

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КІРОВОГРАДСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ВИННИЧЕНКА

Лабораторний практикум
з шкільного курсу фізики
та методики її викладання
Частина V
(для студентів фізико-математичного факультету)

Кіровоград, 2010

ББК 74.265.2
УДК 53 (07)
В-27

Величко С.П., Вовкотруб В.П., Слободяник О.В.
Лабораторні роботи з шкільного курсу фізики та методики її викладання. Частина V. Методичні рекомендації для студентів, вчителів і викладачів фізики /За ред. С.П.Величка. – Кіровоград: РВВ КДПУ ім. В. Винниченка, 2010. - 38 с.

Рецензенти: Садовий М.І. – доктор педагогічних наук,
професор;
Сальник І.В. – кандидат педагогічних наук,
доцент.

Друкується за рішенням методичної ради
Кіровоградського державного педагогічного
університету імені Володимира Винниченка
(протокол № від жовтня 2010 року)

© Величко С.П., Вовкотруб В.П.,
Слободяник О.В., 2010

ВСТУП

У фаховій підготовці майбутнього вчителя фізики важливу роль відіграє лабораторний практикум з питань методики і техніки шкільного фізичного експерименту. Виконуючи лабораторні роботи, студенти навчаються методично і технічно правильно ставити різноманітні фізичні експерименти, знайомлять з основами організації та оснащення шкільного кабінету фізики необхідним навчальним обладнанням, опановують значну кількість фізичних приладів промислового та саморобного виготовлення, вивчають основну методичну літературу з питань ефективного виконання демонстрацій, проведення фронтальних лабораторних робіт, робіт фізичного практикуму та індивідуальних самостійних спостережень учнів в обсязі шкільного курсу фізики, а також роблять перші спроби оцінювати різні методичні рекомендації, що в основному стосується змісту курсу фізики середньої школи. Значне місце в лабораторному практикумі відводиться питанню розвитку у студентів винахідницьких здібностей, стимулюванню бажання проектувати і виготовляти нові прилади та удосконалювати існуючі. Студентам пропонується також багато змістовних і цінних порад і пропозицій для майбутньої діяльності, а також конкретних, досить ефективних саморобних приладів, розроблених у Науковому центрі розробки засобів навчання, який працює при кафедрі фізики та методики її викладання, що суттєво поліпшують навчально-виховний процес з фізики та сприяють підвищенню професійної підготовки майбутнього вчителя.

П'ятий цикл лабораторних робіт з методики і техніки фізичного експерименту, що описаний у частині V передбачає ознайомлення студентів із загальними принципами та основами організації навчального фізичного експериментування в школі, зокрема у фізичному кабінеті, а також із змістом і технікою виконання фізичного експерименту згідно з розділами курсу фізики в 11 випускному класі загальноосвітньої школи за профільними програмами та рівня стандарту. Цей цикл охоплює 7 лабораторних робіт, що передбачають дослідження математичного маятника, вивчення резонансу електричних коливальних систем та вивчення електронного осцилографа та використання його з метою дослідження електричних процесів, а також встановлення залежності опору напівпровідникових фото резистора і фотодіода від освітленості та виконання робіт фізичного практикуму з хвильової і квантової оптики і зокрема вивчення явища фотоефекту та визначення сталої Стефана-Больцмана.

До кожної лабораторної роботи студентам пропонуються інструктивні матеріали і вказівки, які включають назву теми і мету роботи, перелік обладнання, завдання, контрольні запитання. В разі потреби наводяться детальні короткі вказівки з питань будови,

принципів роботи і призначення окремих приладів, даються поради і пропозиції до виконання окремих дослідів. За необхідності наводяться посилання на джерела інформації відповідно до списку рекомендованої літератури, наведеного в кінці посібника. З метою ефективного виконання завдання рекомендується у процесі підготовки до лабораторного заняття опрацювати достатню кількість методичних матеріалів, визначених програмами з фізики та рекомендованих інструктивними матеріалами даного посібника.

