

**ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ**

БАЛИЦЬКА В.О., ЯРИЦЬКА Л.І.

**ФІЗИЧНИЙ ПРАКТИКУМ.
ЧАСТИНА ІІ. ЕЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ.
ОПТИКА**

Навчальний посібник

ЛЬВІВ – 2021

УДК 537.6.535

Б 20

Рецензенти: Сиротюк Андрій – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України.

Кушнір Андрій – кандидат технічних наук, доцент, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності.

Рекомендовано до друку рішенням Вченої ради Львівського державного університету безпеки життєдіяльності
(протокол №1 від 30. 08. 2021)

Балицька, Валентина Олексіївна.

Фізичний практикум. Частина II. Електромагнетизм. Оптика: навчальний посібник / В.О. Балицька, Л.І. Ярицька. – Львів: Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, 2021. – 164 с.

Практикум до виконання лабораторних робіт з фізики (містить опис 15 лабораторних робіт) складено відповідно до навчальної програми “Фізика”. У ньому наведена вся інформація, необхідна здобувачу вищої освіти для підготовки і виконання лабораторної роботи, зокрема: назва лабораторної роботи, мета, опис приладів і матеріалів, що використовують в даній лабораторній роботі, теоретичні відомості та виведення робочої формули, опис вимірювального пристрою, перелік теоретичних питань, які здобувач повинен вивчити під час самопідготовки, докладна інструкція для виконання експерименту та математичної обробки отриманих результатів.

© Балицька В.О.

© Ярицька Л.І.

© ЛДУБЖД, 2021

ВСТУП

У фізичний практикум до виконання лабораторних робіт включено лабораторні роботи з електромагнетизму і оптики. Детально розглянуто питання фізичного експерименту та розроблення навичок правильного вимірювання фізичних величин. Підбір лабораторних робіт здійснено так, щоб експериментатор міг спостерігати та відтворити більшість фізичних явищ, перевірявши на досліді фізичні закономірності й наслідки, що з них слідують. Перш за все, в лабораторних роботах показані процеси, що є визначальними для даних розділів фізики. **Всі лабораторні роботи розраховані на виконання протяг.**

Практикум до виконання лабораторних робіт з фізики (містить опис 15 лабораторних робіт) складено відповідно до навчальної програми “Фізика”. У ньому наведена вся інформація, необхідна здобувачу вищої освіти для підготовки і виконання лабораторної роботи, зокрема: назва лабораторної роботи, мета, опис приладів і матеріалів, що використовують в даній лабораторній роботі, теоретичні відомості та виведення робочої формули, опис вимірювального пристрою, перелік теоретичних питань, які здобувач повинен вивчити під час самопідготовки, докладна інструкція для виконання експерименту та математичної обробки отриманих результатів.

Здобувач повинен опрацювати самостійно відповідні розділи доступних підручників. Крім підручників та посібників, для самопідготовки можна використовувати конспект лекцій та літературу, яку запропонував лектор.

Посібник призначений для здобувачів вищої освіти Львівського державного університету безпеки життєдіяльності.

До виконання лабораторної роботи допускаються здобувачі, що мають належним чином оформлену заготовку звіту (номер і назва лабораторної роботи, мета роботи, обладнання, короткі теоретичні відомості, схема лабораторної установки, заготовки звітних

таблиць). Здобувачам, згідно з контрольними питаннями, рекомендується захищати свої лабораторні роботи до або в процесі їх виконання. За наявності допуску здобувачі виконують лабораторні роботи відповідно до інструкцій. Результати вимірювань здобувачі заносять у звітну таблицю та надають для перевірки викладачеві. Рекомендується узгоджувати результати вимірювань та їх обробку з викладачем кілька разів протягом виконання роботи, що значно підвищить ефективність роботи здобувачів та позбавить їх необхідності повторних розрахунків чи вимірювань. Обробка результатів вимірювань полягає у розрахунку шуканої величини та оцінці похибок вимірювань. Розрахунки бажано виконувати в одиницях СІ. Графіки будують безпосередньо на листках звіту, або на міліметровому папері та вклеюють у звіт. Лінія, що виражає залежність величин, повинна бути плавною, а відхилення експериментальних точок по обидва боки від неї – приблизно однаковими. Звіт слід закінчувати короткими висновками. При оцінюванні враховуються робота здобувача в лабораторії, якість звіту, відповіді на контрольні запитання та вчасність здачі робіт.

Перед виконанням лабораторної роботи необхідно:

1. Уважно прочитати опис лабораторної роботи.
2. Ознайомитися з приладами та матеріалами, які використовуються для виконання роботи, і після дозволу викладача приступити до встановлення приладів або до збирання вимірювального пристрою відповідно до опису. Іноді робота проводиться на стандартній установці.
3. Провести експеримент. Зробити вимірювання та розрахунки. Ця частина роботи є найбільш відповідальною, тому її потрібно проводити дуже ретельно, згідно з методичними вказівками, поданими у розділі “Порядок виконання роботи”. Всі результати вимірювань заносять до таблиць, що наведені в кінці роботи.
4. Опрацювати результати вимірювань: обчислити величину, що вимірюється, і за відповідними формулами дати оцінку похибок вимірювань.

Оформляти звіти необхідно на аркушах формату А4.

На наступних сторінках потрібно висвітлити:

- мету роботи;
- завдання;
- перелік обладнання;
- рисунок вимірювального пристрою і опис його роботи;
- робочі формули з розшифруванням величин, які входять до неї;
- робочі таблиці;
- формули для обчислення похибок;
- кінцевий результат;
- висновки.

ЕЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

**Лабораторна робота № 1
ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПОДІЛУ
ЕЛЕКТРОСТАТИЧНОГО ПОЛЯ
НА ПЛОЩИНІ*****Мета роботи***

Дослідити розподіл електростатичного поля між різноманітними зарядженими електродами

Прилади і матеріали

Підставка, електроди прямокутної форми, гальванометр, електричний шнур з вилкою, два провідники з металевими щупами.

Теоретичні відомості

Напруженістю електростатичного поля в даній точці простору називається векторна величина, яка дорівнює силі, що діє на нерухомий одиничний позитивний заряд, поміщений у дану точку простору. Напруженість електричного поля – основна, силова властивість електростатичного поля, якою воно заявляє про своє існування:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}, \quad (1)$$

де F – сила, q_0 – нерухомий одиничний позитивний заряд.

Якщо електростатичне поле створене точковим зарядом, то скалярна величина напруженості (з врахування закону Кулона) визначається так:

$$E = k \frac{q}{r^2}, \quad (2)$$

де q – заряд, що створює електростатичне поле, r – віддаль від заряду до точки в якій визначається напруженість, $k=1/4\pi\epsilon_0$ – коефіцієнт пропорційності, ϵ_0 – електрична стала.

Якщо електростатичне поле створюється системою точкових зарядів, то згідно з принципом суперпозиції, напруженість електростатичного поля дорівнює векторній сумі напруженостей, створених в даній точці окремими зарядами.

Графічно електростатичне поле зображається за допомогою ліній напруженості (силових ліній), тобто, таких ліній, дотична до кожної з яких у кожній точці поля збігається з напрямком вектора напруженості, а густина ліній пропорційна модулю цього вектора (рис. 1).

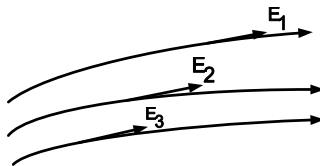


Рисунок 1. Силкові лінії електростатичного поля

Однорідним називається електростатичне поле, для якого у кожній точці простору вектор напруженості є сталим за величиною і напрямком. Силкові лінії однорідного поля взаємно паралельні та мають однакову густину у всіх точках (рис. 2).

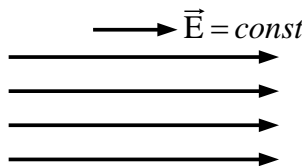


Рисунок 2. Силкові лінії однорідного електростатичного поля

Силкові лінії ізольованих точкових зарядів спрямовані радіально відносно цих зарядів (рис. 3).

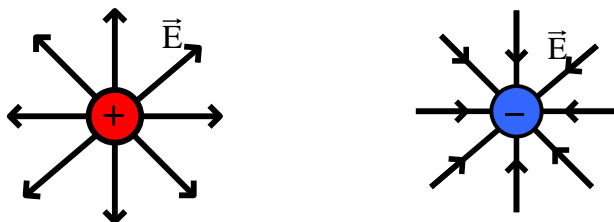


Рисунок 3. Силкові лінії ізолюваних точкових зарядів (справа силлове поле, створене позитивним зарядом, зліва – негативним)

Кожна силова лінія електростатичного поля починається на позитивному і закінчується на негативному заряді, тому у випадку двох точкових зарядів, силкові лінії викривляються (рис. 4).

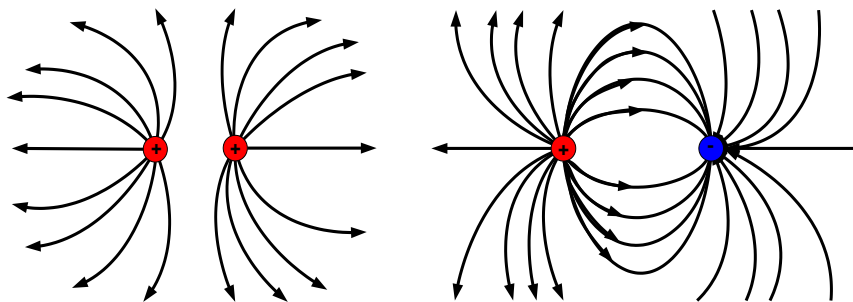


Рисунок 4. Силкові лінії двох точкових зарядів

Потенціал деякої точки поля – це скалярна величина, яка чисельно дорівнює потенціальній енергії одиничного позитивного заряду, поміщеного в цю точку:

$$\varphi = \frac{П}{q_0}, \quad (3)$$

де $П$ – потенціальна енергія, q_0 – нерухомий одиничний позитивний заряд заряд.

Якщо електростатичне поле створене точковим зарядом, то потенціал електростатичного поля (з врахування закону Кулона) визначається так:

$$\varphi = k \frac{q}{r}, \quad (4)$$

де q – заряд, що створює електростатичне поле, r – віддаль від заряду до точки в якій визначається потенціал, $k=1/4\pi\epsilon_0$ – коефіцієнт пропорційності, ϵ_0 – електрична стала.

Електростатичне поле – потенціальне, а електростатичні сили – консервативні, тобто робота цих сил не залежить від форми траєкторії руху, а лише від координат початкової і кінцевої точок:

$$A = \Pi_1 - \Pi_2. \quad (5)$$

де Π_1 і Π_2 – потенціальні енергії заряду.

Висновок: напруженість і потенціал – основні характеристики електричного поля. Напруженість – силова, векторна характеристика поля, а потенціал – скалярна, енергетична характеристика поля.

Опис вимірюваного пристрою

Пристрій для дослідження електростатичного поля зображений на рис. 5. Моделлю плоско-паралельного електростатичного поля служить лист електропровідного паперу однакової товщини (на рисунку заштрихований і позначений літерою L), по якому протікає постійний електричний струм між електродами прямокутної форми 1 і 2, які знаходяться в контакті з електропровідним папером L . Для обмеження сили струму послідовно до джерела живлення під'єднаний резистор змінного опору R . З електропровідним папером контактують металеві щупи A і B , які під'єднані до гальванометра G . Після встановлення постійного значення сили струму поверхню паперу можна вважати площиною вектора напруженості.

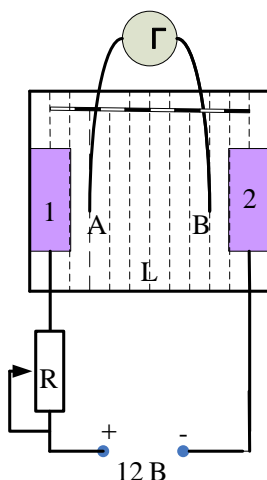


Рисунок 5. Робоча схема для виконання лабораторної роботи

Порядок виконання роботи

1. Аркуш чистого паперу покласти на дерев'яну підставку.
2. На папір покласти копіювальний папір робочою стороною донизу і накрити зверху аркушем електропровідного паперу.
3. На краї аркуша електропровідного паперу помістити прямокутні електроди.
4. В отвори електродів та дерев'яної підставки вставити болти.
5. На болти першого і другого електродів вставити клєми шнура з вилокю та накрутити гайки так, щоб електроди щільно прилягали до паперу.
6. Приєднати до гальванометра провідники з металевими щупами та ввімкнути вилокю в розетку з напругою 12 В.
7. Один щуп поставити на папір (біля другої зліва поділки, яка нанесена на підставці), а іншим щупом зверху вниз знайти 6-7 точок однакового потенціалу на однаковій віддалі одна від одної. Для точок однакового потенціалу стрілка гальванометра перебуватиме на нульовій поділці. Точки однакового потенціалу

шляхом натискання щупа через копіювальний папір перекопіювати на чистий аркуш паперу.

8. Щуп поставити напроти поділок 1, 2, 3, 4, 5, і, аналогічно, знайти 6-7 точок однакового потенціалу.

9. Витягнути вилку з розетки. Зняти з підставки електропровідний папір та аркуш з нанесеними на ньому експериментальними точками і, за допомогою лінійки та лекал, намалювати еквіпотенціальні лінії.

10. Намалювати силові лінії електростатичного поля. Їх проводять так, щоб кут дотичних до силової та еквіпотенціальної лінії становив 90° .

Контрольні питання для допуску до виконання лабораторної роботи

1. Що називається напруженістю електростатичного поля?
2. Принцип суперпозиції електричних полів.
3. Який розподіл мають силові лінії електростатичного поля позитивного точкового заряду?
4. Як визначається потенціал електростатичного поля?
5. Яке електростатичне поле називається однорідним?
6. За якою формулою визначається потенціал точкового заряду?
7. Що таке еквіпотенціальна поверхня?
8. Яке поле створює точковий заряд?
9. Як проводяться силові лінії електростатичного поля?
10. Який зв'язок між напруженістю і потенціалом електростатичного поля?

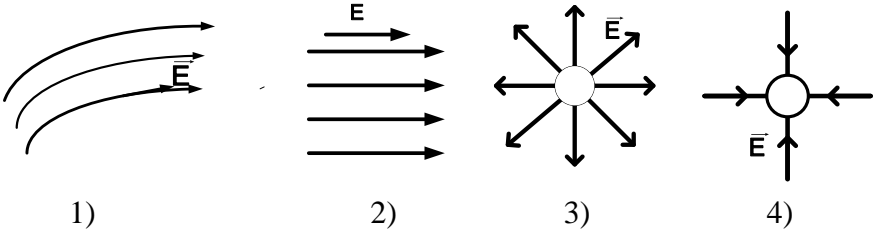
Тестові завдання для захисту лабораторної роботи

1. Електричний заряд:
 - 1) дискретний;
 - 2) неперервний, може набувати будь-яких значень;
 - 3) двозначний;
 - 4) недвозначний.

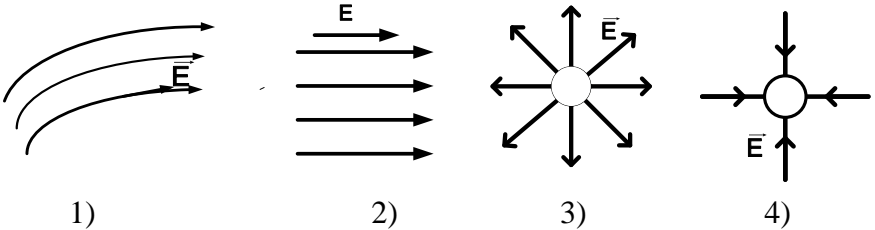
2. Які з фізичних тверджень є правильним?

- 1) потенціал це силова характеристика електростатичного поля;
- 2) робота по переміщенню електричного заряду по замкнутому шляху в електростатичному полі дорівнює нулю;
- 3) потенціал це енергетична характеристика електростатичного поля;
- 4) в однорідному електричному полі силові лінії паралельні.

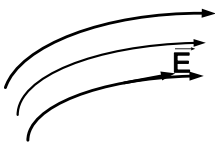
3. Яке з полів, зображених за допомогою силових ліній, є однорідним?



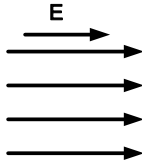
4. Яке з полів, зображених на рисунку є полем позитивного точкового заряду?



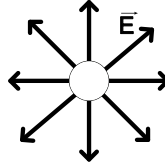
5. Яке з полів, зображених на рисунку є полем негативного точкового заряду?



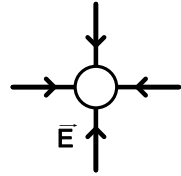
1)



2)



3)



4)

6. Вкажіть одиницю виміру напруженості електростатичного поля:

- 1) V/m ;
- 2) $H \cdot Кл$;
- 3) H ;
- 4) $H/Кл$.

7. Водяна крапля з електричним зарядом 2 нКл з'єдналася з іншою краплею із зарядом -4 нКл . Яким став заряд утвореної краплі?

- 1) 6 нКл ;
- 2) -2 нКл ;
- 3) 2 нКл ;
- 4) -4 нКл .

8. Нейтральна водяна крапля розділилася на дві. Одна з них володіє зарядом $+q$. Яким зарядом володіє друга крапля?

- 1) $+q$;
- 2) $-q$;
- 3) 0 ;
- 4) $+2q$.

9. Закон збереження заряду стверджує, що:

1) алгебраїчна сума електричних зарядів замкненої системи залишається незмінною при будь-яких процесах, що відбуваються всередині цієї системи;

2) алгебраїчна сума електричних зарядів замкненої системи залишається незмінною, при відсутності будь-яких процесів всередині і навколо цієї системи;

3) векторна сума електричних зарядів замкненої системи лишається незмінною.

4) сума електричних зарядів замкненої системи може змінюватися.

10. Яке з фізичних тверджень є правильним?

1) вектор напруженості електростатичного поля в будь-якій точці направлений по дотичній до силової лінії і співпадає з нею за напрямом;

2) вектор напруженості електростатичного поля в будь-якій точці направлений по дотичній до силової лінії;

3) вектор напруженості електростатичного поля в будь-якій точці направлений по дотичній до силової лінії і співпадає з нею за напрямом в однорідному електростатичному полі;

4) вектор напруженості електростатичного поля точкового заряду має радіальний напрям.

11. В музейній практиці часто виникає потреба читати древні писання, настільки старі, що вони ламаються за найменшої спроби розділити їх один від одного. Як за допомогою електрики розв'язати це завдання?

1) помістити в однорідне електростатичне поле;

2) надати їм однойменного заряду;

3) надати різнойменного заряду;

4) помістити в електромагнітне поле.

12. В однорідному електричному полі рухається електрон з прискоренням $3,2 \cdot 10^{13} \text{ м/с}^2$. Визначте напруженість поля. Маса електрона $9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$, заряд електрона $-1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$:

- 1) 182 В/м;
- 2) 45,5 В/м;
- 3) 18,2 В/м;
- 4) 0,53 В/м.

13. Яка з наведених формул визначає роботу з переміщення заряду в електричному полі?

- 1) $\frac{q}{2}$;
- 2) $\frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r}$;
- 3) $\frac{q_1 q_2}{4r}$;
- 4) $q(\varphi_1 - \varphi_2)$.

Лабораторна робота № 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ПОСЛІДОВНОГО І ПАРАЛЕЛЬНОГО З'ЄДНАННЯ РЕЗИСТОРІВ

Мета роботи

Вивчити закони послідовного і паралельного з'єднання резисторів та перевірити закон Ома для постійного струму.

Прилади і матеріали

Комплект резисторів з різними опорами, джерело живлення постійного струму, з'єднувальні проводи, амперметр, вольтметр, лампа розжарення, вимикач.

Теоретичні відомості

Електричним струмом називається спрямований рух електричних зарядів. За напрям струму приймають напрям руху позитивних зарядів.

В загальному випадку кількісна міра електричного струму (сила струму) I – скалярна фізична величина, що дорівнює відношенню заряду dq , що переноситься через поперечний переріз провідника до інтервалу часу dt :

$$I = \frac{dq}{dt} . \quad (1)$$

Струм, сила і напрям якого не змінюється з часом, називається *постійним*. Зрозуміло, що для постійного струму:

$$I = \frac{q}{t} , \quad (2)$$

де q – заряд, що пройшов через поперечний переріз провідника за час t .

Сила струму через одиницю площі поперечного перерізу провідника називається густиною струму:

$$j = \frac{I}{S}, \quad (3)$$

де S – площа поперечного перерізу провідника.

Для існування постійного струму необхідний пристрій здатний створювати і підтримувати різницю потенціалів на ділянці кола за рахунок роботи сил неелектростатичного походження. Такі пристрої називаються джерелами постійного струму.

Електричною напругою на ділянці кола називається робота сторонніх та електричних сил по переміщенню одиничного позитивного заряду вздовж цієї ділянки.

Для однорідної ділянки кола (яка не містить електрорушійної сили) закон Ома формулюється так: сила струму в провіднику прямо пропорційна до прикладеної напруги і обернено пропорційна до електричного опору провідника. Аналітично це запишеться так:

$$I = \frac{U}{R}. \quad (4)$$

Ділянка кола, яка має джерело струму, називається неоднорідною. Закон Ома для неї – узагальнений закон Ома такий:

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon_{12}}{R}, \quad (5)$$

де ε_{12} – сума електрорушійних сил, що містяться на даній ділянці кола, φ_{12} – різниця потенціалів між точками, що визначають ділянку кола.

Закон Ома для замкненого електричного кола (рис. 1):

$$I = \frac{\varepsilon}{r + R}, \quad (6)$$

де R – зовнішній опір кола, r – внутрішній опір джерела.

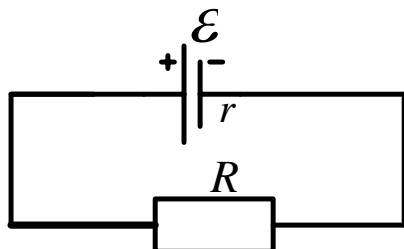


Рисунок 1. Замкнене електричне коло

Електричний опір провідника залежить від його розмірів та від матеріалу з якого він виготовлений:

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (7)$$

де l – довжина провідника, S – площа поперечного перерізу провідника, ρ – питомий електричний опір.

Підставивши (7) у закон Ома для ділянки кола (4), отримаємо:

$$I = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{US}{l}, \quad (8)$$

або:

$$\frac{I}{S} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{U}{l}. \quad (9)$$

Якщо врахувати, що питома електропровідність є величиною обернено пропорційною до питомого опору:

$$\sigma = \frac{1}{\rho}, \quad (10)$$

то, підставивши (10) в (9), отримаємо:

$$\frac{I}{S} = \sigma \cdot \frac{U}{l}, \quad (11)$$

або:

$$j = \sigma \cdot E, \quad (12)$$

де E – напруженість електричного поля у провіднику. Рівняння (12) – закон Ома у диференціальній формі. На рис. 2 показано послідовне з’єднання провідників.

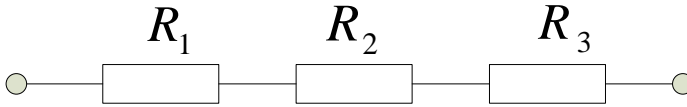


Рисунок 2. Послідовне з’єднання провідників

У випадку послідовного з’єднання провідників струм, опір та напруга визначаються так:

$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n, \quad (13)$$

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n = \sum_{i=1}^n R_i, \quad (14)$$

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n = \sum_{i=1}^n U_i. \quad (15)$$

Паралельне з’єднання провідників показано на рис. 3.

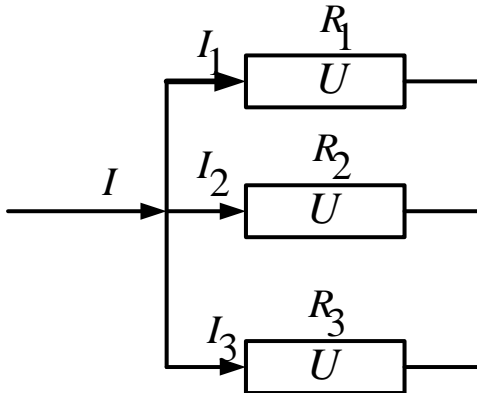


Рисунок 3. Паралельне з’єднання провідників

У випадку паралельного з’єднання провідників струм, опір та напруга визначаються так:

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n = \sum_{i=1}^n I_i, \quad (16)$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_n}, \quad (17)$$

$$U_1 = U_2 = \dots = U_n. \quad (18)$$

Порядок виконання роботи

Послідовне з'єднання резисторів

1. Скласти електричне коло згідно з рис.4.

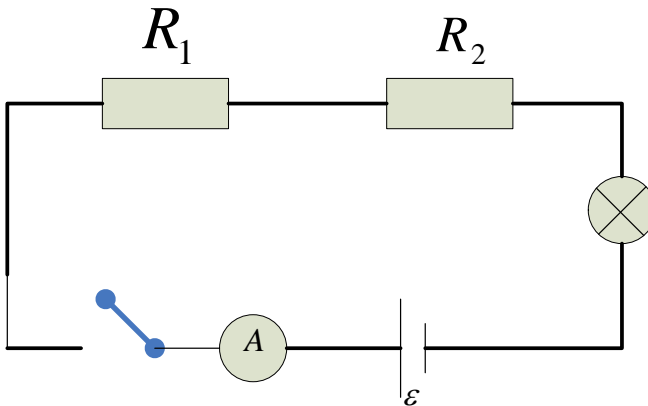


Рисунок 4. Електрична схема для вивчення послідовного з'єднання резисторів

2. Виміряти силу струму в колі I_a за допомогою амперметра. Отримане значення записати в таблицю.

3. За допомогою вольтметра виміряти спад напруги $U_{1експ.}$ і $U_{2експ.}$ на резисторах R_1 і R_2 . Обчислити напругу в колі $U_{експ.}$ і записати в таблицю.

4. Теоретично обрахувати спади напруг $U_{1теор.}$ і $U_{2теор.}$ на резисторах, використовуючи формулу (4). Порівняти, теоретично отримані, значення напруг з експериментальними. Обчислити спад напруги в колі $U_{теор.}$ і записати в таблицю.

5. Обчислити похибку вимірювання ΔU за формулою:

$$\Delta U = |U_{теор.} - U_{експ.}|. \quad (19)$$

6. Отримане значення ΔU записати в таблицю.

Паралельне з'єднання резисторів

1. Скласти електричне коло згідно з рис.4.

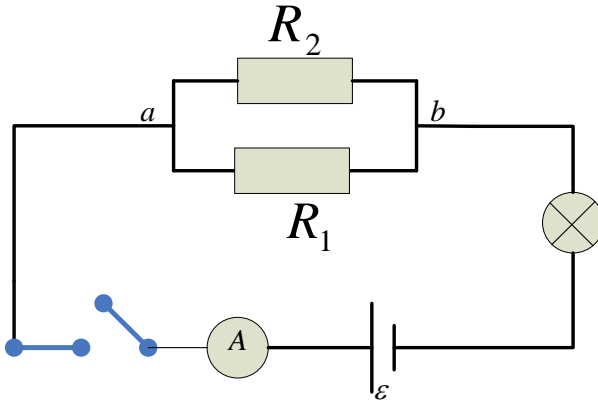


Рисунок 4. Електрична схема для вивчення паралельного з'єднання резисторів

2. Виміряти силу електричного струму I_a у колі. Отримане значення записати в таблицю.

