
3									
сер.									

Контрольні запитання

1. Які коливання називаються гармонічними?
2. Що називають маятником? Навести приклади маятників.
3. Що є математичним маятником?
4. Від яких величин залежить період коливання математичного маятника?
5. Чому саме при малих кутах відхилу коливання маятника будуть гармонічними?
6. Як змінюється прискорення вільного падіння зі зміною широти місцевості?

4. Лабораторна робота № 3

4.1. ДОДАВАННЯ ВЗАЄМНО ПЕРПЕНДИКУЛЯРНИХ ГАРМОНІЧНИХ КОЛИВАНЬ

Коливання – це процеси, які відбуваються з точним або наближеним повторенням станів системи. Залежно від фізичної природи величини, яка зазнає періодичної зміни, розрізняють коливання *механічні*, *електромагнітні* і *електромеханічні*. У механічних коливаннях повторюються положення рівноваги системи, в електромагнітних – періодичні перетворення енергії електричного поля в енергію магнітного поля і навпаки, в електромеханічних – періодичні перетворення енергії механічних коливань в електричну енергію і навпаки. Коливання є дуже поширеним видом рухів. Хоч природа коливань різна, описуються вони однаковою залежністю характерних параметрів від часу.

Найпростішим рухом серед коливальних рухів є гармонічні коливання, під час яких фізична величина змінюється з часом за законом синуса або косинуса. Гармонічні коливання важливі тим, що вони є складовою частиною більшості коливальних рухів у природі і техніці. Навіть тоді, коли коливання відбуваються не синусоїдальне, їх можна подати як результат накладання кількох гармонічних коливань.

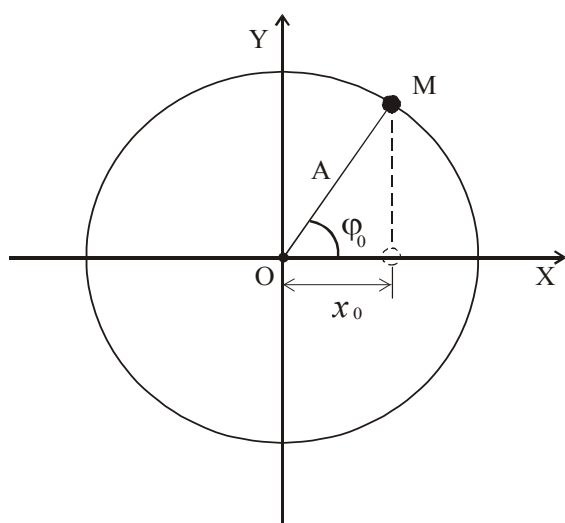


Рис. 4.1. Положення точки M в момент часу $t=0$

Розглянемо матеріальну точку M , що рівномірно обертається по колу з кутовою швидкістю ω (рис. 4.1). Проекція цієї точки на вісь OX здійснюватиме гармонічні коливання. Знайдемо залежність її координати від часу. Нехай в момент часу $t=0$ радіус OM утворює з віссю OX кут φ_0 . Тоді початкова координата проекції матеріальної точки M на вісь OX дорівнюватиме $x_0 = A \cos \varphi_0$, де A – радіус кола.

Під час рівномірного обертання точки M по колу через час t радіус OM утворюватиме з віссю OX кут $\varphi = \omega t + \varphi_0$. Тоді рівняння руху проекції точки M на вісь OX матиме вигляд:

$$x = A \cos(\omega t + \varphi_0), \quad (4.1)$$

де x – зміщення проекції точки M від положення рівноваги ($x=0$) в момент часу t ; A – максимальне зміщення проекції точки M від положення рівноваги, яке називають **амплітудою** коливань; $(\omega t + \varphi_0)$ – **фаза** коливань, φ_0 – **початкова фаза**, ω – **циклічна частота**. Рівняння (4.1) є рівнянням гармонічних коливань.

Фаза коливань – це величина, якою задаються миттєві значення змінних параметрів коливальної системи. Початкова фаза φ_0 – це фаза коливань в момент часу $t = 0$. Циклічна частота ω – це кількість коливань за 2π секунд:

$$\omega = \frac{2\pi}{T},$$

де T – **період** коливань – це час, за який відбувається одне коливання.

Замість періоду коливань можна задати його **частоту** ν , що визначається кількістю коливань за одну секунду:

$$\nu = \frac{1}{T}.$$

Коливальний рух, що описується рівнянням (4.1), можна подати графічно (рис. 4.2):

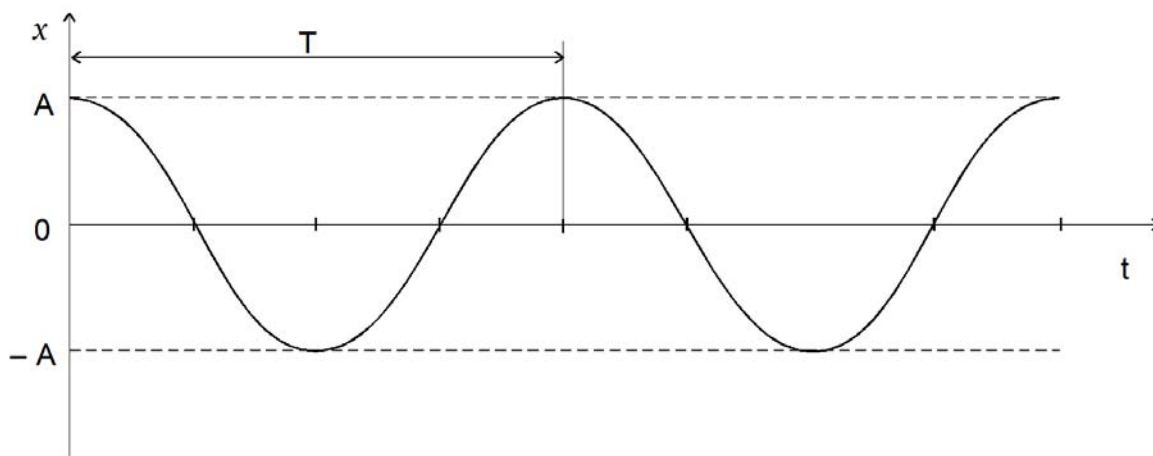


Рис. 4.2. Графік гармонічного коливання

Параметри коливань в системі СІ вимірюються: зміщення і амплітуда – у метрах; фаза – у радіанах; циклічна частота – радіан за секунду; період – у секундах; частота – в герцах (Гц). Частота 1 Гц – це частота такого коливання, період якого дорівнює 1 с.