Змістом частини робіт передбачено формування вмінь і навичок щодо методики і техніки організації та проведення фронтальних лабораторних робіт за розділами чи темами курсу фізики 11 класу. Решта робіт охоплює програму виконання робіт фізичного практикуму та експериментальних задач з відповідних розділів курсу фізики випускного класу.

Готуючись до кожного лабораторного заняття, студент має опрацювати навчальний матеріал відповідного розділу шкільного підручника, ознайомитися з вимогами програм щодо вивчення навчального матеріалу, особливостями його викладання у старшій школі, достатньо мати інформації щодо обладнання та методів і варіантів виконання передбаченого програмами навчального експерименту.

У зошиті для лабораторних робіт студент попередньо обов'язково виконує рисунки чи схеми установки відповідно до раціонального розміщення приладів у процесі постановки дослідів. До робіт присвячених фронтальним лабораторним роботам і роботам фізичного практикуму, складає інструкції для учнів, передбачає найбільш раціональну послідовність виконання таких робіт.

Після виконання відповідних завдань на занятті до кожної демонстрації студент робить висновки, записує результати вимірювань і розрахунків. Разом з тим фіксує методичні особливості, які є найбільш характерними для кожного окремого дослідів чи варіанту виконання лабораторної роботи. До виконання шкільних лабораторних робіт складає звіти учня.

Студентам рекомендовано сім лабораторних робіт, що передбачено навчальним планом на 9 семестр навчання у педагогічному ВНЗ за програмами підготовки фахівців зі спеціальності «Фізика та інформатика». До кожної роботи студент опрацьовує індивідуальні навчальні завдання з урахуванням запровадження кредитно-модульної системи організації навчально-виховного процесу (методичне - ІНМЗ, теоретичне - ІНТЗ та дослідницьке – ІНДЗ), які урізноманітнюють основні види пізнавально-пошукової діяльності студентів з урахуванням запроваджуваної кредитно-модульної системи організації навчального процесу. За цих обставин кожний із студентів виконує одне індивідуальне завдання за вказівкою викладача і подає звіт про його виконання.

Лабораторна робота №1

Дослідження математичного маятника

Обладнання: 1. Модуль математичного маятника, зібраний на лабораторному штативі з фотодавачем і пусковим електромагнітом.
2. Модуль – полігон з електронним секундоміром.

Завдання: 1. Виконати завдання з вимірювання періоду коливань маятника та залежності періоду його коливань від довжини.

2. Виміряти час проходження маятником положення рівноваги і визначити максимальну швидкість руху кульки. Визначити максимальну кінетичну енергію кульки.

3. Виконати необхідні вимірювання і визначити максимальну потенціальну енергію кульки.

4. Порівняти максимальні значення кінетичної і потенціальної енергій, зробити висновки щодо закону збереження і перетворення механічної енергії у процесі механічних коливань.

Короткі теоретичні відомості

Загальний вигляд полігону для вивчення коливань математичного маятника зображено на рисунку 1.1.