3. Виміряти спад напруги U_{ab} між точками a і b . Отримане значення записати в таблицю.

4. За отриманими значеннями I_a , U_{ab} і формулою (4) порахувати повний опір $R_{експ.}$. Отримане значення записати в таблицю.

5. Знаючи опори резисторів R_1 і R_2 , теоретично обчислити повний опір $R_{теор.}$ кола. Отримане значення занести в таблицю.

6. Обчислити похибку вимірювання ΔR за формулою:

$$\Delta R = |R_{теор.} - R_{експ.}|. \quad (20)$$

7. Отримане значення ΔR записати в таблицю.

Таблиці результатів вимірювань та обчислень

Послідовне з'єднання							
I_a	$U_{1експ.}$	$U_{2експ.}$	$U_{експ.}$	$U_{1теор.}$	$U_{2теор.}$	$U_{теор.}$	ΔU
A	B	B	B	B	B	B	B
Паралельне з'єднання							
I_a	U_{ab}	$R_{експ.}$	$R_{теор.}$	ΔR			
A	B	$Ом$	$Ом$	$Ом$			

Контрольні питання для допуску до виконання лабораторної роботи

1. Дати визначення постійного електричного струму.
2. Записати закон Ома для ділянки кола.
3. Дати визначення напруги.
4. Сформулювати закон Ома в диференціальній формі.
5. Дати визначення електричного опору.
6. Сформулювати закон Ома для неоднорідної ділянки кола.
7. Як визначаються струм, опір та напруга у випадку послідовного з'єднання резисторів.
8. Як визначаються струм, опір та напруга у випадку паралельного з'єднання резисторів.
9. Сформулювати закон Ома для повного кола.
10. Як визначається густина струму?

Тестові завдання для захисту лабораторної роботи

1. Електричний струм – це:
 - 1) напрямлений рух електронів;
 - 2) напрямлений рух нейтронів;
 - 3) напрямлений рух позитивно заряджених частинок;
 - 4) рух незаряджених частинок.
2. За напрям електричного струму вибирається напрям руху:
 - 1) позитивно заряджених частинок;

- 2) нуклонів;
- 3) електронів;
- 4) нейтронів.

3. Кількісною характеристикою електричного струму є:

- 1) кількість електричного заряду, що проходить через поперечний переріз провідника за одиницю часу;
- 2) густина заряду, що проходить за одиницю часу;
- 3) швидкість проходження електричного заряду через поверхню;
- 4) густина заряду.

4. Постійним називається струм:

- 1) величина якого не змінюється з часом;
- 2) густина якого не змінюється з часом;
- 3) величина і напрям якого не змінюються з часом;
- 4) напрям якого не змінюється з часом.

5. Густина електричного струму – це:

- 1) скалярна величина, що дорівнює струму, який проходить через одиницю площі поперечного перерізу;
- 2) векторна величина, напрям якої співпадає з напрямом руху позитивно заряджених носіїв;
- 3) векторна величина, напрям якої співпадає з напрямом руху електронів;
- 4) скалярна величина, що дорівнює струму через провідник за одиницю часу.

6. Закон Ома для однорідної ділянки кола:

- 1) $I = \frac{\mathcal{E}}{R}$;
- 2) $I = \frac{U}{R}$;

$$3) I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R};$$

$$4) I = \frac{\varepsilon + (\varphi_1 - \varphi_2)}{R}.$$

7. Закон Ома для замкненого кола:

$$1) R = \frac{U}{I};$$

$$2) \rho = \frac{RS}{l};$$

$$3) \rho = \frac{1}{\sigma};$$

$$4) I = \frac{\varepsilon}{R + r}.$$

8. Закон Ома для неоднорідної ділянки кола (узагальнений закон Ома):

$$1) I = \frac{\varepsilon}{R};$$

$$2) I = \frac{U}{R};$$

$$3) J = \sigma E;$$

$$4) I = \frac{\varepsilon + (\varphi_1 - \varphi_2)}{R}.$$

9. Питомий опір визначається за співвідношенням:

$$1) R = \frac{U}{I};$$

$$2) \rho = \frac{RS}{l};$$

$$3) \rho = \frac{1}{\sigma};$$

$$4) R = \frac{U + \varepsilon}{I}.$$

10. Одиницею питомого опору є:

- 1) Ом/м;
- 2) Ом;
- 3) Ом·м;
- 4) Ом⁻¹.

11. Електропровідність – це:

- 1) величина обернено пропорційна до сили струму;
- 2) величина обернено пропорційна до опору;
- 3) величина обернено пропорційна до питомої провідності;
- 4) величина обернено пропорційна до питомого опору.

12. Опір провідника залежить від:

- 1) сили струму в колі;
- 2) різниці потенціалів на кінцях провідника;
- 3) геометричних розмірів і матеріалу провідника;
- 4) напруги.

13. Вкажіть відповідь, у якій одиниці густини струму, різниці потенціалів, питомого опору, провідності і сили струму розміщені у відповідній послідовності:

- 1) А; В; Ом; Ом⁻¹; А;
- 2) А; В; Ом; м; Ом/м; А;
- 3) А/м²; В; Ом·м; Ом⁻¹; м⁻¹; А;
- 4) А/м²; В; Ом·м; Ом⁻¹; А.

14. Закон Ома в диференціальній формі:

$$1) I = \frac{\varepsilon}{R};$$

$$2) I = \frac{U}{R};$$

$$3) J = \sigma E;$$

$$4) J = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R}.$$

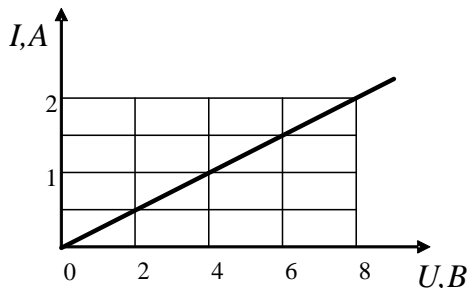
15. Як зміниться напруга на ділянці кола, якщо за зменшення опору в 2 рази сила струму збільшилася в 3 рази:

- 1) збільшиться в 6 разів;
- 2) зменшиться в 3 рази;
- 3) збільшиться в 1,5 разів;
- 4) збільшиться в 6 разів.

16. Як необхідно змінити опір ділянки кола, щоб при зменшенні напруги в 2 рази сила струму збільшилася в 2 рази:

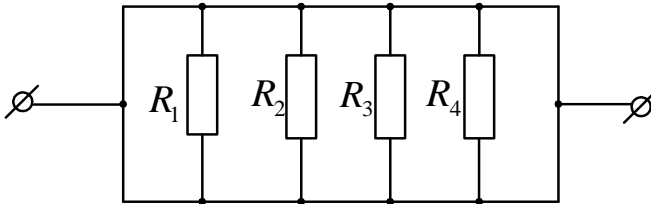
- 1) збільшиться в 4 разів;
- 2) зменшиться в 2 рази;
- 3) не зміниться;
- 4) зменшиться в 4 рази.

17. На рисунку наведено графік залежності сили струму від напруги на ділянці кола. Визначити опір цієї ділянки.



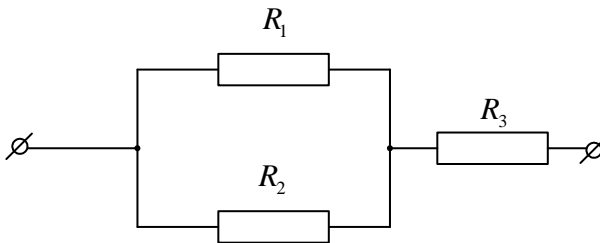
- 1) 8 Ом;
- 2) 4 Ом;
- 3) 2 Ом;
- 4) 16 Ом.

18. Визначити загальний опір ділянки електричного кола, якщо $R_1=R_3=1$ Ом, $R_2=R_4=2$ Ом.



- 1) 9,0 Ом;
- 2) 6,0 Ом;
- 3) 0,33 Ом;
- 4) 10,0 Ом.

19. Визначити загальний опір ділянки електричного кола, якщо $R_1=1$ Ом, $R_2=3$ Ом, $R_3=5$ Ом.



- 1) 8,0 Ом;
- 2) 5,75 Ом;
- 3) 2,2 Ом;
- 4) 29,0 Ом.

20. Електричне коло складається із джерела струму з внутрішнім опором 3 Ом і провідника опором 1 Ом. Сила струму в колі 3 А. Яка електрорушійна сила джерела струму?

- 1) 18 В;
- 2) 6 В;

- 3) 12 В;
- 4) 2 В.

21. Знайти спад напруги на мідному провіднику довжиною 500 м і діаметром 2 мм, якщо струм у ньому 2 А. Питомий опір міді становить 0,017 мкОм·м:

- 1) 5,4 В;
- 2) 6 В;
- 3) 2 В;
- 4) 8,5 В.

22. Яка кількість електронів пройде через поперечний переріз провідника за 8 с, якщо сила струму дорівнює 10 А? Заряд електрона $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл:

- 1) $5 \cdot 10^{22}$;
- 2) $5 \cdot 10^{20}$;
- 3) $8 \cdot 10^{20}$;
- 4) $4 \cdot 10^{20}$.

23. Який заряд пройде через поперечний переріз провідника за час від 1 до 3 с, якщо часова залежність сили струму у провіднику така: $I=4+2t$ (I – в амперах, t – в секундах)?

- 1) 6 Кл;
- 2) 16 Кл;
- 3) 26 Кл;
- 4) 12 Кл.

24. Амперметр, опір якого 4 Ом, зашунтований опором 2 Ом. Сила струму, яку показує амперметр, 8 А. Чому дорівнює сила струму у колі?

- 1) 24 А;
- 2) 30 А;
- 3) 48 А;
- 4) 8 А.

Лабораторна робота № 3 ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА КОРИСНОЇ ДІЇ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ

Мета роботи

Вивчити один з методів визначення коефіцієнта корисної дії електричного кола.

Прилади і матеріали

Гальванічний елемент або батарея гальванічних елементів; амперметр лабораторний; вольтметр лабораторний; реостат повзунковий лабораторний; вимикач; комплект з'єднувальних проводів.

Теоретичні відомості

Згідно закону Ома для ділянки кола та закону Ома для повного кола, напруга на зовнішньому опорі прямо пропорційна силі струму в ньому:

$$U = IR = \varepsilon - Ir, \quad (1)$$

де ε – електрорушійна сила джерела, I – сила струму, r – внутрішній опір джерела, R – зовнішній опір, U – напруга на зовнішньому опорі.

Графік цієї залежності зображено на рис. 1.

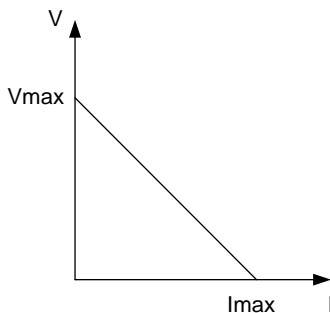


Рисунок 1. Залежність напруги від струму

Як видно з рис.1, при силі струму $I=0$, напруга максимальна і дорівнює електрорушійній силі джерела:

$$U_{\max} = \varepsilon . \quad (2)$$

Якщо ж сила струму дорівнює силі струму короткого замикання, то напруга на зовнішній частині кола дорівнює нулю:

$$I_{\text{к.з.}} = \frac{\varepsilon}{r} . \quad (3)$$

Знайшовши за графіком силу струму короткого замикання, можна обчислити внутрішній опір джерела струму:

$$r = \frac{\varepsilon}{I_{\text{к.з.}}} = \frac{\varepsilon}{I_{\max}} . \quad (4)$$

Потужність, яка виділяється в зовнішній частині кола, визначається так:

$$P = I^2 R , \quad (5)$$

а сила струму так:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r} . \quad (6)$$

Підставивши (6) в (5), отримаємо:

$$P = \frac{\varepsilon^2 R}{(R + r)^2} . \quad (7)$$

Коефіцієнт корисної дії кола – це відношення корисної роботи до затраченої:

$$\eta = \frac{A_{\text{кор.}}}{A_{\text{зат.}}} , \quad (8)$$

де корисна робота дорівнює роботі струму на зовнішньому опорі, а затрачена робота дорівнює роботі джерела струму:

$$A_{\text{кор.}} = UI\Delta t , \quad (9)$$

$$A_{\text{затр.}} = \varepsilon I\Delta t . \quad (10)$$

Підставивши (9) і (10) в (8), отримаємо:

$$\eta = \frac{UI\Delta t}{\varepsilon I\Delta t} = \frac{U}{\varepsilon} . \quad (11)$$

Оскільки:

$$U = IR, \quad (12)$$

$$\varepsilon = I(R + r), \quad (13)$$

то

$$\eta = \frac{R}{R + r} . \quad (14)$$

Порядок виконання роботи

1. Скласти електричне коло за схемою на рис.1.

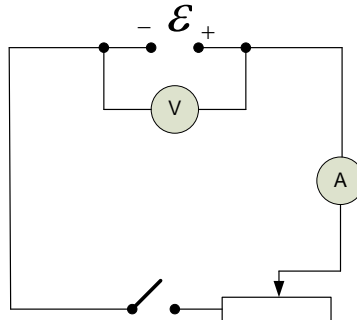


Рисунок 1. Робоча схема для визначення коефіцієнта корисної дії електричного кола

2. Замкнути вимикач і, пересуваючи повзунок реостата, встановити максимальну силу струму, на яку розрахований реостат і яку дозволяє виміряти амперметр.

3. Збільшуючи через певні проміжки опір реостата (їх має бути не менше шести), зняти покази амперметра і вольтметра та занести в таблицю.

4. Побудувати графік залежності напруги на зовнішньому опорі від сили струму в ньому.

5. Знайти за графіком силу струму короткого замикання.

6. Обчислити внутрішній опір джерела за формулою (4).

7. За законом Ома для ділянки кола обчислити для кожного випадку вимірювань зовнішній опір.

8. За формулою (7) обчислити потужність електричного кола.

9. За формулою (14) обчислити коефіцієнт корисної дії електричного кола.

10. Результати занести у таблицю.

Таблиця результатів вимірювань та обчислень

<i>№ n/n</i>	<i>I, A</i>	<i>U, B</i>	<i>ε, B</i>	<i>I_{max}, A</i>	<i>r, Ом</i>	<i>R, Ом</i>	<i>P, Вт</i>	<i>η</i>
1								
2								
3								
4								
5								
6								

11. Побудувати графік залежності потужності та коефіцієнта корисної дії зовнішнього опору.

Контрольні питання для допуску до виконання лабораторної роботи

1. Записати закон Ома для ділянки кола.
2. Записати закон Ома для повного кола.
3. Сформулювати закон Джоуля-Ленца.
4. Як залежить кількість теплоти, що виділяється на провіднику від часу проходження по ньому струму?
5. Як залежить кількість теплоти, що виділяється на провіднику від величини сили струму, що проходить по ньому?
6. Як визначається струм короткого замикання?
7. Як визначається потужність струму?
8. Як залежить потужність струму від напруги, прикладеної до провідника?

9. Два провідники з'єднали спочатку послідовно, а потім паралельно. У якому випадку при проходженні однакового струму потужність буде більшою? Поясніть.

10. В яких електричних пристроях використовується тепла дія струму?

Тестові завдання для захисту лабораторної роботи

1. Кількість теплоти, що виділяється у провіднику при проходженні електричного струму визначається формулою:

- 1) $Q = UI$;
- 2) $Q = UIt$;
- 3) $Q = URt$;
- 4) $Q = IRt$.

2. Потужність електричного струму визначається за формулою:

- 1) $N = UIt$;
- 2) $N = UI^2t$;
- 3) $N = UI$;
- 4) $N = RI$.

3. Електричне коло складається із джерела струму з внутрішнім опором 3 Ом і провідника опором 1 Ом. Сила струму в колі 3 А. Яка електрорушійна сила джерела струму?

- 1) 18 В;
- 2) 6 В;
- 3) 12 В;
- 4) 2 В.

4. При короткому замиканні джерела напруга на клеммах дорівнює 20 В, в сила стуму – 10 А. Обчислити внутрішній опір джерела:

- 1) 0, 2 Ом;
- 2) 0,5 Ом;
- 3) 2 Ом;
- 4) 3 Ом.

5. Сила струму в колі, зовнішній опір якого 30 Ом, становить 1,2 А. Визначити електрорушійну силу джерела, якщо його внутрішній опір 0,2 Ом:

- 1) 36,3 В;
- 2) 10,5 В;
- 3) 34 В;
- 4) 360 В.

6. Визначити роботу електричного струму за 1 хвилину, якщо сила струму становить 0,2 А, а напруга – 6 В:

- 1) 72 Дж;
- 2) 1, 2 Дж;
- 3) 12 Дж;
- 4) 7,2 Дж.

7. Визначити, скільки електроенергії витрачається за 2 робочі дні, якщо щоденно електродвигун працює по 8 год. за напруги 220 В та сили струму 10 А:

- 1) 12, 7 МДж;
- 2) 127 МДж;
- 3) 1278 МДж;
- 4) 1,27 МДж.

8. У мережу ввімкнена електроплитка потужністю 180 Вт. Визначити кількість теплоти, що виділяється в плитці за 5 хвилин:

- 1) 54 кДж;
- 2) 198 кДж;
- 3) 1,8 Мдж;
- 4) 0,18 МДж.

9. Потужність електропаяльника становить 400 Вт, а опір 121 Ом. Визначити напругу, при якій працює паяльник:

- 1) 110 В;
- 2) 220 В;
- 3) 127 В;

4) 484 В.

10. Визначити потужність електрочайника, якщо за напруги 220 В за 5 хвилин через його спіраль проходить заряд 520 Кл:

1) 381 Вт;

2) 220 Вт;

3) 425 Вт;

4) 678 Вт.

11. Обчислити кількість теплоти, яка виділяється за 1 хвилину у провіднику з опором 1 кОм за сили струму 0,1 А.

1) 6 кДж;

2) 600 кДж;

3) 60 Дж;

4) 6 Дж.

Лабораторна робота № 4
ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ПОТУЖНОСТІ, ЩО
СПОЖИВАЄТЬСЯ ЛАМПОЮ РОЗЖАРЮВАННЯ, ВІД
НАПРУГИ НА ЇЇ КЛЕМАХ

Мета роботи

Обчислити потужність, що споживається лампою розжарювання, опір і температуру нитки розжарювання; встановити залежність потужності, що споживається лампою розжарювання, від напруги на її клеммах.

Прилади і матеріали

Електрична лампа, джерело струм, реостат повзунковий, амперметр, вольтметр, омметр, з'єднувальні провідники.

Теоретичні відомості

Робота струму є мірою перетворення енергії електричного поля в інші види енергії. При проходженні електричного струму через провідник відбувається перетворення енергії електричного поля в теплову енергію. Це відбувається внаслідок того, що вільні електрони під час направленої переміщення зіштовхуються з позитивно зарядженими іонами, які знаходяться у вузлах кристалічної ґратки, передаючи їм частину своєї кінетичної енергії. Такі взаємодії супроводжуються збільшенням амплітуди хаотичних коливань іонів ґратки в результаті чого зростає внутрішня енергія ділянки провідника, що в свою чергу призводить до зростання її температури. Різниця температур провідника і оточуючого середовища призводить до виділення енергії (теплоти) в зовнішнє середовище. Втрачена енергія носіїв струму неперервно поновлюється за рахунок роботи сил стаціонарного електричного поля. Величина, що дорівнює відношенню роботи струму до часу, за який вона здійснюється, називається потужністю:

$$P = \frac{A}{t}. \quad (1)$$

Одиниця вимірювання потужності – Ват (Вт).

Оскільки, згідно з законом Джоуля-Ленца:

$$A = \frac{U^2 t}{R} = UIt = I^2 R t, \quad (2)$$

то, потужність визначається так:

$$P = \frac{U^2}{R} = UI = I^2 R. \quad (3)$$

З формули (3) видно, що потужність залежить від напруги на ділянці електричного кола та її опору. Цю залежність досліджуємо експериментально.

Порядок виконання роботи

1. Визначити ціну поділки шкали вимірювальних приладів: омметра, вольтметра, амперметра.

2. Омметром виміряти опір нитки лампи розжарювання за кімнатної температури.

3. Скласти електричне коло за схемою (рис. 1).

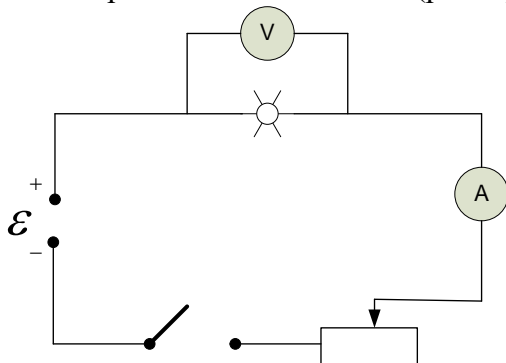


Рисунок 1. Електрична схема для виконання лабораторної роботи

4. За допомогою реостата встановити найменше значення напруги на лампі розжарювання.

5. Зняти покази амперметра і вольтметра.

6. Поступово переміщуючи повзунок реостата (змінюючи опір кола) шість разів зняти покази амперметра і вольтметра.

7. Для кожної пари значень напруги і струму обчислити потужність за формулою (3), що споживається лампою розжарювання.

8. За формулою (4) для кожної пари значень напруги і струму обчислити опір нитки розжарювання лампочки:

$$R = \frac{U}{I}. \quad (4)$$

9. За формулою (5) обчислити температуру лампочки для кожного значення опору:

$$T = \frac{R - R_0}{R_0 \alpha}, \quad (5)$$

де α – температурний коефіцієнт опору вольфраму ($\alpha=4,6 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$), R_0 – опір лампи розжарювання за кімнатної температури.

10. Результати вимірювань та обчислень занести в таблицю.

Таблиця результатів вимірювань та обчислень

№ n/n	U , В	I , А	P , Вт	R , Ом	T , К
1					
2					
3					
4					
5					
6					

11. На міліметровому папері побудувати графіки залежностей:

- потужності, що споживається лампою розжарювання, від напруги на її клеммах;
- опору нитки розжарювання лампи від її температури.

Контрольні питання для допуску до виконання лабораторної роботи

- Дати визначення потужності постійного електричного струму.
- Як визначається робота електричного струму?
- Як потужність електричного струму залежить від напруги, прикладеної до провідника?
- Як потужність електричного струму залежить від струму, що проходить через провідник?
- Сформулювати закон Джоуля-Ленца.
- Як зміниться потужність струму, якщо струм збільшити у 4 рази, а напругу у 2 рази?
- Чи зміниться потужність електричного струму, якщо два провідники, що з'єднані послідовно, з'єднати паралельно?

8. В яких одиницях вимірюється потужність електричного струму?

9. Які одиниці вимірювання роботи електричного струму?

10. Які одиниці вимірювання коефіцієнта корисної дії електричного струму?

Тестові завдання для захисту лабораторної роботи

1. Дві лампи, з'єднані послідовно, розраховані на однакову напругу і мають номінальний опір 40 Вт і 80 Вт. Знайти відношення кількості теплоти, що виділяється у першій лампі до кількості теплоти, що виділяється у другій лампі, за однаковий проміжок часу:

- 1) 2;
- 2) 0,5;
- 3) 4;
- 4) 5.

2. Дві лампи, з'єднані паралельно, розраховані на однакову напругу і мають номінальний опір 40 Вт і 80 Вт. Знайти відношення кількості теплоти, що виділяється у першій лампі до кількості теплоти, що виділяється у другій лампі, за однаковий проміжок часу:

- 1) 2;
- 2) 4;
- 3) 0,5;
- 4) 0,25.

3. Дві електричні лампи, на яких написано «220 В, 10 Вт» і «220 В, 120 Вт», з'єднали послідовно і підключили до мережі з напругою 220 В. Визначити загальну потужність струму в лампах:

- 1) 9,23 Вт;
- 2) 130 Вт;
- 3) 110 Вт;
- 4) 60 Вт.

4. Електричний нагрівник має дві обмотки. У випадку, коли ввімкнена одна з обмоток, нагрівник нагріває воду до кипіння за 15 хвилин, а у випадку вмикання іншої – за 30 хвилин. За скільки хвилин нагрівник нагріє до кипіння ту саму кількість води, якщо одночасно ввімкнути обидві обмотки послідовно?

- 1) 45 хвилин;
- 2) 20 хвилин;
- 3) 25 хвилин;
- 4) 10 хвилин.

5. Два резистори опором 3 Ом кожний з'єднали спочатку послідовно, а потім паралельно. Знайти відношення кількості теплоти, що виділяється у першому випадку до кількості теплоти, що виділяється у другому випадку, за однаковий проміжок часу:

- 1) 0,5;
- 2) 2;
- 3) 4;
- 4) 0,25.

6. Закон Джоуля-Ленца:

- 1) $Q = \frac{U^2}{R}$;
- 2) $Q = q^2 R$;
- 3) $Q = qU$;
- 4) $Q = qUt$.

7. Електроплитку, яка розрахована на споживання потужності 0,8 Вт, приєднано до мережі з напругою 120 В провідниками, опір яких становить 4 Ом. Визначити опір електроплитки, якщо її фактична потужність збігається з номінальною:

- 1) 20 Ом;
- 2) 14 Ом;
- 3) 30 Ом;
- 4) 10 Ом.

8. Визначити силу струму, який споживає двигун підіймального крану, якщо вантаж масою 1 тонна кран піднімає на висоту 19 м за 50 с:

- 1) 1 А;
- 2) 10 А;
- 3) 2 А;
- 4) 5 А.

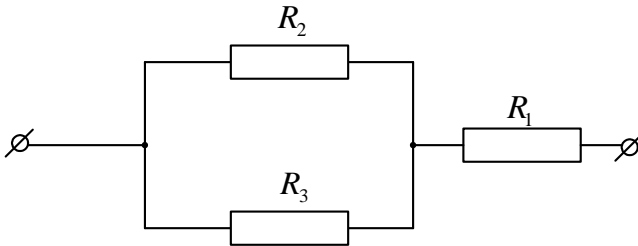
9. Електрична лампа, що живиться від акумулятора напругою 12 В, має потужність 24 Вт. Обчислити кількість електронів, що проходять через нитку розжарення лампи щосекундно:

- 1) $1,25 \cdot 10^{19}$;
- 2) $1,5 \cdot 10^{19}$;
- 3) $1,25 \cdot 10^{-19}$;
- 4) $1,25 \cdot 10^{15}$.

10. Дві лампи розжарення розраховані на однакову напругу 220 В, але мають різні потужності: 25 Вт і 100 Вт. У скільки разів більше виділяється теплоти на другій лампі за однакові проміжки часу?

- 1) 4;
- 2) 2;
- 3) 2,5;
- 4) 1,5.

11. Три резистори, опори яких становлять $R_1=R_2=2$ Ом; $R_3=4$ Ом, з'єднані так, як показано на рисунку. Сила струму, що протікає через резистор R_1 становить 3 А. Напруга на всій ділянці кола 12 В. Знайти кількість теплоти, яка виділяється на резисторі R_2 протягом 2 хвилин:



- 1) 960 Дж;
- 2) 2160 Дж;
- 3) 900 Дж;
- 4) 1960 Дж.

12. Скільки енергії споживає електрична плитка щосекунди за напруги 220 В, якщо сила струму в її спіралі становить 6 А?

- 1) 960 Дж;
- 2) 1320 Дж;
- 3) 100 Дж;
- 4) 1000 Дж.

13. Яку роботу щосекунди виконує двигун електродрелі, якщо за напруги 220 В сила струму становить 4 А?