Матеріальна точка може також брати участь у коливальних рухах, напрями коливань яких не збігаються. Визначимо **траєкторію** точки у випадку, коли вона одночасно бере участь у двох взаємно перпендикулярних гармонічних коливаннях із однаковими частотами. Припустимо, що гармонічні коливання відбуваються в напрями координатних осей OX і OY . Якщо момент відліку вибрати так, щоб початкова фаза одного коливання дорівнювала нулю, то рівняння коливань матимуть вигляд:

$$x = A \cos \omega t, \quad y = B \cos(\omega t + \varphi_0). \quad (4.2)$$

Якщо в ці рівняння підставляти різні значення t , то можна визначити координати x і y й геометричним шляхом побудувати траєкторію руху точки. Аналітичним шляхом визначити вид траєкторії руху матеріальної точки можна за допомогою рівняння траєкторії $y = f(x)$, для одержання якого з рівнянь (4.2) треба виключити час t . Після математичних перетворень маємо:

$$\left(\frac{x}{A}\right)^2 - 2\frac{x}{A}\frac{y}{B}\cos\varphi_0 + \left(\frac{y}{B}\right)^2 = \sin^2\varphi_0. \quad (4.3)$$

Одержане рівняння траєкторії матеріальної точки є рівнянням еліпса, орієнтація якого відносно осей координат і його форма визначається значенням амплітуд та значенням різниці фаз φ_0 складових коливань. Розглянемо часткові випадки.

Якщо $\varphi_0 = 0$, тоді рівняння (4.3) набуває вигляду:

$$\left(\frac{x}{A} - \frac{y}{B}\right)^2 = 0. \text{ Звідки } \frac{x}{A} = \frac{y}{B} \text{ або } y = \frac{B}{A}x.$$

Це рівняння прямої, тобто траєкторію точки є пряма, що проходить через початок координат (рис. 4.3,а).

Якщо $\varphi_0 = \pm\pi$, то рівняння (4.3) набуває вигляду: $\left(\frac{x}{A} + \frac{y}{B}\right)^2 = 0$. Звідки

$$\frac{x}{A} = -\frac{y}{B} \text{ або } y = -\frac{B}{A}x \text{ (рис. 4.3, б).}$$

Якщо $\varphi_0 = \pm\frac{\pi}{2}$, то рівняння (4.3) набуває вигляду: $\frac{x^2}{A^2} + \frac{y^2}{B^2} = 1$. Отже, траєкторією точки є еліпс, півосі якого A і B орієнтовані вздовж координатних осей OX і OY (рис. 4.3, в). Якщо $A = B$, еліпс вироджується в коло.

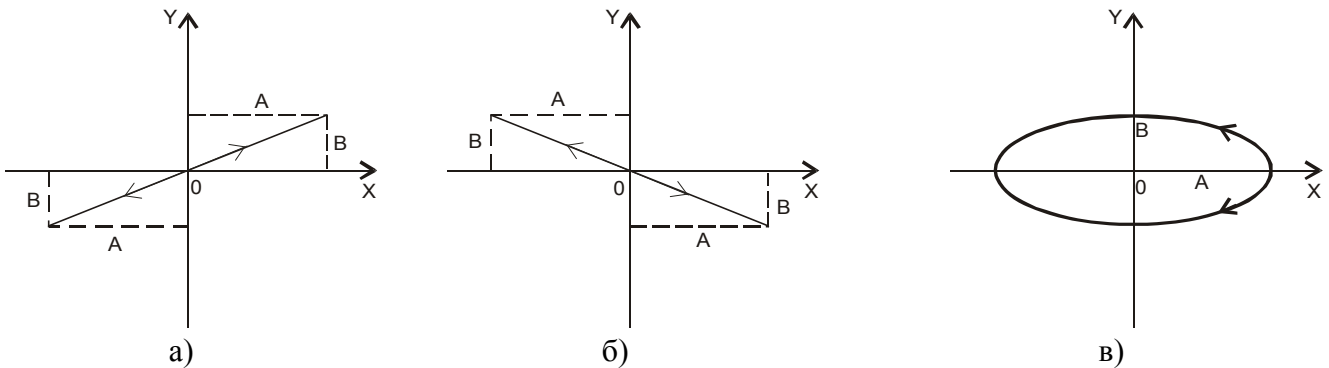


Рис. 4.3. Траєкторія руху матеріальної точки, що одночасно бере участь у двох взаємно перпендикулярних коливаннях з однаковими частотами:

$$\text{а) } \varphi_0 = 0; \text{ б) } \varphi_0 = \pm\pi; \text{ в) } \varphi_0 = \pm\frac{\pi}{2}$$

Під час додавання двох взаємно перпендикулярних коливань з *різними* частотами результуючі рухи відбуваються по траєкторіях складних форм, які називають *фігурами Ліссажу* (рис. 4.4).