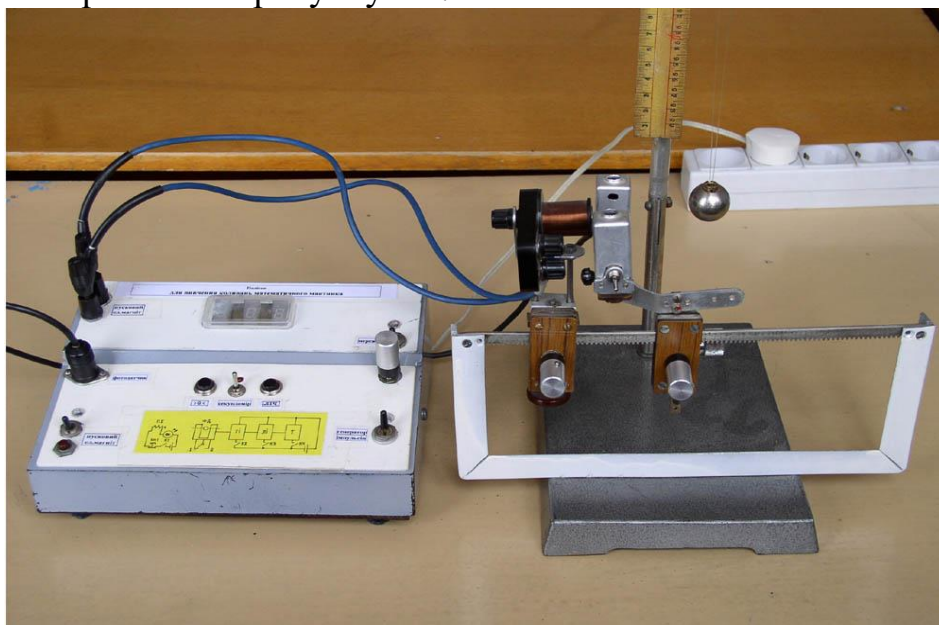


Рис. 1.1. Експериментальна установка для вивчення механічних коливань.

Зміст наведеного нижче варіанту роботи практикуму з вивчення механічних коливань складає не лише визначення періоду коливань маятника, а й експериментальне з'ясування енергетичних перетворень та визначення моменту інерції маятника. До обладнання включено

використання лічильника імпульсів у комплекті із генератором імпульсів та використання фотодатчика, що практично відтворює роботу практикуму “Складання і використання фотореле” за шкільними програмами.

Із модулів комплексу саморобних приладів у даній роботі використано: лічильник імпульсів, генератор імпульсів, одновібратор і фотодавач. Кожний модуль зібраний на базі відповідної мікросхеми. На корпусах встановлені однакові і специфічні гнізда для з’єднання модулів за допомогою спеціальних шнурів з відповідними штекерами, через які окрім інформації забезпечується і електроживлення від одного модуля до другого. Тому достатньо підвести живлення від джерела лише до одного із з’єднаних між собою модулів.

Розрядність лічильника залежить від кількості використаних однорозрядних лічильників, приєднаних до основного модуля з органами керування. Таким лічильником можна підраховувати електричні імпульси, подані на його вхід. Разом із увімкненим генератором імпульсів лічильник працює як секундомір. В залежності від положення перемикача на “10 Гц” або “100 Гц” точність вимірювання часу відповідно складає 0,1 або 0,01 с.. Тут може бути використаний варіант з плавним регулюванням частоти коливань разом із звуковим індикатором роботи генератора. Увімкнення секундоміра здійснюють або шляхом натискання відповідної кнопки на модулі органів керування, або від увімкнених до входу давачів. У даній роботі використовується фотодавач, який працює в інфрачервоному діапазоні.

Для відліку часу датчик під’єднується до генератора імпульсів через модуль одновібратора, який являє собою лічильний тригер.

Використання електронних модулів дозволяє досить ефективно і точно виконувати вимірювання фізичних параметрів одного коливання маятника та багаторазове повторення дослідів.

Період коливань математичного маятника визначається за формулою:

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

Нехтуючи масою нитки, можна вважати, що центр мас знаходиться у центрі кульки. При відхиленні, наприклад, вправо на невеликий кут φ , його центр мас зміщується на висоту h відносно нульового рівня (положення рівноваги), тому маятник одержує потенціальну енергію $W = mgh$.

Вивільнений маятник зміщується із зростаючою швидкістю до положення рівноваги в результаті дії на нього рівнодійної сил тяжіння і натягу нитки і при досягненні положення рівноваги ($h = 0$), потенціальна енергія повністю переходить у кінетичну – швидкість

досягає максимального значення v_{max} . Рухаючись за інерцією, але вже із спадаючою швидкістю, маятник зміщується вліво, його кінетична енергія переходить у потенціальну. Досягнувши висоти, близької до h , маятник на мить зупиняється, а потім повторює зміщення у протилежному напрямку з переходом потенціальної енергії у кінетичну і т. д.