- 1) 880 Дж;
- 2) 220 Дж;
- 3) 55 Дж;
- 4) 180 Дж.

14. Яку роботу виконує струм в електродвигуні підйомника протягом 20 с, якщо за напруги 380 В сила струму у двигуні становить 5 А?

- 1) 900 Дж;
- 2) 100 Дж;
- 3) 3800 Дж;
- 4) 38000 Дж.

15. Скільки енергії споживає електричний чайник протягом 5 хвилин, якщо сила струму в ньому 1,5 А? Чайник підключено до мережі 220 В:

- 1) 100000 Дж;
- 2) 99000 Дж;
- 3) 9000 Дж;
- 4) 10000 Дж.

16. Яку потужність споживає лампа розжарення, нитка якої має опір 6 Ом. Лампа працює від акумулятора 12 В:

- 1) 24 Вт;
- 2) 72 Вт;
- 3) 12 Вт;
- 4) 48 Вт.

17. На цоколі лампи розжарення написано: «48 В, 96 Вт». Яка сила струму повинна протікати через нитку розжарення лампи, щоб вона працювала за номінальної потужності?

- 1) 8 А;
- 2) 4 А;
- 3) 2 А;
- 4) 16 А.

Лабораторна робота № 5 ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО КОЕФІЦІЄНТА ОПОРУ МІДІ

Мета роботи

Встановити залежність опору металів від температури і обчислити значення температурного коефіцієнта опору міді.

Прилади і матеріали

Прилад для визначення температурного коефіцієнта опору, омметр, термометр лабораторний, склянка металева, електроплитка, з'єднувальні провідники.

Теоретичні відомості

Провідність металів зумовлена вільними електронами, які під дією прикладеного електричного поля переміщуються вздовж провідника поміж іонами, що знаходяться у вузлах кристалічної ґратки. При взаємодії вільних електронів з іонами частина енергії електронів передається іонам. Опір металевого провідника зумовлюється переважно зіткненнями вільних електронів з іонами кристалічної ґратки. З підвищенням температури ймовірність таких зіткнень зростає внаслідок збільшення амплітуди хаотичних коливань іонів. Отже, з підвищенням температури опір металевого провідника зростає і виражається лінійною залежністю:

$$R = R_0(1 + \alpha t), \quad (1)$$

де R_0 – опір провідника за температури 0^0C ; R – опір провідника за температури $t^0\text{C}$; α – температурний коефіцієнт опору, який показує, на яку частину від початкового опору при 0^0C (273K) змінюється опір за нагрівання на 1^0C або 1K , тобто відносну зміну опору провідника при зміні його температури.

З рівняння (1):

Температурний коефіцієнт опору α можна обчислити не вимірюючи опір R_0 . Для цього необхідно два рази виміряти опір

$$\alpha = \frac{R - R_0}{R_0 t}. \quad (2)$$

досліджуваного матеріалу R_1 і R_2 при різних температурах t_1 і t_2 :

$$\begin{aligned} R_1 &= R_0(1 + \alpha t_1) \\ R_2 &= R_0(1 + \alpha t_2) \end{aligned} \quad (3)$$

Тоді, розв'язавши систему рівнянь (3) відносно α , одержимо:

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1 t_2 - R_2 t_1}. \quad (4)$$

Опис вимірювального пристрою

Схема пристрою для дослідження температурної залежності опору міді зображена на рис. 1.

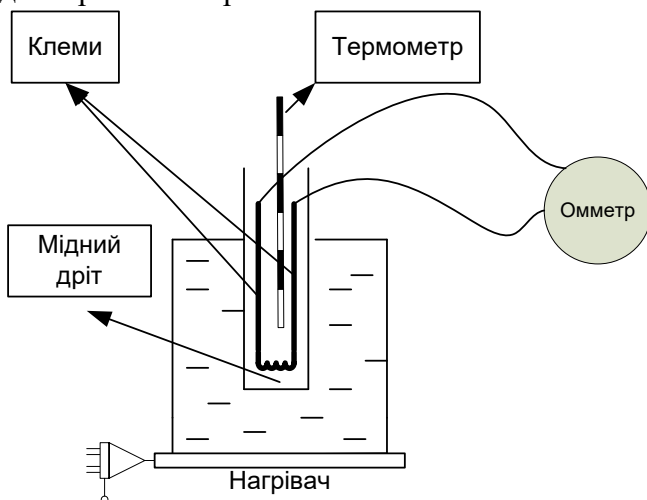


Рисунок 1. Схема пристрою для дослідження температурної залежності опору міді

Установка складається з мідного тонкого дроту, намотаного на картонний каркас, з'єднаний з клемами, що установлені на пластмасовій колодці. Каркас котушки занурено у скляну термостійку пробірку. Пробірка з котушкою вставляється у термостійку посудину так, щоб котушка була у воді. Вода нагрівається за допомогою нагрівача, температура всередині пробірки вимірюється спиртовим термометром. До виводів досліджуваного елемента під'єднується цифровий омметр, за допомогою якого фіксується опір при даній температурі.

Порядок виконання роботи

1. Скласти установку для дослідження температурної залежності опору міді згідно з рис.1.
2. Занурити пробірку з котушкою в склянку так, щоб котушка була у воді.
2. Підготувати омметр для вимірювання опору.
3. Помістити термометр у отвір пробірки. Як тільки температура перестане змінюватися, виміряти опір котушки.
4. Посудину з водою поставити на електроплитку і електроплитку увімкнути в мережу.
5. Через кожні 10^0 С вимірювати значення опору. Результати занести в таблицю.
6. За температури 70^0 С вимкнути нагрівник.
7. Обчислити значення температурного коефіцієнта опору α за формулою (4) для кожної пари значень температури і опору.
8. Знайти середнє значення температурного коефіцієнта опору міді $\alpha_{сеп.}$ і порівняти отриманий результат з табличним значенням температурного коефіцієнта опору міді ($\alpha_T=4,3 \cdot 10^{-3} K^{-1}$). Обчислити відносну похибку за формулою:

$$\varepsilon = \frac{|\alpha_{сеп.} - \alpha_T|}{\alpha_T} 100\% . \quad (5)$$

9. Використовуючи дані експерименту, побудувати графік залежності опору від температури, відкладаючи на осі ординат опір R (Ом), а на осі абсцис температуру t ($^{\circ}\text{C}$).

9. Результати вимірювань і обчислень занести у таблицю.

Таблиця результатів вимірювань та обчислень

№ п/п	t , $^{\circ}\text{C}$	R , Ом	α , $^{\circ}\text{C}$	E , %
1				
2				
3				
5				
6				
7				
Сер.	-	-		

**Контрольні питання для допуску до виконання
лабораторних робіт**

1. Якими носіями зумовлена провідність струму у металі?
2. Яка залежність опору металічного провідника від температури?
3. Яка відмінність між температурною залежністю опору напівпровідника і провідника?
4. Електричний струм у металах зумовлений рухом електронів. Чи зміщуються при цьому в металах інші частинки – іони?
5. Як рухаються електрони у металах за відсутності електричного поля?
6. Яке явище називається надпровідністю?
7. Вольфрамова нитка лампи розжарювання поступово тоншає через випаровування металу. Врешті-решт у найтоншому місці нитка перегорає. Чому лампа зазвичай перегорає в той момент, коли її вмикають?
8. Чому, щойно ми натискаємо вимикач лампи, вона відразу спалахує?

9. Яка одиниця вимірювання температурного коефіцієнта опору в СІ?

10. Які іони розташовані у вузлах кристалічної ґратки металу?

Тестові завдання для захисту лабораторної роботи

1. Як змінюється опір металевого провідника при його нагріванні?

- 1) лінійно збільшується;
- 2) експоненційно збільшується;
- 3) лінійно зменшується;
- 4) експоненційно зменшується.

2. Вкажіть формулу для обчислення температурного коефіцієнта опору металевого провідника:

- 1) $\alpha = \frac{R}{T^2}$;
- 2) $\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_2 T_1 - R_1 T_2}$;
- 3) $\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1 T_1 - R_2 T_2}$;
- 4) $\alpha = \frac{R_2}{R_2 T_1 - R_1 T_2}$.

3. Як змінюється опір металевого провідника зі зміною температури?

- 1) $R = R_0(1 + \alpha t)$;
- 2) $R = R_0 \cdot e^{-\alpha/T}$;
- 3) $R = R_0(1 - \alpha t)$;
- 4) $R = R_0 \cdot e^{\alpha/T^2}$.

4. Який процес відбувається з металевим провідником, якщо його опір зменшився?

- 1) нагрівання;
- 2) охолодження;
- 3) плавлення;
- 4) кристалізація.

5. Для зменшення провідності металу його необхідно:

- 1) нагрівати;
- 2) охолоджувати;
- 3) помістити в розчин;
- 4) освітлювати.

6. До якої температури потрібно нагріти мідний провідник, температура якого 0°C , щоб його опір збільшити вдвічі? Температурний коефіцієнт опору міді становить $4,3 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$.

- 1) 700;
- 2) 778 K;
- 3) 546;
- 4) 346.

7. Вольфрамова спіраль за температури 2800°C має опір 320 Ом. Визначити опір спіралі за температури 25°C . Температурний коефіцієнт опору міді становить $4,5 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$:

- 1) 8,58 Ом;
- 2) 148,58 Ом;
- 3) 48,58 Ом;
- 4) 18,58 Ом.

8. Який вигляд графіка залежності опору металу від температури?

- 1) парабола;
- 2) гіпербола;

- 3) пряма;
- 4) експонента.

9. По мідному провіднику тече струм. Густина струму становить 6 А/мм^2 . Знайти середню швидкість електронів, вважаючи, що на кожний атом міді припадає один вільний електрон:

- 1) $4,4 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}$;
- 2) $4,4 \cdot 10^4 \text{ м/с}$;
- 3) $4 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}$;
- 4) $4 \cdot 10^4 \text{ м/с}$.

10. Залізний дріт за температури 10^0C має опір 13 Ом . Визначити температуру, за якої його опір становить $18,25 \text{ Ом}$, якщо температурний коефіцієнт опору заліза становить $6,5 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$:

- 1) 460 K ;
- 2) 560 ;
- 3) 500 K ;
- 4) 1000 K .

11. У скільки разів зменшиться сила струму, який проходить через платинову пів за нагрівання від 20^0C до 1200^0C , якщо температурний коефіцієнт опору платини становить $3,9 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$?

- 1) зменшиться у $3,15$ разів;
- 2) збільшиться у $3,15$ разів;
- 3) зменшиться у $4,15$ разів;
- 4) зменшиться у 6 разів.

12. Який опір має провідник з алюмінієвого дроту довжиною 80 м і площею поперечного перерізу 2 мм^2 ? Питомий опір алюмінію становить $2,82 \cdot 10^{-3} \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$:

- 1) $1,12 \text{ Ом}$;
- 2) $11,2 \text{ Ом}$;
- 3) 1 Ом ;
- 4) 12 Ом .

13. Визначити опір мідного трамвайного дроту площею поперечного перерізу $0,65 \text{ мм}^2$ і довжиною 5 км. Питомий опір міді становить $0,0175 \cdot 10^{-3} \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$:

- 1) 1,35 Ом;
- 2) 13,5 Ом;
- 3) 1350 Ом;
- 4) 135 Ом.

14. Опір котушки з мідного дроту за температури 22^0 С становить 10,6 Ом. Коли її опустили в рідкий азот, опір зменшився до 0,7 Ом. Знайти температуру рідкого азоту. Температурний коефіцієнт опору міді становить $4,3 \cdot 10^{-3} \text{ К}^{-1}$:

- 1) 19 К;
- 2) - 197 К;
- 3) 197 К;
- 4) -235 К.

Лабораторна робота № 6
ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ТЕМПЕРАТУРНОЇ
ЧУТЛИВОСТІ ТА ТЕМПЕРАТУРНОГО КОЕФІЦІЄНТА
ОПОРУ НАПІВПРОВІДНИКОВОГО ТЕРМОРЕЗИСТОРА

Мета роботи

Ознайомитися з методикою визначення коефіцієнта температурної чутливості B та температурного коефіцієнта опору α терморезисторів різного номіналу.

Прилади і матеріали

Високотемпературна камера НРS-222, вольтметр В7-27А, тест-плата з напаяними терморезисторами.

Теоретичні відомості

Терморезистор (ТР) – резистор, отриманий на основі власного або легованого напівпровідника, основною властивістю якого є суттєва зміна опору при зміні температури. Як відомо, опір напівпровідника визначається за формулою:

$$R_T = \frac{l}{\sigma \cdot S}, \quad (1)$$

де l – довжина, S – площа поперечного перерізу, σ – електропровідність напівпровідника.

Було встановлено, що опір напівпровідника змінюється із зміною температури експоненціально:

$$R = R_0 \cdot e^{\frac{B}{T}}, \quad (2)$$

де B – коефіцієнт температурної чутливості матеріалу напівпровідникового терморезистора, R_0 – опір терморезистора при початковій температурі ($T=298$ К).

Температурні властивості терморезистора описуються температурним коефіцієнтом опору (ТКО) – α , який визначає відносний приріст опору терморезистора за приросту температури:

$$\alpha = \frac{dR/R}{dT} = \frac{1}{R} \cdot \frac{dR}{dT}. \quad (3)$$

Порівнявши (2) і (3), легко показати, що:

$$\alpha = -\frac{B}{T^2}, \quad (4)$$

а опір терморезистора з від'ємним коефіцієнтом опору змінюється за законом:

$$R = R_0 \cdot e^{\frac{B}{T} - \frac{B}{T_0}}, \quad (5)$$

де T_0 – температура навколишнього середовища (298 К);

R_0 – опір терморезистора за температури $T=298$ К,

R – опір терморезистора за температури T .

Прологарифмувавши рівня (5), можна визначити постійну B згідно наступного виразу:

$$B = \frac{T \cdot T_0 \cdot \ln \frac{R_0}{R}}{T - T_0}. \quad (6)$$

Опис вимірювального пристрою

Пристрій для визначення постійної B та α складається з високотемпературної камери HPS-222, в якій розміщена плата з напаяними терморезисторами з різними номінальними значеннями опорів. До виводів терморезисторів під'єднується вольтметр В7-27А (рис.1). Для попередження перегрівання високотемпературної камери встановлюється верхня гранична температура 170° С.

Порядок виконання роботи

1. Скласти схему згідно рис.1.

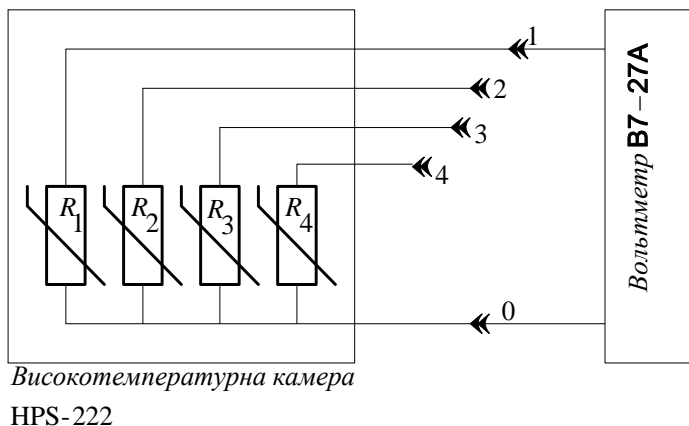


Рисунок 1. Блок-схема для дослідження температурних властивостей терморезистора

2. Стрілку пристрою для запобігання перегріванню високотемпературної камери HPS-222 встановити на позначку 170°C .

3. Під'єднати кабель живлення термокамери до електромережі. Перемикнути тумблери „живлення” і „таймер” відповідно в положення „вкл.” та „пуск”. При цьому повинні засвітитися сигнальні лампочки „живлення” і „вентилятор”.

4. Встановити показник температури термокамери на позначку 25°C . Вольтметром виміряти опори терморезисторів після їх витримки в камері за даної температури протягом 5 хвилин. Аналогічно здійснити виміри в температурному інтервалі $25\text{--}85^{\circ}\text{C}$ ($298\text{--}358\text{ K}$) з температурним інтервалом 10 K . Результати вимірів занести в таблицю.

5. Обчислити значення постійної B за формулою (6) за температур $T_0=298\text{ K}$ і $T=358\text{ K}$.

6. Обчислити значення ТКО за $T=298\text{ K}$ за формулою (4).

7. Побудувати графік залежності опору терморезистора від температури $R=f(T)$.

8. Результати вимірювань і обчислень занести в таблицю.

Таблиця результатів вимірювань та обчислень

TP	Опір TP, Ом							B, К	$\alpha_{298},$ К ⁻¹
	298, К	308, К	318, К	328, К	338, К	348, К	358, К		
R ₁									
R ₂									
R ₃									
R ₄									

Контрольні питання для допуску до виконання лабораторних робіт

1. Дати визначення напівпровідника.
2. Яка залежність опору напівпровідника від температури?
3. Відмінність між температурною залежністю опору напівпровідника і провідника.
4. Що називається терморезистором?
5. Що визначає постійна B ?
6. Додати визначення ТКО.
7. В яких одиницях вимірюється постійна B ?
8. В яких одиницях вимірюється ТКО?
9. Типи напівпровідників.
10. Як змінюється опір напівпровідника при збільшенні температури?

Тестові завдання для захисту лабораторної роботи

1. Як змінюється опір напівпровідника при його нагріванні?
 - 1) лінійно збільшується;
 - 2) експоненційно збільшується;
 - 3) лінійно зменшується;
 - 4) експоненційно зменшується.
2. Вкажіть формулу для обчислення температурного коефіцієнта опору напівпровідника:

- 1) $\alpha = -\frac{B}{T^2}$;
- 2) $\alpha = \frac{\Delta R}{R_2 T_1 - R_1 T_2}$;
- 3) $\alpha = \frac{\Delta l}{l_0 T}$;
- 4) $\alpha = \frac{\Delta R}{R_0 T}$.

3. За яким законом змінюється опір напівпровідникового терморезистора з температурою?

- 1) $R = R_0 \cdot e^{B/T}$;
- 2) $R = R_0 \cdot e^{-B/T}$;
- 3) $R = e^{B/T}$;
- 4) $R = R_0 \cdot e^{B/T^2}$.

4. Який процес відбувається з напівпровідником, якщо його опір зменшився?

- 1) нагрівання;
- 2) охолодження;
- 3) плавлення;
- 4 кристалізація.

5. Щоб зменшити провідність напівпровідника, необхідно його:

- 1) нагрівати;
- 2) охолоджувати;
- 3) помістити в розчин;
- 4) освітлювати.

6. Температурний коефіцієнт опору напівпровідника ...

- 1) додатній;
- 2) від'ємний;
- 3) довільний;
- 4) залежить від матеріалу напівпровідника.

7. Вкажіть розрахункову формулу для обчислення коефіцієнта температурної чутливості напівпровідника:

1) $B = -\alpha T$;

2) $B = \frac{R_1 \ln R_1}{A}$;

3) $B = \frac{R_2 \ln R_2}{A}$;

4) $B = \frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1} \ln \frac{R_1}{R_2}$.

8. Який вигляд графіка залежності опору напівпровідника від температури?

- 1) парабола;
- 2) гіпербола;
- 3) пряма;
- 4) експонента.

9. Напівпровідникові матеріали, опір яких залежить від температури називаються:

- 1) діодами;
- 2) терморезисторами;
- 3) транзисторами;
- 4) фоторезисторами.

10. Який процес відбувається з напівпровідником, якщо його опір зменшився?

- 1) нагрівання;

- 2) охолодження;
- 3) плавлення;
- 4) кристалізація.

11. При нагріванні напівпровідника число вільних електронів:

- 1) зменшується;
- 2) стає;
- 3) збільшується.

12. Щоб збільшити провідність напівпровідника, необхідно його:

- 1) нагрівати;
- 2) охолоджувати;
- 3) помістити в розчин;
- 4) помістити в воду.

13. Порівняйте температури двох напівпровідників, якщо опір першого напівпровідника більший за опір другого ($R_1 > R_2$):

- 1) $T_1 > T_2$;
- 2) $T_1 = T_2$;
- 3) $T_1 = T_2 = 500 \text{ K}$;
- 4) $T_1 < T_2$.

Лабораторна робота № 7 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ ОПОРУ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ РЕЗИСТОРІВ

Мета роботи

Дослідити температурну залежність опору напівпровідникового терморезистора.

Прилади і матеріали

Терморезистори різного номінального значення опору, термометр (в межах 20-100 °С), омметр (тестер), електрична плітка, термостійкий стакан, термостійка паличка.

Теоретичні відомості

Як відомо, електропровідність терморезистора σ визначається рухливістю електронів і дірок μ_n , μ_p та концентрацією носіїв n_i власного напівпровідника:

$$\sigma = q(\mu_n + \mu_p) \cdot n_i. \quad (1)$$

Згідно із законом діючих мас, квадрат концентрації носіїв експоненціально залежить від оберненої температури $1/T$:

$$n_i^2 = N_c \cdot N_v \cdot e^{-W_g/kT}, \quad (2)$$

де N_c – ефективна густина електронних станів у зоні провідності, N_v – ефективна густина електронних станів у валентній зоні, W_g – ширина забороненої зони напівпровідникового матеріалу.

Опір будь-якого провідника визначається так:

$$R_T = \frac{l}{\sigma \cdot S}, \quad (3)$$

де l – довжина, S – площа поперечного перерізу, σ – електропровідність зразка.

Підставляючи (1) і (2) в (3), отримаємо:

$$R_T = \frac{l}{\sigma \cdot S} = \frac{1}{q \cdot S(\mu_n + \mu_p)} \cdot \frac{1}{\sqrt{N_c N_v}} \cdot e^{W_g/2kT} = R_\infty \cdot e^{B/T}, \quad (4)$$

де $R_\infty = \frac{1}{q \cdot S(\mu_n + \mu_p)} \cdot \frac{1}{\sqrt{N_c N_v}}$ є умовним опором напівпровідни-

кового елемента, якого він би досягнув за температури $T = \infty$, якщо б зберіг за цієї температури свою будову та форму.

Залежність (4) справедлива також для випадку легованих напівпровідників, які найчастіше використовуються у практиці.

Графік залежності $R_T(T)$ носить назву статичної температурної характеристики терморезистора. Статистичний опір $R_T(O)$ – відношення падіння напруги U_T на терморезисторі до струму I_T , що протікає через нього у встановленому режимі роботи, можна визначити із співвідношення:

$$R_T = \frac{U_T}{I_T}. \quad (5)$$

На рис. 1 представлена залежність $R_T(T)$ для терморезисторів типу TP-10 з номінальними опороми 10 Ом та 330 Ом.

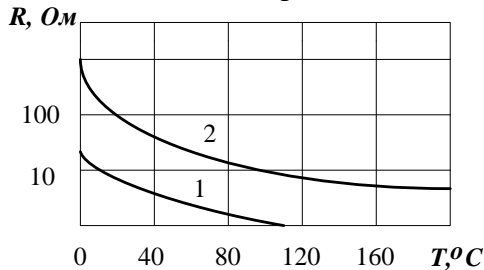


Рисунок 1. Залежність опору R_T від температури T для терморезисторів типу TP-10 з номінальним опором 10 (крива 1) та 330 Ом (крива 2)

Статичний опір завжди додатний і зменшується з віддаленням робочої точки по статичній вольт-амперній характеристиці від початку координат. Він пропорційний тангенсу кута α (рис.2),

утвореного віссю струму та лінією, що сполучає початок координат з робочою точкою Г.

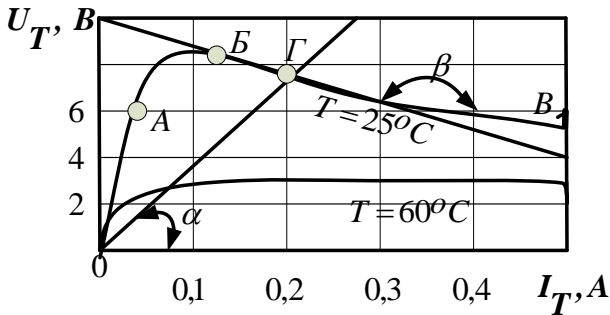


Рисунок 2. Типові вольт-амперні характеристики терморезистора за температур 60 °С і 25 °С

Вся різноманітність відомих варіантів технічного застосування терморезисторів базується на чотирьох основних принципах їх роботи.

До першої групи відносяться ті терморезистори, опір яких змінюється внаслідок зміни температури або інших параметрів навколишнього середовища. В цьому випадку струм, який протікає через терморезистор настільки малий, що практично не може його розігріти і служить лише для вимірювання опору. Робочою ділянкою вольт-амперної характеристики терморезистора вибирають ту її ділянку, на якій з великою точністю виконується закон Ома (ділянка *ОА* на рис.2). До цієї групи відносяться вимірювачі температури, вузли температурної компенсації та ін.

Друга група – терморезистори, опір яких змінюється внаслідок розігріву струмом. В цьому випадку коливання температури навколишнього середовища не мають суттєвого значення. Робочою ділянкою є ділянка вольт-амперної характеристики, де диференціальний опір терморезистора є від’ємним (ділянка *ВВ* на

рис.2). Застосування таких терморезисторів – вузли захисту радіоелектронної апаратури від перевантаження напруги, реле часу, обмежувачі струму та ін.

Третя група об'єднує ознаки двох перших. Терморезистор може бути нагрітий струмом, але тепловий баланс і, отже, опір значною мірою залежать від впливу навколишнього середовища. На цьому базується принцип дії пожежної сигналізації, газоаналізаторів, що використовують виникнення релейного ефекту при певній температурі.

Для приладів четвертої групи характерне нагрівання терморезистора до температур, значно вищих від температури навколишнього середовища, але в цьому випадку їх опір визначається струмом, який протікає через спеціальну електрично ізольовану обмотку. Такі терморезистори прийнято називати терморезисторами з непрямым підігрівом. Вони використовуються як безконтактні змінні резистори.

Загальний вигляд типового дискового терморезистора зображений на рис.3.

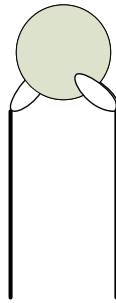


Рисунок 3. Загальний вигляд типового дискового терморезистора

Для виготовлення терморезисторів використовують різноманітні напівпровідникові матеріали. Найчастіше це керамічні композити на основі оксидних систем $3d$ -металів – нікелю, марганцю, кобальту, міді.

Ці матеріали повинні відповідати таким вимогам:

- наявність чисто електронної провідності p - або n -типу (іонна складова приводить до нестабільної роботи терморезистора на постійному струмі внаслідок явищ електролізу);
- можливість змінювати електропровідність і температурний коефіцієнт опору шляхом зміни співвідношення складових компонентів, що дає змогу створювати терморезистори одних і тих же габаритів з різноманітними значеннями номінального опору;
- хімічна стабільність в робочих інтервалах температур і якнайменша чутливість до технологічних забруднень; забезпечення найменшого розкиду по величинах електропровідності та енергії активації для зразків одного і того ж хімічного складу (розробка терморезисторів з малим розкидом електричних параметрів);
- наявність комплексу електричних параметрів, які визначають призначення терморезистора та інтервал їх робочих температур.

Опис вимірювального пристрою

Схема установки для дослідження температурної залежності опору зображена на рис.3. Досліджуваний терморезистор T з нанесеними контактами K занурюється у термостійкий стакан з водою. Вода нагрівається за допомогою нагрівача, температура води вимірюється спиртовим термометром (межі зміни температури від кімнатної до температури кипіння води). До виводів досліджуваного елемента під'єднується цифровий омметр, за допомогою якого фіксується опір при даній температурі.