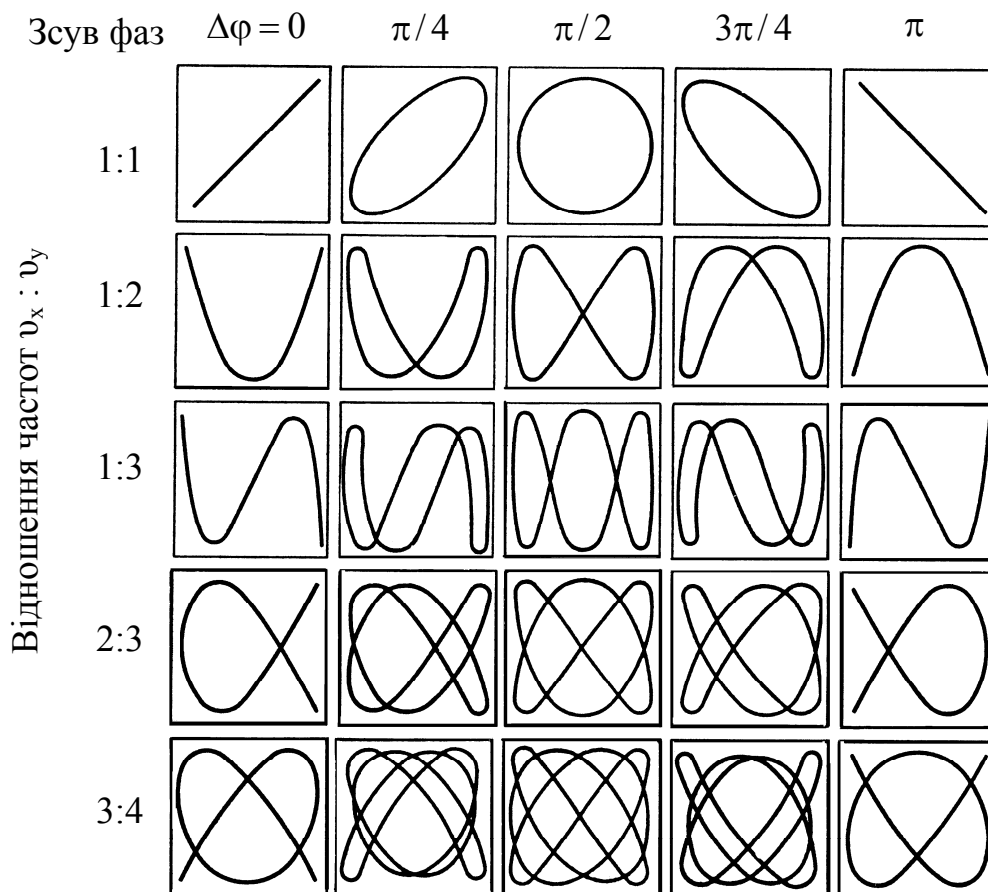


Рис. 4.4. Фігури Ліссажу

Ці фігури зручно спостерігати за допомогою осцилографа. Якщо відомі параметри одного коливання, то за фігурами Ліссажу можна визначити параметри другого коливання.

Нехай будь-яка пряма, яка паралельна осі OY , перетинає фігуру Ліссажу n_Y разів, а пряма, що паралельна осі OX – n_X разів (на рис. 4.5 $n_Y = 2$,

$n_X = 4$). Шукана частота визначається з співвідношення $\frac{n_X}{n_Y} = \frac{\nu_Y}{\nu_X}$:

$$\nu_Y = \frac{n_X}{n_Y} \cdot \nu_X, \quad (4.4)$$

де ν_X – відома частота.

Прямі, які паралельні осям OY і OX , не треба проводити через точки перетину кривих фігур Ліссажу (наприклад, через точку M на рис. 4.5).

Зсув фаз між коливаннями визначається за виглядом фігур Ліссажу.

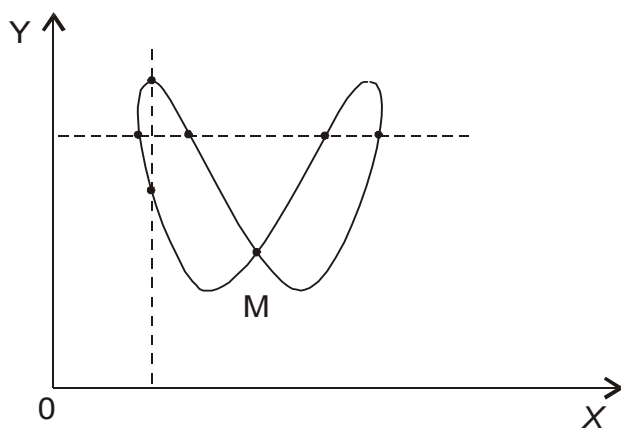


Рис. 4.5. Фігура Ліссажу

$$\nu_X : \nu_Y = 1 : 2, \quad \Delta\varphi = \frac{\pi}{4}$$

Мета роботи: ознайомитися з формами траєкторії матеріальної точки, яка одночасно бере участь у двох взаємно перпендикулярних коливаннях;
визначити зсув фаз та частоту гармонічного коливання за допомогою фігур Ліссажу.

Прилади: осцилограф ОЭШ-70, звуковий генератор ГЗ-102, звуковий генератор ГЗ-111.

4.2. Завдання та обробка результатів вимірювань

4.2.1. Зібрати електричне коло за схемою (рис. 4.6).

На осцилографі встановити перемикач **СИНХРОНИЗАЦІЯ** в положення **ВНУТР.**, перемикач **ДІАПАЗОНЫ** біля позначки **0**, перемикач **ОСЛАБЛЕНИЕ** в положення **1:1**.

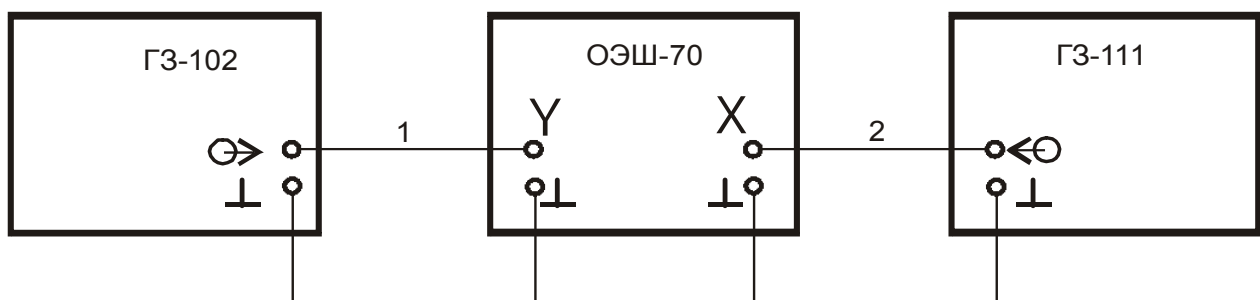


Рис. 4.6. Схема експериментальної установки

4.2.2. Від затискача осцилографа **ВХОД X** від'єднати провідник 2. Увімкнути осцилограф і генератори в мережу. На **ВХОД Y** подати напругу частотою 50 Гц від генератора ГЗ-102. Регулятором **УСИЛЕНИЕ Y** потенціометром генератора одержати вертикальну лінію довжиною 6-8 см.

4.2.3. Від затискача **ВХОД Y** від'єднати провідник 1, а провідник 2 приєднати до затискача **ВХОД X**. На **ВХОД X** подати напругу частотою 50 гц від генератора ГЗ-111. Регулятором **УСИЛЕНИЕ X** одержати горизонтальну лінію довжиною 6-8 см. Довжину вертикальної і горизонтальної лінії зробити однаковими.

4.2.4. Знов приєднати до затискача **ВХОД Y** провідник 1. На екрані з'явиться фігура Ліссажу. За співвідношенням (4.4) розрахувати частоту ν_Y та порівняти її із значенням ν'_Y на шкалі генератора. Частоту ν_X напруги, що подається на **ВХОД X** прийняти за відому. За виглядом фігури визначити зсув фаз $\Delta\phi$. Дані занести до таблиці. Обертаючи регулятор генератора ГЗ-102 **ЧАСТОТА**, знайти інші види фігур Ліссажу та зробити розрахунки.

4.2.5. Проаналізувати одержані результати, зробити висновки.