Завдання роботи полягає в дослідженні та експериментальній перевірці закономірностей коливань маятника: визначення періоду коливань, порівняння потенціальної і кінетичної енергій в положеннях рівноваги та при максимальному відхиленні, визначенні моменту інерції та порівнянні одержаних результатів з розрахованими теоретично.

Фотодатчик складається з випромінювача (світлодіода) та фотоприймача (фотодіода). При попаданні випромінювання на фотоприймач на виході фотодатчика в залежності від положення перемикача з'являється або зникає електричний сигнал. Вихід датчика ввімкнений до одновібратора.

Лабораторний лічильник-секундомір зібрано з таких модулів: пульта керування, генератора імпульсів і однорозрядних лічильників. Модулі сполучені між собою за допомогою відповідних колодок і гнізд. У роботі використано три однорозрядних лічильники, чим забезпечено вимірювання часу в межах 0,99 с з точністю 0,01 с. Живлення лічильника-секундоміра і електромагніта здійснюється від блоку, розташованого в корпусі модуля.

Для утримання маятника в крайньому відхиленому положенні використано електромагніт. Він вмикається через кнопковий вимикач. Величину відхилення маятника від положення рівноваги a відраховують за саморобною широкою лінійкою-шкалою, що розташована у паралельній площині до руху маятника (рис. 1). Тоді для розрахунку вертикального зміщення h маємо:

$$h = l - \sqrt{l^2 - a^2},$$

а для запасу потенціальної енергії:

$$W_n = mg(l - \sqrt{l^2 - a^2}).$$

Фотодатчик встановлено під точкою підвісу маятника так, щоб пучок світла від випромінювача проходив горизонтально центр мас кульки у положенні рівноваги. Для визначення швидкості руху кульки перемикачі фотодатчика і одновібратора знаходяться в положенні I. За таких умов секундомір буде фіксувати час t перекривання пучка кулькою при її русі. За такий час кулька проходить шлях, рівний її діаметру d . Середня швидкість кульки в околі положення рівноваги визначається за формулою:

$$v_{max} = \frac{d}{t},$$

враховуючи проходження кульки вправо і вліво.
Відповідна кінетична енергія

$$W_k = \frac{md^2}{2t^2}.$$

Порядок виконання роботи

1. Зберіть експериментальну установку для вивчення коливань математичного маятника відповідно до рисунку 2.
2. Встановіть фотодавач для фіксування часу руху маятника через положення рівноваги. Ввімкніть живлення елементів установки, відхиліть маятник у положенні фіксування електромагнітом, переведіть перемикач на фотодавачеві в положення I, встановіть на табло секундоміра нулі.