Порядок виконання роботи

1. Скласти схему згідно з рис.3.

Контрольні питання для допуску до виконання лабораторної роботи

1. Чим визначається електропровідність терморезистора?
2. Як залежить електропровідність терморезистора від рухливості електронів і дірок?
3. Як визначити статичний опір терморезистора?
4. Які матеріали використовують для виготовлення терморезисторів?
5. Від чого залежить електропровідність власного напівпровідника?
6. Як змінюється опір терморезистора з температурою?
7. Що називається умовним опором терморезистора?
8. Які терморезистори називаються терморезисторами з непрямим підгрівом?
9. Яка частина вольт-амперної характеристики застосовуються для терморезисторів, опір яких змінюється внаслідок зміни температури?

Тестові завдання для захисту лабораторної роботи

1. Напівпровідниками називаються тверді тіла, ширина забороненої зони яких:
 - 1) $\leq 1,5$ еВ;
 - 2) ≤ 2 еВ;
 - 3) ≤ 10 еВ;
 - 4) ≤ 15 еВ.

2. Напівпровідники називаються власними, якщо ширина забороненої зони за температури 0 К:
 - 1) $\leq 1,5$ еВ;
 - 2) ≤ 2 еВ;
 - 3) ≤ 1 еВ;
 - 4) ≤ 15 еВ.

3. Вкажіть ділянку вольт-амперної характеристики терморезистора на якій виконується закон Ома (рис.2):

- 1) ОА;
- 2) АБ;
- 3) БВ;
- 4) ГВ.

4. Вкажіть робочу ділянку вольт-амперної характеристики для терморезисторів (рис. 2), опір яких змінюється внаслідок розігріву струмом:

- 1) ОА;
- 2) АБ;
- 3) БВ;
- 4) ГВ.

5. На якій ділянці вольт-амперної характеристики диференціальний опір терморезистора є від'ємним (рис. 2):

- 1) ОА;
- 2) АБ;
- 3) БВ;
- 4) ГВ.

6. Які матеріали використовуються для виготовлення терморезисторів?

- 1) матеріали з електронної провідністю p -типу;
- 2) матеріали з електронної провідністю n -типу;
- 3) матеріали з іонною складовою провідності;
- 4) будь-які матеріали.

7. Крива температурної залежності опору напівпровідникового терморезистора це:

- 1) парабола;
- 2) гіпербола;
- 3) довільна крива;
- 4) експонента.

8. Основна відмінність напівпровідників від металів:

- 1) опір при зростанні температури зменшується;
- 2) опір при зростанні температури збільшується;
- 3) опір не залежить від температури;
- 4) опір залежить від типу напівпровідника.

9. Діркою в напівпровіднику називається:

- 1) атом від якого відірвався електрон;
- 2) атом до якого приєднався електрон;
- 3) нейтральний атом;
- 4) атом, який має надлишковий негативний заряд.

10. Який заряд переносять дірки?

- 1) негативний;
- 2) позитивний;
- 3) не переносять заряду;
- 4) як негативний, так і позитивний.

11. Домішкові напівпровідники – це:

- 1) хімічні елементи однакової валентності;
- 2) хімічні елементи валентність яких відрізняється від валентності основного напівпровідника на 1;
- 3) хімічні елементи валентність яких співпадає з валентність основного напівпровідника;
- 4) хімічні елементи валентність яких відрізняється від валентності основного напівпровідника на 2.

12. Які домішки називаються донорами?

- 1) хімічні елементи валентність більша від валентності основного напівпровідника на 1;
- 2) хімічні елементи валентність менша від валентності основного напівпровідника на 1;
- 3) хімічні елементи валентність яких співпадає з валентності основного напівпровідника;

4) хімічні елементи валентність яких відрізняється від валентності основного напівпровідника на 2.

13. Які домішки називаються акцепторами?

1) хімічні елементи валентність більша від валентності основного напівпровідника на 1;

2) хімічні елементи валентність менша від валентності основного напівпровідника на 1;

3) хімічні елементи валентність яких співпадає з валентності основного напівпровідника;

4) хімічні елементи валентність яких відрізняється від валентності основного напівпровідника на 2.

14. Германій за температури 300 К має електричний опір 500 Ом. Визначити його опір за температури 350 К, якщо ширина забороненої зони германію складає 0,72 еВ:

1) 78 Ом;

2) 150 Ом;

3) 40 Ом;

4) 600 Ом.

Лабораторна робота № 8 ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЄМНОСТІ КОНДЕНСАТОРА

Мета роботи

Визначити ємність невідомого конденсатора; перевірити закономірність послідовного і паралельного з'єднання конденсаторів.

Прилади і матеріали

Джерело електричної енергії 4-36 В; конденсатори відомої ємності; конденсатори невідомої ємності; міліамперметр (амперметр); двополюсний перемикач; з'єднувальні провідники.

Теоретичні відомості

Плоский конденсатор – це дві паралельні пластини, заряджені однаковими за величиною різнойменними зарядами, що створюють електричне поле, сконцентроване між пластинами; за пластинами поле відсутнє (між пластинами поля від кожної пластини арифметично складаються, за пластинами – віднімаються) (рис. 1).

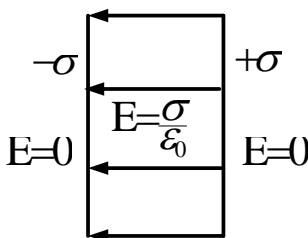


Рисунок 1. Плоский конденсатор

Заряд, який необхідно надати одній з обкладок конденсатора, щоб збільшити різницю потенціалів між обкладками на 1 В, називається електроємністю конденсатора. Електроємність конденсатора – відношення заряду конденсатора до різниці потенціалів, яку цей заряд надає конденсатору:

$$C = \frac{q}{\varphi_1 = \varphi_2} = \frac{q}{U}. \quad (1)$$

Ємність плоского конденсатора визначається його геометричними розмірами:

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon \cdot S}{d}, \quad (2)$$

де S – площа пластин конденсатора, d – віддаль між ними, ε_0 – електрична стала, ε – діелектрична проникність середовища всередині конденсатора.

Одиниця вимірювання ємності в СІ: Ф (фарад). Якщо конденсатор постійної ємності зарядити від джерела постійної напруги, а потім через міліамперметр розряджати його, то стрілка приладу відхилиться на шкалі на певне визначене число поділок. Якщо конденсатор матиме іншу електроємність, число поділок, на які відхилиться стрілка міліамперметра, буде іншим.

Маючи конденсатор відомої електроємності C (еталон), на досліді можна переконатися, що електроємність конденсатора прямо пропорційна числу поділок n , на яке відхилиться стрілка міліамперметра: $C=kn$. Тому, коефіцієнт пропорційності k , що відповідає одній поділці, визначається так:

$$k = \frac{C}{n}. \quad (3)$$

Очевидно, що знаючи коефіцієнт k , можна за відхиленням стрілки міліамперметра визначити ємність будь-якого іншого конденсатора C_x :

$$C_x = \frac{C}{n} N, \quad (4)$$

де N – максимальне відхилення стрілки міліамперметра для конденсатора невідомої ємності.

Порядок виконання роботи

1. Скласти електричне коло за схемою, яку зображено на рис. 2, увімкнувши в нього джерело постійного струму, конденсатор відомої ємності C , міліамперметр і двополюсний перемикач.

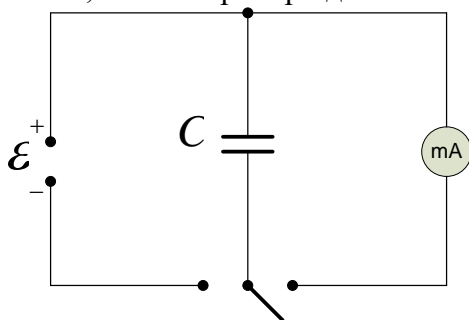


Рисунок 2. Електрична схема для визначення відхилення стрілки міліамперметра за розрядження конденсатора

2. Зарядити конденсатор, з'єднавши його на короткий час з джерелом струму.

3. Зосередивши увагу на стрілці приладу, швидко переключити конденсатор на міліамперметр і визначити число поділок, на яке відхилиться його стрілка (таким чином визначити n).

4. Повторити п.п. 1-3 для інших двох конденсаторів відомої електроємності.

5. В електричне коло увімкнути конденсатор невідомої ємності C_x і визначити на скільки поділок N відхиляється стрілка міліамперметра.

6. Обчислити електричну ємність невідомого конденсатора C_x за формулою (4). Дослід повторити ще 2 рази.

7. Знайти середнє значення електроємності:

$$C_{x\text{ср.}} = \frac{C_{x1} + C_{x2} + C_{x3}}{3}. \quad (5)$$

8. Знайти абсолютну похибку кожного досліду:

$$\begin{aligned}\Delta C_{x1} &= |C_{xсер.} - C_{x1}| \\ \Delta C_{x2} &= |C_{xсер.} - C_{x2}| \\ \Delta C_{x3} &= |C_{xсер.} - C_{x3}|\end{aligned}\quad (6)$$

9. Знайти середнє значення абсолютної похибки:

$$\Delta C_{xсер.} = \frac{\Delta C_{x1} + \Delta C_{x2} + \Delta C_{x3}}{3} \quad (7)$$

10. Знайти відносну похибку експерименту:

$$E = \frac{\Delta C_{xсер.}}{C_{xсер.}} \cdot 100\% \quad (8)$$

12. Результати вимірювань і обчислень записати у таблицю.

Таблиця результатів вимірювань та обчислень

	C_i, Φ	n	N	C_{xi}, Φ	$\Delta C_{xi}, \Phi$	$E, \%$
1						
2						
3						
Сер.	-	-				

13. Два конденсатори відомої ємності увімкніть у коло спочатку паралельно, а потім послідовно (рис. 3, 4).

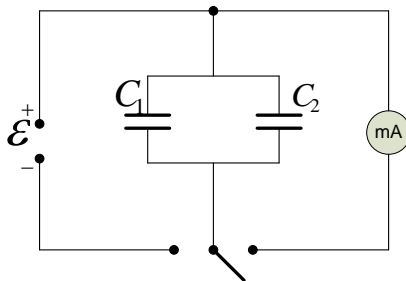


Рисунок 3. Електрична схема для визначення ємності двох паралельно з'єднаних конденсаторів

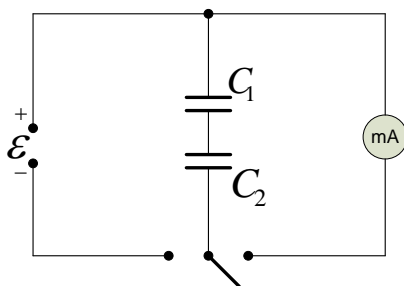


Рисунок 4. Електрична схема для визначення ємності двох послідовно з'єднаних конденсаторів

14. Визначити загальну ємність двох паралельно і послідовно з'єднаних конденсаторів, виконуючи п.п. 2-5.

15. Обчислити ємність двох паралельно і послідовно з'єднаних конденсаторів за формулами (12) і (13):

$$C = C_1 + C_2, \quad (12)$$

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}, \quad (13)$$

де C_1 , C_2 – ємності конденсаторів.

16. Порівняти ємності двох паралельно і послідовно з'єднаних конденсаторів, визначені експериментально і теоретично.

Контрольні питання для допуску до виконання лабораторної роботи

1. Яка одиниця вимірювання ємності?
2. Як визначити ємність двох послідовно з'єднаних конденсаторів?
3. Як визначити ємність двох паралельно з'єднаних конденсаторів?
4. Як змінюється ємність плоского конденсатора, якщо збільшити площу його пластин?
5. Як змінюється ємність плоского конденсатора, якщо збільшити віддаль між його пластинами?

6. Як зміниться ємність плоского конденсатора, якщо зменшити віддаль між його пластинами?
7. Як змінюється ємність плоского конденсатора, якщо між його пластинами помістити діелектрик?
8. Для чого використовують конденсатори?
9. Чи зміниться ємність конденсатора, якщо площу його пластин збільшити у 2 рази, а віддаль зменшити у 2 рази?
10. Для чого між пластинами конденсаторами поміщають діелектрик?

Тестові завдання для захисту лабораторної роботи

1. Чому ємність конденсатора є сталою величиною?
 - 1) завдяки наявності двох обкладок;
 - 2) завдяки незмінному положенню обкладок конденсатора;
 - 3) завдяки повному заряду конденсатора;
 - 4) завдяки наявності діелектрика між обкладками.

2. Відстань між обкладками плоского конденсатора збільшили в 2 рази. Як при цьому зміниться ємність конденсатора?
 - 1) зменшиться в 2 рази;
 - 2) зменшиться в 4 рази;
 - 3) збільшиться в 2 рази;
 - 4) збільшиться в 4 рази.

3. Як зміниться ємність повітряного конденсатора, якщо між його обкладками помістити діелектрик, діелектрична проникність якого дорівнює 7?
 - 1) збільшиться в 7 раз;
 - 2) ємність залежить від наявності діелектрика;
 - 3) зменшиться в 7 раз;
 - 4) ємність не зміниться.

4. Площу обкладок плоского конденсатора збільшили в 2 рази. Як при цьому зміниться ємність конденсатора?

- 1) збільшиться в 4 рази;
- 2) збільшиться в 2 рази;
- 3) зменшиться в 4 рази;
- 4) зменшиться в 2 рази.

5. Вкажіть формулу для обчислення електроємності плоского конденсатора, який містить n пластин.

- 1) $C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}(n-1)$;
- 2) $C = \kappa n$;
- 3) $C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}$;
- 4) $C = n \frac{q}{U}$.

6. Як зміниться електроємність плоского конденсатора при подвійному збільшенні площі пластин і шестикратному зменшенні відстані між ними?

- 1) збільшиться у 8 разів;
- 2) збільшиться в 3 рази;
- 3) зменшиться у 6 разів;
- 4) збільшиться в 12 разів.

7. Як зміниться електроємність плоского конденсатора, якщо відстань між пластинами зменшити в 3 рази?

- 1) збільшиться у 8 разів;
- 2) збільшиться в 3 рази;
- 3) зменшиться у 3 рази;
- 4) збільшиться в 12 разів.

8. Знайти ємність конденсатора, якщо різниця потенціалів між пластинами конденсатора 2000 В, а заряд кожної пластини $4 \cdot 10^{-4}$ Кл:

- 1) $2 \cdot 10^{-8}$ Ф;
- 2) $2 \cdot 10^{-7}$ Ф;
- 3) $8 \cdot 10^{-7}$ Ф;
- 4) $4 \cdot 10^{-6}$ Ф.

9. Знайти ємність двох послідовно з'єднаних конденсаторів, ємностями 2 пФ і 6 пФ:

- 1) 2 пФ;
- 2) 1,5 пФ;
- 3) 8 пФ;
- 4) 3 пФ.

10. Знайти ємність трьох послідовно з'єднаних конденсаторів, ємностями 2 пФ:

- 1) 0,67 пФ;
- 2) 6 пФ;
- 3) 1,5 пФ;
- 4) 3 пФ.

11. Знайти ємність трьох паралельно з'єднаних конденсаторів, ємностями 2 пФ:

- 1) 0,67 пФ;
- 2) 6 пФ;
- 3) 1,5 пФ;
- 4) 3 пФ.

12. Знайти ємність трьох паралельно з'єднаних конденсаторів ємностями 2 пФ, 5 пФ і 7 пФ:

- 1) 0,67 пФ;
- 2) 6 пФ;
- 3) 14 пФ;
- 4) 3 пФ.

13. До двох послідовно з'єднаних конденсаторів ємністю $4C$ кожний приєднують паралельно конденсатор ємністю C . Визначити загальну ємність, якщо $C=20$ мкФ:

- 1) 60 мкФ;
- 2) 50 мкФ;
- 3) 40 мкФ;
- 4) 30 мкФ.

14. До двох паралельно з'єднаних конденсаторів ємністю $2C$ кожний приєднують послідовно конденсатор ємністю C . Визначити загальну ємність, якщо $C=60$ мкФ:

- 1) 80 мкФ;
- 2) 48 мкФ;
- 3) 140 мкФ;
- 4) 60 мкФ.

15. До трьох паралельно з'єднаних конденсаторів ємністю C кожний приєднують послідовно конденсатор ємністю $2C$. Визначити загальну ємність, якщо $C=30$ мкФ:

- 1) 30 мкФ;
- 2) 32 мкФ;
- 3) 36 мкФ;
- 4) 25 мкФ.

16. До трьох послідовно з'єднаних конденсаторів ємністю $3C$ кожний приєднують паралельно конденсатор ємністю $2C$. Визначити загальну ємність:

- 1) 3 С;
- 2) 5 С;
- 3) 11 С;
- 4) 6 С.

17. Конденсатори ємністю 5 мкФ, 1 мкФ і 2 мкФ з'єднали послідовно та ввімкнули у мережу з напругою 110 В. Визначте розподіл напруги на конденсаторах:

- 1) 62, 9 В; 31,4В; 15,7 В;
- 2) 62, 9 В; 125,8 В; 351,6 В;
- 3) 32, 9 В; 30,4В; 10,7 В; 11 С;
- 4) 15,7, 69, 9 В; 31,4В.

18. Конденсатор з квадратними обкладками завдовжки l , розміщеними на віддалі d , заповнений двома паралельними до обкладок шарами різних діелектриків завтовжки $0,5d$ кожен. Діелектрична проникність шарів ε_1 і ε_2 . Яка ємність конденсатора?

- 1) $2\varepsilon_0\varepsilon_1\varepsilon_2l^2/d(\varepsilon_1+\varepsilon_2)$;
- 2) $\varepsilon_0\varepsilon_1\varepsilon_2l^2/d(\varepsilon_1+\varepsilon_2)$;
- 3) $2\varepsilon_0\varepsilon_1\varepsilon_2l/d(\varepsilon_1+\varepsilon_2)$;
- 4) $4\varepsilon_0\varepsilon_1\varepsilon_2l^2/d(\varepsilon_1+\varepsilon_2)$.

19. Конденсатор з квадратними обкладками завдовжки l , розміщеними на віддалі d , заповнений двома паралельними до обкладок шарами різних діелектриків завтовжки d кожен. Діелектрична проникність шарів ε_1 і ε_2 , а кожний шар має площу $0,5l^2$. Яка ємність конденсатора?

- 1) $0,5\varepsilon_0l^2(\varepsilon_1+\varepsilon_2)/d$;
- 2) $\varepsilon_0l^2(\varepsilon_1+\varepsilon_2)/d$;
- 3) $2\varepsilon_0l^2(\varepsilon_1+\varepsilon_2)/d$;
- 4) $\varepsilon_0l^2(\varepsilon_1+\varepsilon_2)/4d$.

Лабораторна робота № 9 ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСНИХ КОЛИВАНЬ У КОЛИВАЛЬНОМУ КОНТУРІ

Мета роботи

Визначити період коливань коливального контура, перевірити теоретичну формулу для визначення періоду власних коливань.

Прилади і матеріали

Магазин опорів, магазин індуктивностей, магазин ємностей, реле, осцилограф, джерело постійної напруги, з'єднувальні проводи.

Теоретичні відомості

Електричне коло, складене з послідовно з'єднаних конденсатора ємністю C , котушки індуктивністю L , активного опору R називається коливальним контуром (рис. 1). Розглянемо, як у коливальному контурі виникають електромагнітні коливання.

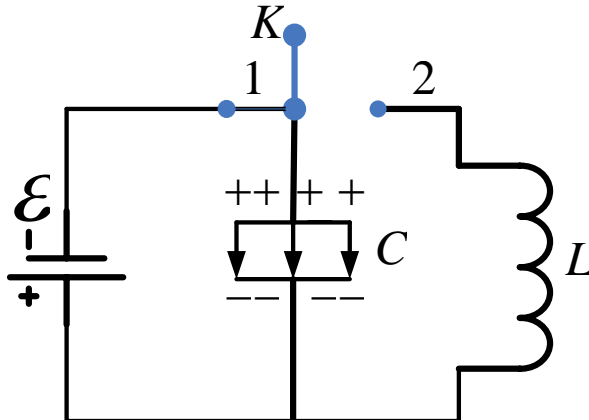


Рисунок 1. Коливальний контур

Початкова стадія. Ключ K знаходиться в положенні 1 (рис.1): конденсатор заряджається до тих пір, поки різниця потенціалів між обкладками не зрівняється з е.р.с. джерела струму ε , якщо максимальне значення різниці потенціалів між обкладками конденсатора $\Delta\varphi_0$, то максимальний заряд конденсатора $q_0 = C\Delta\varphi_0$, а напруженість електричного поля між обкладками конденсатора визначається так:

$$E_o = \frac{\Delta\varphi_o}{l}, \quad (1)$$

де l – віддаль між обкладками конденсатора.

Енергія електричного поля між обкладками конденсатора (максимальний запас потенціальної енергії електричного поля) в цей момент часу визначатиметься так:

$$W_{el.} = \frac{q_o\Delta\varphi_o}{2} = \frac{C\Delta\varphi_o^2}{2} = \frac{q_o^2}{2C}. \quad (2)$$

1 стадія. Ключ K в положенні 2 (рис. 1): по колу в напрямку $ALFCA$ (рис. 2) потече електричний струм $I = dq/dt$, конденсатор починає розряджатися, електричний заряд на обкладках спадає, і, відповідно, зменшується енергія електричного поля між обкладками конденсатора.

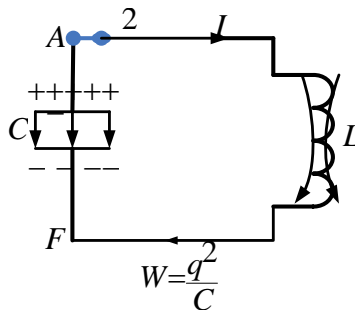


Рисунок 2. Початок 2 стадії роботи коливального контура

В результаті проходження струму, в соленоїді (катушці) виникає магнітне поле, енергія якого визначається так:

$$W_{\text{маг.}} = \frac{LI^2}{2}, \quad (3)$$

де L – індуктивність котушки.

Через деякий час конденсатор розрядиться і енергія електричного поля дорівнюватиме нулю. В цей момент часу сила струму в колі буде максимальною – I_0 і, відповідно, енергія магнітного поля соленоїда також буде максимальною, тобто вся енергія електричного поля перетворюється на енергію магнітного поля (рис.3):

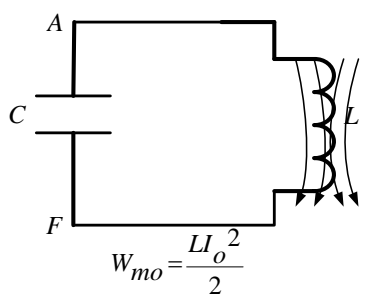
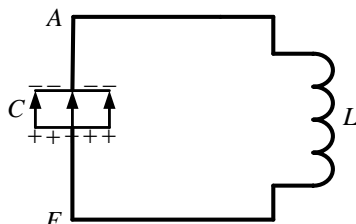
$$W_{\text{магн.}} = \frac{LI_o^2}{2}. \quad (4)$$


Рисунок 3. Завершальний етап 2 стадії роботи коливального контура

2 стадія. В наступний момент часу магнітне поле в соленоїді починає зменшуватися, в ньому виникає індукційний струм (який згідно з правилом Ленца направлений так, що створюваний ним потік магнітної індукції намагається перешкоджати тій зміні потоку, який викликає даний струм) і конденсатор перезаряджається. Коли струм припиниться, конденсатор виявиться перезарядженим (заряди на обкладках досягнуть початкової величини q_0 , сила струму в колі дорівнюватиме нулю). В цей момент часу різниця потенціалів між обкладками конденсатора матиме максима-

льне значення $\Delta\varphi_o$, а енергія магнітного поля повністю перетвориться на енергію електричного – закінчилась перша половина періоду електромагнітних коливань (рис.4):

$$W_{el.} = \frac{q_o \Delta\varphi_o}{2} . \quad (5)$$


$$W_{eo} = \frac{q_o^2}{C}$$

Рисунок 4. Завершення першої половини електромагнітних коливань

3 стадія. Після цього процес відбувається у зворотному напрямку. Під дією різниці потенціалів між обкладками конденсатора виникає електричний струм, який тече в колі у зворотному напрямку. В котушці виникає протилежно напрямлене магнітне поле, йде процес розрядки конденсатора й одночасного зростання сили струму в колі I . Сила струму досягає максимального значення I_o в той момент, коли різниця потенціалів між обкладками конденсатора дорівнює нулю. В цей момент часу електричне поле відсутнє, існує магнітне поле, енергія якого максимальна – енергія електричного поля повністю перетворюється на енергію магнітного поля (рис.5).

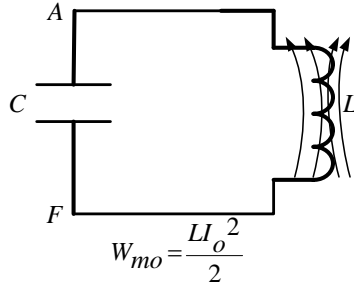


Рисунок 5. Четверта стадія роботи коливального контура

4 стадія. Після завершення стадії 4 виникає е.р.с. самоіндукції, під дією якої електричний струм самоіндукції перезаряджає конденсатор і відновлюється початковий стан контура (рис.6).

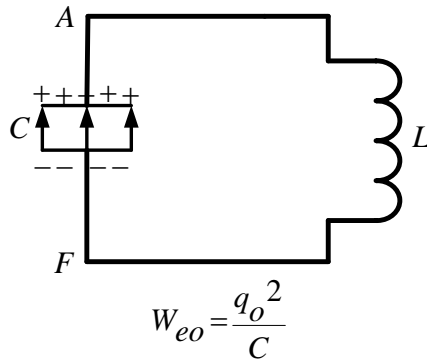


Рисунок 6. Повернення до початкової стадії роботи коливального контура

Опис вимірювального пристрою

Схема для вивчення власних коливань коливального контура зображена на рис.7. Паралельний коливальний контур складається з джерела живлення ε , конденсатора C та котушки індуктивності L . Ключ K служить для переключення конденсатора C з режиму зарядки в режим роботи. Точки 3, 4 і 5 коливального контура підключаються до осцилографа $Cl-73$ згідно позначень на схемі.

Порядок виконання роботи

1. Скласти схему згідно рис. 7, під'єднавши клеми 3,5,4 осцилографа до відповідних точок контура, які позначені такими ж буквами.

2. Увімкнути реле й генератор розгортки осцилографа. Змінюючи частоту генератора розгортки ручками „Діапазони частот”, „Частота плавно” й „Амплітуда синхронізації”, домогтися на екрані осцилографа стійкої осцилограми.

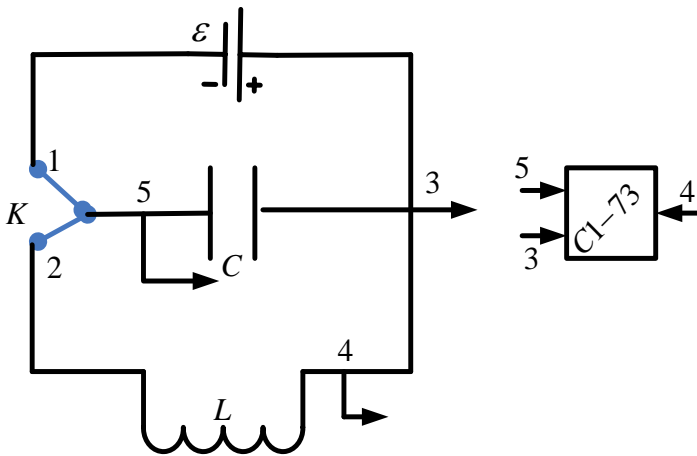


Рисунок 7. Електрична схема для вивчення власних коливань коливального контура

3. Користуючись ручкою осцилографа „Розмір по вертикалі” вмістити амплітуду коливань в екран осцилографа.

