

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Криворізький державний педагогічний університет
Фізико-математичний факультет
Кафедра фізики

ДОСЛІДНИЦЬКІ ЗАДАЧІ З ФІЗИКИ

Методичні рекомендації для студентів 1 курсу
фізико-математичного факультету

Кривий Ріг – 2011

УДК 372.853

ББК 22.3я7

Дослідницькі задачі з фізики : методичні рекомендації для студентів 1 курсу фіз.-мат. факультету / укл. В. П. Ржепецький. – Кривий Ріг : Криворізький державний педагогічний університет, 2011. – 58 с.

Укладач: Ржепецький В.П. - кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики КДПУ.

Рецензенти: Половина Г. П. – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики КДПУ.

Бурак В. І. – кандидат педагогічних наук, ст. викладач кафедри фізики КДПУ

Затверджено на засіданні кафедри фізики
Протокол № 6 від 16.12.2010 р.

Затверджено радою фізико-математичного факультету
Криворізького державного педагогічного університету

Протокол № 4 від 30.12. 2010 р.

ББК 22.3я7

© КДПУ, 2011

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

Фізика є базою технічної освіти та основою науково-технічного прогресу. Предметом фізики є загальні закономірності природи в її багатогранності. До об'єкту фізичних досліджень відносять механічні, теплові, електричні та оптичні явища, процеси, що відбуваються на Землі та в її надрах, явища живого світу та властивості живих об'єктів. Фізика – наука експериментальна. Тому так важливо при вивченні фізики забезпечити можливість дослідним шляхом вивчати закономірності явищ природи. Виконуючи порівняно прості лабораторні роботи, студенти одержують вміння і навички використання різноманітних фізичних приладів, що дасть можливість ефективно засвоїти курси загальної та теоретичної фізики. Виконання робіт передбачає також статистичну обробку результатів вимірювань, правила якої подано в окремих методичних рекомендаціях, наведених в списку літератури.

Лабораторна робота № 1

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТУ КОРИСНОЇ ДІЇ ПОХИЛОЇ ПЛОЩИНИ

Мета роботи: Дослідити, як залежить к. к. д. похилої площини та вигреш в силі, що одержують з її допомогою, від кута нахилу площини до горизонту.

Прилади і матеріали: дерев'яна дошка, дерев'яний брусок, штатив, динамометр, рулетка, транспортир.

Теоретичні відомості

Коефіцієнт корисної дії (к. к. д.) будь-якого простого механізму дорівнює відношенню корисної роботи $A_{кор}$ до виконаної роботи $A_{вик}$. К. к. д. звичайно виражають у процентах:

$$\eta = \frac{A_{кор}}{A_{вик}} \cdot 100\% \quad (1)$$

Якщо тертя відсутнє, то к. к. д. простого механізму, в тому числі і похилої площини, дорівнює одиниці (100%). В цьому випадку робота, яку виконала сила F , що прикладена до тіла і яка направлена вздовж похилої площини вгору, дорівнює корисній роботі:

$$A_{вик} = A_{кор}.$$

Позначимо шлях, пройдений тілом вздовж похилої площини, через l ; виконана робота дорівнює:

$$A_{вик} = F \cdot l.$$

Якщо тіло піднялось на висоту h , то корисна робота дорівнює приросту потенціальної енергії тіла:

$$A_{кор} = mgh$$

У випадку відсутності тертя:

$$F \cdot l = mgh. \quad (2)$$

Виграш в силі – це відношення $\frac{mg}{F}$. Якщо тертя немає, то з виразу (2) одержимо:

$$K = \frac{mg}{F} = \frac{l}{h}. \quad (3)$$

В реальних умовах дія сили тертя зменшує як к. к. д. похилої площини, так і виграш в силі. К. к. д. реальної похилої площини знайдемо з виразу:

$$\eta = \frac{mgh}{F \cdot l} \cdot 100\%, \quad (4)$$

а виграш в силі:

$$K = \frac{mg}{F}. \quad (5)$$

В роботі необхідно визначити к. к. д. похилої площини і виграш в силі при різних кутах α нахилу площини до горизонту.

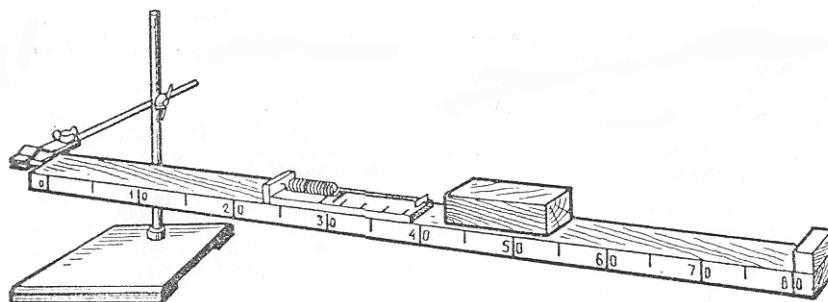


Рис. 1

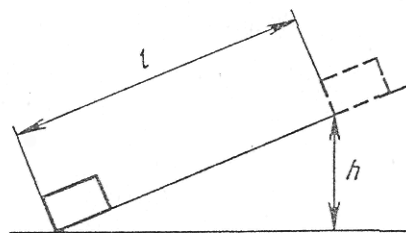


Рис. 2

Хід роботи

- Зберіть установку за рис. 1. Виміряйте висоту h і довжину похилої площини l для кута $\alpha=15^\circ$ (див. рис. 2).
- Обчисліть максимально можливий виграш в силі, що має місце при вказаному куті α :

$$K_{\max} = \frac{l}{h}. \quad (6)$$

3. Підвісивши брусок до динамометра, визначте силу тяжіння mg , що діє на брусок.
4. Покладіть брусок на похилу площину. Приєднайте до бруска динамометр і рівномірно тягніть брусок динамометром вгору вздовж похилої площини. Виміряйте силу F .
5. Обчисліть за формулою (5) виграш в силі, який одержано за допомогою похилої площини.
6. Обчисліть за формулою (4) к. к. д. похилої площини.
7. Повторіть вимірювання при кутах нахилу площини, що дорівнюють 30° і 45° .
8. Результати вимірювань і обчислень можна подати у вигляді таблиці 1:

Таблиця 1

№ п/п	α°	$mg, \text{ Н}$	$h, \text{ м}$	$l, \text{ м}$	$F, \text{ Н}$	K	$\eta, \%$
1	15						
2	30						
3	45						

Додаткове завдання

Знайдіть теоретичну залежність $\eta(\alpha)$ і $K(\alpha)$ та порівняйте її з результатами експерименту.

Контрольні запитання.

1. Які прості механізми ви знаєте? Як знайти для них виграш в силі?
2. З якою метою використовують похилу площину?
3. Як можна збільшити к. к. д. похилої площини?
4. Яким чином можна збільшити виграш в силі, що його дає похила площина?
5. Чи залежить к. к. д. похилої площини від маси бруска?
6. Поясніть одержану залежність к. к. д. похилої площини і виграшу в силі від кута нахилу площини.

Лабораторна робота № 2

ВИЗНАЧЕННЯ МОДУЛЯ ПРУЖНОСТІ З ДЕФОРМАЦІЇ РОЗТЯГУ

Мета роботи: Дослідити залежність видовження зразка від навантаження. Визначити модуль Юнга для капрону.

Прилади і матеріали: Прилад для визначення модуля пружності, рулетка, мікрометр, важки.

Теоретичні відомості

Деформацією називають зміну форми чи об'єму твердого тіла, яка викликана дією зовнішніх сил. Якщо ці сили малі, то після припинення їх дії деформація зникає; якщо ж сили великі, то після припинення дії виявляється так звана **залишкова деформація**. При появі щонайменшої залишкової деформації говорять, що досягнуто **межу пружності**.

Оскільки результат дії сили залежить також і від розмірів зразка, то зручно дію сили оцінювати по **нарузі**, що виникає в зразку.

Напругою називають відношення сили F до площі поперечного перерізу зразка S :

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (1)$$

Таким чином, межа пружності σ_{np} – це напруга, при якій з'являється залишкова деформація. Тіла з великим значенням σ_{np} називають **пружними**, а тіла з дуже малим значенням σ_{np} – **непружними** або **пластичними**.

Серед різних деформацій виділяють дві найпростіші: деформацію **розтягу (стиску)** і деформацію **зсуву**. Всі малі деформації можна розглядати як суму деяких розтягів (чи стисків) і зсувів.

Малі деформації задовольняють таким **основним законам**:

- **в межах пружності деформація пропорційна прикладеній нарузі;**
- **при зміні напрямку дії зовнішньої сили змінюється тільки напрям деформації без зміни її значення;**

- при дії декількох зовнішніх сил загальна деформація дорівнює сумі окремих деформацій (принцип суперпозиції малих деформацій).

Для малих деформацій розтягу чи стиску стержня справедливий закон Гука:

$$\frac{\Delta l}{l_0} = \alpha \frac{F}{S}, \quad (2)$$

$$\text{або} \quad \varepsilon = \alpha \sigma \quad (2')$$

В (2) і (2'): l_0 – початкова довжина стержня; $\Delta l = l - l_0$ – його абсолютне видовження; $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$ називають **відносним видовженням**;

α – коефіцієнт пружності під час розтягу.

Величина, обернена α , називається **модулем пружності** під час розтягу, або **модулем Юнга**:

$$E = \frac{l}{\alpha} = \frac{F \cdot l_0}{S \cdot \Delta l} \quad (3)$$

З використанням модуля Юнга закон Гука записують так:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (4)$$

Під дією сили F , що розтягує стержень, змінюються не тільки поздовжні, а й поперечні розміри стержня; говорять, що під час розтягу стержень зазнає **поперечного стиску**. Якщо d_0 – діаметр стержня до деформації, d – після деформації, то

$$\frac{\Delta d}{d_0} = \beta \frac{F}{S}, \quad (5)$$

де $\Delta d = d - d_0$, β – коефіцієнт поперечного стиску.

Відношення відносного поперечного стиску до відповідного відносного поздовжнього видовження (або відношення $\frac{\beta}{\alpha}$) називають

коефіцієнтом Пуассона: $\mu = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{\Delta d}{d_0} : \frac{\Delta l}{l_0}$.

Теоретично для всіх ізотропних тіл $\mu = 0,25$.

Опис установки

В установці (рис.1) використовується довга (близько 5 м) капронова нитка діаметром $0,2 \div 0,4$ мм (рибальська волосінь). На малюнку вона позначена цифрою 1. За допомогою блоків 2 капронова нитка закріплена на робочому столі. До кінця нитки приєднано платформу для важків 3. Поруч вертикально закріплено лінійку 4, на якій з допомогою покажчика 5 можна відмічати положення кінця нитки. Значна довжина нитки дає змогу вже при невеликих навантаженнях ($\approx 1H$) з достатньою точністю виміряти абсолютне видовження Δl . Модуль Юнга визначається за формулою (3) для різних значень F .

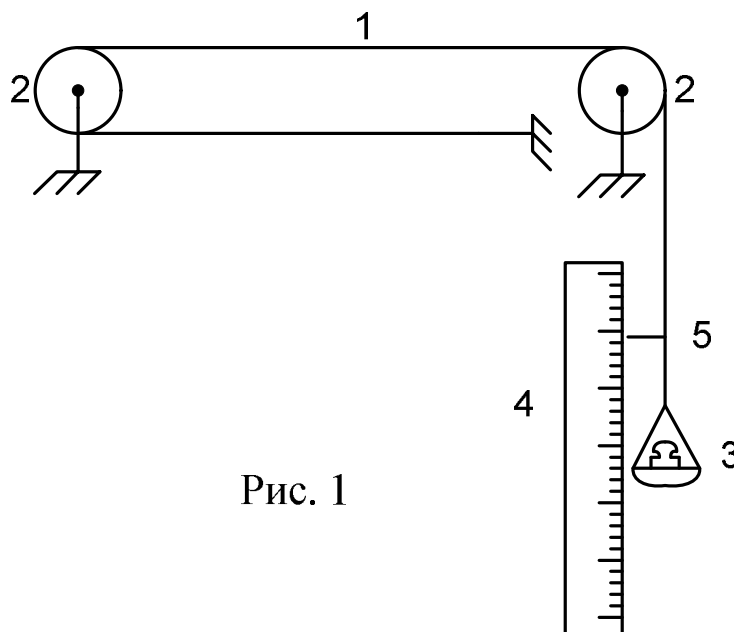


Рис. 1

Хід роботи

1. Виміряйте рулеткою довжину капронової нитки l_0 до стрілки-показчика 5 при ненавантаженій платформі. Допустима похибка вимірювання – 1 см.
2. Мікрометром виміряйте діаметр нитки d . Вимірювання виконайте декілька разів в різних місцях і знайдіть з одержаних значень середнє арифметичне.
3. Запишіть початкове положення стрілки-показчика n_0 .
4. Навантажте платформу важком масою m . При обчисленні сили тяжіння F , що діє на цей важок, g брати рівним 10 м/с^2 .
5. Запишіть положення стрілки n_1 .
6. Навантажуйте платформу послідовно важками, збільшуючи масу їх щоразу на m г. Записуйте кожного разу покази стрілки n_2, n_3, \dots

Максимальне навантаження уточніть у викладача.

7. Почніть розвантажувати платформу, знімаючи кожного разу теж по m г. Записуйте щоразу покази стрілки n'_6, n'_5, n'_4 і т.д. до n_0 .
8. Побудуйте графік залежності видовження нитки від навантаження F :
 при $F_1 \quad \Delta l_1 = n_1 - n_0$
 при $F_2 \quad \Delta l_2 = n_2 - n_0$ і т.д.
9. Проаналізуйте одержаний графік. Чи виконується закон Гука?
10. Обчисліть для кожного видовження модуль Юнга за формулою:

$$E = \frac{4Fl_0}{\pi d^2 \Delta l} \quad (6)$$

В (6) враховано, що площа $S = \frac{\pi d^2}{4}$.

11. Знайдіть середнє арифметичне з одержаних значень E і порівняйте з табличним.
12. Результати вимірювань і обчислень можна подати у вигляді таблиці 1. Похибка вимірювань: $\delta E_i = |E_i - E_{cp}|$

13. Кінцевий результат подати у виді $E = E_{cp} \pm \delta E_{cp}$, де $\delta E_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^N \delta E_i}{N}$.

Табл.1

№ n/n	$F = mg,$ H	$l_0,$ m	$d,$ m	$\Delta l,$ m	$E, \frac{H}{m^2}$	δE
1						
2						
.						
Середнє	—			—		

Контрольні запитання

1. Які деформації називають пружними?
2. Сформулюйте закон Гука.
3. Який фізичний зміст модуля Юнга?
4. Що називають коефіцієнтом Пуассона?
5. Накресліть діаграму розтягу дроту і поясніть фізичний смисл окремих її ділянок.
6. Яку довжину повинен мати мідний дріт, щоб він, якщо його підвісити вертикально, розірвався під дією власної ваги?

Лабораторна робота № 3.

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЕНТУ ТЕРТЯ КОВЗАННЯ.