Малюнок фігури Ліссажу	$\nu_x : \nu_y$	n_x	n_y	ν_y , Гц	ν'_y , Гц	$\Delta\phi$, рад

Контрольні запитання

1. Що являє собою коливальний рух?
2. Які існують види коливань?
3. Записати рівняння гармонічних коливань.
4. Які параметри характеризують гармонічні коливання? Дати визначення кожного з них.
5. Як графічно зображуються гармонічні коливання?
6. Що являють собою фігури Ліссажу? При якій умові вони мають стійке зображення на екрані осцилографа?
7. Чому одному і тому самому відношенню частот відповідає ряд різних фігур?

5. Лабораторна робота №4

5.1. ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКА АДІАБАТИ ДЛЯ ПОВІТРЯ МЕТОДОМ КЛЕМАНА-ДЕЗОРМА

Адіабатичний процес – це термодинамічний процес, який відбувається в системі при повній її тепловій ізоляції, тобто, коли система не дістає тепла і не віддає його: $\Delta Q = 0$. Строго адіабатичних процесів у природі не існує. Наближено адіабатичними є процеси в системах, оточених тепло ізольованим шаром або процеси, які відбуваються настільки швидко, що не встигає відбуватися теплообмін між системою і її оточенням. Згідно з першим законом термодинаміки $\Delta Q = \Delta U + \Delta A$ при $\Delta Q = 0$ маємо $\Delta A = -\Delta U$, тобто робота ΔA при таких процесах виконується в результаті зміни внутрішньої енергії системи ΔU . Під час адіабатичного розширювання газу його внутрішня енергія зменшується і він охолоджується. Під час адіабатичного стискування газу його внутрішня енергія зростає і він нагрівається.

Адіабатичні процеси для ідеальних газів описуються **рівнянням Пуассона**:

$$pV^\gamma = const, \quad (5.1)$$

де p і V – тиск і об'єм газу, γ – **показник адіапати** або коефіцієнт Пуассона. Показник адіапати можна визначити через відношення молярної теплоємності C_p газу при сталому тиску до його молярної теплоємності C_v при сталому об'ємі:

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v}. \quad (5.2)$$

Молярна теплоємність – це фізична величина, яка чисельно дорівнює кількості теплоти ΔQ , наданому молю речовини ($\nu = 1$ моль), для підвищення його температури на один кельвін ($\Delta T = 1$ К):

$$C = \frac{\Delta Q}{\nu \Delta T}.$$

Молярна теплоємність газів визначається не лише їх фізичною природою, а й умовами нагрівання. Газ можна нагрівати або при сталому об'ємі (ізохоричний процес), або при сталому тиску (ізобаричний процес). У випадку *ізохоричного процесу* теплота витрачається лише на підвищення температури газу, тобто на зміну внутрішньої енергії системи і молярна теплоємність визначається співвідношенням:

$$C_v = \frac{\Delta U}{\nu \Delta T}. \quad (5.3)$$

У випадку *ізобаричного процесу* теплота витрачається як на збільшення внутрішньої енергії газу, що призводить до підвищення його температури, так і на розширення газу, оскільки під час ізобаричного процесу об'єм зростає. При цьому молярна теплоємність визначається співвідношенням:

$$C_p = \frac{\Delta U + p\Delta V}{\nu\Delta T} = C_V + R. \quad (5.4)$$

де R – універсальна газова стала. Отже, для нагрівання однакої маси газу на однакою кількість градусів під час ізобаричного процесу треба затратити більшу кількість теплоти, ніж під час ізохоричного процесу. Тому для газів

$$C_p > C_V \text{ і } \gamma = \frac{C_p}{C_V} > 1.$$

Для ідеального газу молярні теплоємності C_p і C_V можна розрахувати, виходячи з уявлень молекулярно-кінетичної теорії газів:

$$C_V = \frac{i}{2}R, \quad C_p = \frac{i+2}{2}R,$$

де i – число ступенів вільності молекули газу. Тоді

$$\gamma = \frac{C_p}{C_V} = \frac{i+2}{i}. \quad (5.5)$$

Для експериментального визначення показника адіабати в даній роботі використовується **метод Клемана-Дезорма**, який ґрунтується на адіабатичному розширенні газів. Основою експериментальної установки є скляний балон **Б**, сполучений гумовими трубками з манометром **М** і через кран **К2** з гумовою грушею **Г** (рис. 5.1). Кран **К1** сполучає балон із навколишнім повітрям.

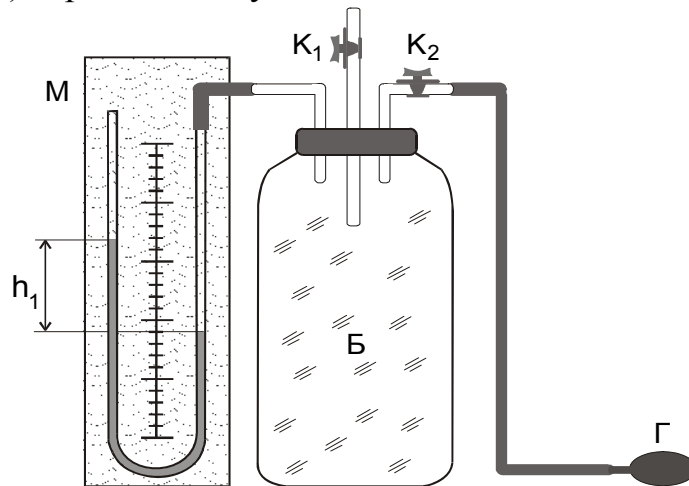


Рис. 5.1. Схема експериментальної установки

Нехай газ (повітря) за початкових умов займає в балоні об'єм V_0 при атмосферному тиску p_0 (кран **К1** – відкритий). Якщо в цей балон нагнітати додаткове повітря гумовою грушею (кран **К1** – закритий, кран **К2** – відкритий), то повітря, що було раніше в балоні, стискається до тиску p_1 й займатиме об'єм V_1 . Під час швидкого нагнітання повітря його температура підвищується, оскільки стиснення газу є адіабатичним. Остаточна різниця рівнів h_1

стовпчиків води в манометрі встановлюється лише тоді, коли завдяки теплопровідності стінок балона температура повітря в балоні зрівняється з температурою T_1 навколишнього повітря. Отже, *перший* стан газу в балоні можна характеризувати об'ємом V_1 , температурою T_1 , тиском $p_1 = p_0 + \rho gh_1$, де ρ – густина води.

Відкриванням крана **К1** на короткий час забезпечують швидке розширення газу до тиску, що дорівнює атмосферному. У результаті об'єм газу знов дорівнюватиме V_0 . Зважаючи на малий час розширення, помітного теплообміну між стінками балона і навколишнім повітрям не відбувається, тому цей процес є також адіабатичним, і в координатах p, V зображується кривою 1-2 (рис. 5.2). Під час розширення газ охолоджується до температури T_2 , яка є нижчою за температуру T_1 . Отже, газ переходить в *другий* стан із параметрами тиск p_0 , об'єм V_0 , температура T_2 .