4. Перемикачем осцилографа „мс/на поділку” зчитати ціну поділки осцилографа (скільки мс містить 1 поділку).

5. Визначити період коливань T_{ex} не менше 3 разів по першому (з найбільшим значенням амплітуди) коливанню.

6. Знаючи значення індуктивності котушки та ємності конденсатора, теоретично розрахувати період коливань T_T за формулою Томсона:

$$T_T = 2\pi\sqrt{LC} . \quad (6)$$

7. Порівняти експериментально визначене T_{ex} і теоретично обрховане значення T_T періоду коливань контура.

11. Результати вимірювань і розрахунків записати в таблицю.

12. Обчислити похибку періоду коливань за формулою:

$$\Delta T = |T_{ex} - T_T|. \quad (7)$$

13. Отримане значення ΔT записати в таблицю.

Таблиця результатів вимірювань та обчислень

№	T_{ex}, c	$L, Гн$	$C, Ф$	T_T, c	$\Delta T, c$
1					
2					
3					
Сер.					

Контрольні питання для допуску до виконання лабораторної роботи

1. Що називається коливальним контуром?
2. Як визначається енергія електричного поля?
3. Як визначається енергія магнітного поля?
4. Від чого залежить індуктивність соленоїда?
5. Як визначити період коливань?
6. Від чого залежить ємність конденсатора?
7. В яких одиницях вимірюється ємність конденсатора?
8. В яких одиницях вимірюється індуктивність котушки?
9. В яких одиницях вимірюється енергія соленоїда?
10. В яких одиницях вимірюється енергія конденсатора?

Тестові завдання для захисту лабораторної роботи

1. Змінний струм, проходячи через котушку, збуджує в ній:
 - 1) ЕРС джерела струму;
 - 2) ЕРС самоіндукції;
 - 3) ЕРС генератора струму;
 - 4) ЕРС взаємної індукції.

2. Якщо сила струму в котушці наростає, то в ній створюється:

- 1) електричний резонанс;
- 2) потенціальне поле;
- 3) змінне магнітне поле;
- 4) електростатичне поле.

3. Змінний струм в котушці збуджує ЕРС, яка визначається за формулою:

1) $\varepsilon = -L \frac{dI}{dt}$;

2) $\varepsilon = U + Ir$;

3) $\varepsilon = IR + Ir$;

4) $\varepsilon = \frac{A_{cm.}}{q}$.

4. Якщо сила струму в котушці зменшується, то зменшується:

- 1) потенціальне поле;
- 2) магнітне поле;
- 3) електростатичне поле;
- 4) електричний резонанс.

5. Індуктивний опір котушки в колі змінного струму є величиною:

- 1) спадаюча;
- 2) стала;
- 3) змінна;
- 4) зростаюча.

6. Період власних коливань коливального контура визначається за формулою:

1) $T = \sqrt{LC}$;

$$2) T = 2\pi\sqrt{LC};$$

$$3) T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{C}};$$

$$4) T = 2\pi\sqrt{\frac{C}{L}}.$$

7. Рівняння зміни електричного струму в коливальному контурі: $i = -0,02 \sin 400\pi t$. Знайти період коливань контура:

- 1) 0,5 с;
- 2) 0,05 с;
- 3) 0,05 с;
- 4) 5 с.

8. Якої довжини електромагнітну хвилю випромінює коливальний контур, якщо частота його коливань 150 кГц?

- 1) 20 м;
- 2) 200 м;
- 3) 2000 м;
- 4) 2 м.

9. Рівняння зміни електричного струму в коливальному контурі: $i = 2 \sin 100\pi t$. Індуктивність контура 1 Гн. Знайти ємність контура:

- 1) 1 мкФ;
- 2) 0,1 мкФ;
- 3) 0,01 мкФ;
- 4) 0,001 мкФ.

10. Рівняння зміни електричного струму в коливальному контурі: $i = -0,02 \sin 400\pi t$. Індуктивність контура 1 Гн. Знайти максимальну різницю потенціалів між обкладками конденсатора.

- 1) 120 В;

- 2) 20 В;
- 3) 25,2 В;
- 4) 12 В.

11. Конденсатор ємністю 1200 пФ заряджений від батареї до напруги 500 В. В нульовий момент часу його від'єднують від батареї і підключають до котушки з індуктивністю 75 мГн. Визначити початковий заряд конденсатора:

- 1) $6 \cdot 10^{-2}$ Кл;
- 2) $6 \cdot 10^{-7}$ Кл;
- 3) $6 \cdot 10^{-5}$ Кл;
- 4) $6 \cdot 10^{-6}$ Кл.

12. Конденсатор ємністю 1200 пФ заряджений від батареї до напруги 500 В. В нульовий момент часу його від'єднують від батареї і підключають до котушки з індуктивністю 75 мГн. Визначити максимальну силу струму в контурі:

- 1) $500 \cdot 10^{-2}$ А;
- 2) $500 \cdot 10^{-7}$ А;
- 3) $5 \cdot 10^{-3}$ А;
- 4) 0,05 А.

13. Заряджений конденсатор під'єднали до котушки індуктивності, утворивши коливальний контур. Ємність конденсатора 30 пФ, індуктивність котушки 1,2 Гн. Визначити максимальний заряд на конденсаторі, якщо максимальний струм через котушку 2 А:

- 1) $15 \cdot 10^{-6}$ мкКл;
- 2) $15 \cdot 10^{-5}$ мкКл;
- 3) $12 \cdot 10^{-6}$ мкКл;
- 4) $15 \cdot 10^{-7}$ мкКл.

14. Площу пластин плоского конденсатора збільшили в 9 разів, а відстань між пластинами в 4 рази. Визначити відношення

початкового періоду коливань контура до його періоду після змін характеристик конденсатора:

- 1) $\frac{2}{3}$;
- 2) $\frac{4}{3}$;
- 3) 2,5;
- 4) $\frac{3}{2}$.

15. Заряджений конденсатор під'єднали до котушки індуктивності, утворивши коливальний контур. Ємність конденсатора 30 мкФ, індуктивність котушки 1,2 Гн. В які моменти часу протягом періоду заряд на конденсаторі буде максимальним? Зміна заряду відбувається за косинусоїдальним закон:

- 1) $1,57 \cdot 10^{-3}$ с;
- 2) $9,43 \cdot 10^{-3}$ с;
- 3) $6 \cdot 10^{-3}$ с;
- 4) $6,43 \cdot 10^{-3}$ с.

16. Максимальна напруга в коливальному контурі становить 420 В. Індуктивність котушки 2,5 Гн, ємність конденсатора 16 мкФ. Визначити діюче значення струму:

- 1) 680 мА;
- 2) 68 мА;
- 3) 6,8 мА;
- 4) 6,8 А.

17. Максимальна напруга в коливальному контурі становить 420 В. Індуктивність котушки 2,5 Гн, ємність конденсатора 16 мкФ. Визначити максимальне значення магнітного потоку, якщо котушка складається з 24 витків:

- 1) 2400 Вб;
- 2) 240 Вб;
- 3) 24 Вб;
- 4) 2,4 Вб.

18. У коливальному контурі здійснюються незатухаючі електромагнітні коливання. Визначити силу струму в контурі в момент часу 0,02 с, якщо заряд змінюється за законом:

$$q = 2 \cdot 10^{-5} \sin 500\pi t :$$

- 1) 314 А;
- 2) 31,4 А;
- 3) 628 А;
- 4) 3,14 А.

19. У коливальному контурі здійснюються незатухаючі електромагнітні коливання. Визначити максимальну силу струму в контурі, якщо ємність конденсатора $2 \cdot 10^{-5}$ Ф, індуктивність котушки 5 Гн, а заряд змінюється за законом $q = 3 \cdot 10^{-4} \sin \omega t$:

- 1) 3 А;
- 2) 30 А;
- 3) 0,03 А;
- 4) 0,3 А.

20. Коливальний контур приймача складається із слюдяного конденсатора (площа пластин 800 см^2 , а віддаль між пластинами 1 мм) і котушки індуктивності. На яку довжину хвилі резонує цей контур, якщо максимальне значення напруги на пластинах конденсатора в 100 разів більше від максимального значення силу струму у котушці? Діелектрична проникність слюди 6:

- 1) 3 м;
- 2) 2 м;
- 3) 5 м;
- 4) 0,3 м.

21. Коливальний контур складається з конденсатора ємністю 7 мкФ і котушки індуктивністю 0,25 Гн і має опір 4 Ом. Пла-

стинам конденсатора надано заряд $5,8 \cdot 10^{-4}$ Кл. Знайти період коливань контура, логарифмічний декремент затухання та амплітуду після 20 коливань:

- 1) $8,3 \cdot 10^{-3}$ с; $0,64 \cdot 10^{-2}$; $1,5 \cdot 10^{-4}$ Кл;
- 2) $0,83 \cdot 10^{-3}$ с; $0,32 \cdot 10^{-3}$; $1,5 \cdot 10^{-4}$ Кл;
- 3) $8,3 \cdot 10^{-3}$ с; $0,64 \cdot 10^{-2}$; $1,5 \cdot 10^{-4}$ Кл;
- 4) $8,3 \cdot 10^{-5}$ с; $0,64 \cdot 10^{-2}$; $1,5 \cdot 10^{-4}$ Кл.

22. Котушка, індуктивність якої $3 \cdot 10^{-5}$ Гн, приєднана до плоского конденсатора з площею пластин 100 см^2 і відстанню між ними $0,1$ мм. Визначити діелектричну проникність середовища, що заповнює простір між пластинами, якщо контур резонує на довжину хвилі 750 м.Кл:

- 1) 6;
- 2) 0,6;
- 3) 8;
- 4) 3.

О П Т И К А

Лабораторна робота № 1

ВИЗНАЧЕННЯ ФОКУСНОЇ ВІДСТАНІ ТА ОПТИЧНОЇ СИЛИ ЗБИРАЛЬНОЇ ЛІНЗИ

Мета роботи

Експериментально визначити фокусну відстань та оптичну силу збиральної лінзи.

Прилади і матеріали

Оптична лава, джерело світла, збиральна лінза в металевій оправі, білий екран з матовою поверхнею, масштабна лінійка.

Теоретичні відомості

Лінзою називається прозоре тіло, обмежене двома сферичними, або сферичною і плоскою поверхнями. Промені падаючого світла після проходження через лінзу заломлюються. Головною характеристикою лінзи є її фокус. Фокусом лінзи називається точка, в якій збираються промені після заломлення в лінзі, що падають на неї перпендикулярно (рис. 1, т. *F*). Фокус лінзи завжди розміщений на її головній осі. Відстань між фокусом і оптичним центром лінзи називається фокусною відстанню. Побудову зображення в лінзі виконують, використовуючи дві основні властивості лінзи: 1) промінь, який проходить через оптичний центр лінзи, не заломлюється; 2) промінь, який падає перпендикулярно до лінзи після проходження через лінзу заломлюється і перетинає лінзу у фокусі.

Якщо пучок паралельних променів після проходження через лінзу перетворюється у збіжний, то лінза називається збиральною; фокус такої лінзи є дійсний, якщо падаючий пучок паралельних променів перетворюється в розбіжний, то лінза називається розсіювальною; фокус такої лінзи буде уявним.

Оптична сила лінзи D визначається як величина, обернена до фокусної відстані. Одиниця оптичної сили в СІ – діоптрія (Дптр). Діоптрія – це оптична сила лінзи з фокусною відстанню 1 м:

$$D = \frac{1}{F}, \quad (1)$$

Оптична сила збиральної лінзи додатна, а розсіювальної – від’ємна, аналогічно як і фокусна відстань. Визначення фокусної відстані та оптичної сили збиральної лінзи в даній роботі базується на формулі тонкої лінзи:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}, \quad (2)$$

де d – відстань від предмета AB до оптичного центра лінзи (т. O), f – відстань від оптичного центра лінзи до зображення предмета A_1B_1 (рис. 1).

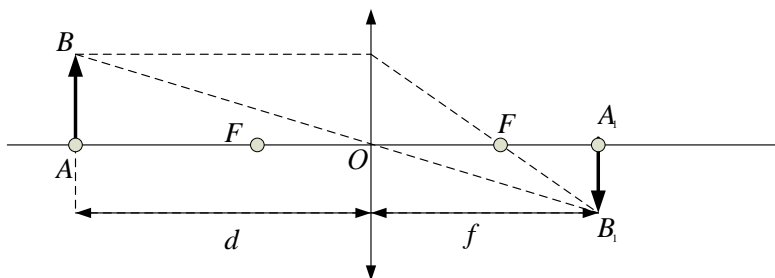


Рисунок 1. Побудова зображення в тонкій збиральній лінзі

Ці відстані вимірюються за допомогою масштабної лінійки з ціною поділки 1 мм. З формули (2) одержуємо робочу формулу для визначення фокусної відстані лінзи:

$$F = \frac{d \cdot f}{d + f}. \quad (3)$$

Тоді, робоча формула для визначення оптичної сили лінзи запишеться так:

$$D = \frac{d + f}{d \cdot f}. \quad (4)$$

Опис вимірювального пристрою

Пристрій для дослідження оптичних параметрів лінзи складається з масивної оптичної лави, на рейці якої закріплено збиральну лінзу в оправі, джерело світла (освітлювач) та екран. Пересуваючи лінзу вздовж лави, можна отримати на екрані чітке зображення світлого предмета. В залежності від відстаней між лінзою і предметом та між лінзою і екраном це зображення може бути збільшеним чи зменшеним, прямим чи оберненим, дійсним чи уявним.

Порядок виконання роботи

1. Розмістити на оптичній лаві освітлювач і збиральну лінзу в оправі так, щоб їх центри знаходилися на однаковій висоті.

2. Пересуваючи лінзу вздовж оптичної лави вправо або вліво, добитися чіткого зменшеного зображення джерела світла на екрані. Виміряти відстані від предмета до лінзи d та від лінзи до екрану f . Виміряти відстань між предметом і екраном l .

3. Добитися чіткого збільшеного зображення джерела світла на екрані, повторивши експеримент згідно п. 2.

4. Повторити п.п. 2, 3 двічі, змінюючи відстань між джерелом і екраном, досягаючи чітких зменшених та збільшених зображень на екрані.

5. За формулами (3), (4) обчислити фокусну відстань F та оптичну силу D лінзи для кожного експерименту.

6. Обчислити середнє значення фокусної відстані за формулою:

$$F_{\text{сеп}} = \frac{\sum_{i=1}^n F_i}{n}. \quad (5)$$

7. Обчислити абсолютну похибку кожного результату визначення фокусної відстані:

$$\Delta F_l = \left| F_{\text{сер}} - F_l \right|;$$

.....

$$\Delta F_n = \left| F_{\text{сер}} - F_n \right|.$$

9. Обчислити середнє квадратичне відхилення визначення фокусної відстані:

$$\Delta S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta F_i^2}{n(n-1)}}.$$

10. Обчислити абсолютну похибку визначення фокусної відстані:

$$\Delta F = t_c \Delta S,$$

де t_c – коефіцієнт Стюдента.

11. Визначити відносну похибку обчислень:

$$E = \frac{\Delta F}{F_{\text{сер}}} \cdot 100\%.$$

13. Результати вимірювань та розрахунків занести до звітної таблиці 1.

14. Визначити середнє арифметичне значення та абсолютні і відносні похибки вимірювань для оптичної сили лінзи аналогічно до визначень для фокусної відстані згідно п.п. 6-12. Результати вимірювань та розрахунків занести до звітної таблиці 2.

**Таблиця результатів вимірювань та обчислень
для визначення фокусної відстані лінзи**

N_2	$d,$ m	$f,$ m	$l,$ m	$F,$ m	$\Delta F,$ m	$\Delta S,$ m	$\Delta F,$ m	$E,$ $\%$
1								
2								
3								

4								
5								
6								
<i>сер</i>	-	-	-					

**Таблиця результатів вимірювань та обчислень
для визначення оптично сили лінзи**

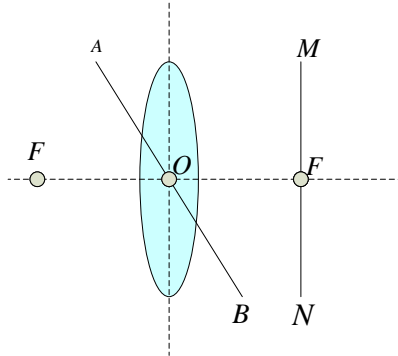
№	d , м	f , м	l , м	D , дптр	ΔD , дптр	ΔS , дптр	ΔF , дптр	E , %
1								
2								
3								
4								
5								
6								
<i>сер</i>	-	-	-					

Контрольні питання для допуску до виконання лабораторної роботи

1. Що називається лінзою? Які бувають типи лінз?
2. Дайте визначення фокусної відстані лінзи. Одиниці вимірювання фокусної відстані.
3. Запишіть і поясніть формулу тонкої лінзи.
4. Що таке оптична сила лінзи і в яких одиницях вона вимірюється?
5. Побудуйте для різних значень d зображення предмета, яке дають збиральна і розсіювальна лінзи.
6. Від чого і як залежить оптична сила лінзи (записати формулу)?
7. Яка подібність спостерігається між лінзами і сферичними дзеркалами?
8. За яких умов збиральна лінза буде розсіювати заломлені промені?

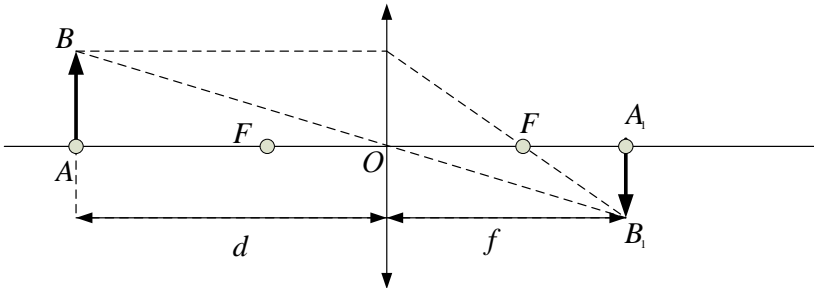
Тестові завдання для захисту лабораторної роботи

1. На рисунку, наведеному, нижче, зображена лінза. Яка точка чи пряма відповідає оптичному центру лінзи?



- 1) точка F ;
- 2) точка O ;
- 3) пряма AB ;
- 4) пряма MN .

3. Для зображення, яке дає збиральна лінза (див. рисунок) справедливе співвідношення:



- 1) $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$;
- 2) $\frac{1}{F} = -\frac{1}{d} + \frac{1}{f}$;

$$3) -\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f};$$

$$4) \frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f}.$$

4. Фокусна віддаль лінзи F , радіуси кривизни поверхонь лінзи R_1 і R_2 і абсолютні показники заломлення лінзи n_1 і оточуючого середовища n_2 пов'язані між собою співвідношенням:

$$1) \frac{1}{F} = \left(\frac{1}{n_2} - 1 \right) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right);$$

$$2) \frac{1}{F} = (n_2 - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right);$$

$$3) \frac{1}{F} = \left(\frac{n_1}{n_2} - 1 \right) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right);$$

$$4) \frac{1}{F} = \left(\frac{n_1}{n_2} + 1 \right) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right).$$

5. Предмет установлено на відстані 30 см від розсіювальної лінзи з фокусною відстанню 15 см. Визначити відстань від предмета до його зображення:

1) 45 см;

2) 15 см;

3) 10 см;

4) 20 см.

6. Лінза дає збільшення предмета, що перебуває на відстані 10 см від неї, у 3 рази. Знайти фокусну віддаль лінзи:

1) 30 см;

2) 7,5 см;

3) 15 см;

4) 25 см.

7. Знайти фокусну віддаль двовипуклої скляної лінзи, зануреної у воду, якщо відомо, що її фокусна віддаль у повітрі 30 см. Коефіцієнти заломлення скла і води, відповідно, $n_1=1,5$, $n_2=1,33$:

- 1) 7,9 см;
- 2) 115,4 см;
- 3) 45,3 см;
- 4) 123,5 см.

8. Знайти фокусну відстань лінзи, якщо предмет висотою 6 см знаходиться на відстані 60 см. Висота зображення 12 см:

- 1) 40 см;
- 2) 30 см;
- 3) 120 см;
- 4) 55 см.

9. Відстань від предмета до лінзи 0,4 м, а від зображення до лінзи 0,3 м. У скільки разів збільшиться зображення, якщо предмет розмістити на відстані 0,2 м від лінзи?

- 1) у 4 рази;
- 2) у 8 разів;
- 3) у 2 рази;
- 4) у 5 разів.

10. На віддалі 125 см від лінзи з оптичною силою 2 дптр розміщений предмет висотою 15 см перпендикулярно до оптичної осі. На скільки зміниться величина зображення, якщо предмет наблизити до лінзи на 50 см?

- 1) збільшиться на 0,9 см;
- 2) зменшиться на 3 см;
- 3) збільшиться на 0,89 см;
- 4) зменшиться на 0,5 см.

11. Визначити фокусну віддаль скляної двовипуклої лінзи з однаковими радіусами кривизни по 20 см. Показник заломлення скла 1,5:

- 1) 10 см;
- 2) 20 см;
- 3) 2 см;
- 4) 5 см.

12. Знайти фокусну віддаль лінзи, якщо відомо, що дійсне зображення предмета, що знаходиться на відстані 30 см від лінзи, отримано на такій самій віддалі від неї:

- 1) 10 см;
- 2) 20 см;
- 3) 15 см;
- 4) 35 см.

13. Фокусна відстань розсіювальної лінзи 12 см. Зображення предмета знаходиться на віддалі 9 см від лінзи. Знайти відстань від предмета до лінзи:

- 1) 36 см;
- 2) 21 см;
- 3) 4 см;
- 4) 42 см.

14. Предмет знаходиться на віддалі $1,5 F$ від лінзи. Його наблизили до лінзи на відстань $1,2 F$. На скільки при цьому перемістилося зображення предмета, якщо оптична сила лінзи 2,4 дптр?

- 1) 1,87 м;
- 2) 0,3 м;
- 3) 4 м;
- 4) 0,65 см.

15. Яке збільшення дає ліхтар, якщо його об'єктив з головною фокусною відстанню 18 см розмістили на відстані 6 м від екрану?

- 1) 36 см;

- 2) 21 см;
- 3) 4 см;
- 4) 8 см.

16. Об'єктив фотоапарата має фокусну відстань 5 см. Якої висоти зображення отримаємо при фотографуванні будинку висотою 6 м, якщо фотографія зроблена з відстані 12 м?

- 1) 4,5 см;
- 2) 1,5 см;
- 3) 1,8 см;
- 4) 3,8 см.

17. Визначити оптичну силу проекційного ліхтаря, якщо діопозитив має ширину і висоту по 6,4 см, а на екрані утворюється зображення площею $1,96 \text{ м}^2$. Відстань від об'єктива до екрану 3,6 м:

- 1) 3,2 м;
- 2) 4,8 м;
- 3) 6,4 м;
- 4) 3,0 м.

18. На призму з заломлюючим кутом 40° падає промінь під кутом 30° . Визначити кут зміщення променя після виходу з призми, якщо показник заломлення матеріалу призми 1,5:

- 1) 20° ;
- 2) 10° ;
- 3) 30° ;
- 4) 40° .

19. На розсіювальну лінзу з фокусною відстанню F падає пучок паралельних променів. На якій відстані від неї потрібно розташувати збиральну лінзу з фокусною відстанню $2F$, щоб з неї вийшов паралельний пучок променів:

- 1) F ;
- 2) $3F$;
- 3) $4F$;
- 4) $0,5F$.

Лабораторна робота № 2 ВИЗНАЧЕННЯ РОЗМІРІВ ДЕФЕКТІВ ЕПІТАКСІЙНИХ ПЛІВОК НА ОСНОВІ ЗАЛІЗО-ІТРІЄВОГО ГРАНАТУ

Мета роботи

Вивчити фізичні основи будови мікроскопа, набути практичні навички роботи з мікроскопом та оволодіти методом визначення розмірів дефектів.

Прилади і матеріали

Оптичний мікроскоп, мікрометрична шкала, освітлювач, епітаксіальна плівка на основі залізо-ітрієвого гранату, поляризатор.

Теоретичні відомості

Мікроскоп – це прилад для розглядання дрібних, невидимих для неозброєного ока предметів у збільшеному зображенні. Принцип дії оптичного мікроскопа базується на заломленні світла системою лінз. Оптична система мікроскопа складається із двох систем лінз: об'єктива і окуляра із фокусними відстанями F_1 і F_2 , відповідно. Хід променів у мікроскопі при побудові зображення предмета показано на рис. 1.

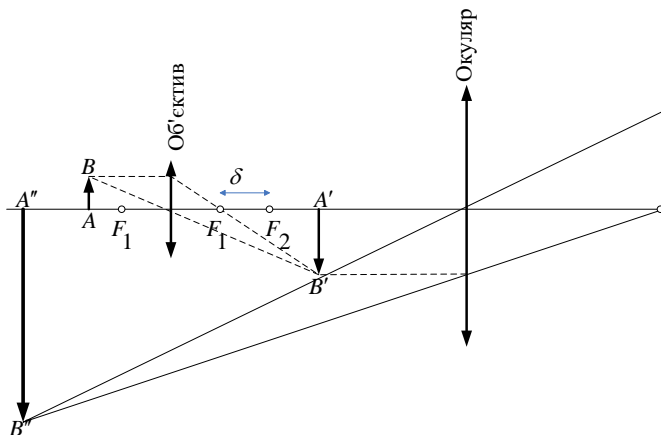


Рисунок 1. Хід променів при побудові зображення в мікроскопі

Предмет AB розташовують перед об'єктивом між його фокусом та подвійним фокусом. Об'єktiv створює дійсне, збільшене і обернене зображення $A'B'$. Окуляр розташовується так, що зображення $A'B'$ знаходиться між оптичним центром окуляра та його фокусом F_2 . Промені від зображення $A'B'$, заломлюючись в окулярі, виходять розбіжним пучком і утворюють уявне збільшене зображення $A''B''$, яке і сприймається оком спостерігача. Основною характеристикою мікроскопа є його збільшення. Збільшення мікроскопа показує, у скільки разів величина зображення предмета є більшою, ніж сам предмет і визначається так:

$$\Gamma = \Gamma_{об.} \times \Gamma_{ок.} = \frac{\gamma \cdot \delta}{F_1 \cdot F_2}, \quad (1)$$

де γ – відстань найкращого зору (як правило $\gamma=25$ см); δ – оптична довжина тубуса (віддаль між заднім фокусом об'єктива і переднім фокусом окуляра); F_1 – фокусна віддаль об'єктива; F_2 – фокусна віддаль окуляра.

Оскільки збільшення об'єктива:

$$\Gamma_{об.} = \frac{A'B'}{AB} = \frac{f}{d} = \frac{F_1 + \delta}{F_1} \approx \frac{\delta}{F_1}, \quad (2)$$

то збільшення окуляра:

$$\Gamma_{ок.} = \frac{A''B''}{A'B'} = \frac{\gamma}{F_2}. \quad (3)$$

Можна припустити, що підбираючи відповідні значення F_1 , F_2 та γ , можна отримати мікроскоп з найкращим збільшенням (1). Однак, на практиці не використовують оптичні мікроскопи із збільшенням понад 1500-2000, тому що можливість розрізнити дрі-

бні деталі об'єкта в мікроскопі є обмеженою. Ця обмеженість зумовлена впливом дифракції світла. У зв'язку з цим вводяться поняття роздільної здатності та межі розділення мікроскопа.