Мета роботи: Визначити коефіцієнт тертя ковзання, використовуючи рух тіла по колу.

Прилади і матеріали: Програваач грампластинок з частотою обертання $78 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$, платформи з дерева та металу, шайби з дерева, металу, пластмаси та гуми.

Теоретичні відомості.

Сила тертя ковзання виникає під час руху одного тіла по поверхні іншого. Ця сила прямо пропорційна силі нормального тиску (або силі реакції опори):

$$F_{mp} = \mu N, \quad (1)$$

де μ називається коефіцієнтом тертя ковзання. Якщо на диск, що обертається, покласти предмет, то при невеликій відстані R від вісі обертання він буде обертатись разом з диском, залишаючись відносно нього нерухомим (див.рис.1). Предмет рухається по колу, отже, з доцентровим прискоренням

$$a_y = \omega^2 R, \quad (2)$$

де $\omega = 2\pi\nu$.

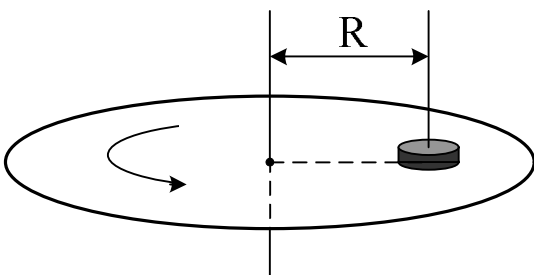


Рис. 1

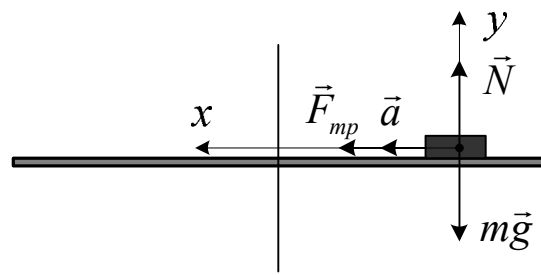


Рис. 2

Це прискорення йому надає сила тертя спокою (рис.2). При збільшенні відстані R збільшиться доцентрове прискорення, отже, збільшиться і сила тертя спокою. При певній відстані R_{max} сила тертя спокою досягне свого максимального значення і при подальшому збільшенні R тіло вже не втримається на диску. Наближено можна

вважати, що максимальне значення сили тертя спокою дорівнює силі тертя ковзання:

$$F_{\text{тр max}}^{\text{спок}} = F_{\text{тр}} = \mu N \quad (3)$$

За другим законом Ньютона:

$$\vec{N} + m\vec{g} + \vec{F}_{\text{тр}} = m\vec{a}_c \quad (4)$$

Спроектуємо це рівняння на вісі OX і OY :

$$\begin{cases} F_{\text{тр}} = ma_c; \\ N - mg = 0; \end{cases} \quad \text{Врахуємо (2) і (3):} \quad \begin{cases} \mu N = m\omega^2 R, \\ N = mg; \end{cases}$$

$$\mu mg = m\omega^2 R$$

Одержимо:

$$\mu = \frac{\omega^2 R}{g} = \frac{4\pi^2 \nu^2 R}{g} \quad (5)$$

Хід роботи.

1. Увімкніть в мережу програвач і переведіть важіль „Пуск” в положення ►.

2. Дерев'яну платформу (рис.3) покладіть на диск програвача „на ходу”. Навчіться класти і знімати з диска платформу, не зупиняючи диск програвача.

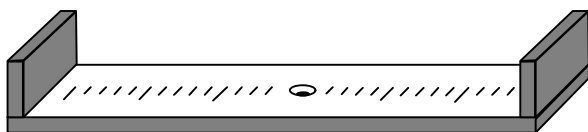


Рис. 3

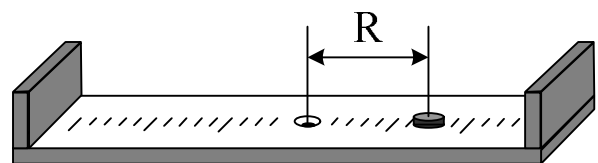


Рис. 4

3. Зніміть платформу з диска і покладіть на неї дерев'яну шайбу на відстані $R=4$ см від отвору (рис.4).

4. Покладіть платформу на диск і переконайтесь, що шайба залишається на платформі, обертаючись разом з нею.

5. Зніміть платформу з диска і пересуньте шайбу на більшу відстань, наприклад, $R=5$ см. Покладіть платформу на диск і перевірте, чи залишається шайба на платформі. Так повторюйте до

тих пір, поки шайба не злетить з платформи. Нехай при $R=7$ см шайба не злітала, а при $R=8$ см – злетіла. Шукана відстань $R_{max} = (7,5 \pm 0,5) \text{ см}$.

6. За формулою (5) розрахуйте коефіцієнт тертя ковзання для даної пари матеріалів (дерево - дерево).

7. Аналогічно визначте μ для пар дерево – метал, дерево – пластмаса, дерево – гума.

8. Змініть платформу на металеву і визначте μ для тих же шайб на металевій поверхні.

9. Результати обчислень оформіть у вигляді таблиці та зробіть висновок.

Контрольні запитання.

1. Що називають сухим тертям? Яка фізична природа сил тертя?
2. Від чого залежить коефіцієнт тертя ковзання і які причини можуть впливати на його зміну?
3. Які особливості сили тертя спокою?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

ВИВЧЕННЯ ОСНОВНОГО РІВНЯННЯ ДИНАМІКИ ОБЕРТОВОГО РУХУ

Мета роботи: Дослідити залежність кутового прискорення диска від моменту сили пружності нитки, що приводить диск в рух.

Прилади і матеріали: диск з набору для вивчення обертового руху, штатив, блок, штангенциркуль, набір важків, нитка, секундомір.

Теоретичні відомості

Кутове прискорення ε тіла, що обертається, прямо пропорційне моменту сил M , що діють на тіло, і обернено пропорційне моменту інерції тіла I :

$$\varepsilon = \frac{M}{I} \quad (1)$$

Рівняння (1) називають *основним рівнянням динаміки обертового руху*. Для перевірки цього рівняння скористаємося установкою, зображеною на рис. 1.

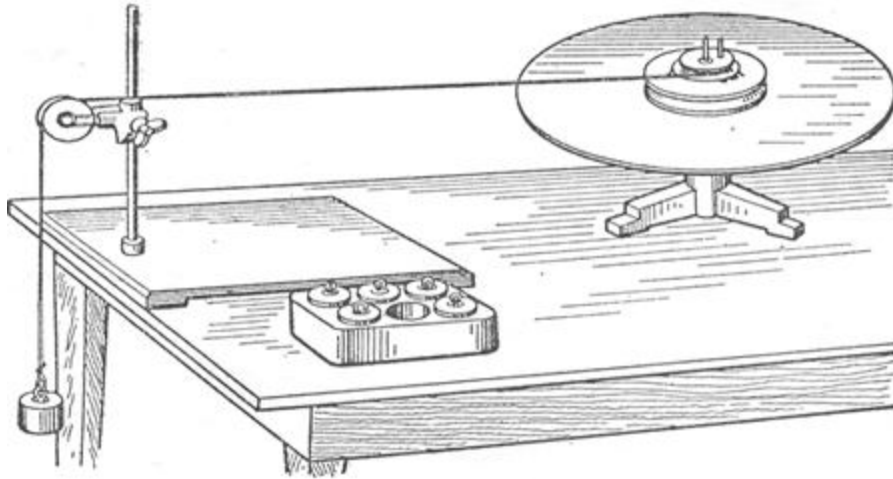


Рис. 1

На один із шківів радіусом R намотаємо нитку. Нитку перекинемо через блок і до її кінця підвісимо вантаж масою m . Момент сили натягу нитки \vec{T} дорівнює: $M = T \cdot R$.

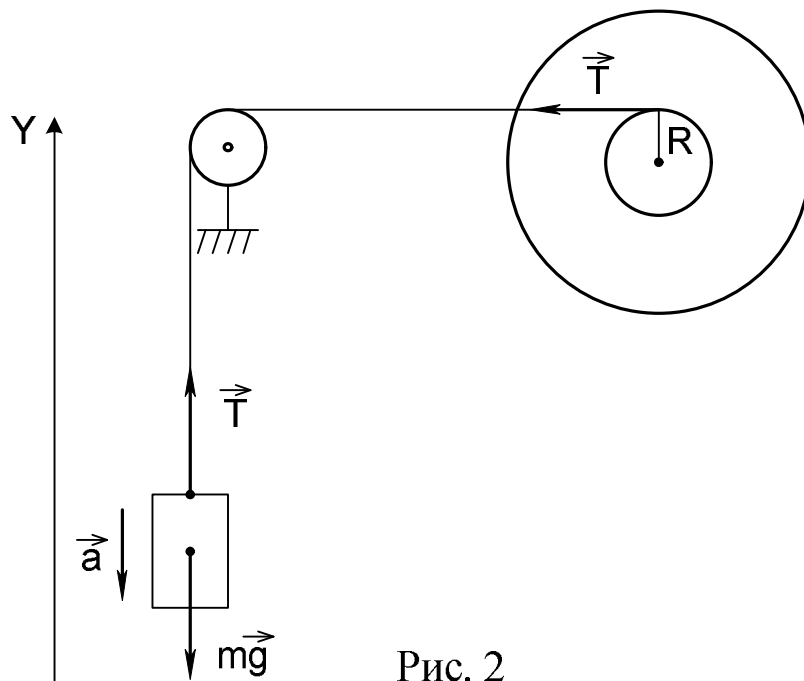


Рис. 2

Модуль сили натягу нитки T знайдемо, застосувавши до руху вантажу другий закон Ньютона (див. рис. 2):

$$\vec{T} + m\vec{g} = m\vec{a} \quad (2)$$

Спроектуємо (4.2) на вісь ОУ:

$$T - mg = -ma, \text{ звідки:}$$

$$T = m(g - a) \quad (3)$$

В даній роботі прискорення вантажу a набагато менше прискорення вільного падіння g : $a \ll g$. Тому можна вважати, що

$$T \approx mg \text{ і } M = mgR. \quad (4)$$

Кутове прискорення ε за означенням дорівнює $\varepsilon = \frac{\omega - \omega_0}{t}$.

Оскільки в усіх дослідах даної роботи $\omega_0 = 0$, то:

$$\varepsilon = \frac{\omega}{t}, \quad (5)$$

де ω – кутова швидкість диска, яку він набуде за час t падіння вантажу.

Хід роботи

Завдання 1. Встановіть залежність кутового прискорення диска від діючої сили при постійному плечі цієї сили.

1. Намотайте нитку на верхній шків радіусом R_1 , перекиньте нитку через блок і почепіть до нитки вантаж масою $m_1 = 0,1$ кг.

2. Розташуйте вантаж на максимальній висоті над підлогою. Врахуйте, що у всіх дослідах шлях, який проходить вантаж, повинен бути однаковим, тому й відстань від основи вантажу до підлоги повинна бути однаковою. Відпустіть диск і з допомогою секундоміра визначте час t_1 опускання вантажу.

3. Дослід повторіть три – чотири рази і знайдіть середнє значення часу t_1 .

4. Визначте кутову швидкість диска ω_1 . Для цього запусіть диск, як описано в п.1 і п.2, але не включайте секундомір. Після того, як вантаж опуститься на підлогу, в момент проходження мітки на диску запусіть секундомір і зупиніть його, коли диск зробить п'ять

обертів. Після опускання вантажу на підлогу нитка повинна повністю змотатись зі шківа диска.

Кутова швидкість дорівнює:

$$\omega_1 = \frac{\varphi_1}{t'_1} = \frac{2\pi N}{t'_1} = \frac{10\pi}{t'_1} \quad (6)$$

де t'_1 – час, за який диск здійснив п'ять обертів.

5. Дослід повторіть три – чотири рази і знайдіть середнє значення часу t'_1 .

6. Обчисліть кутове прискорення диска ε_1 :

$$\varepsilon_1 = \frac{\omega_1}{t_1} \quad (7)$$

7. Повторіть дослід з вантажем $m_2 = 0,2$ кг (два вантажі по 0,1 кг). Обчисліть кутову швидкість ω_2 і кутове прискорення ε_2 :

$$\omega_2 = \frac{10\pi}{t'_2};$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\omega_2}{t_2} \quad (8)$$

8. Результати вимірювань і обчислень подайте у вигляді табл. 1.

Табл. 1

$R_1,$ $10^{-2} м$	$F_1,$ $Н$	$F_2,$ $Н$	$\frac{F_1}{F_2}$	$t_1,$ $с$	$t'_1,$ $с$	$\omega_1,$ $с^{-1}$	$\varepsilon_1,$ $с^{-2}$	$t_2,$ $с$	$t'_2,$ $с$	$\omega_2,$ $с^{-1}$	$\varepsilon_2,$ $с^{-2}$	$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}$
2,5	1	2	0,5									

9. Оцініть межі похибок вимірювань, порівняйте відношення $\frac{F_1}{F_2}$

і $\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}$ та зробіть висновок.

Завдання 2. Встановіть залежність кутового прискорення від плеча сили, що діє на диск.

1. Намотайте нитку на нижній шків радіусом R_2 , перекиньте нитку через блок і почепіть вантаж масою $m_1 = 0,1$ кг. Як і в завданні 1 визначте час падіння вантажу t_3 .

2. Аналогічно до п. 4 завдання 1 знайдіть кутову швидкість обертання диска ω_3 і кутове прискорення ε_3 :

$$\omega_3 = \frac{10\pi}{t_3}; \quad \varepsilon_3 = \frac{\omega_3}{t_3}.$$

3. Порівняйте відношення $\frac{R_1}{R_2}$ і $\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_3}$ та зробіть висновок (значення R_1 і ε_1 одержані при виконанні завдання 1).

4. Результати вимірювань і обчислень подайте у вигляді табл. 2.

Табл. 2

$F_1,$ H	$R_1,$ $10^{-2}m$	$R_2,$ $10^{-2}m$	$\frac{R_1}{R_2}$	$t_3,$ c	$t_3',$ c	$\omega_3,$ c^{-1}	$\varepsilon_3,$ c^{-2}	$\varepsilon_1,$ c^{-2}	$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_3}$
1	2,5	5	0,5						

5. За результатами двох завдань зробіть загальний висновок про залежність кутового прискорення диска від моменту сили. Для цього порівняйте відношення кутових прискорень і відповідних моментів сил.

Додаткове завдання

За даними дослідів визначте момент інерції диска:

$$I = \frac{M}{\varepsilon} \quad (9)$$

Контрольні запитання

1. Поясніть принцип дії установки, з допомогою якої перевіряють основне рівняння динаміки обертового руху.

2. Обчисліть лінійне прискорення вантажу та порівняйте його з прискоренням вільного падіння. Чи правильним було припущення, що в даній роботі $a \ll g$?

3. Поясніть причини неточного співпадання відношень $\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}$ і $\frac{M_1}{M_2}$.

4. Як можна було б змінити момент інерції диска?