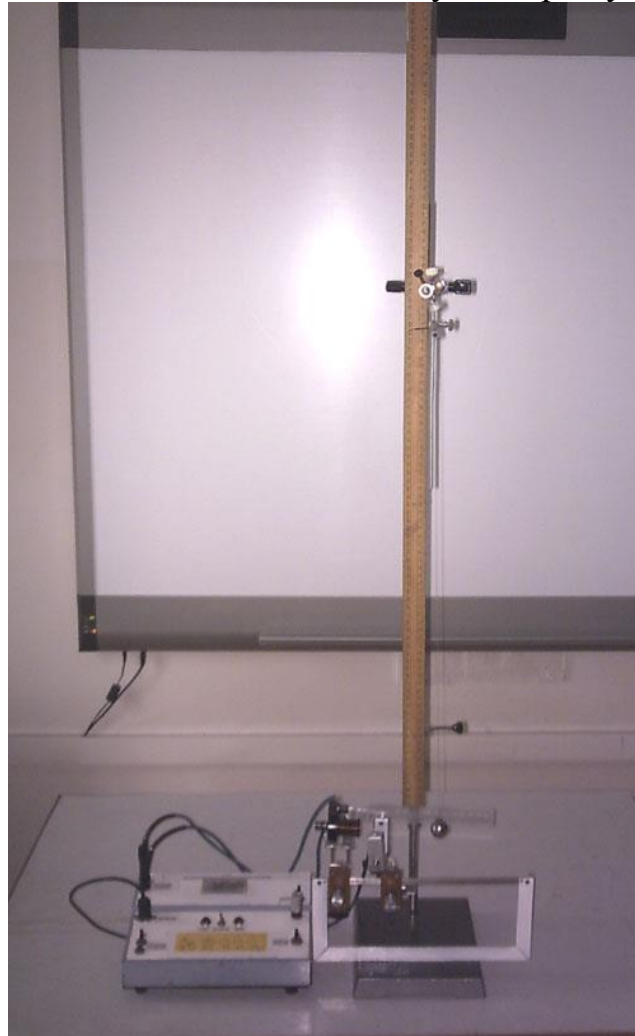


Рис. 2. Загальний вигляд експериментальної установки для вивчення коливань математичного маятника.

3. Виконайте пуск маятника короткотривалим натисненням відповідної кнопки: маятник виконає одне повне коливання, секундомір зафіксує час проходження маятника через положення рівноваги двічі: вправо і вліво.
4. Повторіть дії 2 – 4 рази, фіксуючи кожного разу показання секундоміра, занесіть дані у таблицю.
5. Виміряйте штангенциркулем діаметр кульки маятника, запишіть дані у відповідну колонку таблиці.
6. Перемістіть фотодавач у положення крайнього відхилення маятника, переведіть перемикач на фотодавачі в положення II, встановіть на табло секундоміра нулі.
7. Виконайте пуск маятника: маятник виконає одне повне коливання, секундомір зафіксує час його перебігу (період). Занесіть дані у таблицю.
8. Виконайте вимірювання амплітуди за шкалою та довжину маятника, визначте вертикальне зміщення маятника для відповідного значення амплітуди, дані занесіть у таблицю.
9. Розрахуйте максимальне значення потенціальної і кінетичної енергії, порівняйте їх, зробіть висновки.
10. Виконайте розрахунки похибок визначених величин.

Контрольні запитання

1. Як залежить період математичного маятника від маси вантажу?
2. Як залежить період математичного маятника від довжини маятника?
3. За якою формулою розраховують максимальну кінетичну енергію коливань маятника?
4. За якою формулою розраховують максимальну потенціальну енергію коливань маятника?
5. Запишіть формулу для визначення зміщення по вертикалі маятника за максимального зміщення від положення рівноваги?
6. Чому при визначенні максимальної швидкості маятника двічі враховують величину діаметра кульки?
7. В яких двох режимах функціонує фотодавач, встановлений на експериментальній установці?

Лабораторна робота №2

Вивчення резонансу в електричному коливальному контурі

Обладнання: 1. Джерело змінного струму (генератор прямокутних імпульсів); 2. амперметр 43122-У; 3. Вольтметр 43124-У; 4. Набірне поле «Школяр» (комутаційна панель, модулі: індуктивності з позначками на 220 мГн і 80 мГн, конденсатори на 23 мкФ і 14 мкФ, вимикач, з'єднувальні провідники, з'єднувальні елементи).

У роботі фізичного практикуму «Вивчення резонансу в електричному коливальному контурі» з використанням мультиметрів для вимірювання частоти струму, індуктивності і ємності генератор використовується як джерело змінного електричного струму. Прямі вимірювання ємності конденсатора та індуктивності котушки, а також зміна і вимірювання частоти підведеного струму дозволяє окрім спостереження явищ резонансу струму і напруги перевірити кількісно співвідношення між резонансною частотою, ємністю конденсатора та індуктивністю котушки

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

Лабораторна установка, зібрана на основі набірного поля «Школяр», наведена на рис. 2.1.