Характеристика роздільної здатності Z – межа розділення мікроскопа, тобто найменша відстань між двома точками предмета, зображення яких можна розрізнити:

$$Z = \frac{\lambda}{2n \sin u}, \quad (4)$$

де λ – довжина хвилі світла, яке освітлює предмет, n – показник заломлення середовища між об'єктивом і предметом, u – апертурний кут об'єктива, який дорівнює половині кута між крайніми променями конічного світлового пучка, які входять в об'єктив мікроскопа.

Величина $A = \sin u$ називається числовою апертурою. Тоді:

$$Z = \frac{\lambda}{2A}. \quad (5)$$

Корисне збільшення мікроскопа визначається роздільною здатністю $\Gamma_{кор.}$:

$$\Gamma_{кор.} = \frac{Z_{ока}}{Z}, \quad (6)$$

де $Z_{ока}$ – межа розділення ока.

Опис вимірювального пристрою

Мікроскоп складається із штатива, в який входять основа 2, тубусотримач 4, предметний столик 8, тубус 6, пристрій для кріплення дзеркала 10 та дзеркало 11 (рис. 2). Штатив мікроскопа має масивну основу, яка надає йому достатню стійкість. Предметний столик служить для кріплення спостережуваного предмету. Безпосередньо під столиком на конденсорі 9 кріпиться змінна діафрагма, яка служить для регулювання освітленості спостережуваного предмета. Тубус мікроскопа може пересуватися при обертанні гвинтів 1, 3. Нижній отвір тубуса має нарізку для прикручування об'єктива чи тримача 7, на якому закріплено декілька

змінних об'єктивів. У верхній частині тубуса встановлюються зйомні окуляри 5.

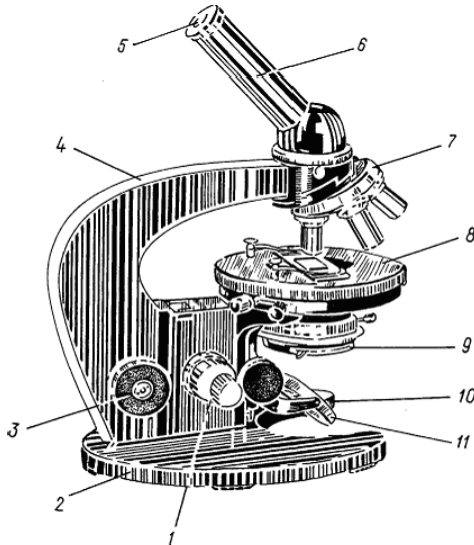


Рисунок 2. Зовнішній вигляд мікроскопа

Для отримання якісного зображення в об'єктив і окуляр вбудовуються декілька лінз, щоб зображення не спотворювалося внаслідок сферичної і хроматичної аберацій. Об'єктив є важливою частиною мікроскопа, яка складається із системи лінз, що зібрані в одній оправі. Передня фронтальна лінза, служить для збільшення зображення, всі інші служать тільки для виправлення спотворень фронтальної лінзи і тому називаються коригуючими. Об'єктиви нумеруються в порядку зростання збільшення.

Окуляр представляє собою складну лупу, яка складається з двох лінз: верхньої очної та нижньої збірної, які знаходяться одна від одної на відстані, що дорівнює половині суми їх фокусних віддалей. Окуляри також нумеруються в порядку зростання збільшення.

Порядок виконання роботи

1. Включити освітлювач мікроскопа і встановити дзеркало таким чином, щоб поле зору в окулярі мікроскопа було рівномірно освітлене. Вставити в окуляр мікроскопа мікрометричну шкалу.

2. Помістити на предметний столик мікроскопа пластини монокристалу галій-гадолінієвого гранату з нанесеною епітаксійною плівкою залізо-ітрієвого гранату. За допомогою ручок мікроскопа 1 і 3 добитися чіткого зображення поверхні епітаксійної плівки.

3. Користуючись гвинтами переміщення, розташованими на предметному столику, знайти протяжний механічний дефект на поверхні епітаксійної плівки – подряпину. Поворотом лампочки розжарення підсвітки добитися найбільш якісного зображення дефекту. Замалювати форму дефекту у звіті до лабораторної роботи.

4. Переміщуючи гвинти предметного столика, за допомогою мікрошкали виміряти лінійний розмір дефекту l . Повторити вимірювання ще 4 рази.

5. Обчислити середнє значення та абсолютну похибку кожного результату вимірювання лінійного розміру дефекту за формулами:

$$l_{\text{сер}} = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{n}. \quad (7)$$

$$\Delta l_1 = |l_{\text{сер}} - l_1|;$$

.....

$$\Delta l_n = |l_{\text{сер}} - l_n|.$$

6. Обчислити середнє квадратичне відхилення визначення лінійного розміру дефекту:

$$\Delta S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta l_i^2}{n(n-1)}}. \quad (9)$$

7. Обчислити середнє значення абсолютної похибки результатів вимірювання лінійного розміру дефекту:

$$\Delta l = t_c \Delta S, \quad (10)$$

де t_c – коефіцієнт Стьюдента.

8. Визначити відносну похибку обчислень:

$$E = \frac{\Delta l}{l_{\text{сер}}} \cdot 100\%. \quad (11)$$

9. Користуючись гвинтами переміщення, розташованими на предметному столику, знайти інший механічний дефект на поверхні епітаксійної плівки – краплю після епітаксії та добитися найбільш якісного її зображення. Переміщуючи гвинти предметного столика, за допомогою мікрошкали виміряти діаметр краплі d . Повторити вимірювання ще 4 рази.

10. Визначити площу краплі для кожного вимірювання за формулою:

$$P = \frac{\pi d^2}{4}. \quad (11)$$

11. Обчислити середнє значення площі краплі:

$$P_{\text{сер}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n}. \quad (12)$$

12. Обчислити абсолютну похибку кожного результату вимірювання:

$$\Delta P_1 = \left| P_{\text{сер}} - P_1 \right|; \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (13)$$

$$\Delta P_n = \left| P_{\text{сер}} - P_n \right|.$$

13. Обчислити середнє квадратичне відхилення результату визначення площі краплі:

$$\Delta S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta P_i^2}{n(n-1)}}. \quad (15)$$

14. Обчислити абсолютну похибку визначення площі краплі:

$$\Delta P = t_c \Delta S, \quad (10)$$

де t_c – коефіцієнт Стьюдента.

15. Визначити відносну похибку обчислень площі краплі:

$$E = \frac{\Delta P}{P_{\text{сер}}} \cdot 100\%.$$

16. Результати вимірювань та розрахунків занести до звітних таблиць.

Таблиця результатів вимірювань та обчислень розміру лінійного дефекту

№	l_i , мкм	Δl_i , мкм	ΔS , мкм	Δl , мкм	E , %
1					
2					
3					
4					
5					
Сер.					

2. Таблиця результатів вимірювань та обчислень площі епітаксійної краплі

№	d , мкм	P , мкм ²	ΔP_i , мкм ²	ΔS , мкм ²	ΔP , мкм ²	E , %
1						
2						
3						
4						
5						
Сер.						

**Контрольні питання для допуску до виконання
лабораторної роботи**

1. Який оптичний прилад називається мікроскопом?
2. Поясніть будову мікроскопа.
3. Побудуйте зображення предмета у мікроскопі.
4. Що називається збільшенням мікроскопа? Запишіть формулу.
5. Як визначається збільшення окуляра?
6. Як визначається збільшення об'єктива?
7. Що називається межею розділення та роздільною здатністю мікроскопа?
8. Чим зумовлене обмеження збільшення мікроскопа?
9. Чим відрізняються прямі вимірювання від непрямих?
10. З чого складається оптична система мікроскопа?
11. Як визначається віддаль найкращого зору?
12. Яке зображення створює об'єктив мікроскопа?

Тестові завдання для захисту лабораторної роботи

1. Світлова хвиля – це:
 - 1) поперечна хвиля;
 - 2) поздовжня хвиля;
 - 3) електромагнітна хвиля;
 - 4) звукова хвиля.

2. Поляризація електромагнітних хвиль це:
 - 1) явище коливання векторів напруженості електричного і магнітного поля;
 - 2) явище коливання вектора напруженості електричного поля;
 - 3) явище направленого коливання векторів напруженості електричного і магнітного поля;
 - 4) явище коливання вектора напруженості магнітного поля.

3. Хвиля називається лінійно-поляризованою або плоскополяризованою, якщо:

1) при розповсюдженні електромагнітної хвилі світловий вектор зберігає свою орієнтацію;

2) при розповсюдженні електромагнітної хвилі вектор напруженості електричного поля зберігає свою орієнтацію;

3) при розповсюдженні електромагнітної хвилі вектор напруженості магнітного поля не зберігає свою орієнтацію;

4) при розповсюдженні електромагнітної хвилі світловий вектор змінює свою орієнтацію.

4. Вкажіть діапазон довжин хвиль видимого світла:

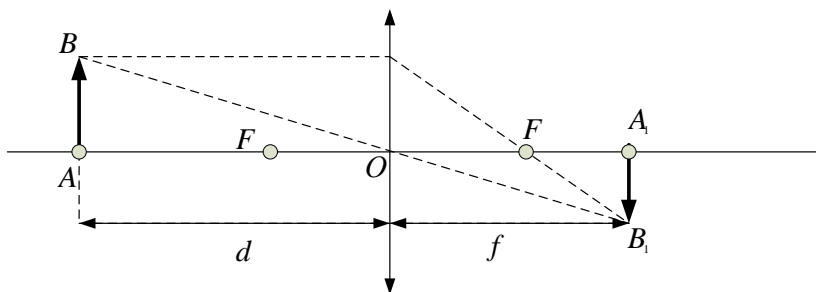
1) 200-500 нм;

2) 200- 400 нм;

3) 500- 900 нм;

4) 400-800 нм.

5. Величина збільшення (або зменшення) для зображення, яке дає збиральна лінза (див.рис.) визначається за формулою:



1) $N = \frac{f}{F}$;

2) $N = \frac{f}{d}$;

3) $N = \frac{d}{F}$;

$$4) N = \frac{F}{d}.$$

6. Оптична сила системи, що складається з n -ої кількості лінз, визначається за формулою:

$$1) \frac{1}{D} = \frac{1}{D_1} + \frac{1}{D_2} + \dots + \frac{1}{D_n};$$

$$2) D = D_1 \cdot D_2 \cdot \dots \cdot D_n;$$

$$3) D = D_1 + D_2 + \dots + D_n;$$

$$4) D = D_1 = D_2 = \dots = D_n.$$

7. Визначити оптичну силу лінзи, якщо дійсне зображення лампи, яка закріплена на висоті 3 м, знаходиться на підлозі. Лінза розташована на відстані 1 м від лампи:

$$1) 1,5 \text{ дптр};$$

$$2) 3 \text{ дптр};$$

$$3) 2 \text{ дптр};$$

$$4) 4 \text{ дптр}.$$

8. Предмет розташований на відстані 40 см від двоопуклої лінзи з однаковими радіусами кривизни. Отримане дійсне зображення збільшене в 1,5 разів. Знайти радіус кривизни лінзи:

$$1) 1 \text{ м};$$

$$2) 0,5 \text{ м};$$

$$3) 0,23 \text{ м};$$

$$4) 4 \text{ м}.$$

9. Дві збиральні лінзи з фокусними відстанями 0,2 м і 0,4 м розташовані на відстані 1,5 м. Предмет висотою 2 см знаходиться на відстані 25 см від першої лінзи. Яка висота отриманого зображення?

$$1) 5 \text{ м};$$

$$2) 2 \text{ м};$$

- 3) 6 м;
- 4) 10 м.

10. Відстань між предметом і екраном 1,2 м. Між ними помістили скляну збиральну симетричну лінзу так, що на екрані утворилося зображення предмета, збільшене в 5 разів. Показник заломлення скла 1,5. Визначити оптичну силу лінзи:

- 1) 3 дптр;
- 2) 2 дптр;
- 3) 6 дптр;
- 4) 10 дптр.

11. Головна фокусна відстань об'єктива проекційного ліхтаря 15 см. Діапозитив знаходиться на відстані 15,6 см від об'єктива. Яке лінійне збільшення дає ліхтар?

- 1) 25;
- 2) 4;
- 3) 12,5;
- 4) 3,0.

Лабораторна робота № 3 ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКА ЗАЛОМЛЕННЯ СКЛА

Мета роботи

Визначити абсолютний показник заломлення скла у плоскопаралельних скляних пластинках за допомогою оптичного мікроскопа.

Прилади і матеріали

П'ять плоскопаралельних тонких скляних пластинок, одна скляна пластинка товщиною 1-3 см, оптичний мікроскоп, освітлювач мікроскопа.

Теоретичні відомості та опис вимірювального пристрою

Встановлено, що світлові промені при переході з одного середовища в інше заломлюються. При цьому для даних двох середовищ виконується закон заломлення: відношення синуса кута падіння до синуса кута заломлення є сталим і називається відносним показником заломлення другого середовища відносно першого. Абсолютний показник заломлення – це показник заломлення середовища відносно вакууму.

В даній лабораторній роботі абсолютний показник заломлення скла визначають за порівнянням дійсної та уявної товщини скляної плоскопаралельної пластинки. Якщо на шляху світла від будь-якого предмета помістити плоскопаралельну скляну пластинку, то його зображення наблизиться до спостерігача. Це відбувається внаслідок заломлення розсіяних променів світла від цього предмета. Зображення предмета буде ближчим до верхньої поверхні пластинки на певну величину, ніж сам предмет.

В даній лабораторній роботі для визначення показника заломлення плоскопаралельної скляної пластинки використовується мікроскоп.

Для визначення показника заломлення на предметний столик мікроскопа кладуть скляну пластинку 1 (рис. 1), на верхній поверхні якої нанесено тонку лінію – мітку.

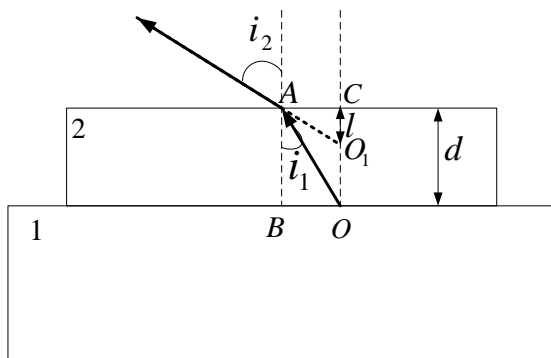


Рисунок 1. Хід променів у плоско-паралельній скляній пластинці

Опускаючи вниз тубус мікроскопа, за допомогою мікрогвинта наводять мікроскоп на чітке зображення лінії і фіксують це положення на шкалі мікрогвинта. Якщо на пластинку 1 покласти другу скляну пластинку 2 з нанесеною на її поверхні лінією іншого кольору (причому так, щоб точка перетину ліній потрапляла в поле зору мікроскопа), то чіткість зображення порушується. Це пояснюється тим, що промінь, який виходить, наприклад, від фіксованої точки O (від лінії на пластинці 1) при переході через пластинку 2 на границі з повітрям заломлюється у бік від перпендикуляра AB . Через це зображення нижньої мітки (точки O) знаходиться вище в уявному положенні O_1 . Для того, щоб побачити її знову чітко, потрібно тубус мікроскопа підняти на висоту OO_1 за допомогою мікрогвинта. Відстань $l=CO_1$ є уявною товщиною пластинки.

Виведемо залежність між товщиною пластинки d , висотою її зображення l та абсолютними показниками заломлення скла n і повітря, враховуючи, що $n_{\text{пов.}}=1$.

З рис.1 видно, що:

$$\operatorname{tgi}_1 = \frac{BO}{AB} = \frac{BO}{d}, \quad (1)$$

$$\operatorname{tgi}_2 = \frac{AC}{CO_1} = \frac{AC}{l}. \quad (2)$$

Оскільки $BO=AC$, то

$$\frac{\operatorname{tgi}_1}{\operatorname{tgi}_2} = \frac{l}{d}. \quad (3)$$

Враховуючи, що спостереження здійснюються майже по нормалі до граней пластин, то кути i_1 та i_2 дуже малі, а тому:

$$\operatorname{tgi}_1 \approx \sin i_1, \quad (4)$$

$$\operatorname{tgi}_2 \approx \sin i_2. \quad (5)$$

Отже

$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \frac{l}{d}. \quad (6)$$

Згідно з законом заломлення світла:

$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \frac{1}{n}. \quad (7)$$

Прирівнявши праві частини рівнянь (6) та (7), отримаємо співвідношення для знаходження абсолютного показника заломлення скляної пластинки:

$$n_{\text{скл.}} = \frac{d}{l}. \quad (8)$$

Порядок виконання роботи

1. Помити і витерти фільтрувальним папером скляні пластинки і нанести на кожній пластинці по одній лінії різними кольорами.

2. Включити освітлювач мікроскопа і встановити дзеркало таким чином, щоб поле зору мікроскопа було рівномірно освітлене. Вставити в окуляр мікроскопа мікрометричну шкалу.

3. Помістити на предметний столик мікроскопа товсту скляну пластинку 1. За допомогою ручок мікроскопа добитися чіткого зображення лінії на її верхній поверхні. Зафіксувати це положення на барабані мікрогвинта.

4. Покласти на пластинку 1 тонку пластинку 2 з нанесеною на верхній поверхні лінією. Піднімаючи мікрогвинтом тубус і рахуючи кількість обертів і долей оберту за лімбом мікрометричного гвинта, добитись чіткого зображення лінії на верхній поверхні пластинки 2. Визначити товщину тонкої пластинки d з точністю до 0,01 мм.

5. Повільно обертаючи мікрометричний гвинт, опускати вниз тубус мікроскопа до одержання чіткого зображення лінії на нижній пластинці, визначаючи при цьому кількість повних обертів і долей оберту мікрометричного гвинта. Визначити уявну товщину тонкої пластинки l .

6. Повторити вимірювання для інших 4-х тонких пластинок згідно п.п. 4-5.

7. Визначити абсолютний показник заломлення скла для кожної пластинки за формулою (8).

8. Обчислити середнє значення та абсолютну похибку кожного результату визначення показника заломлення скла за формулами:

$$n_{\text{сеп}} = \frac{\sum_{i=1}^n n_i}{n}. \quad (9)$$

$$\Delta n_1 = \left| n_{\text{сеп}} - n_1 \right|;$$

.....

$$\Delta n_n = \left| n_{\text{сеп}} - n_n \right|.$$

9. Обчислити середнє квадратичне значення абсолютної похибки результатів визначення показника заломлення:

$$\Delta S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n n_i^2}{n(n-1)}}. \quad (11)$$

10. Обчислити абсолютну похибку визначення показника заломлення:

$$\Delta n = t_c \Delta S, \quad (12)$$

де t_c – коефіцієнт Стьюдента.

11. Визначити відносну похибку обчислень:

$$E = \frac{\Delta n}{n_{сер.}} 100\%. \quad (13)$$

12. Результати вимірювань та розрахунків занести до звітної таблиці:

Таблиця результатів вимірювань та обчислень абсолютного показника заломлення скла

№ пластинки	d , мм	l , мм	n	Δn_i	ΔS ,	Δn	$E, \%$
1							
2							
3							
4							
5							
Сер.	-	-					

Контрольні питання для допуску до виконання лабораторної роботи

1. Що таке плоско-паралельна пластина?
2. Для чого використовується плоско-паралельна пластина?

3. Як визначається оптична товщина плоско-паралельної пластини?
4. Як визначається кут падіння світлового променя?
5. Яке взаємне розміщення променів, що впав на плоско-паралельну пластину і вийшов з неї?
6. Чи залежить зміщення світлового променя від товщини плоско-паралельної пластини?
7. Сформулюйте закони геометричної оптики.
8. Який фізичний зміст має абсолютний та відносний показники заломлення середовища?
9. Що таке уявна товщина скляної пластинки?
10. Де використовують плоско-паралельну пластину?

Тестові завдання для захисту лабораторної роботи

1. Згідно з законами геометричної оптики:
 - 1) світловий промінь в однорідному середовищі поширюється вздовж прямої;
 - 2) світловий промінь в однорідному середовищі відбивається;
 - 3) світловий промінь в однорідному середовищі заломлюється;
 - 4) світловий промінь в однорідному середовищі заломлюється та відбивається.
2. Згідно з законами геометричної оптики:
 - 1) світловий промінь на межі двох середовищ не змінює свого напрямку;
 - 2) світловий промінь в однорідному середовищі відбивається;
 - 3) світловий промінь в однорідному середовищі заломлюється;
 - 4) світловий промінь на межі двох середовищ розсіюється.
3. Згідно з законами геометричної оптики:
 - 1) кут падіння дорівнює куту відбивання;
 - 2) кут падіння більший від кута відбивання;

- 3) кут падіння менший кута відбивання;
- 4) кут падіння дорівнює куту заломлення.

4. Згідно з законами геометричної оптики повне внутрішнє відбивання можливе у такому випадку:

- 1) промінь світла переходить із менш оптично густого середовища у більш оптично густе;
- 2) промінь світла переходить із більш оптично густого середовища у менш оптично густе;
- 3) повне внутрішнє відбивання не залежить від оптичної густини середовищ і його можна спостерігати за будь-яких умов;
- 4) промінь світла знаходиться в оптично однорідному середовищі.

5. Якщо промінь світла іде із більш оптично густого середовища у менш оптично густе, то:

- 1) кут заломлення більший кута падіння;
- 2) кут заломлення менший кута падіння;
- 3) кут заломлення дорівнює куту падіння;
- 4) кут заломлення не залежить від кута падіння.

6. У випадку повного внутрішнього відбивання:

- 1) кут заломлення більший кута падіння;
- 2) кут заломлення дорівнює нулю;
- 3) кут заломлення менший кута падіння;
- 4) кут заломлення дорівнює 90° .

7. Вкажіть одиницю вимірювання коефіцієнта заломлення світлового променя:

- 1) $1/\text{м}$;
- 2) $\text{м} \cdot \text{с}$;
- 3) величина безрозмірна;
- 4) $\text{м}/\text{с}$.

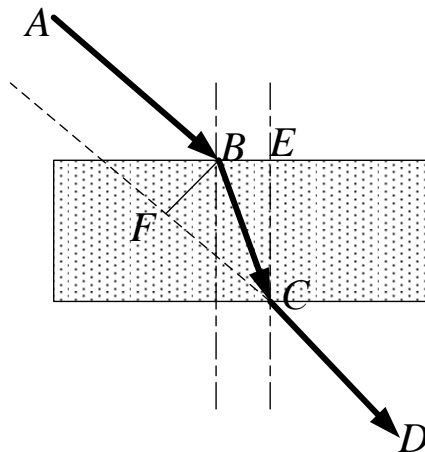
8. Абсолютний показник заломлення світла показує:

- 1) у скільки разів швидкість світла в даному середовищі більша від швидкості світла у вакуумі;
- 2) у скільки разів швидкість світла в даному середовищі менша від швидкості світла у вакуумі;
- 3) у скільки разів швидкість світла в даному середовищі більша від швидкості світла у більш оптично густому середовищі;
- 4) у скільки разів швидкість світла в даному середовищі менша від швидкості світла у більш оптично густому середовищі.

9. Якщо абсолютний показник заломлення одного середовища більший за абсолютний показник заломлення другого, то це середовище називається:

- 1) більш густим;
- 2) менш оптично густим;
- 3) більш оптично густим;
- 4) менш густим.

10. На рисунку, наведеному нижче, показано хід світлового променя в плоско-паралельній пластині. Зміщення променя – це відрізок:



- 1) ВС;
- 2) ВЕ;
- 3) ВF;
- 4) АВ.

11. Промінь падає на поверхню пластинки з показником заломлення 1,7. Визначити кут, який утворюють між собою відбитий і заломлений промені, якщо кут падіння на поверхню пластинки 60° :

- 1) 30° ;
- 2) 45° ;
- 3) 90° ;
- 4) 60° .

12. Під яким кутом буде падати промінь на плоске дзеркало, щоб відбитий промінь був під кутом 60° до падаючого?

- 1) 30° ;
- 2) 45° ;
- 3) 90° ;
- 4) 60° .

13. Визначити граничний кут повного внутрішнього відбивання для речовини з показником заломлення 2:

- 1) 30° ;
- 2) 45° ;
- 3) 90° ;
- 4) 60° .

Лабораторна робота № 4 ВИЗНАЧЕННЯ ДОВЖИНИ СВІТЛОВОЇ ХВИЛІ ОПТИЧНОГО КВАНТОВОГО ГЕНЕРАТОРА ЗА ДОПОМОГОЮ ДИФРАКЦІЙНОЇ ГРАТКИ

Мета роботи

Визначити довжину світлової хвилі газового лазера за допомогою дифракційної ґратки.

Прилади і матеріали

Джерело світла, дифракційна ґратка, екран з міліметровою шкалою, оптична лава, пересувна підставка з рамкою для дифракційної ґратки, мікроскоп.

Теоретичні відомості

Для вимірювання довжини хвилі лазерного випромінювання використовується властивість електромагнітних хвиль дифрагувати. Явищем дифракції світлових хвиль називається огинання світлом перешкод, що зустрічаються на його шляху. При проходженні світла через вузьку щілину на екрані утворюється дифракційна картина у вигляді паралельних світлих і темних смуг, причому в центрі цієї картини розташована основна світла смуга.

Дифракцію світла можна пояснити на основі принципу Гюйгенса-Френеля. Кожна точка простору, до якої доходить світлова хвиля, може розглядатися як джерело вторинних півсферичних хвиль. Дифракційна картина – це результат інтерференції вторинних хвиль.

На явищі дифракції заснований принцип дії дифракційної ґратки. Дифракційна ґратка – це сукупність великого числа близько розташованих вузьких щілин (прозорих проміжків), розділених непрозорими проміжками (штрихами). Число щілин налічується до декількох сотень і навіть тисяч на 1 мм. Щілина шириною a між штрихами пропускає світло, а сам штрих шириною b

розсіює світло і практично його не пропускає. Величина $d=a+b$ називається періодом ґратки.

Нехай, на дифракційну ґратку перпендикулярно падає монохроматичний паралельний пучок променів (рис.1).

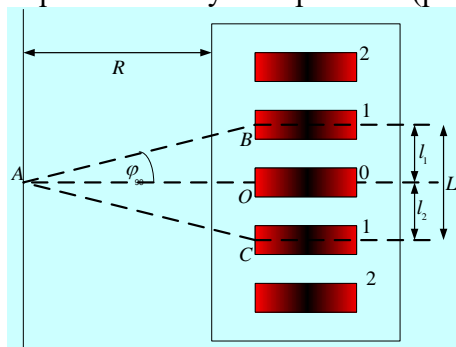


Рисунок 1. Хід променів у дифракційній ґратці

Проходячи через щілини, внаслідок дифракції промені відхиляються на різні кути φ . Паралельні промені збираються лінзою в точці B на екрані, який розміщують у фокальній площині лінзи. В результаті накладання променів утворюється дифракційна картина, яка складається з максимумів і мінімумів. Головні максимуми спостерігаються під кутами φ , що визначаються з умови:

$$d \sin \varphi = \pm k \lambda, \tag{1}$$

де d – постійна ґратки, $k=0, 1, 2, \dots$, – порядок дифракційного максимуму, φ – кут дифракції відповідного порядку, λ – довжина падаючої хвилі.