Лабораторна робота № 5

ДОСЛІДНА ПЕРЕВІРКА ЗАКОНУ ЗБЕРЕЖЕННЯ МЕХАНІЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Мета роботи: Порівняти зменшення потенціальної енергії прикріпленого до пружини тіла при його падінні зі збільшенням потенціальної енергії розтягнутої пружини.

Прилади та матеріали: Динамометр, закріплений на штативі, два важки по 100 г з набору для механіки, рибальська волосінь, прив'язана до гачка динамометра, обмежувач переміщення важка, фіксатор, лінійка.

Теоретичні відомості.

Якщо в ізольованій системі діють гравітаційні сили і сили пружності, то виконується закон збереження механічної енергії: сума кінетичної і потенціальної енергії системи залишається сталою. Для експериментальної перевірки цього закону скористаємося установкою, зображеною на рис.1. При підніманні рукою підвішеного до крючка динамометра важка ми збільшуємо його потенціальну енергію. Якщо ми піднімемо важок так, щоб пружина динамометра не була розтягнутою, то важок відносно столу матиме потенціальну енергію mgh_1 , де h_1 - висота важка над столом. Відпустимо важок. Падаючи, він буде розтягувати пружину і на якійсь висоті h_2 на мить зупиниться. (Оскільки при цьому $F_{np} > mg$, то важок почне підніматись вгору, потім знову рухатиметься вниз і т. д.; коливання важка швидко затухають і він зупиняється.). Якщо ми зафіксуємо висоту h_2 , на якій зупинився при першому

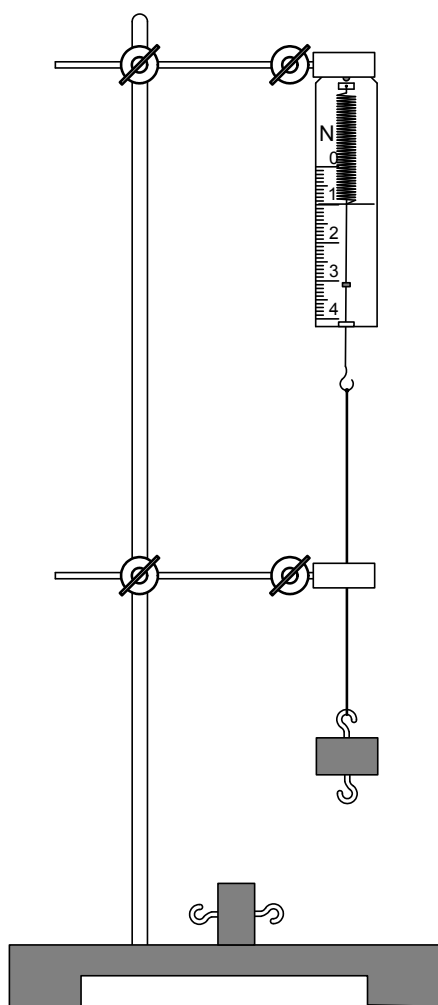


Рис. 1

опусканні важок, то ми зможемо знайти зміну його потенціальної енергії $\Delta E^e = E_1^e - E_2^e$. Згідно з законом збереження:

$$E_1^e + E_1^{np} = E_2^e + E_2^{np} \quad (1)$$

В рівнянні (1) фігурує лише потенціальна енергія, оскільки кінетична енергія важка як в положенні 1, так і в положенні 2 дорівнюють нулю. Індекс "e" позначає енергію важка, індекс "np" - пружини.

Оскільки $E_1^{np} = 0$, то: $E_1^e - E_2^e = E_2^{np}$. Потенціальна енергія пружини:

$$E_2^{np} = \frac{kx^2}{2}, \text{ а } x = h_1 - h_2 = \Delta h. \text{ Отже, } \Delta E^e = mg\Delta h \text{ і } \Delta E^e = E_2^{np}.$$

Завдання лабораторної роботи полягає в порівнянні значень ΔE^e і E_2^{np} . Визначити нижнє положення важка допомагає фіксатор 1 (див.рис.3). Це легенька пластинка з корка, прорізана

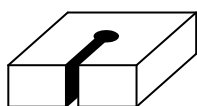


Рис. 2

ножем до її середини (рис.2). Цю пластинку надівають на стержень динамометра. Фіксатор повинен дуже легко переміщуватись вздовж стержня і в той же час не падати самовільно. Можна виготовити фіксатор і з гумової нитки, зав'язавши вузлик на стержні динамометра. Для зменшення тертя стержень динамометра корисно змастити краплиною машинного мастила.

Хід роботи.

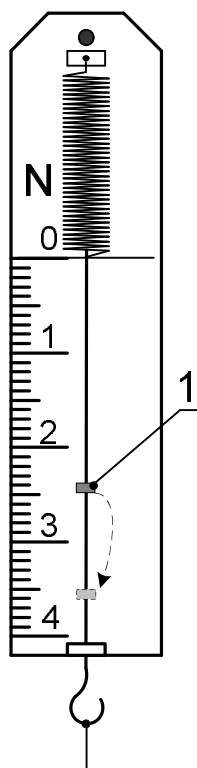


Рис.3

1. Перевірте легкість ходу фіксатора, в разі необхідності змастіть стержень динамометра.
2. Підніміть рукою важок так щоб пружина динамометра не була розтягнута. Трохи змістіть фіксатор до нижньої частини шкали (див.рис.3). (Обмежувач переміщення важка бажано встановити на такій висоті, щоб потрібне положення важка забезпечувалось при упорі в обмежувач.).

3. Різко але без поштовху відпустіть важок. Падаючи, він розтягне пружину і змістіть фіксатор (рис.4).

4. Рукою потягніть важок вниз до тих пір, поки фіксатор не торкнеться обмежувальної дужки динамометра 2 (рис.5). Слідкуйте, щоб фіксатор не змістився зі свого положення.

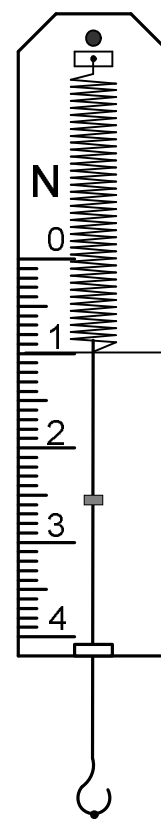
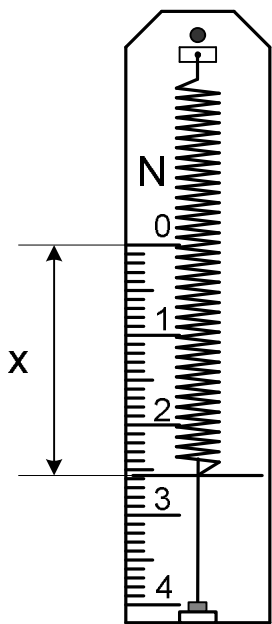


Рис. 4

5. Запам'ятайте положення стрілки покажчика динамометра і виміряйте лінійкою видовження пружини x (рис.5).



6. Дослід повторіть декілька раз. Знайдіть середнє значення $x_{\text{ср}}$.

7. Обчисліть $\Delta E^{\text{с}}$ і $E_2^{\text{нр}}$. Щоб знайти жорсткість

пружини $k = \frac{F_{\text{нр}}}{x}$, скористайтесь шкалою

динамометра, або виміряйте лінійкою видовження пружини при підвішуванні важка (в цьому випадку $F_{\text{нр}} = mg$).

8. Повторіть пункти 2-7, підвісивши два важки з набору.

9. Порівняйте значення $\Delta E^{\text{с}}$ і $E_2^{\text{нр}}$. Знайдіть відхилення дослідних даних від ідеального

результату: $\varepsilon = \left| 1 - \frac{\Delta E^{\text{с}}}{E_2^{\text{нр}}} \right| \cdot 100\%$. Зробіть висновок.

Контрольні запитання.

1. Сформулюйте закон збереження механічної енергії.

2. Чим пояснюється деяка розбіжність результатів теорії і експерименту?

3. В якому з випадків - при використанні одного чи двох важків - відхилення від теорії більше? Чому?

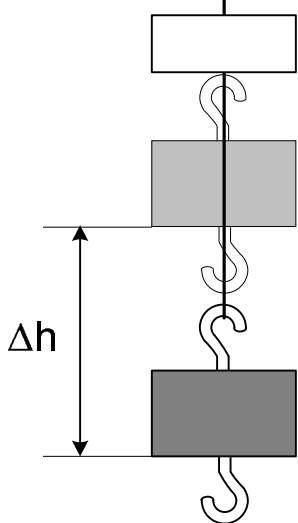


Рис. 5

Лабораторна робота № 6.

ВИЗНАЧЕННЯ ГУСТИНИ ТВЕРДОГО ТІЛА ТА РІДИНИ ГІДРОСТАТИЧНИМ ЗВАЖУВАННЯМ.

Мета роботи: використавши закон Архімеда та, знаючи густину води, визначити густину твердого тіла та рідини.

Прилади і матеріали: терези, пристосовані для гідростатичного зважування; набір важків; досліджувані тверді тіла; склянка з дистильованою водою та склянка з досліджуваною рідиною.

Теоретичні відомості.

Густиною речовини називають масу одиниці об'єму речовини.

Щоб знайти густину, потрібно масу тіла m поділити на його об'єм V :

$$\rho_T = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Масу тіла можна визначити досить точно з допомогою терезів. Об'єм же тіла (особливо, якщо тіло неправильної форми) визначається зі значно більшою похибкою, що приводить до значної похибки кінцевого результату. Зменшити похибку дозволяє метод гідростатичного зважування, який полягає в наступному.

Підвісимо досліджуване тіло з допомогою тонкої дротини або рибальської волосіні до шальки терезів (див. рис. 1) і зважимо його. Зважування дасть вагу тіла в повітрі $P_1 = m_1g$. Якщо нехтувати виштовхувальною силою, що діє на тіло і на важки з боку повітря, то маса важків дорівнюватиме масі тіла: $m_1 = m$. Потім зануримо тіло у дистильовану воду, густина якої ρ_0 , і знову зрівноважимо терези. Це зважування дасть вагу тіла у воді P_2 (див. рис. 2):

$$P_2 = mg - F_A \quad (2)$$

З іншого боку $P_2 = m_2g$, де m_2 - маса важків при зважуванні, а $F_A = \rho_0 Vg$, де V - об'єм тіла. Отже:

$$m_2g = m_1g - \rho_0 Vg \quad (3)$$

Оскільки:
$$V = \frac{m_1}{\rho_T}, \quad (4)$$

то:
$$m_2 g = m_1 g - \rho_0 \frac{m_1}{\rho_T} g$$

Після перетворень одержимо:

$$\rho_T = \rho_0 \frac{m_1}{m_1 - m_2} \quad (5)$$

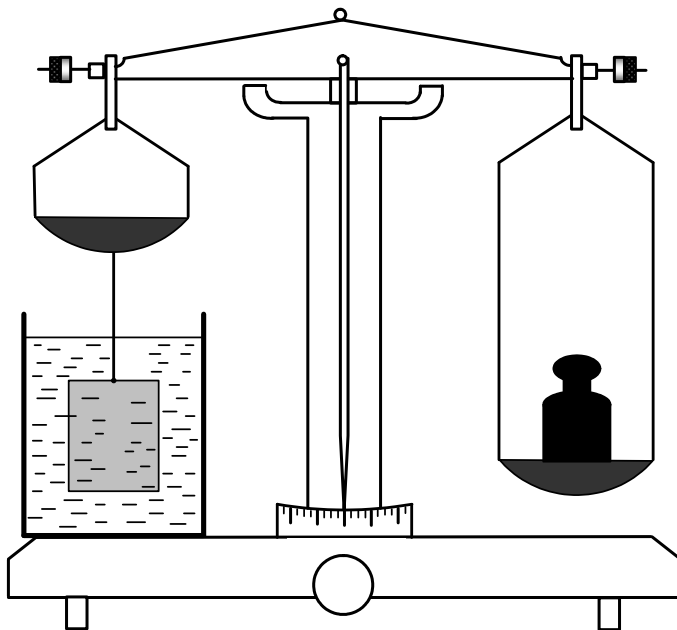


Рис.1

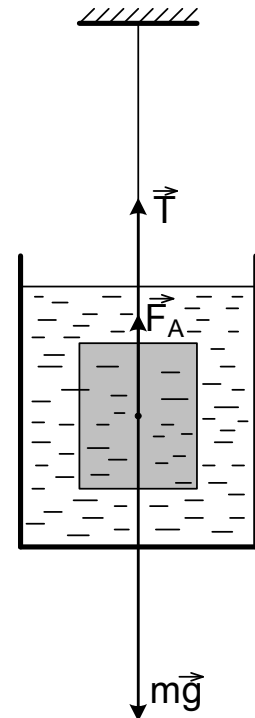


Рис. 2

Метод гідростатичного зважування дозволяє визначити і густину рідини. Для цього потрібно виконати ще одне зважування - в досліджуваній рідині. Це зважування дає:

$$P_3 = mg - F_A^l, \quad (6)$$

де:
$$P_3 = m_3 g, \quad F_A^l = \rho_p V g$$

Після підстановки матимемо:

$$m_3 g = m_1 g - \rho_p V g,$$

або:
$$\rho_p = \frac{m_1 - m_3}{V} \quad (7)$$

В (7) підставимо вираз для об'єму тіла (4):

$$\rho_p = \frac{m_1 - m_3}{m_1} \rho_T \quad (8)$$

В (8) підставимо вираз (5) для ρ_T :

$$\rho_p = \frac{m_1 - m_3}{m_1} \rho_0 \frac{m_1}{m_1 - m_2}$$

Одержимо:
$$\rho_p = \rho_0 \frac{m_1 - m_3}{m_1 - m_2} \quad (9)$$

Хід роботи.

1. На гідростатичних терезах зважте тіло в повітрі та у дистильованій воді. Маса важків m_1 та m_2 запишіть в таблицю 1. Оскільки в (5) та (9) маса входить у вигляді відношення, то в таблицю значення маси можна записувати у грамах. Зважування слід виконати два – три рази.

2. Зважте тіло в досліджуваній рідині. Перед опусканням тіла в рідину видаліть з нього краплини води. Масу важків m_3 теж запишіть в таблицю. Повторіть зважування.

3. Якщо в наборі тіло не одне, то пункти 1-2 треба виконати для всіх тіл. Для кожного тіла повинна бути окрема таблиця.

4. За формулами (5) та (9) визначте густину тіла та досліджуваної рідини. $\rho_0 = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

5. Обчисліть похибку вимірювання.

Для ρ_T :
$$E_T = \frac{\Delta \rho_{\epsilon}}{\rho_{\epsilon}} + \frac{\Delta m_1}{m_1} + \frac{\Delta m_1 + \Delta m_2}{m_1 - m_2} \quad (10)$$

Для ρ_p :
$$E_p = \frac{\Delta \rho_{\epsilon}}{\rho_{\epsilon}} + \frac{\Delta m_1 + \Delta m_3}{m_1 - m_3} + \frac{\Delta m_1 + \Delta m_2}{m_1 - m_2} \quad (11)$$

$\frac{\Delta \rho_{\epsilon}}{\rho_{\epsilon}}$ не перевищує $\frac{3}{1000}$, або 0.3%; Δm_1 , Δm_2 і Δm_3

визначаються половиною маси найменшого важка, використаного під час зважування. Якщо якийсь із доданків в (10) чи в (11) значно менший від інших, то його можна не враховувати під час обчислень.