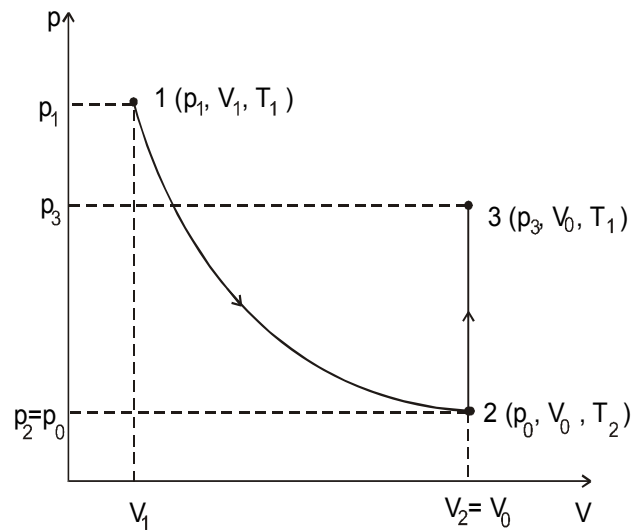


Рис. 5.2. Графік процесів, які відбуваються з повітрям в балоні під час виконання дослідів

Газ, що охолоджується під час адіабатичного розширення до температури T_2 , знову нагріватиметься, доки не досягне температури T_1 навколишнього повітря. Одночасно тиск газу в балоні зростатиме до значення $p_3 = p_0 + \rho gh_2$, де h_2 – різниця рівнів стовпчиків води в манометрі при незмінному об'ємі V_0 . Отже, *третій* стан газу характеризуватиметься тиском $p_3 = p_0 + \rho gh_2$, об'ємом V_0 температурою T_1 .

Перехід газу з першого стану в другий відбувається адіабатично, тому застосуємо рівняння Пуассона:

$$p_1 V_1^\gamma = p_2 V_2^\gamma \quad \text{або} \quad (p_0 + \rho gh_1) V_1^\gamma = p_0 V_0^\gamma, \quad (5.6)$$

де $V_2 = V_0$. Температура повітря в першому та третьому станах дорівнюють одна одній, тому за законом Бойля-Маріотта маємо:

$$p_1 V_1 = p_3 V_0 \quad \text{або} \quad (p_0 + \rho gh_1) V_1 = (p_0 + \rho gh_2) V_0. \quad (5.7)$$

Після ряду математичних перетворень із рівнянь (5.6) та (5.7) одержимо:

$$\gamma = \frac{h_1}{h_1 - h_2}. \quad (5.8)$$

Мета роботи: визначити показник адіабати для повітря.

Прилади: скляний балон з двома кранами, рідинний манометр, груша.

5.2. Завдання та обробка результатів вимірювань

5.2.1. Відкрити кран **К2** (кран **К1** – закритий) і нагнати в балон повітря, щоб в манометрі була значна різниця рівнів води. Закрити кран **К2** і записати різницю рівнів h_1 стовпчиків води в манометрі, що остаточно встановилась.

5.2.2. Відкрити на короткий час кран **К1**. При цьому рівні води в манометрі зрівнюються. Кран **К1** закрити. Через 2-3 хвилини зафіксувати h_2 . Дані вимірювань занести до таблиці. Дослід повторити кілька разів.

5.2.3. Показник адіабати обчислити за формулою (5.8) і порівняти з теоретично розрахованим за формулою (5.5), вважаючи повітря двоатомним газом.

5.2.4. Оцінити відносні випадкову, систематичну та повну похибки вимірювань. Оцінити абсолютну похибку вимірювання. Зробити висновки.

№ виміру	$h_1, \text{см}$	$h_2, \text{см}$	γ	$\Delta\gamma$	$\left(\frac{\Delta\bar{\gamma}}{\bar{\gamma}}\right)_{\text{вип.}}, \%$	$\left(\frac{\Delta\gamma}{\gamma}\right)_{\text{сист.}}, \%$	$\left(\frac{\Delta\gamma}{\gamma}\right)_{\text{пов.}}, \%$
1							
2							
3							
4							
сер.							

Контрольні запитання

1. Які процеси називаються ізотермічними, ізобаричними, ізохоричними, адіабатичними та якими законами вони описуються?
2. Що називають молярною теплоємністю речовини?
3. Що називають питомою теплоємністю речовини?
4. Який газ називають ідеальним?
5. Що таке C_p і C_v ? Який зв'язок між цими величинами.
6. Що розуміють під ступенями вільності молекул газу?
7. Чому один з кранів рекомендується відкривати тільки на короткий час і як це впливає на точність визначення показника адіабати?

6. Лабораторна робота № 5

6.1. ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ПОВЕРХНЕВОГО НАТЯГУ РІДИНИ МЕТОДОМ ВІДРИВУ КРАПЛІ

Наявність у рідин вільної поверхні приводить до існування так званих *поверхневих сил*, які діють вздовж поверхні і намагаються скоротити її площу. Причиною існування цих сил є різниця в енергетичному стані молекул поверхневого шару в порівнянні з молекулами об'єму рідини. Так, молекула всередині рідини оточена з усіх боків однаковою кількістю сусідніх молекул. Це означає, що сили притягання між означеною молекулою і сусідніми молекулами зрівноважені в усіх напрямках. Молекула в поверхневому шарі оточена молекулами рідини лише знизу, а зверху – молекулами пари. Оскільки густина пари менша за густину рідини, то взаємодія молекули поверхневого шару з молекулами рідини сильніша за взаємодію з молекулами пари. Так виникає відмінна від нуля результуюча сила, яка втягує молекулу поверхневого шару всередину рідини. Відношення суми цих сил до одиниці площі поверхні називають *внутрішнім тиском*. Внутрішній тиск для рідин дуже великий. Це приводить до того, що рідини мало стисливі.

Для збільшення поверхні рідини необхідно виводити молекули з об'єму рідини в поверхневий шар. Для цього потрібно виконувати роботу проти сил внутрішнього тиску. Ця робота виконується за рахунок запасу кінетичної енергії, яку мають молекули всередині рідини і вона йде на збільшення потенціальної енергії цих самих молекул у поверхневому шарі. Таким чином, поверхневий шар в цілому має надлишкову потенціальну енергію.