Як видно з формули (1), для визначення довжини хвилі потрібно виміряти кут φ . Оскільки відстань від ґратки до екрану набагато більша, ніж відстань між максимумами сусідніх порядків ($AO \gg OB$), то для максимуму першого порядку ($k=1$), за малих кутів дифракції, можна вважати, що:

$$\sin\varphi_1 = \operatorname{tg}\varphi_1 = \frac{OB}{OA} = \frac{OC}{OA} = \frac{L}{2R}. \quad (2)$$

Підставляючи (2) у (1), одержуємо:

$$\lambda = \frac{d \cdot L}{2R}, \quad (3)$$

або для k -го порядку спектра:

$$\lambda = \frac{d \cdot l_k}{kR}, \quad (4)$$

де l_k – відстань між нульовим і k -им максимумами.

Чим більше щілин в дифракційній ґратці, тим більша інтенсивність спектрів. Із зменшенням постійної d ґратки збільшується кут відхилення φ між двома сусідніми максимумами. Перші дифракційні спектри ($k=1$) з обох сторін від центральної щілини називаються спектрами першого порядку, другі ($k=2$) – спектрами другого порядку і т.д.

Опис вимірювального пристрою

Пристрій для визначення довжини хвилі монохроматичного світла складається з масивної металевої оптичної лави, вздовж якої переміщається дифракційна ґратка в рамці на підставці (рис. 2).

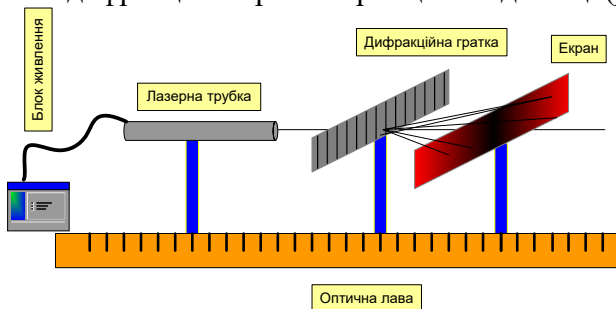


Рисунок 2. Схема пристрою для визначення довжини хвилі

На лівому кінці оптичної лави знаходиться джерело випромінювання – лазер. Справа від ґратки розміщений екран. На екрані нанесено міліметрову шкалу для вимірювання відстані між дифракційними максимумами.

Порядок виконання роботи

1. Увімкнути блок живлення лазера в мережу з напругою 220 В. Через 10–15 секунд натиснути вимикач “запуск”. Одночасно з загорянням лампочок повинен з’явитися промінь лазера.

2. Встановити на оптичній лаві дифракційну ґратку і екран перпендикулярно до лазерного випромінювання.

3. Пересуваючи екран вздовж оптичної осі, добитися чіткого зображення дифракційної картини (не менше 4-5 максимумів).

4. Виміряти відстань від дифракційної ґратки до екрана і відстані від нульового максимуму до максимумів відповідних порядків справа і зліва від нього, використовуючи міліметрову шкалу екрану.

5. Визначити постійну дифракційної ґратки d . Для цього:

а) розмістити дифракційну ґратку на предметний столик мікроскопа і спрямувати світлові промені на досліджуваний об’єкт;

б) переміщуючи тубус мікроскопа, добитися різкого зображення системи паралельних штрихів, нанесених на поверхню ґратки;

в) розмістити в окулярі мікроскопа шкалу, нанесену на поверхню скла. Ціна поділки шкали $n = 0,1$ мм;

г) визначити, скільки штрихів ґратки відповідає заданому числу поділок шкали мікроскопа N (наприклад, 10 поділок). Постійну ґратки d визначити за формулою (5):

$$d = \frac{N \cdot n}{N_{\text{штрихів}}}, \quad (5)$$

де n – ціна поділки шкали мікроскопа, $N_{\text{штрихів}}$ – кількість штрихів, що відповідає заданому числу поділок шкали мікроскопа.

6. Обчислити довжину хвилі для кожного порядку k спектра за формулою (4).

7. Обчислити середнє значення та абсолютну похибку кожного результату визначення довжини хвилі за формулами (6), (7):

$$\lambda_{\text{сеп}} = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i}{n}. \quad (6)$$

$$\Delta\lambda_1 = \left| \lambda_{\text{сеп}} - \lambda_1 \right|;$$

.....

$$\Delta\lambda_n = \left| \lambda_{\text{сеп}} - \lambda_n \right|.$$

8. Обчислити середнє квадратичне значення абсолютної похибки результатів визначення довжини світлової хвилі:

$$\Delta S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta\lambda_i^2}{n(n-1)}}. \quad (8)$$

9. Обчислити абсолютну похибку визначення довжини світлової хвилі:

$$\Delta n = t_c \Delta S, \quad (9)$$

де t_c – коефіцієнт Стьюдента.

9. Визначити відносну похибку обчислень:

$$E = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_{\text{сеп}}} 100\%. \quad (10)$$

10. Результати вимірювань та розрахунків занести до звітної таблиці:

**Таблиця результатів вимірювань та обчислень
довжини хвилі**

k	l_1 , мм	l_2 , мм	R , мм	d , мм	λ , мм	$\Delta\lambda_i$, мм	$\Delta\lambda$, мм	ΔS	$E \%$
1									
2									
3									
4									
5									
Сер.									

**Контрольні питання для допуску до виконання лабораторної
роботи**

1. Що називається явищем дифракції?
2. Дифракційна ґратка, її будова.
3. Запишіть і поясніть рівняння дифракційної ґратки.
4. Що називається явищем інтерференції?
5. Умови виникнення інтерференції.
6. Яке світло називається монохроматичним світлом?
7. Які світлові хвилі називаються когерентними?
8. Назвіть основні властивості лазерного випромінювання.
9. Поясніть принцип дії газового лазера.
10. Як визначити довжину хвилі лазерного випромінювання?

Тестові завдання для захисту лабораторної роботи

1. Котрі явища із перерахованих є наслідком хвильової природи світла?
- 1) інтерференція світла;
 - 2) дифракція світла;
 - 3) фотоефект;
 - 4) відбивання світла.

2. Дифракція світла – це:

- 1) явище накладання хвиль;
- 2) явище огинання хвилею перешкоди;
- 3) явище розкладання світла на кольори;
- 4) явище заломлення світла.

3. Умова дифракційного максимуму визначається як:

- 1) $\delta_{\max} = \pm 2m\pi$;
- 2) $\delta_{\max} = \pm m\pi$;
- 3) $\delta_{\max} = \pm m \frac{\pi}{2}$;
- 4) $\delta_{\max} = \pm (2m + 1)\pi$.

4. Умова інтерференційного мінімуму визначається:

- 1) $\delta_{\max} = \pm 2m\pi$;
- 2) $\delta_{\max} = \pm m\pi$;
- 3) $\delta_{\max} = \pm m \frac{\pi}{2}$;
- 4) $\delta_{\max} = \pm (2m + 1)\pi$.

5. Як зміниться вигляд спектрів дифракційної решітки, якщо її занурити у воду:

- 1) спектри розширюються;
- 2) спектри ущільнюються;
- 3) спектри не змінюються;
- 4) спектри заломлюються.

6. Інтерференційні мінімуми утворюються в тих точках, де:

- 1) оптична різниця ходу дорівнює цілому числу хвиль;
- 2) оптична різниця ходу дорівнює парному числу довжин;
- 3) оптична різниця ходу дорівнює цілому числу півхвиль;
- 4) оптична різниця ходу дорівнює будь-якому числу хвиль.

7. Когерентними називаються хвилі, які мають:

- 1) однакову амплітуду;
- 2) однакову фазу;
- 3) однаковий період;
- 4) однакову частоту.

8. Амплітуда хвилі, що є сумую двох когерентних хвиль визначається з умови:

- 1) $A^2 = A_1^2 + A_2^2$;
- 2) $A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos \delta$;
- 3) $A^2 = A_1^2 + A_2^2 + A_1A_2 \cos \delta$;
- 4) $A^2 = A_1^2 + A_2^2 - A_1A_2 \cos \delta$.

9. Умова інтерференційного максимуму визначається з виразу:

- 1) $\Delta = \pm m\lambda$;
- 2) $\Delta = \pm m \frac{\lambda}{2}$;
- 3) $\Delta = \pm(2m+1)\lambda$;
- 4) $\Delta = \pm(2m+1) \frac{\lambda}{2}$.

10. Умова інтерференційного мінімуму визначається з виразу:

- 1) $\Delta = \pm m\lambda$;
- 2) $\Delta = \pm m \frac{\lambda}{2}$;
- 3) $\Delta = \pm(2m+1)\lambda$;
- 4) $\Delta = \pm(2m+1) \frac{\lambda}{2}$.

11. Відстань між сусідніми максимумами (ширина інтерференційної смуги) від двох когерентних джерел, що знаходяться на відділі d визначається:

1) $\Delta x = \frac{l}{d} \lambda / 2;$

2) $\Delta x = \frac{l}{d} \lambda;$

3) $\Delta x = ld\lambda;$

4) $\Delta x = \frac{2l}{d} \lambda.$

12. Координати інтерференційних максимумів від двох когерентних джерел, що знаходяться на віддалі d визначаються:

1) $x_{\max} = m \frac{l}{d} \lambda / 2;$

2) $x_{\max} = m \frac{l}{d} \lambda;$

3) $x_{\max} = 2m \frac{l}{d} \lambda;$

4) $x_{\max} = \left(m + \frac{1}{2}\right) \frac{l}{d} \lambda.$

13. Координати інтерференційних мінімумів від двох когерентних джерел, що знаходяться на віддалі d визначаються:

1) $x_{\min} = m \frac{l}{d} \lambda / 2;$

2) $x_{\min} = m \frac{l}{d} \lambda;$

3) $x_{\min} = 2m \frac{l}{d} \lambda;$

4) $x_{\min} = \left(m + \frac{1}{2}\right) \frac{l}{d} \lambda.$

14. Формула дифракційної ґратки максимумів):

1) $d \sin \varphi = k \frac{\lambda}{2}$;

2) $d \sin \varphi = 2k\lambda$;

3) $d \sin \varphi = k\lambda$;

4) $d \cos \varphi = 2k\lambda$

15. Які відповіді вказують на подібність між світловими хвилями та радіохвилями:

1) однаковий діапазон частот;

2) однакова природа;

3) однакова швидкість;

г) однакова проникаюча здатність.

16. Які відповіді вказують на відмінність між світловими хвилями та радіохвилями:

1) різний діапазон частот;

2) однакова природа;

3) однакова швидкість;

4) різна проникаюча здатність.

17. Вкажіть діапазон довжин хвиль видимого світла:

1) 200-500 нм;

2) менше 400 нм;

3) більше 900 нм;

4) 400-800 нм.

Лабораторна робота № 5 ВИМІРЮВАННЯ ВИСОКИХ ТЕМПЕРАТУР ЗА ДОПОМОГОЮ ОПТИЧНОГО ПРОМЕТРА

Мета роботи

Виміряти температуру розжареного вольфраму та встановити залежність інтегральної випромінювальної здатності вольфраму від температури.

Прилади і матеріали

Пірометр “Промінь”, джерело світла – лампа з вольфрамовою ниткою розжарення, ватметр, автотрансформатор.

Теоретичні відомості

Випромінювання тіла, зумовлене збудженням атомів і молекул, що здійснюється в процесі їх теплового руху, називається *тепловим випромінюванням*. Якщо в процесі теплового випромінювання енергія, що її випромінює тіло, повністю компенсується тією енергією, яку тіло дістає ззовні, то такий процес випромінювання називається *рівноважним*. Він відбувається при сталій температурі і називається *температурним випромінюванням*. Інтенсивність температурного випромінювання і його спектральний склад залежать від температури, хімічного складу і фізичного стану тіла, зокрема його поверхні. Характеристики температурного випромінювання тіл тісно пов’язані з їхніми властивостями щодо поглинання світла та його відбивання. Всі ці властивості тіл з кількісного боку визначаються такими величинами:

1. *Повна (інтегральна) випромінювальна здатність тіла $E(T)$* . Вона дорівнює енергії, яку випромінює тіло при даній температурі T з одиниці площі поверхні за одиницю часу хвилями всіх можливих частот ($0 \leq \nu \leq \infty$). Вимірюється $E(T)$ у Вт/м² і виражає поверхневу густину потужності випромінювання.

2. Спектральна випромінювальна здатність тіла $e(\nu, T)$ чисельно дорівнює енергії, яку випромінює тіло при даній температурі T з одиниці площі поверхні за одиницю часу в інтервалі частот від ν до $\nu + d\nu$.

Між повною і спектральною випромінювальною здатністю існує залежність:

$$E(T) = \int_0^{\infty} e(\nu, T) d\nu. \quad (1)$$

3. Спектральна поглинальна здатність тіла $a(\nu, T)$ – величина, що показує, яку частину енергії падаючого світла в інтервалі частот від ν до $\nu + d\nu$ тіло поглинає при заданій температурі T . Поглинальна здатність – величина безрозмірна.

4. Спектральна відбивна здатність тіла $r(\nu, T)$ – величина, що показує, яку частину енергії падаючого світла в інтервалі частот від ν до $\nu + d\nu$ тіло відбиває при заданій температурі T .

5. Спектральна пропускна здатність тіла $D(\nu, T)$ – величина, що показує, яку частину енергії падаючого світла в інтервалі частот від ν до $\nu + d\nu$ тіло пропускає при заданій температурі. D характеризує прозорість тіла і залежить від товщини тіла; при достатній товщині практично всі тіла непрозорі.

Величини a , r , D інакше називають коефіцієнтами поглинання, відбивання і пропускання, відповідно, світла. Всі вони залежать не тільки від частоти світла і температури тіла, а й від хімічного складу тіла, його форми і стану поверхні. Оскільки кожен з цих коефіцієнтів визначає ту чи іншу частину енергії падаючого світлового потоку, то сума їх дорівнює одиниці:

$$a + r + D = 1. \quad (2)$$

Для формулювання закономірностей температурного випромінювання доцільно вибрати деякий стандартний випромінювач, з яким можна було б порівнювати випромінювання всіх інших тіл. Таким стандартним випромінювачем вибрано абсолютно чорне тіло, тобто тіло, яке поглинає всі промені ($a=1$), що падають на нього.

Закон Кірхгофа: відношення випромінювальної здатності до поглинальної здатності для всіх тіл при даній температурі і для даної частоти однакове:

$$\frac{e_1(\nu, T)}{a_1(\nu, T)} = \frac{e_2(\nu, T)}{a_2(\nu, T)} = \text{const}. \quad (3)$$

Якщо ці тіла розглядати разом з абсолютно чорним тілом, для якого $a(\nu, T)=1$, то закон Кірхгофа набирає такого вигляду:

$$\frac{e_i(\nu, T)}{a_i(\nu, T)} = \varepsilon(\nu, T), \quad (4)$$

тобто для всіх тіл при даній температурі відношення випромінювальної здатності для будь-якої частоти до поглинальної здатності для тієї самої частоти є стала величина, яка дорівнює випромінювальній здатності абсолютно чорного тіла при тій самій температурі і для тієї самої частоти. Рівність (4) є виразом закону Кірхгофа, який працює і для інтегральної випромінювальної і поглинальної здатності:

$$\frac{E(T)}{A(T)} = \varepsilon(T). \quad (5)$$

Закон *Стефана – Больцмана*: сумарне випромінювання абсолютно чорного тіла пропорційне до четвертого ступеня його абсолютної температури:

$$\varepsilon(T) = \int_0^{\infty} \varepsilon(\nu, T) d\nu = \sigma T^4, \quad (6)$$

де $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2\text{К}^4$ – постійна Стефана-Больцмана.

Закон зміщення Віна: довжина хвилі, що відповідає максимальному значенню випромінювальної здатності $\varepsilon(\nu, T)$ абсолютно чорного тіла, обернено пропорційна до його абсолютної температури:

$$\lambda_{\text{макс}} = \frac{b}{T}, \quad (7)$$

де $\lambda_{\text{макс}}$ – довжина хвилі, що відповідає максимальному значенню випромінювальної здатності абсолютно чорного тіла, $b = 2,9 \cdot 10^{-3}$ м·К – стала Віна.

Закони теплового випромінювання використовуються для вимірювання температури розжарених тіл.

Опис вимірювального пристрою

Методи вимірювання високих температур, в яких використовується залежність спектральної та інтегральної випромінювальної здатності тіл від температури, називаються оптичною пірометрією. Прилади для вимірювання температури розжарених тіл в залежності від інтенсивності їх теплового випромінювання в оптичному діапазоні спектру називаються пірометрами. В даній роботі для вимірювання температури вольфрамової спіралі лампи розжарення використовується пірометр типу “Промінь”. Визначення температури світного тіла пірометром базується на порівнянні яскравості випромінювання досліджуваного тіла в даній області спектру з яскравістю нитки пірометричної (еталонної) лампи, яка розташована всередині пірометра, в цій самій області спектру. Обертаючи ручку реохорда, що зв'язана з температурною шкалою пірометра, досягають того, щоб видима оком яскравість нитки пірометричної лампи стала такою ж, як яскравість нитки розжарення досліджуваного тіла.

Оптична схема пірометра показана на рис.1. Зображення розжареної вольфрамової спіралі (нитки) лампи 1, температуру якої потрібно виміряти, проектується з допомогою лінзи об'єктива 2 та діафрагми 3 в площину нитки еталонної пірометричної лампи 5. Спостерігач, розглядаючи з допомогою лінзи окуляра 6 зображення нитки еталонної лампи 5, бачить його спроектованим на фоні збільшеного зображення досліджуваної спіралі.

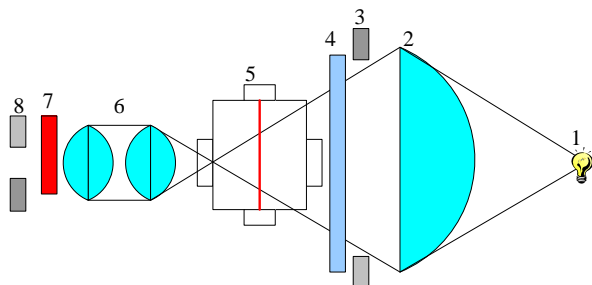


Рисунок 1. Оптична схема пірометра

Пірометр дає можливість вимірювати температуру тіла в діапазоні температур $800 - 5000^{\circ}\text{C}$. Для отримання монохроматичного світла застосовуються світлофільтри: в інтервалі температур $800-1400^{\circ}\text{C}$ – червоний світлофільтр 4 з довжиною хвилі пропускання $\lambda=660\text{ нм}$, в інтервалі температур $1200-2000^{\circ}\text{C}$ – димчастий (нейтральний) світлофільтр 7. Температурна шкала поділяється на три діапазони: $800-1400^{\circ}\text{C}$, $1200-2000^{\circ}\text{C}$, $1800-5000^{\circ}\text{C}$. У процесі використання червоного світлофільтра температуру досліджуваного тіла визначають за першою шкалою, перемножуючи покази шкали на 100°C . Джерелом струму нитки розжарення пірометра служить акумулятор з електрорушійною силою 2,4 В. Величина струму нитки розжарення регулюється так, щоб її зображення зникло на фоні досліджуваної випромінюючої поверхні. Тому такі прилади називають пірометрами зі зникаючою ниткою.

Порядок виконання роботи

1. Включити пірометр. Поворотом ручки реохорда фотометрування збільшити яскравість нитки пірометричної лампи до нормальної видимості. Регулювання струму розжарення нитки слід виконувати повільно, враховуючи теплову інерцію нитки.

2. Переміщенням окуляра добитися різкої видимості нитки в полі зору пірометра.

3. Направити пірометр на спіраль вольфрамової лампи, яка повинна знаходитися в центральній частині поля зору напроти вказівника. Переміщенням об'єктива добитися різкого зображення досліджуваної спіралі в площині нитки пірометричної лампи.

4. Ручкою перемикача піддіапазонів встановити необхідні межі вимірювання температури.

5. Обертаючи ручку автотрансформатора, встановити по ватметру вказану викладачем потужність P на спіралі досліджуваної лампи.

6. При включеному пірометрі поворотом ручки реохорда добитися однакових яскравостей нитки розжарення пірометричної лампи та спіралі вольфрамової лампи. По шкалі пірометра визначити яскравісну температуру спіралі досліджуваної лампи.

7. Повторити вимірювання п.п. 5-6 для чотирьох інших потужностей досліджуваної лампи, визначивши яскравісну температуру.

8. Побудувати графік залежності $\lg T$ від $\lg P$ та обчислити тангенс кута нахилу отриманої кривої до осі абсцис.

Контрольні питання для допуску до виконання лабораторної роботи

1. Що називається тепловим випромінюванням?
2. Яке теплове випромінювання називається рівноважним?
3. Дайте визначення та запишіть формулу зв'язку інтегральної та спектральної випромінювальної здатності тіла.
4. Що таке спектральна поглинальна, відбивна та пропускна здатність тіла?

Сформулюйте і запишіть формулу закону Кірхгофа для теплового випромінювання.

5. Що називається абсолютно чорним тілом? Накресліть графік розподілу енергії в спектрі випромінювання абсолютно чорного тіла.

6. Сформулюйте і запишіть формулу закону Віна.

7. Сформулюйте і запишіть формулу закону Стефана-Больцмана.
8. Яка температура називається яскравісною температурою?
9. У чому полягає метод оптичної пірометрії?
10. Поясніть принцип дії пірометра зі зникаючою ниткою.

**Тестові завдання для захисту
лабораторної роботи**

1. Що розуміють під терміном “Теплове випромінювання”:
 - 1) електромагнітне випромінювання, джерелом енергії якого є тепловий рух частинок речовини;
 - 2) теплообмін між поверхнею тіла і оточуючого середовища;
 - 3) процес передачі тепла від одного середовища у друге;
 - 4) розповсюдження теплоти від більш нагрітих елементів тіла до менш нагрітих.

2. Спектральна поглинальна здатність тіла – це:
 - 1) енергія, що поглинається тілом за одиницю часу;
 - 2) енергетична світність тіла;
 - 3) відношення поглинутої енергії до падаючої на тіло енергії в заданому інтервалі частот;
 - 4) відношення поглинутої енергії до відбитої енергії.

3. Спектральна відбивна здатність тіла – це:
 - 1) енергія, що поглинається тілом за одиницю часу;
 - 2) відношення відбитої енергії до енергії, що падає на тіло в заданому інтервалі частот;
 - 3) відношення поглинутої енергії до енергії, що падає на тіло;
 - 4) відношення поглинутої енергії до енергії, яка випромінюється.

4. Спектральна пропускна здатність тіла – це:

- 1) енергія, що поглинається тілом за одиницю часу;
- 2) відношення відбитої енергії до енергії, що падає на тіло в заданому інтервалі частот;
- 3) відношення поглинутої енергії до енергії, що падає на тіло;
- 4) відношення енергії, яку тіло пропускає, до енергії, що падає на тіло в заданому інтервалі частот.

5. Абсолютно чорним називається тіло, яке:

- 1) при будь-якій температурі поглинає все падаюче на нього випромінювання будь-якої частоти;
- 2) при будь-якій температурі пропускає все падаюче на нього випромінювання будь-якої частоти;
- 3) при будь-якій температурі відбиває все падаюче на нього випромінювання будь-якої частоти;
- 4) енергетична світність тіла дорівнює нулю.

6. Яка умова справедлива тільки для абсолютно чорного тіла?

- 1) енергетична світність тіла для усіх частот і температур дорівнює одиниці;
- 2) відношення енергетичної світності до коефіцієнта поглинання постійне для усіх частот і температур;
- 3) коефіцієнт випромінювання дорівнює одиниці;
- 4) коефіцієнт поглинання тіла для усіх частот і температур дорівнює 1.

7. Вкажіть формулу закону Стефана-Больцмана:

$$1) R_s = \int_0^{\infty} r_s d\lambda;$$

$$2) R_s = \sigma T^4;$$

$$3) \lambda_{\max} = \frac{a}{T};$$

$$4) \lambda_{\max} = bT^5;$$

8. Вкажіть формулу закону зміщення Віна:

$$1) R_{\nu} = \frac{E}{A};$$

$$2) R_{\nu} = \sigma T^4;$$

$$3) \lambda_{\max} = \frac{a}{T};$$

$$4) R_{\nu} = \int_0^{\infty} r_{\lambda,T} d\lambda.$$

9. Визначіть довжину хвилі, на яку припадає максимум випромінювання абсолютно чорного тіла, якщо температура його дорівнює 1000 К? Стала Віна $2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$:

$$1) 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$2) 2,9 \cdot 10^{-6} \text{ м};$$

$$3) 5,8 \cdot 10^{-6} \text{ м};$$

$$4) 25,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

10. По якому з перерахованих параметрів встановлюється температура в радіаційному пірометрі?

1) світність;

2) довжина хвилі випромінювання;

3) яскравість;

4) світлова енергія.

11. Який із принципів покладений в основу роботи радіаційного пірометра?

1) порівняння яскравості;

2) порівняння температур;

3) встановлення енергетичної світності;

4) встановлення світності тіл.

12. Потік випромінювання абсолютно чорного тіла становить 10 кВт, максимум енергії випромінювання відповідає довжині хвилі 0,8 мкм. Визначте площу поверхні випромінювання:

- 1) $2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$;
- 2) $5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$;
- 3) $8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$;
- 4) $1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$.

13. Площа поверхні вольфрамової нитки лампи розжарення потужністю 60 Вт становить $0,5 \text{ см}^2$. Інтегральна поглинальна здатність вольфраму 0,6. Визначте температуру нитки розжарення:

- 1) 2440 К;
- 2) 3450 К;
- 3) 1500 К;
- 4) 2300 К.

14. Визначте теплову енергію, яку за одиницю часу випромінює тверде тіло, якщо ступінь його чорноти становить 0,3:

- 1) 120 Вт;
- 2) 240 Вт;
- 3) 165 Вт;
- 4) 160 Вт.

15. Визначте тиск світла на стінки електричної лампи 60-ватної лампи, якщо колба лампи має форму сфери радіусом 5 см. Стінки лампи відбивають 10% падаючого на них світла. Вважати, що 7% споживаної потужності витрачається на нагрівання:

- 1) $6,5 \cdot 10^{-6} \text{ Па}$;
- 2) $8,5 \cdot 10^{-6} \text{ Па}$;
- 3) $4,7 \cdot 10^{-5} \text{ Па}$;
- 4) $3,5 \cdot 10^{-5} \text{ Па}$.

16. Інтегральна світність абсолютно чорного тіла $3,0 \text{ Вт/см}^2$. Визначте довжину хвилі, що відповідає максимуму випромінювальної здатності цього тіла:

- 1) $10,3 \text{ мкм}$;
- 2) $11,3 \text{ мкм}$;
- 3) $12,3 \text{ мкм}$;
- 4) $15,4 \text{ мкм}$.

17. Температура тіла 3200 К . Визначте коефіцієнт чорноти сірого тіла, для якого температура, виміряна радіаційним пірметром, становить 1400 К :

- 1) $0,15$;
- 2) $0,23$;
- 3) $0,05$;
- 4) $0,06$.

18. Визначте температуру абсолютно чорного тіла, якщо максимум енергії випромінювання припадає на довжину хвилі 600 нм :

- 1) 5000 К ;
- 2) 1450 К ;
- 3) 1480 К ;
- 4) 2500 К .