Табл..1

№	$m_1, \text{г}$	$m_2, \text{г}$	$m_3, \text{г}$	$\rho_T, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$E_T, \%$	$\rho_p, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$E_p, \%$
1							
2							
3							
Сер.							

Контрольні запитання.

1. Що називають густиною речовини? В яких одиницях вона вимірюється?
2. Сформулюйте і поясніть закон Архімеда для рідин і газів.
3. Чи потрібно вносити поправку на виштовхувальну силу при зважуванні тіла в повітрі? В якому випадку маса важків буде точно дорівнювати масі тіла?

Лабораторна робота № 7.

ДОСЛІДНЕ ВИВЧЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕМАТИЧНОГО МАЯТНИКА.

Мета роботи: Перевірити справедливість формули періоду коливань математичного маятника для різних довжин маятника і різних кутів відхилення від положення рівноваги.

Прилади і матеріали: Штатив, сталева кулька на нитці, рулетка, секундомір, транспортир.

Теоретичні відомості.

Математичним маятником називається матеріальна точка, підвішена на невагомій нерозтяжній нитці. Гарним наближенням до цієї моделі є маленька кулька, підвішена на тонкій міцній нитці (тонка сталева дротина, рибальська волосінь, тощо). Як було показано в курсі фізики, при відхиленні маятника на малий кут він буде здійснювати гармонічні коливання. Період цих коливань визначається виразом:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}, \quad (1)$$

де l - довжина маятника.

В даній роботі пропонується перевірити справедливість формули (1) для різних довжин і різних кутів відхилення.

Оскільки частота коливань ν обернена до періоду T , то з формули (1) одержимо:

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}} = \frac{\sqrt{g}}{2\pi \sqrt{l}} \quad (2)$$

З (2) випливає, що добуток частоти маятника ν на корінь квадратний з його довжини повинен бути сталою величиною:

$$\nu \cdot \sqrt{l} = \frac{\sqrt{g}}{2\pi} = const \quad (3)$$

Якщо $g = 9,81 \frac{м}{с^2}$, то ця константа дорівнює $(0,4985 \pm 0,0005) \frac{1}{с}$

Хід роботи.

Завдання 1. Дослідження залежності частоти коливань математичного маятника від його довжини.

1. Змінюючи довжину нитки, встановіть її приблизно рівною $1 м$. Ретельно виміряйте довжину маятника l - це відстань від точки підвісу до центра кульки (див. рис.1). Під час вимірювання намагайтесь забезпечити точність $1-2 мм$. Оскільки довжину близько $1 м$ одному вимірювати незручно, то запросіть на допомогу ще одного студента.

2. Відхиліть маятник від положення рівноваги на кут $\alpha = 3-5^\circ$ і відпустіть маятник. Пропустіть декілька коливань і з рахунком "нуль" включіть секундомір. Зручно включати секундомір в момент, коли

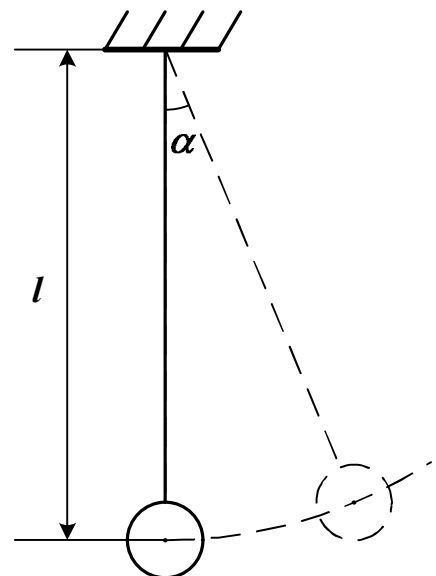


Рис. 1

маятник перебуває в положенні максимального відхилення. Виміряйте час t для 30–50 коливань.

3. Повторіть дослід ще один раз.

4. Зменште довжину маятника приблизно вдвічі і повторіть вимірювання довжини і часу.

5. Ще раз зменште вдвічі довжину маятника, виміряйте її і визначте час 50 коливань. Оскільки період коливань зменшується, то для підвищення точності вимірювань число коливань слід збільшити.

6. Для кожного дослідження обчисліть частоту $\nu = \frac{N}{t}$, \sqrt{l} і добуток $\nu\sqrt{l}$. Результати вимірювань і обчислень зручно подати у виді таблиці 1.

Табл. 1.

№	$l, \text{ м}$	N	$t, \text{ с}$	$\nu, \text{ с}^{-1}$	$\sqrt{l}, \text{ м}^{\frac{1}{2}}$	$\nu\sqrt{l}, \text{ м}^{\frac{1}{2}} \text{ с}^{-1}$
1						
2						
3						

Завдання 2. Дослідження залежності частоти коливань маятника від амплітуди його коливань.

1. Встановіть довжину маятника рівною приблизно 1 м. Виміряйте довжину маятника і визначте час 30–50 коливань, як це описано в п.п. 1 і 2 завдання 1.

2. Обчисліть частоту коливань маятника, одержану з дослідження (експериментальну):

$$\nu_e = \frac{N}{t}.$$

3. Повторіть визначення частоти для кутів відхилення 20° , 40° і 60° від вертикалі. Оскільки при великих кутах відхилення стабільність коливань зменшується, то можна обмежитись меншим числом коливань (але не менше 20).

4. Обчисліть теоретичну частоту ν коливань маятника за формулою (2). Візьміть $\pi = 3,1416$ і $g = 9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

5. Знайдіть відносне відхилення результатів експерименту від теоретичного значення:

$$E = \frac{v_e - v}{v} \cdot 100\%$$

6. Результати вимірювань і обчислень зручно подати у вигляді таблиці 2.

Табл.2

№	$l, \text{ м}$	α	N	$t, \text{ с}$	$v_e, \text{ с}^{-1}$	$v, \text{ с}^{-1}$	E, %
1							
2							
3							
4							

7. Зробіть висновки до кожного з завдань.

Контрольні запитання.

1. Які коливання називають гармонічними?
2. При яких умовах виникають механічні гармонічні коливання?
3. Чи підтвердив експеримент передбачену теорією залежність частоти коливань математичного маятника від його довжини?
4. Чи відрізняється частота коливань маятника при великих кутах відхилення від теоретичного значення, обчисленого за формулою (2)?

Лабораторна робота № 8

ВИМІРЮВАННЯ АТМОСФЕРНОГО ТИСКУ

Мета роботи: використовуючи ізотермічний процес розширення чи стиснення повітря визначити атмосферний тиск.

Прилади і матеріали: дві скляні трубки, довжиною біля 50 см кожна, з'єднані гумовою трубкою, гумовий корок з діаметром, рівним діаметру трубки, штативи, рулетка, вода, барометр.

Теоретичні відомості

Ізотермічним процесом називають процес в газі, при якому не змінюється температура. Якщо при цьому не змінюється також і маса газу, то процес описується законом Бойля – Маріотта:

Для даної маси газу при сталій температурі добуток тиску на об'єм є величина стала:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2. \quad (1)$$

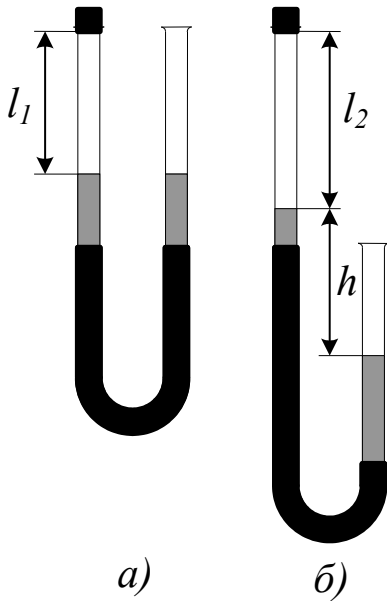


Рис. 1

В даній роботі ізотермічний процес здійснюється з повітрям, що міститься в скляній трубці між поверхнею води і гумовим корком (див. рис. 1). Скляні трубки, з'єднані гумовою, заповнюються водою і закріплюються на штативах так, як показано на рис. 1а. Трубка зліва закривається корком; вимірюється довжина стовпа повітря l_1 . Тиск цього повітря дорівнює атмосферному $p_1 = p_a$. Потім штатив з правою трубкою опускається якомога нижче, і вимірюється довжина повітряного стовпа в лівій трубці l_2 (див. рис. 1б). Розширення повітря можна вважати ізотермічним; тиск повітря в трубці

зменшується на величину гідростатичного тиску $p = \rho g h$, тобто стає рівним: $p_2 = p_a - p = p_a - \rho g h$.

Об'єм повітря в трубці дорівнює добутку площі поперечного перерізу трубки S на довжину стовпа l : $V_1 = S \cdot l_1$, $V_2 = S \cdot l_2$.

Вирази для p_1, p_2, V_1, V_2 підставимо в (1):

$$p_a \cdot S \cdot l_1 = (p_a - \rho g h) \cdot S \cdot l_2 \quad (2)$$

Поділимо ліву і праву частину (2) на S , розкриємо дужки і розв'яжемо одержане рівняння відносно p_a :

$$p_a l_1 = p_a l_2 - \rho g h l_2; \quad p_a (l_2 - l_1) = \rho g h l_2;$$

$$p_a = \frac{\rho g h l_2}{l_2 - l_1} \quad (3)$$

Одержаний вираз (3) і є розрахунковою формулою в даній роботі.

Хід роботи

1. Вийміть корок з лівої трубки і, переміщуючи трубки в штативах, встановіть їх так, як показано на рис. 1 а. Довжина повітряного стовпа l_1 повинна бути рівна $40 \div 50$ см. Закрийте ліву трубку корком і виміряйте довжину l_1 .

2. Опустіть праву трубку приблизно на 1 м. (Для цього можна опустити штатив з трубкою на підлогу). Виміряйте l_2 і h . Для підвищення точності вимірювань h трубки слід розташувати одну під другою, на одній вертикалі.

3. За формулою (3) розрахуйте атмосферний тиск. Густина води $\rho = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, прискорення вільного падіння $g = 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Порівняйте одержане значення p_a з показами барометра p_b . Зробіть висновок.

4. Результати вимірювань і обчислень зручно подати у вигляді таблиці 1:

Таблиця 1

№ п/п	l_1 , м	l_2 , м	h , м	p_a , Па	p_b , Па

5. Дослід повторіть з іншим значенням l_1 .

Додаткове завдання

Виконайте дослід, в якому повітря не розширюється, а стискається ізотермічно. Як при цьому зміниться формула (3)?

Контрольні запитання

1. Сформулюйте закони ідеальних газів: закон Бойля-Маріотта, закон Гей-Люссака, закон Шарля.
2. Накресліть графіки ізопроеесів в осях PV , PT , VT .
3. Чи можливий дослід Торрічеллі з використанням води замість ртуті?
4. Як можна підвищити точність вимірювання атмосферного тиску?

Лабораторна робота № 9.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ГУСТИНИ РОЗЧИНУ СОЛІ ВІД ЇЇ КОНЦЕНТРАЦІЇ.

Мета роботи: Навчитись визначати густину рідини з допомогою ареометра. Вивчити залежність густини розчину від концентрації розчиненої речовини. Визначити розчинність солі.

Прилади і матеріали: Терези з важками, ареометри, мензурка, колба, вода, кухонна сіль.

Теоретичні відомості.

В більшості випадків рідини являють собою суміш різних речовин. Якщо одна з них в цій суміші міститься в кількості, що значно переважає інші, то суміш називають *розчином*, а речовину, що переважає, називають *розчинником*. Найпростішими є *бінарні розчини*, що складаються з двох речовин – *розчинника* і *розчиненої речовини*.

Кількісно розчини характеризують *концентрацією*, яка визначає вміст розчиненої речовини (або розчинника) в розчині. Концентрацію можна задавати декількома способами:

1. *Масова доля* – *відношення маси розчиненої речовини до маси розчину*. Якщо виразити її в процентах то одержимо *масову концентрацію*:

$$c = \frac{m}{m + m_p} 100\%, \quad (1)$$

де m – маса розчиненої речовини, m_p – маса розчинника, $m + m_p$ – маса розчину.

2. *Молярна доля* – *відношення числа молів розчиненої речовини до загального числа молів розчину*:

$$c_v = \frac{v}{v + v_p} \quad (2)$$

3. Концентрація розчину, виражена в молях, що міститься в 1 л розчину (не в 1 л розчинника!), називається *молярністю*. Розчин, що містить 1 моль розчинної речовини в 1 л розчину, називають *одномолярним* чи просто *молярним*.

4. **Моляльними** називають розчини, які одержують розчиненням одного моля (чи його частини) речовини в 1 кг розчинника (Наприклад, для приготування одномоляльного розчину NaCl розчиняють 58,457 г цієї солі в 1 кг води, приводячи масу води в даних умовах до об'єму).

В деяких випадках речовини можуть розчинятись одна в одній необмежено, тобто концентрація розчину може бути будь-якою (наприклад, спирт у воді). Існують, однак, і такі речовини, які в даному розчиннику здатні розчинятись лише до певної найбільшої концентрації. Ця максимальна рівноважна концентрація називається **розчинністю**. Розчини з максимальною концентрацією називають **насиченими**. Розчинність речовин залежить від температури і тиску.

Густина речовини – це маса одиниці її об'єму:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3)$$

Густину рідини найчастіше визначають двома способами.

1) З допомогою **п'ікнометра** – так називають невеликі колби, об'єм яких до мітки відомий з достатньою точністю; зважуючи на терезах порожній і заповнений п'ікнометр, визначають масу певного об'єму рідини.

2) З допомогою **ареометра** – рис.1. Ареометр – це скляний циліндр, що в нижній частині має розширення, заповнене дробом. У верхній вузькій частині ареометра є шкала з поділками. Чим менша густина рідини, тим більше занурюється в неї ареометр. Тому на шкалі зверху нанесене найменше значення густини, яке можна визначити даним ареометром, а знизу – найбільше.