У стані стійкої рівноваги надлишкова поверхнева потенціальна енергія рідини повинна бути мінімальною. Це означає, що в рівноважному стані рідина повинна мати мінімально можливу площу поверхні. Сили, які забезпечують цю поверхню або перешкоджають збільшенню поверхні рідини і називають *силами поверхневого натягу*. Напрямок дії цих сил збігається з дотичною до поверхні рідини.

Мірою поверхневого натягу є *коефіцієнт поверхневого натягу* (σ), який чисельно дорівнює силі поверхневого натягу (F), що припадає на одиницю довжини контура поверхні рідини:

$$\sigma = \frac{F}{l},$$

де l – довжина контура поверхні рідини.

Одним із поширених методів вимірювання коефіцієнта поверхневого натягу є *метод відриву краплі*. Суть методу полягає в тому, що під час витікання рідини з отвору тонкої трубки (бюретки) на її кінці утворюється поверхнева плівка (рис. 6.1). Під дією сили, з якою рідина тисне на плівку, остання розтягується і набуває форму краплі. Сили поверхневого натягу намагаються зменшити площу поверхні краплі. У момент відриву краплі вага краплі P стає рівною силі поверхневого натягу F .

Значення коефіцієнта поверхневого натягу можна визначити виходячи з того, що розрив поверхневої плівки під час відривання краплі відбувається по краю шийки краплі, контурна довжина якої дорівнює $l = \pi D$, де D – діаметр шийки краплі (рис. 6.2). У момент відриву $P = F$, де $P = mg$, $F = \sigma l = \sigma \pi D$. Отже, $mg = \sigma \pi D$. Звідки $\sigma = \frac{mg}{\pi D}$, де m – маса однієї краплі.

Масу однієї краплі вимірювати недоцільно внаслідок великої похибки вимірювання. Тому зважуванням спочатку визначають масу 50-100 краплин, а потім розраховують масу однієї краплі:

$$m = \frac{m_2 - m_1}{N},$$

де m_1 – маса порожньої бюкси, m_2 – маса бюкси з N краплями води. Тоді розрахункова формула набуває вигляду:

$$\sigma = \frac{(m_2 - m_1)g}{\pi DN}.$$

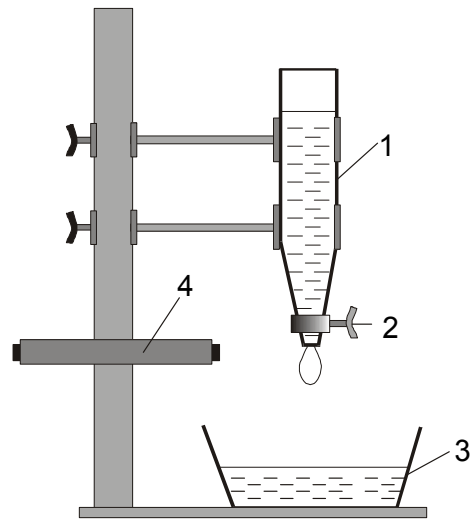


Рис. 6.1. Схема експериментальної установки

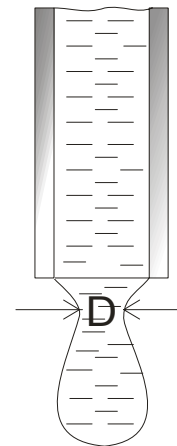


Рис. 6.2. Утворення краплі рідини (D – діаметр шийки краплі)

Мета роботи: визначити коефіцієнт поверхневого натягу води.

Прилади і матеріали: бюретка, штатив, мікроскоп “Мир”, терези, важки, бюкса, скляна посудина, вода.

6.2. Завдання та обробка результатів вимірювань

6.2.1. Підставити під бюретку 1 скляну посудину 3 при закритому крані 2 (рис. 6.1). Заповнити бюретку водою.

6.2.2. Зважити порожню бюксу, визначивши m_1 .

6.2.3. Відкрити кран 2 і заповнити водою вузьку частину бюретки нижче крана. Відрегулювати краном 2 швидкість витікання води так, щоб за допомогою мікроскопа 4 можна було б спостерігати процес відриву краплі.

6.2.4. Визначити діаметр шийки краплі. Дані занести до таблиці.

6.2.5. Збільшити швидкість витікання води до 2-3 краплин за секунду. Підставити під бюретку бюксу, тримаючи її в руці.

6.2.6. Відрахувавши N крапель, прибрати бюксу з під бюретки.

6.2.7. Зважити бюксу з водою, визначивши m_2 .

6.2.8. Зробити друге вимірювання коефіцієнта поверхневого натягу. Для цього знов підставити бюксу під бюретку, додаючи до попередньо відрахованих крапель нові. Для розрахунку m_2 використати попередній результат.

6.2.9. Зробити третє вимірювання коефіцієнта поверхневого натягу. Для цього виконати дії п. 8.

6.2.10. Розрахувати середнє арифметичнє значення коефіцієнта поверхневого натягу. Оцінити відносну випадкову, систематичну та повну похибки вимірювань. Оцінити абсолютну похибку вимірювання.

6.2.11. Одержаний результат порівняти з табличним значенням, зробити висновки.

№ виміру	m_1 , кг 10^{-3}	D , м 10^{-3}	N	m_2 , кг 10^{-3}	σ , $\frac{\text{Н}}{\text{м}}$	$\Delta\sigma$, $\frac{\text{Н}}{\text{м}}$	$\left(\frac{\Delta\bar{\sigma}}{\bar{\sigma}}\right)_{\text{вип}}$, %	$\left(\frac{\Delta\sigma}{\sigma}\right)_{\text{сист}}$, %	$\left(\frac{\Delta\sigma}{\sigma}\right)_{\text{пов}}$, %
1									
2									
3									
сер.									

Контрольні запитання

1. Пояснити причину виникнення сил поверхневого натягу.
2. Що таке коефіцієнт поверхневого натягу? У яких одиницях він вимірюється в системі СІ?
3. Як зменшити коефіцієнт поверхневого натягу рідини?
4. Як пояснити малу стисливість рідин?
5. Навести приклади прояву сил поверхневого натягу.

7. Лабораторна робота № 6

7.1. ВИВЧЕННЯ ФАЗОВИХ ПЕРЕХОДІВ У РІДКИХ КРИСТАЛАХ ЗА ЗМІНОЮ ТЕКСТУР

Усі речовини можуть існувати в певних агрегатних станах, до яких відносять твердий, рідинний, газовий і плазму. *Агрегатний стан* – це такий стан речовини, що визначається розташуванням, взаємодією і тепловим рухом структурних частинок (атомів, йонів, молекул) у деякому інтервалі температур і тисків.