19. Температура абсолютно чорного тіла 1000 К . Визначте його енергетичну світність, якщо стала Стефана-Больцмана дорівнює $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2 \text{ К}^4$:

- 1) $1,28 \cdot 10^6 \text{ Вт/м}^2$;
- 2) $2,58 \cdot 10^8 \text{ Вт/м}^2$;
- 3) $5,67 \cdot 10^4 \text{ Вт/м}^2$;
- 4) $6,318 \cdot 10^6 \text{ Вт/м}^2$.

Лабораторна робота №6 ВИЗНАЧЕННЯ СИЛИ СВІТЛА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЛАМПИ

Мета роботи

Визначити силу світла електричної лампочки і дослідити її світлове поле.

Прилади і матеріали

Пристрій для дослідження законів фотометрії, люксметр Ю117, лінза в оправі, електрична лампочка, селеновий фотоелемент, дзеркальний гальванометр, джерело живлення.

Теоретичні відомості

Розділ оптики, в якому розглядаються питання вимірювання енергії, що переноситься електромагнітними хвилями оптичного діапазону, називається фотометрією.

Наше око сприймає із усього діапазону електромагнітних хвиль лише його вузьку область, яка називається видимим світлом. Цій області відповідають довжини хвиль від 400 нм до 800 нм. Чутливість ока з різними довжинами хвиль неоднакова. Максимум чутливості ока знаходиться в зеленій області спектру при $\lambda=555$ нм і швидко зменшується до нуля при віддалені від цього максимуму.

Відносна спектральна чутливість ока K_λ – це відношення чутливості при даній довжині хвилі до чутливості при $\lambda=555$ нм. Для цієї довжини хвилі $K_\lambda=1$. При цьому ж потоку енергії оцінювана візуально інтенсивність світла для інших хвиль виявляється меншою. Відповідно, K_λ для цих довжин хвиль менша від одиниці.

Напряма поширення світлової енергії від джерела кількісно описується тілесним кутом.

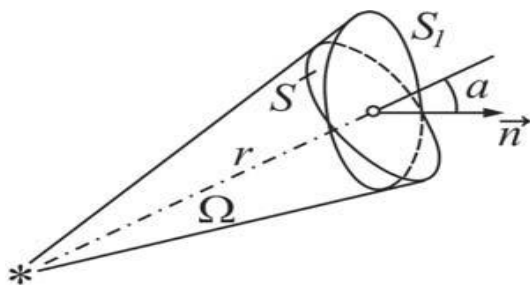


Рисунок 1. До визначення тілесного кута

Тілесний кут – це просторовий кут, створений конічною поверхнею, який дорівнює відношенню площі S , що вирізається цим конусом на поверхні сфери радіусом r , до квадрата радіуса цієї сфери (рис. 1):

$$\omega = \frac{S}{r^2}. \quad (1)$$

Тілесний кут вимірюється в стерadiansах (ср). Повний тілесний кут навколо точкового джерела світла становить 4π стерadiansа.

Для характеристики інтенсивності світла використовується величина, яка називається світловим потоком. Світловий потік (Φ) – це фізична величина, що дорівнює силі видимої частини випромінювання, яке поширюється всередині даного тілесного кута. Одиниця вимірювання світлового потоку – люмен. Повний світловий потік визначається так:

$$\Phi = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} K_{\lambda} d\Phi. \quad (2)$$

де $d\Phi$ – потік енергії, що випромінюється в інтервалі довжин хвиль від λ_1 до λ_2 .

Сила світла (I) точкового джерела в даному напрямку – фізична величина, що дорівнює відношенню світлового потоку,

створеного джерелом, до тілесного кута, в якому цей потік поширюється:

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega}. \quad (3)$$

Сила світла вимірюється в канделах (кд).

Якщо точкове джерело випромінює світло рівномірно по всіх напрямках, то воно називається ізотропним. Для ізотропного джерела виконується співвідношення:

$$I = \frac{\Phi}{4\pi}. \quad (4)$$

де Φ – повний світловий потік, що випромінює джерело.

Освітленість (E) – фізична величина, що дорівнює відношенню світлового потоку, який перпендикулярно падає на будь-яку поверхню, до площі цієї поверхні:

$$E = \frac{\Phi}{S}. \quad (5)$$

Одиниця освітленості – люкс. Якщо поверхня освітлюється точковим джерелом, то освітленість в кожній точці поверхні є різною. Її можна виразити через силу світла I , відстань r від джерела до точки на освітлюваній поверхні і кут α між падаючим променем і перпендикуляром до поверхні в точці падіння променя:

$$E = \frac{I \cos \alpha}{r^2}. \quad (6)$$

З формули (6) можна визначити силу світла джерела:

$$I = \frac{Er^2}{\cos \alpha}. \quad (7)$$

Опис вимірювального пристрою

Основним елементом пристрою для дослідження світлових характеристик фотометрії є люксметр, який призначений для вимірювання освітленості, створеної лампами розжарення або природним світлом. В даній роботі використовується люксметр

Ю117, який складається з вимірювального пристрою і світлоприймача – селенового фотоелемента з насадками. На бічній стінці корпусу вимірювача розміщене гніздо для приєднання фотоелемента. Селеновий фотоелемент знаходиться в пластмасовому корпусі. Світлочутлива поверхня фотоелемента становить 30 см^2 . Насадки служать для розширення діапазону вимірювань та корегування люксметра по спектральній чутливості. Джерело світла – електрична лампа кріпиться на оптичній лаві. На певній відстані від джерела встановлюється фотоелемент. Переміщуючи лампу вздовж оптичної лави, можна змінювати відстань між лампою і фотоелементом.

Порядок виконання роботи

1. На оптичній лаві встановити лампу і фотоелемент; відстань між ними $r_1=0,2 \text{ м}$; кут падіння променя $\alpha=0^\circ$.

2. Включити люксметр та виміряти освітленість фотоелемента $E_{\text{фон}}$ при вимкненій лампі.

3. Включити лампу і виміряти освітленість фотоелемента E_ϵ за допомогою люксметра.

4. Збільшити відстань r між лампою і фотоелементом на 5 см, пересунувши лампу, і виміряти освітленість фотоелемента згідно п.3.

5. Повторити експеримент ще три рази згідно п.п.3-4, збільшуючи відстань між лампою і фотоелементом при кожному наступному вимірюванні на 5 см.

6. Визначити реальну освітленість фотоелемента для кожного з п'яти експериментів, використовуючи формулу:

$$E = E_\epsilon - E_{\text{фон}}, \quad (8)$$

де E_ϵ – виміряне значення освітленості.

7. За формулою (7) обчислити силу світла лампи у кожному з експериментів, підставляючи значення освітленості, знайдені за формулою (8) та враховуючи, що $\cos 0^\circ=1$.

8. Обчислити середнє значення сили світла та абсолютну похибку кожного результату:

$$I_{\text{сер}} = \frac{\sum_{i=1}^n I_i}{n}. \tag{9}$$

$$\Delta I_1 = \left| I_{\text{сер}} - I_1 \right|;$$

.....

$$\Delta I_n = \left| I_{\text{сер}} - I_n \right|. \tag{10}$$

10. Обчислити середнє квадратичне відхилення визначення сили світла:

$$\Delta S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n I_i^2}{n(n-1)}}. \tag{11}$$

11. Обчислити абсолютну похибку визначення сили світла:

$$\Delta I = t_c \Delta S, \tag{8}$$

де t_c – коефіцієнт Стьюдента.

10. Визначити відносну похибку обчислень:

$$E = \frac{\Delta I}{I_{\text{сер}}} 100\%. \tag{9}$$

14. Результати вимірювань та розрахунків занести до звітної таблиці.

**Таблиця результатів вимірювань та обчислень
сили світла електричної лампи**

№	r , м	$E_{\text{фон}}$, ЛК	E_{ϵ} , ЛК	E , ЛК	I , кД	ΔI_i , кД	ΔS , кД	ΔI , кД	ϵ , %
1									
2									
3									
4									
5									
Сер.	-	-	-	-					

***Контрольні питання для допуску до виконання
лабораторної роботи***

1. Якими фізичними величинами можна охарактеризувати енергію, що переноситься електромагнітними хвилями?
2. Що називається тілесним кутом? Запишіть відповідну формулу та одиниці вимірювання.
3. Що таке повний тілесний кут? Величина повного тілесного кута.
4. Дайте визначення світлового потоку. Запишіть відповідну формулу та одиниці вимірювання.
5. Дайте визначення сили світла. Запишіть відповідну формулу та одиниці вимірювання.
6. Дайте визначення освітленості. Запишіть відповідну формулу та одиниці вимірювання.
7. Запишіть і поясніть основний закон фотометрії.

Тестові завдання для захисту лабораторної роботи

1. Потік променистої енергії – це:
 - 1) світловий потік;
 - 2) кількість енергії, що переноситься світлом через будь-яку поверхню;
 - 3) кількість енергії, що переноситься світлом через будь-яку поверхню за одиницю часу;
 - 4) кількість енергії, що переноситься світлом через одиницю поверхні.

2. Світловий потік – це:
 - 1) кількість енергії, що переноситься світлом через будь-яку поверхню;
 - 2) кількість енергії, що переноситься світлом через будь-яку поверхню за одиницю часу;
 - 3) потік променистої енергії, який оцінюють за зоровим відчуттям;

4) кількість енергії, що переноситься світлом через одиницю поверхні.

3. Енергетична сила світла – це:

1) потужність випромінювання в певних просторових межах;

2) потужність випромінювання в тілесному куті 1 ср;

3) кількість енергії, що переноситься світлом через будь-яку поверхню;

4) відношення потоку випромінювання до тілесного кута, в межах якого це випромінювання розповсюджується.

4. Енергетична світність – це:

1) потужність випромінювання з одиниці площі поверхні джерела;

2) потужність випромінювання з усієї площі поверхні джерела;

3) енергія випромінювання одиниці площі поверхні джерела;

4) енергія випромінювання з усієї площі поверхні джерела.

5. Величина повного тілесного кута становить:

1) 2π ср;

2) 4π ср;

3) 8π ср;

4) π ср.

6. Тілесний кут визначається із співвідношення:

1) $\omega = \frac{S}{r^2}$;

2) $\omega = \frac{S}{I}$;

3) $\omega = \frac{E}{I^2}$;

$$4) \omega = \frac{I \cos \alpha}{r^2}.$$

7. Світловий потік визначається через силу світла так:

$$1) \Phi = \frac{S}{I};$$

$$2) \Phi = I \cdot \omega;$$

$$3) \Phi = \frac{E}{I^2};$$

$$4) \Phi = I \cdot E.$$

8. Формула, яка дає зв'язок між освітленістю і силою світла має вигляд:

$$1) E = \frac{I \cos \alpha}{r^2};$$

$$2) \Phi = \frac{E}{I^2};$$

$$3) \omega = \frac{E}{r^2};$$

$$4) E = \Phi \cdot \omega.$$

9. Зв'язок між освітленістю і світловим потоком:

$$1) E = \frac{S}{r^2};$$

$$2) E = I \cdot \omega;$$

$$3) E = \frac{\Phi}{S};$$

$$4) E = \frac{I}{S}.$$

10. Вкажіть вираз закону Бугера:

$$1) E = \sigma T^4;$$

$$2) I = I_0 e^{-kx};$$

$$3) \lambda_{\max} = \frac{a}{T};$$

$$4) E_{\lambda T} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda T}} - 1}.$$

11. Світловий потік 40 лм падає перпендикулярно до поверхні книжки, площа якої 20 см². Яка її освітленість і як зміниться світловий потік, якщо книжку відхилити на кут 30⁰?

- 1) 2·10⁴ лк, 34,4 лм;
- 2) 8·10⁶ лк, 50 лм;;
- 3) 3·10⁵ лк; 40 лм;
- 4) 5·10⁴ лк, 35,5 лм.

12. На стовпі висить лампа 400 кд на відстані 3 м від поверхні землі. Знайти освітленість поверхні землі на відстані 5 м від основи стовпа:

- 1) 8 лк;
- 2) 3 лк;
- 3) 6 лк;
- 4) 5 лк.

13. У верхній точці тунелю радіусом 2 м закріплено лампу силою світла 200 кд. Визначити освітленість у нижній точці тунелю:

- 1) 10,2 лк;
- 2) 12,5 лк;
- 3) 30,6 лк ;
- 4) 15,5 лк.

14. У верхній точці тунелю радіусом 3 м закріплено лампу силою світла 180 кд. Визначити освітленість у центрі тунелю:

- 1) 10 лк;
- 2) 15 лк;
- 3) 20 лк ;
- 4) 30 лк.

15. У верхній точці тунелю радіусом 2 м закріплено лампу силою світла 200 кд. Визначити освітленість на кінцях горизонтального діаметру:

- 1) 10,4 лк;
- 2) 15,8 лк;
- 3) 20,5 лк ;
- 4) 17,5 лк.

16. Згідно вимог освітленість робочої поверхні столу для тонких робіт повинна бути не меншою від 100 лк. На якій максимальній висоті від робочого місця необхідно розмістити лампу, сила світла якої 100 кд?

- 1) 2 м ;
- 2) 5 м;
- 3) 1 м;
- 4) 3 м.

17. Сила світла Сонця $3 \cdot 10^{27}$ кд. Визначити освітленість земної поверхні, якщо Сонце знаходиться в зеніті і на висоті 30° над горизонтом. Відстань від Землі до Сонця $1,5 \cdot 10^8$ км. Розсіянням і поглинанням світла в атмосфері знехтувати:

- 1) 0,13 Млк;
- 2) 0,33 Млк;
- 3) 0,23 Млк;
- 4) 0,65 Млк.

18. Освітленість плоскої поверхні в точці, найближчій до точкового джерела світла, становить 200 лк. Визначити освітленість в точках на поверхні, де кут падіння променя до нормалі поверхні 30° , 45° , 60° :

- 1) 130 лк, 71 лк, 25 лк;
- 2) 260 лк, 75 лк, 55 лк;
- 3) 340 лк, 86 лк, 45 лк;
- 4) 200 лк, 41 лк, 15 лк.

19. На висоті 2 м над поверхнею розміщено точкове джерело, сила світла якого 120 кд. На відстані 1 м від джерела перпендикулярно до поверхні знаходиться плоске дзеркало, що відбиває все падаюче на нього світло. Сила світла, відбитого від дзеркала, 40 кд. Визначити освітленість поверхні безпосередньо під джерелом:

- 1) 44 лк;
- 2) 25 лк;
- 3) 32 лк;
- 4) 50 лк.

20. Визначити освітленість, яку створює військовий прожектор з силою світла $6 \cdot 10^8$ кд вночі на відстані 1 км, якщо втрати на поглинання і розсіювання становлять 40%:

- 1) 280 лк;
- 2) 250 лк;
- 3) 320 лк;
- 4) 240 лк.

21. Співробітник ДАІ для визначення швидкості автомобіля використовує випромінювач електромагнітних хвиль і приймач. Гранична віддаль до автомобіля, при якій приймач фіксує відбитий сигнал – R . Водій має такий самий приймач. Оцінити, з якої віддалі водій виявить роботу випромінювача, якщо характерний розмір автомобіля – r :

- 1) R^2/r ;
- 2) R/r ;
- 3) R^3/r ;
- 4) Rr^2 .

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Воловик П.М. Фізика для університетів. – К.: Ірпінь: Перун. 2005. 864 с.
2. Бушок Г.Ф., Левандовський В.В., Півень Г.Ф. Курс фізики. навчальний посібник у 2 кн. Кн.1. 2-ге вид. К.: Либідь. 2001. 448 с.
3. Бушок Г.Ф., Венгер Є.Ф. Курс фізики: навчальний посібник у 2 кн. Кн. 2. 2-ге вид. К.: Либідь. 2001. 423 с.
4. Балицька В.О., Ярицька Л.І. Збірник задач з курсу загальної фізики. – Львів, “Сполом”. 2007. 174 с.
5. Балицька В.О., Ярицька Л.І. Фізика. Електромагнетизм: тестові завдання для курсантів і студентів. Львів, ЛДУБЖ. 2009. 87 с.
6. Балицька В.О., Ярицька Л.І. Фізика. Оптика: тестові завдання для курсантів і студентів. – Львів, ЛДУБЖ. – 2012. – 91 с.
7. Боднар Г.Й., Балицька В.О., Ярицька Л.І. Електромагнетизм. (частина третя): методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з фізики. Львів, ЛДУБЖ. 2006. 38 с.
8. Балицька В.О., Ярицька Л.І. Оптика (частина четверта). Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з фізики. Львів, ЛДУБЖ. 2007. 30 с.
9. Чолпан П.П. Фізика. К.: Вища школа. 2003. 567 с.
10. Жежнич І.Д., Штогрин Б.В. Фізика: навчальний посібник. Львів: Афіша. 2001. 380 с.

ДОДАТКИ

Таблиця 1. Одиниці і розмірності фізичних величин в СІ

Назва	Позначення	Одиниці вимірювання	Зв'язок з основними одиницями СІ
1	2	3	4
Сила струму	I	Ампер (А)	Ампер – це сила струму, який при проходженні по двох паралельних провідниках нескінченної довжини і нескінченно малої площі поперечного перерізу, що розміщені на віддалі 1 м один від другого, викликає на кожній ділянці провідника довжиною 1 м силу взаємодії $2 \cdot 10^{-7}$ Н.
Густина струму	γ	Ампер на квадратний метр (А/м ²)	
Електричний заряд	q	Кулон (Кл)	1 Кл=1 с·А
Лінійна густина заряду	τ	Кулон/метр (Кл/м)	1 Кл/м=1 м ⁻¹ ·с·А
Поверхнева густина заряду	σ	Кулон/квадратний метр (Кл/м ²)	1 Кл/м=1 м ⁻² ·с·А
Просторова густина заряду	ρ	Кулон/кубичний метр (Кл/м ³)	1 Кл/м=1 м ⁻³ ·с·А

Продовження таблиці 1

1	2	3	4
Електричний потенціал	φ	Вольт (В)	$1 \text{ В}=1 \text{ Вт}/\text{А}=1 \text{ м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{А}^{-1}$
Напруженість електричного поля	E	Вольт на метр (В/м)	$1 \text{ В}/\text{м}=1 \text{ Вт}/\text{А} \cdot \text{м}=1 \text{ м} \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{А}^{-1}$
Електричний опір	R	Ом (Ом)	$1 \text{ Ом}=1 \text{ В}/\text{А}=1 \text{ м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{А}^{-2}$
Питомий електричний опір	ρ	Ом на метр (Ом·м)	$1 \text{ Ом} \cdot \text{м}=1 \text{ м}^3 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{А}^{-2}$
Електрична провідність	G	Сіменс (См)	$1 \text{ См}=1 \text{ Ом}^{-1}=1 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^3 \cdot \text{А}^2$
Питома електрична провідність	σ	Сіменс на метр (См/м)	$1 \text{ См}/\text{м}=1 \text{ Ом} \cdot \text{м}^{-1}=1 \text{ м}^{-3} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^3 \cdot \text{А}^2$
Електрична ємність	C	Фарад (Ф)	$1 \text{ Ф}=1 \text{ Кл}/\text{В}=1 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^4 \cdot \text{А}^2$
Електрична стала	ϵ_0	Фарад/метр (Ф/м)	$1 \text{ Ф}/\text{м}=1 \text{ м}^{-3} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^4 \cdot \text{А}^2$
Магнітний потік	Φ	Вебер (Вб)	$1 \text{ Вб}=1 \text{ В} \cdot \text{с}=1 \text{ Тл} \cdot \text{м}^2=1 \text{ м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-1}$
Магнітна індукція	B	Тесла (Тл)	$1 \text{ Тл}=1 \text{ В} \cdot \text{с}/\text{м}^2=1 \text{ Вб}/\text{м}^2=1 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-1}$
Індуктивність	L	Генрі (Гн)	$1 \text{ Гн}=1 \text{ м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-2}$
Магнітна стала	μ_0	Генрі на метр (Гн/м)	$1 \text{ Гн}/\text{м}=1 \text{ м} \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-2}$
Напруженість магнітного поля	H	Ампер на метр (А/м)	
Енергія випромінювання	E	Джоуль (Дж)	$1 \text{ Дж}=1 \text{ м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2}$
Інтенсивність випромінювання	I	Ватт/квадратний метр (Вт/м ²)	$1 \text{ Вт}=1 \text{ Дж}/\text{с}=1 \text{ м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3}$

Продовження таблиці 1

1	2	3	4
Сила світла	I	Кандела (кд)	Кандела дорівнює силі світла в заданому напрямку джерела що випускає монохроматичне світло частотою 5401-12 Гц енергетична сила світла якого в цьому напрямку складає 1/683 Вт/СМ
Світловий потік	Φ	Люмен (лм)	1лм=1кд·ср
Світлова енергія	ω	Люмен·секунда (лм·с)	1лм·с=1 с·кд·ср
Світність	R	Люмен/квадратний метр (лм/м ²)	1 лм/м ² =1 м ⁻² ·кд·ср
Освітленість	E	Люкс (лк)	1 лк=1м ⁻² ·кд·ср
Яскравість	B	Кандела/квадратний метр (кд/м ²)	
Оптична сила	D	Діоптрія (дптр)	1 дптр=1 м ⁻¹

**Таблиця 2. Питомий опір деяких матеріалів
за температури 20⁰ С**

Матеріал	Питомий опір (Ом·м)
Срібло	$1,59 \cdot 10^{-8}$
Мідь	$1,75 \cdot 10^{-8}$
Золото	$2,44 \cdot 10^{-8}$
Алюміній	$2,82 \cdot 10^{-8}$
Залізо	$9,8 \cdot 10^{-8}$
Платина	$11 \cdot 10^{-8}$
Олово	$3,5 \cdot 10^{-8}$
Графіт	$1,59 \cdot 10^{-8}$
Германій	$0,49 \cdot 10^{-8}$
Кремній	10^3
Скло	$10^{10} - 10^{14}$
Гума	10^{13}
Сірка	10^{15}

Таблиця 3. Діелектрична проникність деяких матеріалів

Матеріал	Діелектрична проникність
Мармур	8-9
Парафін	2,2
Гума	2-3
Слюда	6-9
Смола епоксидна	3,7
Скло	5-10
Фарфор	4-7
Ебоніт	2,7
Яктар	2,8
Вода	81
Масло	5
Гас	2
Віск	7,8

Таблиця 4. Температурний коефіцієнт опору деяких матеріалів

Матеріал	Температура, °С	Температурний коефіцієнт опору, К ⁻¹
Срібло	0	$4,033 \cdot 10^{-3}$
Мідь	20	$4,3 \cdot 10^{-3}$
Золото	0	$4,5 \cdot 10^{-3}$
Алюміній	20	$4 \cdot 10^{-3}$
Вольфрам	20	$4,6 \cdot 10^{-3}$
Залізо	20	$6,51 \cdot 10^{-3}$
Свинець	20	$3,66 \cdot 10^{-3}$
Нікель	20	$6 \cdot 10^{-3}$
Ртуть	20	$0,89 \cdot 10^{-3}$
Ніхром	10	$0,2 \cdot 10^{-3}$
Графіт	0	$-0,5 \cdot 10^{-3}$
Олово	20	$4,2 \cdot 10^{-3}$
Титан	20	$3,5 \cdot 10^{-3}$

Таблиця 5. Довжина хвиль спектральних ліній ртуті у видимій частині спектра

Колір лінії	Відносна яскравість	λ (мкм)
Яскраво-червона	4	623,4
Жовта	10	578,0
Світло-зелена	10	546,0
Світло-голуба	10	491,6
Синя	10	435,8
Фіолетова	7	406,2

Таблиця 6. Абсолютний показник заломлення деяких речовин при 20°C

Речовина	n
Вакуум	1,0000
Повітря	1,0003
Вода	1,33
Лід	1,31
Етиловий спирт	1,36
Гліцерин	1,47
Бензин	1,50
Скло	1,52
Кварц	1,54
Кам'яна сіль	1.54
Рубін	1,76
Алмаз	2.42

Таблиця 7. Значення ціни поділки відлікового мікроскопа залежно від довжини L його тубуса

L , мм	ΔX , мм
130	0,058
140	0,053
150	0,049
160	0,045
170	0,041
180	0,038
190	0,036

Таблиця 8. Випромінювальна здатність вольфраму

Температура, K	Кольорова температура ¹ , K	Середня випромінювальна здатність ²	Повна випромінювальна здатність ³
1	2	3	4
2000	2030	0,446	0,264
2200	2238	0,443	0,285

Продовження таблиці 8

1	2	3	4
2400	2447	0,440	0,304
2600	2660	0,437	0,320
2800	2874	0,434	0,334
3000	3092	0,432	0,347

¹ Кольорова температура – температура абсолютно чорного тіла, випромінювання якого має той самий колір, що і випромінювання вольфраму.

² Середня випромінювальна здатність – відношення яскравостей вольфрамового джерела світла і абсолютно чорного тіла при однаковій їх температурі.

³ Повна випромінювальна здатність – відношення повних енергій випромінювання вольфрамового джерела і абсолютно чорного тіла при однаковій температурі.

ЗМІСТ

ВСТУП	3
ЕЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ	6
Лабораторна робота № 1	6
Дослідження розподілу електростатичного поля на площині	6
Лабораторна робота № 2	16
Дослідження послідовного і паралельного з'єднання резисторів	16
Лабораторна робота № 3	29
Визначення коефіцієнта корисної дії електричного поля	29
Лабораторна робота № 4	35
Дослідження залежності потужності, що споживається лампю розжарювання, від напруги на її клеммах	35
Лабораторна робота № 5	44
Визначення температурного коефіцієнта опору міді	44
Лабораторна робота № 6	52
Визначення коефіцієнта температурної чутливості та температурного коефіцієнта опору напівпровідникового терморезистора	52
Лабораторна робота № 7	59
Дослідження температурної залежності опору напівпровідникових резисторів	59
Лабораторна робота № 8	69
Вимірювання електричної ємності конденсатора	69
Лабораторна робота № 9	79
Дослідження власних коливань у коливальному контурі	79
ОПТИКА	92
Лабораторна робота № 1	92
Визначення фокусної відстані та оптичної сили збиральної лінзи	92

Лабораторна робота № 2	102
Визначення розмірів дефектів епітаксійних плівок на основі залізо-ітрієвого гранату	102
Лабораторна робота № 3	113
Визначення показника заломлення скла	113
Лабораторна робота № 4	122
Визначення довжини світлової хвилі оптичного квантового генератора за допомогою дифракційної гратки	122
Лабораторна робота № 5	132
Вимірювання високих температур за допомогою оптичного пірометра	132
Лабораторна робота № 6	143
Визначення сили світла електричної лампи	143
Рекомендована література	154
Додатки	155

Навчальний посібник

БАЛИЦЬКА В.О., ЯРИЦЬКА Л.І.

**ФІЗИЧНИЙ ПРАКТИКУМ.
ЧАСТИНА ІІ. ЕЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ.
ОПТИКА**

Літературний редактор

Галина Падик

Технічний редактор, верстка

Маріанна Климус

Підписано до друку 15.11.2021. Ум. друк. арк. 10,25.
Формат 60x84/16. Гарнітура Times New Roman.
Друк на різнографі. Папір офсетний.

Друк ЛДУ БЖД
79007, Україна, м. Львів, вул. Клепарівська, 35
Тел./факс: (8-032) 233-32-40, 233-24-79
e-mail: mail@ubgd.lviv.ua, ndr@ubgd.lviv.ua