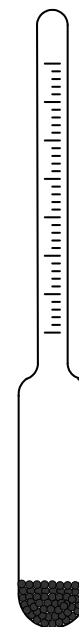


Рис. 1

В даній роботі густина рідини буде визначатись ареометром. Для визначення густини рідини її наливають в скляний циліндр об'ємом 0,25-0,5 л (розмір циліндра залежить від розмірів ареометра). Наливати рідину в циліндр до краю не слід, оскільки при зануренні ареометра рідина може перелитись через край. Занурювати ареометр в циліндр слід обережно, не випускаючи його з рук до тих пір, поки не стане зрозуміло, що він плаває. Тоді руку обережно відпускають і ареометр стає в потрібне положення. Ареометр повинен міститись в центрі циліндра (рис.2) і не торкатись його стінок, оскільки положення ареометра в циліндрі впливає на точність

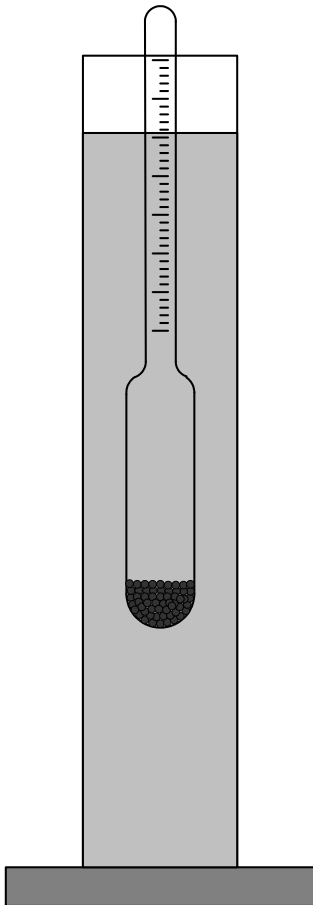


Рис. 2

показів. Недопустимо також, щоб ареометр торкався дна циліндра. Поділка, навпроти якої встановився верхній меніск рідини, дорівнює густині рідини. Після визначення густини ареометр слід вимити у воді (якщо визначилась густина водних розчинів), витерти і покласти у футляр.

Хід роботи.

1. Виміряйте мензуркою $100 \div 150$ мл води кімнатної температури і вилийте в колбу (об'єм води перед виконанням роботи уточніть у викладача).

2. Зважте на терезах 5 г кухонної солі і всипте в колбу. Помішуючи суміш, розчиніть сіль.

3. Налийте розчин в циліндр (не доливаючи до верху $2 \div 3$ см) і обережно опустіть в розчин ареометр. Запишіть в робочий зошит значення густини розчину.

4. Перелийте розчин назад в колбу і додайте туди ще 5 г солі. Розчиніть сіль і знову визначте густину розчину ареометром.

5. Пункти $2 \div 4$ повторіть $5 \div 6$ раз. Для кожного з дослідів обчисліть концентрацію розчину:

$$c = \frac{m_c}{m_c + m_g} 100\%,$$

де m_c – маса солі, m_g – маса води.

6. За даними вимірювань та обчислень побудуйте графік залежності $\rho(c)$ та зробіть висновки.

Контрольні запитання.

1. Що називають концентрацією розчину?
2. Що називають густиною речовини та які способи її визначення ви знаєте?
3. Який розчин називають насиченим?
4. Що називають розчинністю та як вона залежить від температури?
5. За якою ознакою на графіку $\rho(c)$ можна сказати, що розчин став насиченим?

Лабораторна робота № 10.

ВИВЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТЕПЛОВОГО РОЗШИРЕННЯ ВОДИ

Мета роботи: Дослідити, як залежить коефіцієнт теплового розширення води від температури.

Прилади і матеріали: Тонкостінна скляна колба об'ємом 0,5 л з пробкою, через яку пропущені трубка довжиною 40 см з внутрішнім діаметром біля 2 мм і термометр, посудина об'ємом 2-3 л, вода, кухонна сіль, лід, молоток, велика кювета.

Теоретичні відомості.

Вода має багато особливостей, які різко виділяють її з усіх інших рідин. Питома теплоємність води (4186 Дж/кг·К) значно вища, ніж у інших речовин (майже в 10 разів більша, ніж у заліза, і в 35 раз більша, ніж у свинцю). Велика питома теплота пароутворення води (2,45 МДж/кг при 20°C); з усіх рідин (крім ртуті) вода має найбільше значення коефіцієнту поверхневого натягу (72,7 мН/м при 20°C). При зниженні температури вода спочатку стискується, досягаючи максимальної густини при 4°C (точніше, при 3,98°C), а потім починає розширюватись, хоч температура її знижується. При замерзанні вода розширюється, а не стискується, як більшість речовин, і густина її зменшується. Об'єм льоду на 9 % більший від об'єму рідкої води, з якої він утворюється, тому лід плаває на поверхні води. Всі ці властивості пояснюються структурою води. Молекула води схожа на рівнобедрений трикутник, в основі якого два протони, а у вершині - атом кисню. В кристалі льоду між молекулами води існують водневі зв'язки, що виникають за рахунок ковалентної взаємодії атома водню однієї молекули з атомом кисню другої. В результаті утворюється сітчаста (ажурна) структура, в якій багато пустот. Розміри цих пустот трохи більші діаметра молекул. Пустоти утворюють канали, оточені кільцями, кожне з яких складається з шести молекул води. В зв'язку з такою будовою лід має густину меншу, ніж вода.

Речовини, між молекулами яких існують водневі зв'язки, в процесі плавлення частково ці зв'язки втрачають. За даними рентгенографічних досліджень встановлено, що у воді в основному зберігається розташування молекул, властиве структурі льоду. Однак строгий порядок в розташуванні молекул під час плавлення льоду порушується,

пустоти частково заповнюються і густина збільшується. При нагріванні води від 0°C до 4°C продовжується зміна просторової структури, причому ефект зменшення об'єму за рахунок більш щільної упаковки молекул перевищує результат зростання теплового руху молекул. Тому в інтервалі температур від 0°C до 4°C густина води зростає. При нагріванні вище 4°C об'єм води буде вже збільшуватись.

Слід відмітити, що вода не єдина речовина, у якій спостерігається аномальне теплове розширення. Алмаз починає розширюватись при охолодженні нижче 42°C , йодисте срібло при нагріванні від -10°C до $+142^{\circ}\text{C}$ зменшує свій об'єм.

В даній роботі пропонується визначити температурний коефіцієнт об'ємного розширення води в інтервалі температур від 0°C до 20°C . Нагадаємо, що коефіцієнт об'ємного розширення β дорівнює:

$$\beta = \frac{\Delta V}{V_0 \Delta t^{\circ}}, \quad (1)$$

де ΔV - зміна об'єму води при зміні температури на Δt° :
 $\Delta V = V_2 - V_1$, $\Delta t^{\circ} = t_2^{\circ} - t_1^{\circ}$

Прилад для визначення коефіцієнта об'ємного розширення зображено на рис 1. Він складається з колби 1, яка закрита гумовою пробкою 2. Через пробку пропущено термометр 3 і скляна трубка 4 довжиною 30 – 40 см з внутрішнім діаметром біля 2 мм. Поруч з трубкою розміщена лінійка 5. Колба заповнюється водою так, щоб після закривання пробкою в ній не було бульбашок повітря, а рівень води в трубці 4 був приблизно на висоті $\frac{3}{4}$ від довжини трубки при температурі 20°C . Як правило, до початку роботи колба вже заповнена водою. Для зміни температури води в колбі її ставлять в

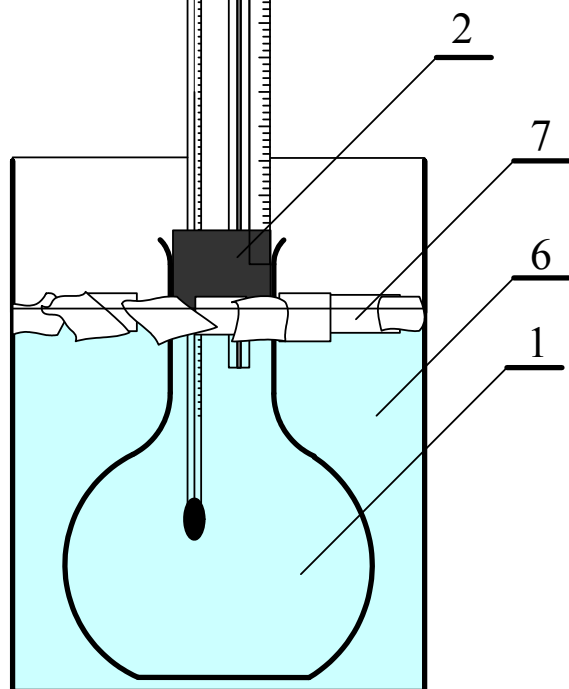


Рис. 1.

іншу посудину 6 з водою; знижувати температуру води в посудині

можна з допомогою льоду 7, підвищувати – доливаючи невеликими порціями теплої води або просто залишивши колбу в повітрі кімнати.

Зміна об'єму води в колбі визначається зміною висоти Δh стовпчика

води в трубці 4: $\Delta V = \frac{\pi d^2}{4} \cdot \Delta h$, де d – внутрішній діаметр трубки 4,

$\Delta h = h_2 - h_1$. Об'єм колби визначається при її заповненні; в даній установці $V_0 = 290$ мл.

Хід роботи.

1. Виміряйте внутрішній діаметр трубки d . Для цього виріжте з цупкого паперу трикутник з висотою $AB = 1$ см і основою $CB = 10$ см. (рис.2). При зображенні на папері трикутника поставте на ньому поділки через 1 або 2 мм. При акуратному виготовленні трикутника похибка визначення діаметра не буде перевищувати 0,1-0,2 мм. Для визначення діаметра в отвір трубки (зверху) введіть трикутник гострим кутом C так, щоб сторони трикутника CA і CB доторкнулись до країв трубки. Визначте, на яку відстань трикутник опустився в трубку. Наприклад, краї трубки знаходяться навпроти поділки 2,2 см; це означає, що діаметр трубки дорівнює 2,2 мм.

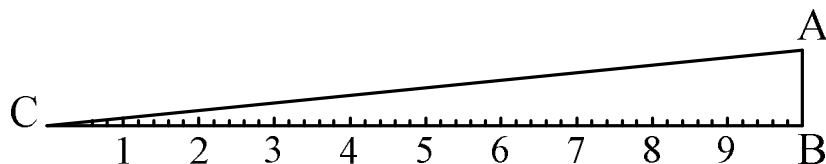


Рис. 2.

2. Якщо вода в колбі має кімнатну температуру, то налейте в посудину 6 холодну воду (приблизно на 3-4 см) і поставте в посудину колбу. Запишіть покази термометра і положення стовпчика води в трубці 7 за шкалою лінійки 5.
3. Приблизно 0,5 кг льоду розбийте молотком на шматочки (лід слід тримати в руці або використовувати спеціальну підставку).
4. Одразу покладіть увесь лід в посудину 6 і запишіть положення стовпчика води і покази термометра через 1°C.
5. При температурі води в колбі біля 2°C зниження температури стає надто повільним. Прискорити охолодження можна, посипавши лід в посудині кухонною сіллю.
6. Після того, як вода в колбі охолоне до 0°C, витягніть колбу з посудини і поставте її в кювету на лабораторному столі.

7. Вода в колбі буде повільно нагріватись від оточуючого повітря. Знову через 1°C записуйте покази термометра і положення стовпчика води в трубці.

8. Який висновок можна зробити за даними досліду?

9. Обчисліть температурний коефіцієнт об'ємного розширення води за формулою (1). Нагадаємо, що $V_0 = 290 \text{ мл}$;

Розрахунки виконайте для інтервалів температур: 0°- 1°, 1°- 2°, 2°- 3°, 3°- 4°, 4°- 5°, 5°- 6°, 6°- 8°, 8°-10°, 10°- 15°, 15°- 20°.

Додаткове завдання.

Виконайте обчислення температурного коефіцієнту об'ємного розширення води з врахуванням розширення скла. При зміні температури зміна об'єму посудини із-за розширення скла дорівнює $\Delta V_c = V_0 \beta_c \Delta t$, а

зміна висоти стовпчика води в трубці становить $|\Delta h_c| = \frac{4\Delta V}{\pi d^2} = \frac{4V_0 \beta_c \Delta t}{\pi d^2}$.

$$|\Delta h_c| = \frac{4 \cdot 290 \text{ см}^3 \cdot 28,5 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1} \Delta t}{3,1416 \cdot (0,215)^2 \text{ см}^2} = 0,23 \text{ см} \cdot \Delta t.$$

Контрольні запитання.

1. Чому при нагріванні тіла розширюються?
2. Як визначити коефіцієнт об'ємного розширення твердих тіл через їх коефіцієнт лінійного розширення?
3. В чому полягають і чим пояснюються особливості теплового розширення води?

Табл.1. Температурний коефіцієнт об'ємного розширення води

Температура води	0	1°	2°	3°	4°	5°	10°	20°	30°	40°
$\beta, \times 10^{-6} \frac{1}{\text{град}}$	- 63	- 49	- 31	- 15	0,0	17	95	210	300	390

Температурний коефіцієнт лінійного розширення скла дорівнює $\alpha_c = 9,5 \times 10^{-6} \text{ град}^{-1}$; об'ємного – $\beta_c \approx 3\alpha = 28,5 \times 10^{-6} \text{ град}^{-1}$.

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТУ ПОВЕРХНЕВОГО НАТЯГУ РІДИНИ

Мета роботи: Визначити коефіцієнт поверхневого натягу води методом відриву петлі.

Прилади і матеріали: Динамометр типу ДПН, дистильована вода, штатив, лінійка вимірювальна, пральний порошок.

Теоретичні відомості

На молекули, що перебувають в поверхневому шарі рідини, діють сили притягання з боку інших молекул, направлені всередину рідини. Щоб молекула вийшла з внутрішніх шарів у поверхневий шар рідини, необхідно виконати роботу проти дії сил молекулярного притягання. В результаті цього молекули поверхневого шару мають надлишок енергії, який називають вільною поверхневою енергією рідини.

Поверхнева енергія в стані рівноваги рідини прагне до мінімуму, а вільна поверхня рідини намагається скоротитись. При утворенні тонкої плівки рідини шириною l (рис.1) вздовж межі поверхні рідини діє сила поверхневого натягу \vec{F} , модуль якої дорівнює:

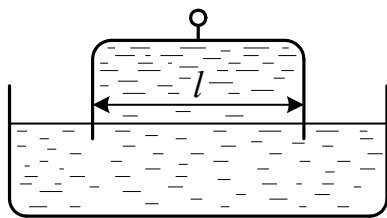


Рис. 1

$$F = \sigma \cdot 2l, \quad (1)$$

де σ – коефіцієнт поверхневого натягу. Множник 2 з'являється тому, що плівка має дві поверхні. Звідси:

$$\sigma = \frac{F}{2l} \quad (2)$$

Силу поверхневого натягу F вимірюють чутливим динамометром типу ДПН, а ширину плівки, яка дорівнює ширині дротяної петлі, – вимірювальною лінійкою.

Динамометр типу ДПН (рис. 2) складається з корпуса 3, всередині якого розташована пружина 5, що закінчується відрізком прямого дроту з гачком 7. Гачок призначений для з'єднання петлі 8 з пружиною динамометра. Для відліку показів по шкалі динамометра на дроті закріплена стрілка 6. Досліджувану рідину наливають в скляну чашку 9. Для вимірювання коефіцієнту поверхневого натягу

дротяну петлю повністю занурюють в рідину, а потім повільно витягують з неї. При цьому на петлі утворюється плівка. Коли сила пружності пружини динамометра стане рівна силі поверхневого натягу F , плівка розривається.