У *твердому* стані відстань між структурними частинками речовини є найменшою, а взаємодія – найбільшою, тому речовина має і форму і об'єм. Розрізняють тверді *аморфні* і *кристалічні* речовини. Структурні частинки кристалічних речовин розташовані у вузлах кристалічної решітки, а їх тепловий рух зводиться до коливань біля цих положень рівноваги. Структура кристалічних твердих тіл має високий ступінь упорядкованості – далекий і близький порядок. *Близьким порядком* називають упорядкованість між сусідніми структурними частинками речовини. *Далеким порядком* називають упорядкованість між структурними частинками на відстанях, що набагато перевищують розміри цих частинок. Аморфним твердим речовинам властивий лише близький порядок у розташуванні структурних частинок.

У *рідинах* структурні частинки розташовані на більш далеких відстанях одна до одної і взаємодіють слабкіше. Тепловий рух молекул рідини складається з їх переважних коливань біля положення рівноваги з подальшим перескоком у нове положення рівноваги. Такий вид теплового руху надає рідинам близького порядку в розташуванні структурних частинок і плинності. Рідини не зберігають форми, але зберігають об'єм.

У *газовому* стані міжмолекулярні відстані дуже великі, рух молекул є хаотичним, взаємодія між ними слабка, тому речовина не зберігає ні своєї форми, ні об'єму.

Плазма є газом, що складається з йонів та електронів. Від звичайних газів плазма відрізняється тим, що крім взаємодії між частинками плазми існує взаємодія всієї плазми з навколишніми електричними і магнітними полями.

Разом з поняттям агрегатного стану в термодинаміці використовується поняття фази. *Фаза* – це термодинамічний врівноважений стан речовини, який відрізняється за фізичними властивостями від інших можливих врівноважених станів цієї самої речовини. У багатофазній термодинамічній системі між фазами встановлюється рівновага при спільних умовах існування (наприклад, лід, вода і насичена водяна пара).

Під час зміни зовнішніх умов відбувається *фазовий перехід* речовини з однієї фази в іншу. Значення температури і тиску, при яких відбувається фазовий перехід, називають *температурою і тиском фазового переходу*. Фазові переходи бувають першого і другого роду.

Фазові переходи *першого роду* супроводжуються стрибкоподібною зміною внутрішньої енергії речовини, її густини і пов'язані з виділенням або поглинанням певної кількості тепла (*теплота фазового переходу*). Температура і тиск впродовж усього фазового переходу першого роду залишаються сталими. Фазові переходи першого роду відповідають змінам агрегатних станів речовини

і є поширеними в природі явищами: випаровування і конденсація, плавлення і твердіння (кристалізація), сублімація і конденсація в тверду фазу.

Фазові переходи *другого роду* не пов'язані зі зміною внутрішньої енергії речовини та виділенням або поглинанням теплоти фазового переходу, але пов'язані зі зміною теплоємності речовини та її внутрішньою перебудовою. При цьому переході стан речовини, її густина змінюється плавно, а симетрія – стрибком. Прикладом фазових переходів другого роду є: перехід парамагнетик – феромагнетик, перехід металів у надпровідний стан тощо.

Деякі речовини, які називають рідкими кристалами, мають додатковий агрегатний стан, який займає проміжне положення між твердим і рідким (мезофаза). У цьому стані одночасно поєднуються властивості твердого тіла і рідини. Подібно до рідини рідкі кристали течуть, приймають форму посудини, в якій знаходяться, утворюють краплини. Подібно до твердих кристалів вони мають анізотропію всіх фізичних властивостей.

У твердій фазі видовжені молекули рідкого кристала утворюють трьохвимірну кристалічну решітку молекулярного типу (рис. 7.1,а). З підвищенням температури зникає далекий трансляційний порядок, але зберігається далекий орієнтаційний порядок і речовина переходить із твердого стану в рідкокристалічний (рис. 7.1,б). З подальшим підвищенням температури зникає далекий порядок в орієнтації молекулярних осей і рідкий кристал перетворюється на звичайну (ізотропну) рідину (рис. 7.1,в).

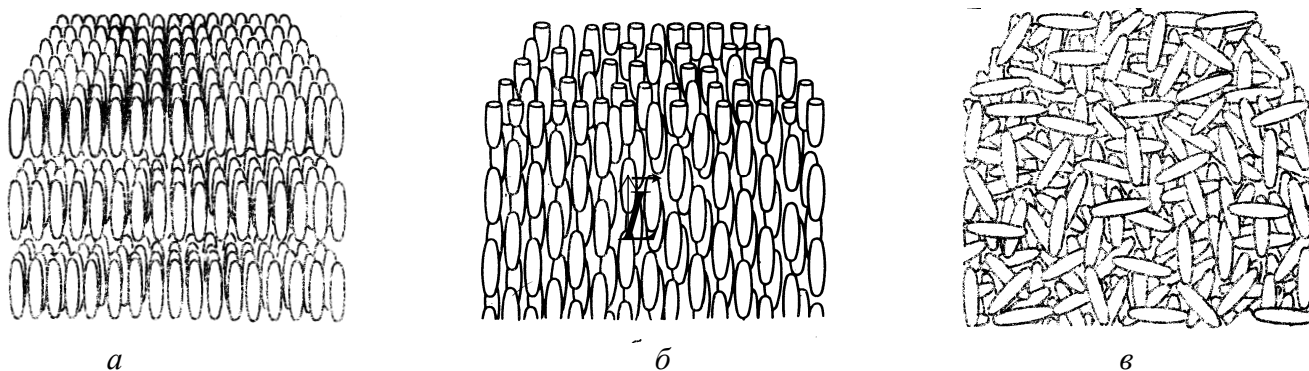


Рис. 7.1. Модель молекулярної будови рідкого кристала в різних агрегатних станах: *а* – твердий стан, *б* – рідкокристалічний стан, *в* – ізотропна рідина

Схему фазових переходів першого роду для речовин, що мають мезофазу, можна подати так:



де *TK* – твердий кристал, *PK* – рідкий кристал, *IP* – ізотропна рідина.

Рідкі кристали поділяють на *нематичні* та *смектичні*. Як різновид нематичних рідких кристалів виділяють *холестеричні* рідкі кристали.

Для нематиків, як і для рідин, має місце близький трьохвимірний порядок і, як для твердих кристалів, далекий трьохвимірний орієнтаційний порядок. Це означає, що довгі осі молекул нематика орієнтовані певним чином у просторі, але центри мас молекул вільно переміщуються в цьому напрямку (рис. 7.1,б). Напрямок переважної орієнтації довгих молекулярних осей визначається ортом \vec{L} , який називається *директором*.