Хід роботи

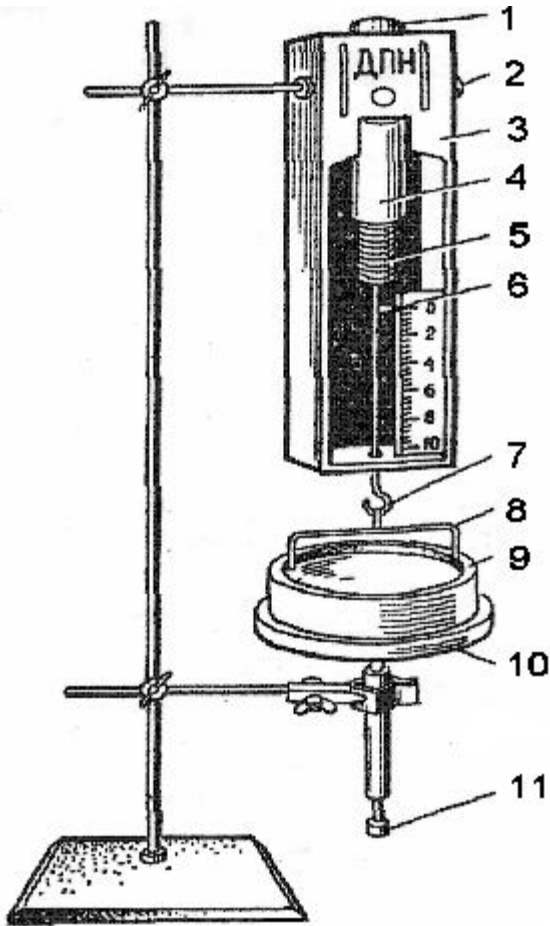


Рис. 2

1. Ознайомтесь з будовою динамометра ДПН.

2. Підготуйте прилад для виконання вимірювань. Для цього надіньте на гачок 7 петлю 8 (див. рис. 2). Брати петлю руками небажано, тому скористайтесь пінцетом або відрізком тонкого дроту. Притримуючи кнопку 1, відкрутіть стопорний гвинт 2. Натискаючи на кнопку 1, встановіть стрілку динамометра на нульову поділку шкали. При необхідності злегка поверніть кнопку, щоб кінчик стрілки був поблизу шкали. Закрутіть стопорний гвинт.

3. Налийте в чашку 9 дистильовану воду і встановіть чашку на підставку 10. Обертаючи гвинт 11, підніміть чашку з рідиною до такого рівня, щоб петля повністю занурилась

у воду.

4. Повільно опускайте чашку з водою, для чого викручуйте гвинт 11 до тих пір, поки не розірветься плівка рідини, що тягнеться за петлею. Зафіксуйте по шкалі динамометра, при якому значенні сили відбувається розрив плівки.

Примітка: Іноді після розриву плівки петля зривається з гачка і падає в чашку. Виймати її слід пінцетом або тонкою дротиною і перед тим, як повісити на гачок, потрібно видалити з петлі краплини рідини.

5. Повторіть вимірювання 5÷6 раз для даної петлі.

6. За формулою (2) обчисліть коефіцієнт поверхневого натягу. Довжина петлі l в мм вказана поблизу гнізд, де знаходяться петлі. При бажанні можна уточнити l , скориставшись лінійкою. Зверніть

увагу: сила на шкалі динамометра вказана в mH , тому не потрібно переводити mm в m , а mH в H ; після ділення F на $2l$ значення σ отримаємо в $\frac{H}{m}$.

7. Пункти 2 ÷ 6 виконайте ще для двох петель з набору. Не забудьте перевірити установку стрілки динамометра на нуль (див.п.2).

8. Для кожного з вимірювань обчисліть значення σ . Знайдіть середнє значення коефіцієнту поверхневого натягу.

9. Результати вимірювань і обчислень зручно подати у виді таблиці 1:

Табл.. 1

L, mm	$F_{нов}, mH$						$\sigma, H/m$	$\sigma_{сер}, H/m$
	1	2	3	4	5	$Сер$		
40								
50								
60								

10. Після виконання роботи видаліть краплини рідини з петлі серветкою або фільтрувальним папером і покладіть петлю в коробку. Воду з чашки вилийте в склянку.

Додаткове завдання

Дослідіть, як впливає на поверхневий натяг води розчинення в ній деяких речовин, наприклад, прального порошку.

Після виконання цього завдання мильний розчин слід вилити в окрему склянку, а чашку і петлю ретельно промити чистою водою.

Контрольні запитання

1. Що називають поверхневим натягом рідини?
2. В чому полягає явище змочування? явище незмочування?
3. Що називають капілярними явищами?
4. Чому дослід виконується не з прямолінійним відрізком дротини, а з петлею, що має П-подібну форму?
5. Як залежить коефіцієнт поверхневого натягу від домішок? від температури?

ВИЗНАЧЕННЯ ПИТОМОЇ ТЕПЛОТИ ПЛАВЛЕННЯ ЛЬОДУ

Мета роботи: Використовуючи рівняння теплового балансу, навчитись визначати питому теплоту плавлення льоду

Прилади і матеріали: калориметр, термометр, посудина з теплою водою, лід, мензурка, терези.

Теоретичні відомості

Питому теплоту плавлення льоду можна визначити з допомогою калориметра. Якщо у внутрішній стакан калориметра, маса якого m_k , налити воду, маса якої m_1 а температура t_1 , і опустити в неї шматок льоду масою m_2 при температурі $t_2 = 0$, то після того, як увесь лід розтане, встановиться температура t_3 . Рівняння теплового балансу в цьому випадку має вигляд:

$$cm_1(t_1 - t_3) + c_k m_k(t_1 - t_3) = m_2 \lambda + cm_2(t_3 - t_2), \quad (1)$$

де c – питома теплоємність води;

c_k – питома теплоємність речовини, з якої виготовлено стакан калориметра (алюміній);

λ – питома теплота плавлення льоду.

З рівняння (1) легко одержати:

$$\lambda = \frac{cm_1(t_1 - t_3) + c_k m_k(t_1 - t_3) - cm_2(t_3 - t_2)}{m_2}, \quad (2)$$

Хід роботи

1. Приготуйте 50 ÷ 100 г льоду. (Шматочок льоду розміром з сірникову коробку має масу приблизно 30 г).
2. Зважте на терезах внутрішній стакан калориметра. Поставте внутрішній стакан в зовнішній.
3. Відміряйте мензуркою 150 см³ теплої води і вилийте її у внутрішній стакан калориметра.
4. Почекайте 1-2 хв., поки встановиться тепла рівновага між водою і внутрішнім стаканом калориметра. Виміряйте температуру води в калориметрі t_1 .

5. Висушіть фільтрувальним папером або ганчіркою шматочки льоду і опустіть лід в калориметр.
6. Обережно термометром перемішуйте воду з льодом в калориметрі. Як тільки лід розтане, виміряйте температуру води в калориметрі t_3 .
7. Вилийте воду з стакана калориметра у мензурку. За збільшенням об'єму води знайдіть масу m_2 льоду, що розтанув.
8. За рівнянням (2) обчисліть питому теплоту плавлення льоду. Результати вимірювань і обчислень занесіть у таблицю 1.
9. Порівняйте одержане значення питомої теплоти плавлення льоду λ з табличним значенням λ_T . Обчисліть абсолютну похибку вимірювань $\Delta\lambda = |\lambda - \lambda_T|$ і відносну похибку $E = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_T} \cdot 100\%$.

Табл. 1

№ n/n	m_k , кг	c_k , $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	m_l , кг	c , $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	t_1 , $^{\circ}\text{C}$	t_3 , $^{\circ}\text{C}$	m_2 , кг	λ , $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	E , %
1.									
2.									

Контрольні запитання

1. Що називають питомою (молярною) теплоємністю? В яких одиницях вона вимірюється?
2. Що називають питомою теплотою плавлення?
3. Накресліть графік залежності температури кристалічного твердого тіла від часу нагрівання.
4. Роботу можна виконувати швидко і повільно. В якому випадку похибка вимірювань буде менше? Чому?

Теплові властивості рідин

Речовина	Питома теплоємність, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	Температура кипіння, $^{\circ}\text{C}^1$	Питома теплота пароутворення, $\frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$
Вода	4,19	100	2,30
Ртуть	0,12	357	0,29
Спирт	2,40	78	0,85

¹ При нормальному тиску

Теплові властивості твердих тіл

Речовина	Питома теплоємність, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	Температура плавлення, °С	Питома теплота плавлення, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$
Алюміній	0,88	660	380
Лід	2,1	0	330
Мідь	0,38	1083	180
Свинець	0,13	327	25
Срібло	0,23	960	87
Сталь	0,46	1400	82

Лабораторна робота №13.

ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ РОСТУ КРИСТАЛУ

Мета роботи: Виконати спостереження за процесом росту кристалу в перенасичених водних розчинах різних речовин і визначити швидкість росту кристалів хлориду натрію.

Прилади і матеріали: мікроскоп, освітлювач, скляні пластинки, скляні палички, секундомір, міліметровий папір, насичені водні розчини хлориду амонію, оксалату амонію (щавлевокислого амонію), *n*-діоксибензолу (гідрохінону), тіосульфату натрію (гіпосульфіту), хлориду натрію (кухонної солі).

Метод виконання роботи.

Якщо невелику кількість насиченого розчину розмістити на предметному склі під об'єктивом мікроскопу, то під час випаровування води розчин стане перенасиченим і в ньому почнеться кристалізація. Процес кристалізації зручно спостерігати в мікроскоп з 80–кратним (чи 120–кратним) збільшенням. Характеристикою процесу росту кристалу може бути відношення приросту грані кристалу до часу, за який цей приріст відбувається.

Якщо поруч з предметним склом на столик мікроскопу покласти листок міліметрового паперу, то, дивлячись одним оком в окуляр

мікроскопу, а другим – на міліметровий папір, можна побачити на фоні міліметрового паперу зображення кристалів, що ростуть. Розташували міліметровий папір так, щоб лінії на ньому були паралельні одній з граней кристалу, і спостерігаючи за ростом кристалу, можна визначити з допомогою секундоміру час, за який грань кристалу пересунеться в полі зору мікроскопу на 1, 2, 3 мм. Визначаючи значення приросту, слід враховувати, що при 80–кратному (120–кратному) збільшенні переміщення зображення на 1 мм відбудеться при прирості грані кристалу на $\frac{1}{80}$ мм ($\frac{1}{120}$ мм).

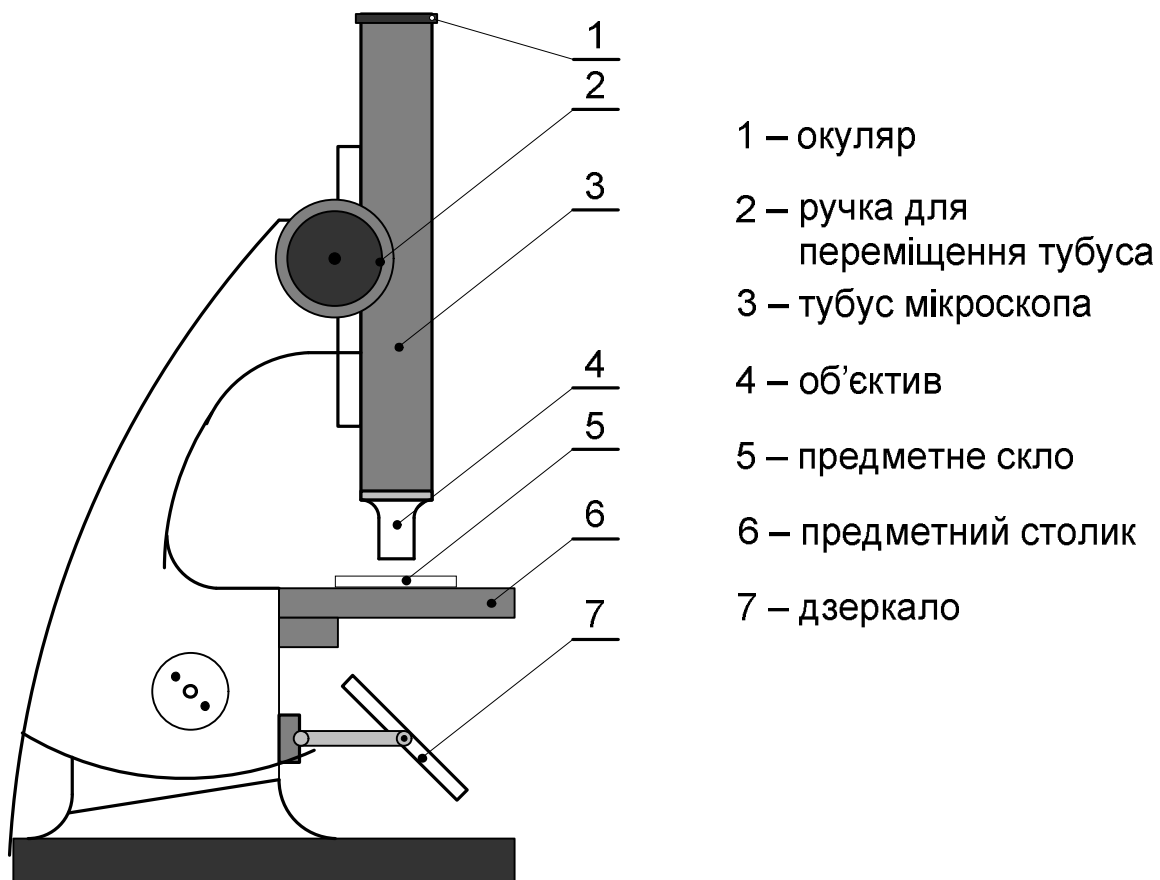


Рис. 1. Мікроскоп

Хід роботи.

1. Визначте збільшення мікроскопу (Воно дорівнює добутку збільшення об'єктиву на збільшення окуляру. Збільшення об'єктиву та окуляру нанесені на їх оправках у виді цифр 8, 20, 40 і т.д., або 10^x , 15^x ...).
2. Навчіться користуватись мікроскопом, використовуючи

об'єктив 8^x і встановлений окуляр. Для цього покладіть на стіл мікроскопу предметне скло, а на нього маленький об'єкт: нитку, маленький клаптик паперу і т. д. Дивлячись в об'єктив, повертайте дзеркальце для одержання найбільш яскравого поля зору. Рухаючи тубус, отримайте різке зображення об'єкту.

3. На скляну пластинку з допомогою скляної палички нанесіть невелику краплину розчину, який будете досліджувати. Покладіть предметне скло на стіл мікроскопу так, щоб в полі зору було видно край краплини, де звичайно починається утворення перших кристалів. Відрегулюйте різкість зображення.

Попередження! Щоб не зіпсувати об'єктив мікроскопу під час дотику його до скляної пластинки, рекомендується наводити на різкість, переміщуючи об'єктив угору. Переміщення об'єктиву вниз слід контролювати, спостерігаючи збоку.

4. Дочекайтесь появи кристалів і стежте за їх ростом. Виберіть кристали правильної геометричної форми, намалюйте їх. Повторіть дослід з іншими розчинами.

5. Покладіть на столик мікроскопу поруч зі скляною пластинкою листок міліметрового паперу. Нанесіть на скляну пластинку краплину насиченого розчину хлориду натрію. Спостерігаючи одним оком в окуляр кристали, що ростуть, а другим оком міліметровий папір, сумістіть, обережно переміщуючи папір, грань одного з кристалів з лінією на папері. Увімкніть секундомір і визначте час, за який зображення грані переміститься на 1, 2, 3 мм.

6. Визначте швидкість росту кристалу, тобто приріст грані за 1 с. Не забудьте, що переміщення зображення грані на 1 мм відповідає приросту грані на $\frac{1}{80}$ чи $\frac{1}{120}$ мм (в залежності від збільшення мікроскопу).

7. Розрахуйте, яка кількість атомних шарів наростає в процесі росту однієї грані кристалу хлориду натрію за 1 с, якщо діаметри іонів Na^+ і Cl^- приблизно дорівнюють $3 \cdot 10^{-10}$ м.

Контрольні запитання.

1. Чому звичайно в перенасиченому розчині виростає не один кристал, а багато маленьких кристалів?

2. Яким способом можна зробити розчин перенасиченим, не додаючи в нього розчинну речовину?

3. Чому швидкість росту грані кристалу зменшується з часом?

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ОПОРУ НАПІВПРОВІДНИКІВ ВІД ТЕМПЕРАТУРИ

Мета роботи: Дослідити залежність опору термістора від температури. За даними досліду оцінити ширину забороненої зони напівпровідника E_g .

Прилади і матеріали: Термостат з досліджуваним напівпровідником (термістором типу ММТ-1 або аналогічним) і термометром, нагрівник, омметр, штатив, з'єднувальні провідники.

Теоретичні відомості

Всі речовини за своїми електрофізичними властивостями можна розділити на три великих класи: провідники, напівпровідники і діелектрики. Груба класифікація здійснюється за значенням питомого опору: провідники мають питомий опір в межах $10^{-6} \div 10^{-4}$ Ом·см; напівпровідники – $10^{-4} \div 10^{10}$ Ом·см; діелектрики – більше, ніж 10^{10} Ом·см. Проте значення питомого опору не може служити однозначним критерієм належності даного матеріалу до якогось класу. Є велика кількість інших, більш суттєвих ознак. Наприклад, у металів зі збільшенням температури питомий опір зростає:

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha t^{\circ}), \quad (1)$$

а в напівпровідників – зменшується. При температурах, близьких до кімнатної, опір напівпровідників змінюється за законом

$$\rho = \rho_0 e^{\frac{E_g}{2kT}}, \quad (2)$$

де ρ_0 і E_g – деякі сталі, характерні для кожного напівпровідника. При дуже низьких температурах напівпровідники поведуть себе, як діелектрики. Крім того провідність напівпровідників значною мірою залежить від наявності домішок, від освітлення та наявності електромагнітних полів.

Отже, *напівпровідники – це такі матеріали, що при кімнатній температурі мають опір в межах $10^{-4} \div 10^{10}$ Ом·см, який в значній мірі залежить від структури речовини, виду та кількості домішки і від зовнішніх умов: температури, освітлення,*

опромінення ядрними частинками, електричного і магнітного полів.

До напівпровідників належить велика кількість найрізноманітніших речовин. Крім простих речовин, таких як кремній, германій, бор, фосфор, сірка, миш'як, сурма, селен, телур, до напівпровідників належить значна кількість з'єднань, наприклад GaAs, InSb, CdS, CdSe, ZnS, PbS та інші.

Один з найпоширеніших напівпровідникових матеріалів – кремній – являє собою кристал з ковалентним зв'язком. При температурі, близькій до 0 K , в такому кристалі відсутні носії заряду і він буде діелектриком. При підвищенні температури за рахунок теплових флуктуацій окремі зв'язки будуть рватися і з'явиться пара носіїв: **електрон** і **вакантне місце з позитивним зарядом**, яке дістало назву "**дірка**".

Концентрація електронів і дірок буде однаковою; провідність, в рівній мірі електронна і діркова, називається **власною провідністю**.

При наявності в напівпровіднику сторонньої домішки виникає **домішкова провідність**. Якщо в кремній (елемент четвертої групи) ввести домішку фосфору (елемент п'ятої групи), то чотири з п'яти валентних електронів атома фосфору будуть здійснювати парно електронні зв'язки в ґратці кремнію, а п'ятий електрон внаслідок теплових коливань стає вільним електроном провідності. В такому напівпровіднику буде переважати електронна провідність; його називають **напівпровідником n-типу**, а домішку такого виду – **донорною** домішкою.

Якщо в кремній ввести домішку бору (елемент третьої групи), то в ґратці кремнію для парно електронного зв'язку не вистачатиме одного електрона. Цей електрон захоплюється від сусіднього атома кремнію, внаслідок чого утворюється дірка. В такому напівпровіднику переважає діркова провідність, його називають **напівпровідником p-типу**, а домішку – **акцепторною**.

В даній роботі ставиться завдання дослідити залежність опору напівпровідника від температури і на основі одержаних експериментальних даних побудувати графік залежності $R(t)$.

Експериментальні дані дають можливість оцінити ширину забороненої зони напівпровідника E_g (див. літературу в кінці роботи).

Залежність $R(t)$ аналогічна (2):

$$R = R_0 e^{\frac{E_g}{2kT}} \quad (3)$$

В (2) і (3) температура визначається в K .
 Прологарифмуємо вираз (3):

$$\ln R = \ln R_0 + \frac{E_g}{2kT} \quad (4)$$

З (4) випливає, що залежність $\ln R \left(\frac{1}{T} \right)$ – лінійна. Нанесемо експериментальні точки на діаграму, по вертикалі якої відкладемо $\ln R$, а по горизонталі – $\frac{1}{T}$. Лінеаризуючи точки методом найменших квадратів (або хоча б "на око"), одержимо графік, подібний наведеному на рис. 1. Вибравши на прямій дві зручні точки, знайдемо за графіком дві пари значень $\ln R$ та $\frac{1}{T}$. Для цих двох точок рівняння (4) має вид:

$$\ln R_1 = \ln R_0 + \frac{E_g}{2kT_1} \quad (5)$$

$$\ln R_2 = \ln R_0 + \frac{E_g}{2kT_2} \quad (6)$$

Віднімемо від (11.5) рівняння (11.6):

$$\ln R_1 - \ln R_2 = \frac{E_g}{2k} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right).$$

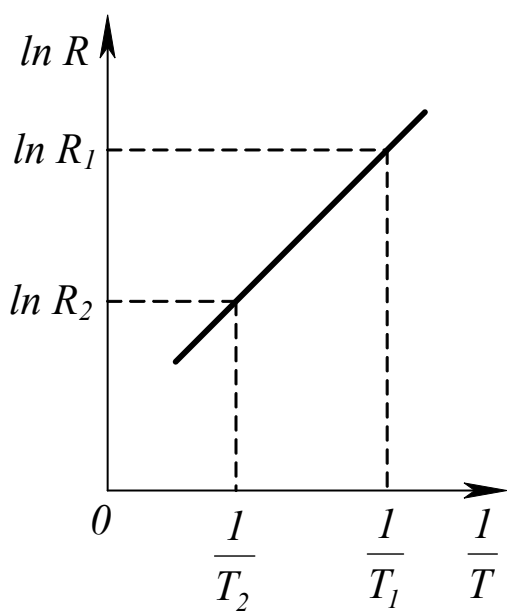


Рис. 1

Після перетворень одержимо:

$$E_g = 2k \frac{\ln R_1 - \ln R_2}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} \quad (7)$$

Нагадаємо, що в (7) k – це стала Больцмана, $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{Дж}{К}$, а температура вимірюється в K . Підставивши в (7) значення $\ln R$ та $\frac{1}{T}$, можна обчислити значення E_g .

Опис установки

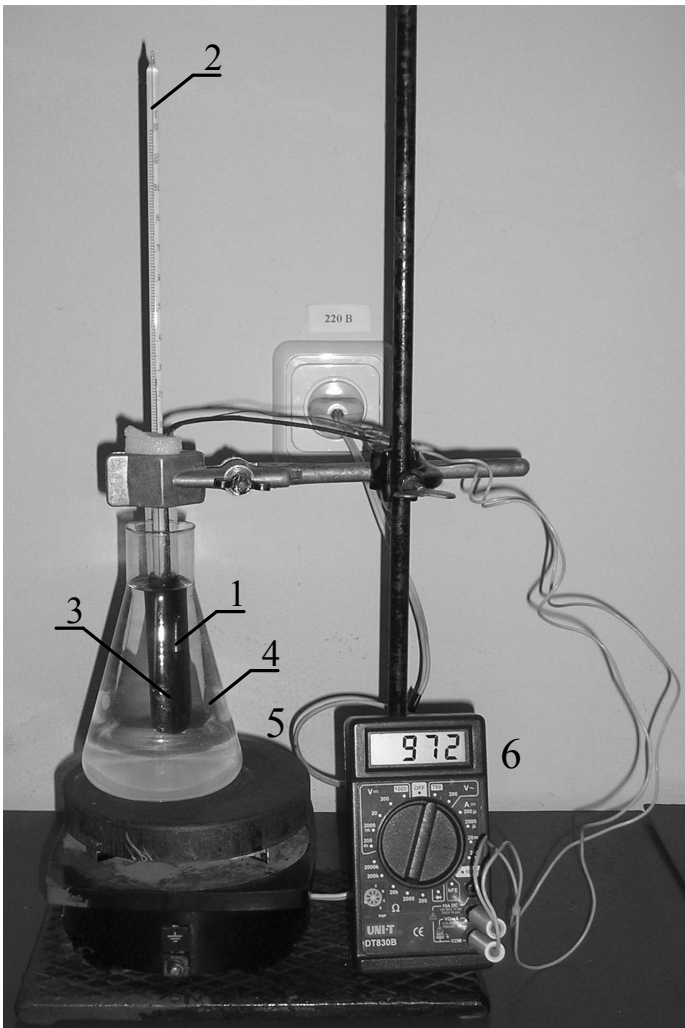


Рис. 2

В роботі використовується установка, зображена на рис. 2. Досліджуваний термістор 1 разом з термометром 2 вміщені в пробірку, заповнену машинним мастилом 3. Пробірка опущена в колбу з водою 4, що підігрівається нагрівником 5 (електроплиткою). З омметром 6 термістор з'єднано провідниками. Пробірка з термістором і термометром закріплена на штативі так, що її можна виймати з колби для охолодження і заміни води.

Хід роботи

1. На початку роботи переконайтеся (за показами термометра), що в колбі холодна вода (t^0 до 20^0C). В противному разі замініть воду.

2. Приготуйте для вимірювань омметр. Підключіть його до термістора і виберіть межу для вимірювання опору термістора, яка забезпечує найбільшу точність.

3. В зошиті заготуйте таблицю для запису результатів:

t^0C	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	
$R,$												нагр.
$Ом$												охол.

4. Увімкніть нагрівник і виконайте вимірювання опору термістора при значеннях температури від 20^0C до 70^0C . При показах термометра $55\div 60^0C$ слід виключити нагрівник.

5. Коли температура стане більшою 70°C , з допомогою штатива вийміть пробірку з термістором з води і охолоджуйте термістор до початкової температури. Спочатку охолодження ведіть в повітрі, потім прискорити охолодження можна, замінивши воду в колбі і опустивши в неї пробірку з термістором.

6. За результатами вимірювань побудуйте графік залежності опору термістора від температури (дві криві – нагрівання і охолодження на одній діаграмі).

7. Зробіть висновок про характер залежності $R(t)$.

Додаткове завдання

Використавши експериментальні дані, розрахуйте $\ln R$ та $\frac{1}{T}$, і побудуйте графік $\ln R$ $\frac{1}{T}$. За графіком з допомогою формули (7) обчисліть значення E_g .

Контрольні запитання

1. За якими ознаками речовини поділяють на провідники, напівпровідники та ізолятори?

2. Поясніть, чим обумовлена провідність металів, електролітів і напівпровідників?

3*. Як пояснити провідність металів і напівпровідників з точки зору зонної теорії твердих тіл?

4. Чому при нагріванні опір напівпровідників зменшується?

5. Які практичні застосування термісторів?

6. Чому графіки залежності опору термістора від температури, зняті при нагріванні і охолодженні, не співпадають?

Лабораторна робота № 15.

МОДЕЛЮВАННЯ РАДІОАКТИВНОГО РОЗПАДУ.

Мета роботи: перевірити математичну залежність, що описує закон радіоактивного розпаду і побудувати графік розпаду.

Прилади і матеріали: монети, дві пластикові банки, рознос.

Теоретичні відомості.

Природна радіоактивність являє собою процес самовільного перетворення атомних ядер, що супроводжується вилітанням різних частинок та випромінюванням. Випромінювання γ -променів супроводжує, як правило, процеси α - та β -розпаду. Випромінюючи γ -фотони, збуджене ядро переходить в основний стан.

Під час α -розпаду ядро втрачає чотири нуклони; його масове число зменшується на чотири одиниці, а заряд – на дві. Під час β -розпаду масове число залишається незмінним, а заряд збільшується на одиницю. Як і α , так і β -розпад описуються одним і тим же статистичним законом, який називають **законом радіоактивного розпаду**.

Оскільки природна активність – це самовільний процес, то розпад кожного ядра є випадковою подією, що має певну імовірність. Число ядер dN , що розпалися за проміжок часу dt , пропорційне dt і числу наявних ядер, які ще не розпалися:

$$dN = -\lambda N dt \quad (1)$$

Знак "мінус" з'являється в зв'язку з тим, що число ядер, які не розпалися, зменшується в процесі розпаду. Стала розпаду λ являє собою відносне зменшення числа ядер в одиницю часу. Інтегруючи рівняння (17.1) з початковою умовою $N = N_0$ при $t = 0$, одержимо **закон радіоактивного розпаду**:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2)$$

В рівнянні (2) N_0 - це число радіоактивних ядер в початковий момент часу, а N - число ядер, що **не розпалися** за час t .

Крім сталої розпаду радіоактивний розпад можна характеризувати **періодом піврозпаду T** .

Період піврозпаду – це час, протягом якого число наявних радіоактивних ядер зменшується вдвічі.

Якщо час $t_1 = T$, то число ядер, що залишилися, дорівнює $N_1 = \frac{N_0}{2}$; через два періоди $t_2 = 2T$: $N_2 = \frac{N_1}{2} = \frac{N_0}{4}$; через три періоди

$t_3 = 3T$: $N_3 = \frac{N_2}{2} = \frac{N_0}{8}$ і т.д. Перепишемо вирази для N_1 , N_2 , N_3

наступним чином: $N_1 = \frac{N_0}{2}$; $N_2 = \frac{N_0}{2^2}$; $N_3 = \frac{N_0}{2^3}$.

Легко бачити закономірність, яку можна подати в загальному виді: $N_k = \frac{N_0}{2^k}$, де $k = \frac{t_k}{T}$. Для довільного моменту часу t :

$$N = \frac{N_0}{2^{\frac{t}{T}}} \quad \text{або} \quad N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}} \quad (3)$$

(3) – це ще одна форма запису закону радіоактивного розпаду. Вираз (3) можна одержати також і з рівняння (2).