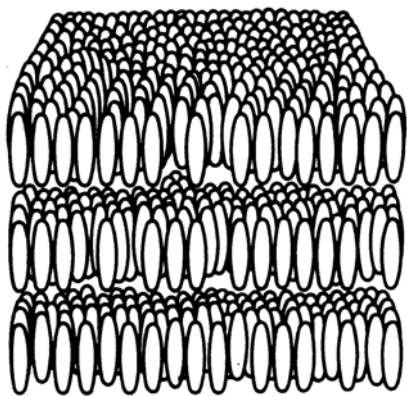


Рис. 7.2. Модель молекулярної будови смектичних рідких кристалів

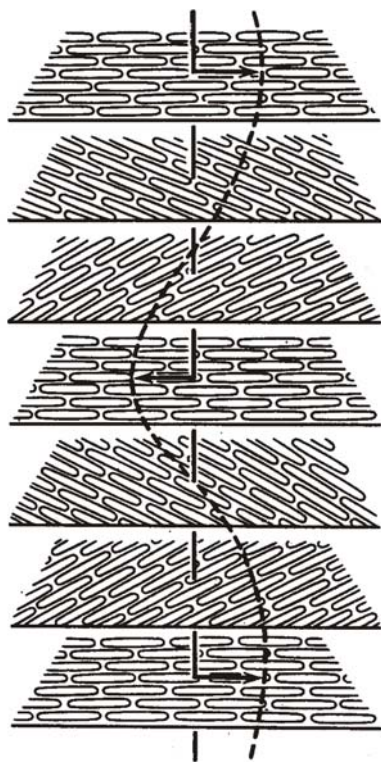


Рис. 7.3. Модель молекулярної будови холестеричних рідких кристалів

Для смектиків характерна шарувата структура, для якої разом із близьким трьохвимірним порядком має місце далекий одновимірний трансляційний порядок і далекий трьохвимірний орієнтаційний порядок. Міжмолекулярна взаємодія всередині шару значно сильніша ніж між шарами, тому вони легко ковзають один відносно одного (рис. 7.2).

Для холестериків, як і для нематиків, має місце близький трьохвимірний порядок і далекий трьохвимірний орієнтаційний порядок, але директор \vec{L} схильний до спірального закручування. Якщо холестерики умовно розбити на мономолекулярні площини, то під час переходу від однієї площини до іншої директор \vec{L} повертається відносно осі, яка перпендикулярна до цих площин, на певний кут (рис. 7.3).

Така структура рідкого кристала пов'язана з особливістю форми молекул холестерика. На відміну від форми молекул нематика (еліпсоїд обертання) із кінця видовженої молекули холестерика декілька атомів утворюють дуже малий вигин, який і є причиною спірального закручування структури холестерика.

Для деяких рідких кристалів у мезофазі поєднується смектична і холестерична або смектична і нематична фази. У цьому проявляється **поліморфізм** рідких кристалів, який є здатністю речовини існувати у фазах з різною молекулярною будовою. Фазові переходи між рідкокристалічними фазами є фазовими переходами другого роду.

Якщо спостерігати за допомогою поляризаційного мікроскопа тонкий шар рідкого кристалу, то в полі зору можна побачити своєрідний вигляд рідкокристалічної фази. Це і є **текстура**.

Головну роль в текстуроутворенні відіграє пакування молекул, яке відповідає певному типу рідкокристалічної фази, та орієнтація молекул під впливом граничних умов. За деякими ознаками по текстурам можна впізнати тип мезофази.

Нематичну фазу від холестеричної можна відрізнити або за специфічними дефектами, які нагадують нитки, або за характером пропускання світла зразком, бо вони обидві дуже чутливі до будь-якого зовнішнього впливу. Достатньо, наприклад, торкнутися пластин комірки зі зразком, щоб викликати зміну

інтерференційних кольорів в текстурі нематиків або течію рідкого кристала в текстурі холестериків. У текстурі смектиків можна побачити коноскопічні хрести.

Тверду фазу рідких кристалів розрізняють за різнокольоровими малюнками геометричної форми, а фазовий перехід в ізотропну рідину спостерігається як затемнення поля зору при схрещених поляроїдах мікроскопа.

Мета роботи: ознайомитися з виглядом текстур рідких кристалів у різних фазових станах;
визначати схему і температури фазових переходів речовин, що мають мезофазу.

Прилади: поляризаційний мікроскоп, нагрівач, термометр, зразки з рідкими кристалами.

7.2. Завдання та обробка результатів вимірювань

7.2.1. Нагріваючи та охолоджуючи зразки з рідкими кристалами, спостерігати фазові перетворення.

7.2.2. Визначити тип рідкого кристалу кожного зразка і результати спостережень занести до таблиці.

7.2.3. Проаналізувати одержані результати, зробити висновки.

№ зразка	Тип РК	Схеми і температури фазових переходів

Контрольні запитання

1. Який стан речовини називають агрегатним? Навести приклади.
2. Що є причиною існування різних агрегатних станів?
3. Що означає близький та далекий порядок у розташуванні структурних частинок речовини?
4. Що таке фаза в термодинаміці?
5. Що означає фазовий перехід?
6. Які особливості мають фазові переходи першого роду? Навести приклади цих переходів.
7. Які особливості мають фазові переходи другого роду? Навести приклади цих переходів.
8. Що називають мезофазою?
9. Що означає поліморфізм у рідких кристалах?
10. Як можна за виглядом текстур визначити агрегатний стан рідкого кристала?

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Чолпан П. П. Основи фізики: підручник. Київ : Вища школа, 1995. 488 с.
2. Кучерук І. М. Загальний курс фізики: У трьох томах. Т. 1. Механіка. Молекулярна фізика і термодинаміка / І. М. Кучерук, І. Т. Горбачук, П. П. Луцук. 2-ге вид., випр. Київ : Техніка, 2006. 532 с.
3. Несмашний Є. О. Класична механіка. Молекулярна фізика і термодинаміка: навч. посібник. Кривий Ріг: Мінерал, 2001. 211с.
4. Сивухин Д. В. Общий курс физики. В 5 томах. Том 1. Механика: учебник. М. : Физматлит, МФТИ, 2005. 560 с.
5. Савельев И. В. Курс общей физики. В 3-х томах. Том 1. Механика. Молекулярная физика : учебник. 14-е изд., стер. СПб. : Лань, 2018. 432 с.
6. Оселедчик Р. С., Самойленко П. И., Точилина Т. Н. Физика. Модульный курс для технических вузов: учебное пособие. М. : Юрайт-Издат., 2012. 568 с.
7. Рохманов М. Я., Авотин С. С. Фізика: навч. посібник для самостійної роботи студентів. Харків: ХНАУ, 2015. 283 с.