Якщо $t = T$, то $N = \frac{N_0}{2}$: $\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T}$; скоротивши на N_0 , матимемо: $\frac{1}{2} = e^{-\lambda T}$, або $2 = e^{\lambda T}$.

Прологарифмуємо цей вираз: $\ln 2 = \lambda T$, звідки:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T} \quad (4)$$

Вираз (4) дає зв'язок між сталою радіоактивного розпаду і періодом піврозпаду. Підставимо (4) в (2): $N = N_0 e^{-\frac{\ln 2}{T} t}$; після перетворень одержимо: $N = N_0 2^{-\frac{t}{T}}$, що співпадає з виразом (3).

Число ядер, що **розпались** за час t , дорівнює:

$$N' = N_0 - N = N_0 - N_0 2^{-\frac{t}{T}} = N_0 (1 - 2^{-\frac{t}{T}}) \quad (5)$$

Закон радіоактивного розпаду передбачає число ядер, які не розпались за час t ; але він не вказує, які саме ядра розпадуться за цей час. Цей закон є статистичним законом; точно він виконується лише у випадку величезної кількості ядер.

Імовірність розпаду кожного з радіоактивних ядер за час T дорівнює $1/2$. Процес радіоактивного розпаду можна моделювати підкиданням монет, при якому з імовірністю $1/2$ випадає герб чи цифра ("орел" чи "решка"). Нехай, якщо випаде "орел", то ядро вціліло, а якщо "решка" - то розпалось. Кожне кидання монет відповідає для ядра протіканню проміжку часу, що дорівнює періоду піврозпаду.

Хід роботи.

1. Відрахуйте 128 монет ($N_0=128$), перемішайте їх у банці і висипте на рознос.

2. Підрахуйте число монет, що "не розпались" ("орел"), і складіть їх знову в банку. В іншу банку складіть монети, що "розпалися".

3. Перемішайте монети, що "не розпались", і висипте на рознос. Повторіть п.2.

4. Пункт 3 повторюйте до тих пір, поки всі монети "розпадуться".

5. Кількість монет, що "не розпалися" при черговому киданні, і кількість монет, що "розпалися" за n кидань, занесіть в таблицю 1.

6. Повторіть серію кидань ще двічі, щоразу починаючи з $N_0=128$. Результати дослідів занесіть в таблиці 2 і 3, що аналогічні табл.1.

7. Побудуйте графік залежності $N(n)$. Всі серії зобразіть на одному рисунку, використавши різнокольорові ручки. На цьому ж рисунку зобразіть теоретичну залежність $N = N_0 2^{-n}$.

8. Зробіть висновок.

Табл. 1

Кількість кидань n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кількість монет, що "не розпались", N	128										
Кількість монет, що "розпались", N'	0										

Контрольні запитання

1. Який склад атома і атомного ядра?
2. Що являють собою α , β - частинки та γ - промені?
3. Які способи реєстрації іонізуючих випромінювань ви знаєте?
4. Який фізичний зміст сталої розпаду λ ?
5. Що називають періодом піврозпаду T ?
6. Який зв'язок між величинами λ і T ?
5. Який елемент слід вважати більш радіоактивним: з періодом піврозпаду 1 доба чи 1 година? Чому?

ВИРОЩУВАННЯ КРИСТАЛІВ

Мета роботи: Навчитись вирощувати монокристали доступних солей. Виростити монокристал алюмокалієвого галуна чи мідного купоросу.

Прилади і матеріали: Алюмокалієвий галун чи мідний купорос, склянки об'ємом 0,25 чи 0,5 л, термометр, лійка, скляна паличка, вата, вода, нагрівник.

Теоретичні відомості

Існують два простих способи вирощування кристалу з розчину: охолодження теплого насиченого розчину і його випарювання. Першим етапом будь-якого з способів є приготування насиченого розчину. Найбільш доступними речовинами для цієї роботи є алюмокалієвий галун чи мідний купорос. Можна використати і деякі інші речовини – червону кров'яну сіль ($K_3Fe(CN)_6$), жовту кров'яну сіль ($K_4Fe(CN)_6$), хромокислий калій ($KCrO_4$). Нагадаємо, що при роботі з хімічними речовинами необхідно дотримуватись правил техніки безпеки.

Розчинність будь-якої речовини залежить від температури. Звичайно з підвищенням температури розчинність збільшується, а зі зниженням температури – зменшується. Залежність коефіцієнту розчинності алюмокалієвого галуна від температури показана на рис. 1. По вертикалі відкладена маса солі в г, що розчиняється в 100 г води, по горизонталі – температура. З графіка видно, що при охолодженні насиченого при температурі $40^\circ C$ розчину до температури $20^\circ C$ в ньому виявиться близько 15 г надлишкової кількості галуна на кожні 100 г води. При відсутності центрів кристалізації ця речовина може залишитись в розчині, тобто розчин буде перенасиченим.

З появою центрів кристалізації надлишок речовини виділяється з розчину і при кожній певній температурі в розчині залишається та кількість речовини, яка відповідає коефіцієнту розчинності при цій температурі. Надлишок речовини з розчину випадає у виді кристалів; кількість кристалів тим більша, чим більше центрів кристалізації в розчині. Центрами кристалізації можуть служити забруднення на

стінках посудини з розчином, порошок, дрібні кристалики розчиненої речовини. Якщо надати можливість кристаликам, що випали, підрости на протязі доби, то серед них можна буде знайти чисті і досконалі за формою екземпляри. Вони будуть служити затравками для вирощування великих кристалів.

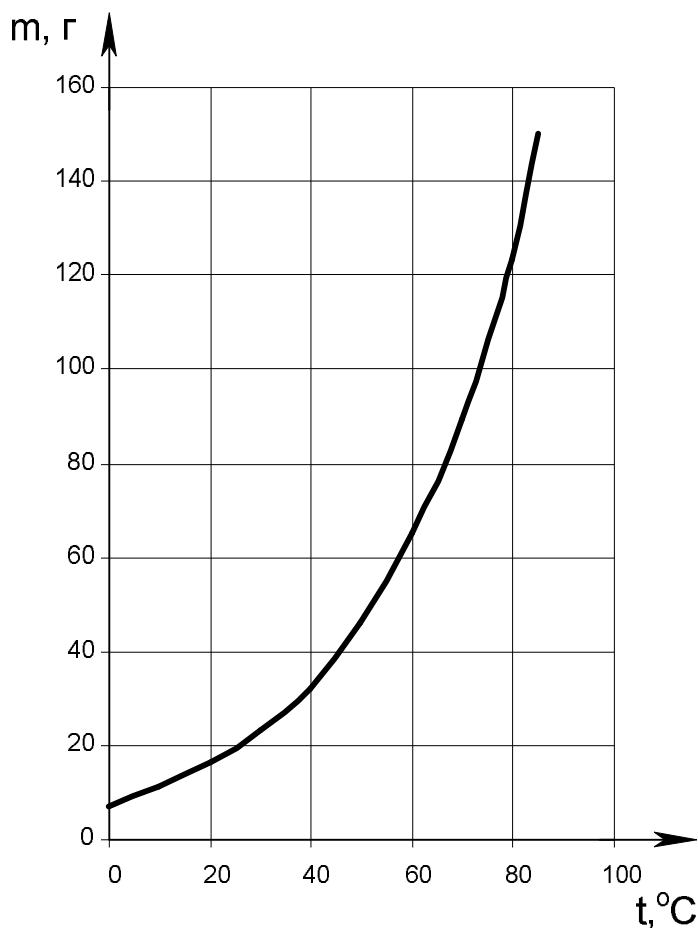


Рис. 1

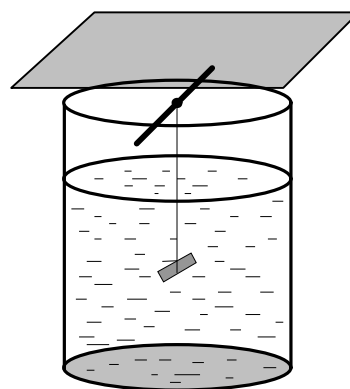


Рис. 2

Щоб виростити великий кристал, в насичений розчин, ретельно відфільтрований, слід внести кристалик-затравку, заздалегідь прикріплений до волосини чи тонкої капронової нитки. Волосину чи нитку перед прив'язуванням кристалика потрібно протерти спиртом. Можна виростити кристал і без затравки. Для цього волосину чи капронову нитку протирають спиртом і опускають в розчин так, щоб кінець волосини чи нитки вільно висів у розчині. На кінці волосини чи нитки може початись ріст кристалу.

Якщо для вирощування підготовлений великий затравочний кристал, то його краще вносити в трохи підігрітий розчин. Якщо розчин при кімнатній температурі був насиченим, то при температурі

на 3-5°C вище кімнатної він стане ненасиченим. При внесенні кристала – затравки в такий розчин кристал почне розчинятись в ньому і при цьому втратить верхні дефектні та забруднені шари. Це приведе до збільшення прозорості майбутнього кристалу. Коли температура знизиться до кімнатної, розчин знову стане насиченим і розчинення затравки припиниться. Якщо посудину з розчином накрити так, щоб вода могла з нього випаровуватись (рис. 2), то через деякий час розчин стане перенасиченим і почнеться ріст кристалу. Під час вирощування кристалу посудину з розчином слід тримати в теплому сухому місці, де температура протягом доби залишається сталою. Щоб виростити великий кристал потрібно від кількох діб до кількох тижнів.

Хід роботи

1. Ретельно вимийте дві склянки і лійку.
2. Налийте в одну склянку теплої (40-50°C) дистильованої води (приблизно половину склянки). Якщо дистильованої води немає, то двічі прокип'ятіть воду і дайте їй відстоятись. Насипте у воду сіль і помішуйте до повного розчинення солі. На кожні 100 г води слід взяти близько 30-40 г мідного купоросу чи алюмокалієвого галуноу, або 40 г кухонної солі. Для інших речовин рекомендації можна взяти з таблиці 1.
3. Профільтруйте одержаний розчин в іншу склянку через ватний фільтр. Ватний фільтр перед фільтруванням опустіть в посудину з дистильованою водою, а потім витисніть з нього воду.
4. Склянку з теплим розчином прикрийте зверху (не щільно) листом цупкого паперу чи кришкою і залиште на добу. При охолодженні в розчині почнуть випадати кристали.
5. Злийте розчин зі склянки і виберіть серед кристаликів, що випали, декілька найбільших і правильної форми. Злитий розчин поверніть назад в склянку.
6. Протріть спиртом тонку капронову нитку (можна використати рибальську волосінь діаметром близько 0,1 мм) і прив'яжіть до неї кристалик-затравку. Розчин в склянці підігрійте так, щоб кристалики, які залишились, розчинились. Опустіть затравку в розчин. Можна також просто покласти затравку на дно склянки. Момент опускання затравки слід вибирати так, щоб розчин був

близький до насичення. Якщо розчин буде ненасиченим, то затравка почне розчинятись і може зникнути. З цієї причини заздалегідь готують декілька затравок.

7. Поставте склянку в тепле чисте місце. Протягом декількох днів (чи тижнів) не торкайтесь кристалу і не переставляйте склянку.
8. В кінці терміну вирощування витягніть кристал з розчину, ретельно обсушіть його паперовою серветкою і покладіть в спеціальну коробочку. Руками кристал не беріть, інакше він втратить прозорість.

Табл.. 1

Речовина і хімічна формула	Форма і колір кристалів	Маса речовини в г на 100 мл води
Хлористий натрій (кухонна сіль) NaCl	Дрібні білі снігоподібні або кубічні кристали	39
Алюмокалієвий галун $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	Октаедричні кристали білого і ніжно-сріблястого кольору	30-40
Сірчаноокислий нікель $NiSO_4 \cdot 7H_2O$	Кристали у вигляді голок яскраво ізумрудного кольору	110
Двохромистий калій (біхромат калію) $K_2Cr_2O_7$	Триклинні оранжево-червоні голки або пластинки	50
Заліzosиньородистий калій (червона кров'яна сіль) $K_3Fe(CN)_6$	Рубінові кристали	90
Заліzистосиньородистий калій (жовта кров'яна сіль) $K_4Fe(CN)_6$	Світло-жовті прозорі кристали	40
Мідний купорос $CuSO_4 \cdot 5H_2O$	Триклинні яскраво-сині кристали	30-40
Хромоокислий калій K_2CrO_4	Ромбічні кристали жовто-лимонного кольору	75

Контрольні запитання

1. Який розчин називають насиченим?
2. Що називають розчинністю і як розчинність солей залежить від температури?
3. Що може служити центром кристалізації? З якою метою розчин фільтрували?
4. Як насичений розчин можна зробити перенасиченим, не додаючи в розчин розчинену речовину?

ЛІТЕРАТУРА

1. Гончаренко С. У. Фізика для допитливих. Молекулярна фізика / С. У. Гончаренко. – К. : Техніка, 1973. – 320 с.
2. Зайдель А. Н. Погрешности измерений физических величин / А. Н. Зайдель. – Л. : Наука, 1985. – 112 с.
3. Нижник В. Г. Вимірювання фізичних величин та обчислення похибок / В. Г. Нижник. – Київ : Рад. шк., 1979. – 104 с.
4. Статистична обробка результатів експериментальних вимірювань : методичні рекомендації / укл. В. П. Ржепецький. – Кривий Ріг : Криворізький державний педагогічний університет, 2011. – 48 с.
5. Тейлор Дж. Введение в теорию ошибок : пер. с англ. / Дж. Тейлор – М. : Мир, 1985. – 272 с.
6. Рего К. Г. Метрологическая обработка результатов технических измерений : справ. Пособие / К. Г. Рего. – К : Техніка, 1987. – 128 с.
7. Физический практикум для классов с углубленным изучением физики : дидакт. материал : 9 – 11 кл. / Ю. И. Дик, О. Ф. Кабардин, В. А. Орлов и др.; под ред. Ю. И. Дика, О. Ф. Кабардина. – М. : Просвещение, 1993. – 208 с.

Зміст

Пояснювальна записка	3
Опис лабораторних робіт	
№ 1. Визначення коефіцієнту корисної дії похилої площини . . .	4
№ 2. Визначення модуля пружності з деформації розтягу	7
№ 3. Визначення коефіцієнту тертя ковзання	11
№ 4. Вивчення основного рівняння динаміки обертового руху .	13
№ 5. Дослідна перевірка закону збереження механічної енергії .	18
№ 6. Визначення густини твердого тіла та рідини гідростатичним зважуванням.	21
№ 7. Дослідне вивчення властивостей математичного маятника	24
№ 8. Вимірювання атмосферного тиску	27
№ 9. Дослідження залежності густини розчину солі від її концентрації	30
№ 10. Вивчення особливостей теплового розширення води	33
№ 11. Визначення коефіцієнту поверхневого натягу води	37
№ 12. Визначення питомої теплоти плавлення льоду	40
№ 13. Вимірювання швидкості росту кристалу	42
№ 14. Дослідження залежності опору напівпровідників від температури	45
№ 15. Моделювання радіоактивного розпаду	49
№ 16. Вирощування кристалів	53
Література	57