Рис. 2.1.

У класах фізико-математичного профілю можливе виконання експериментальних завдань щодо дослідження резонансу напруги з метою розрахунку та експериментальної перевірки співвідношення між напругою, прикладеною до кола U_D , і напругою на котушці індуктивності і конденсаторі в колі U_P :

$$\frac{U_P}{U_D} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}.$$

Порядок виконання роботи

1. Зберіть експериментальну установку за рис. 2.2, використавши генератор прямокутних імпульсів як джерело змінного струму .
2. Увімкніть живлення генератора і замкніть вимикач на набірному полі..
3. Підберіть значення ємності та індуктивності такими, щоб сила струму в колі була максимальною.

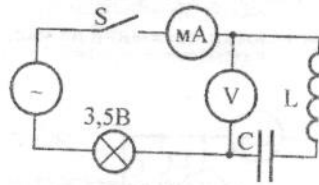


Рис. 2.2.

4. Виміряйте загальну напругу, напругу на індуктивності та на ємності.
5. Виміряйте частоту коливань в контурі.
6. Розімкніть коло живлення і виміряйте мультиметрами значення індуктивності котушки і ємності конденсатора.
7. Перевірте кількісно співвідношення між резонансною частотою, ємністю конденсатора та індуктивністю котушки, оцініть справедливість формули:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

і зробіть висновки.

8. Складіть установку для отримання резонансу струму за схемою (рис. 2.3).

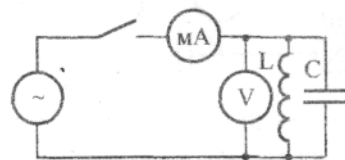


Рис. 2.3.

9. Увімкніть живлення установки. Підберіть такі значення ємності та індуктивності, щоб сила струму в колі була мінімальною, виміряйте частоту коливань у контурі .
10. Виміряйте загальний струм, струм індуктивності та струм ємності, порівняйте струми, зробіть відповідні висновки.

Додаткове завдання:

1. Виконайте дослідження на резонанс струму та напруги в залежності від частоти.
2. Перевірте співвідношення між напругою, прикладеною до кола U_D , і напругою на котушці індуктивності і конденсаторі в колі U_P :

$$\frac{U_P}{U_D} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}.$$

Контрольні запитання

1. У чому полягає явище резонансу?
2. Що називається резонансом напруг?
3. Що називається резонансом струмів?
4. Яка умова резонансу?

Лабораторна робота №3

Вивчення осцилографа і використання його для дослідження періодичних електричних процесів.

Обладнання: 1. Осцилограф лабораторний; 2. Генератор лабораторний; 3. Експериментальне поле для складання одно- і двоперіодного випрямлячів.

Короткі теоретичні відомості

Осцилограф призначений для спостереження залежності електричних параметрів, що швидко змінюється з часом; залежності однієї величини, що коливається, від іншої; для вимірювання частоти періодичних процесів, малих проміжків часу та ін.

Для одержання на екрані графіка залежності якої-небудь величини від часу на вхід Y подається напруга, пропорційна цій величині, а на вхід X – напруга, пропорційна часу. Така напруга генерується в генераторі розгортки, який є в самому осцилографі. Якщо досліджувана величина являє собою періодичний сигнал, то використовується генератор неперервної розгортки. Він приєднується до входу X зсередини.

В результаті такої дії електронний пучок в електронно-променевої трубці рівномірно зміщується вправо. Дійшовши до кінця, він повинен швидко повернутись у початкове положення і відразу ж мати можливість продовжувати рух вправо. Це забезпечується тим, що напруга в кінці циклу спадає до нуля, а потім зростає пропорційно часу (рис. 3.1).

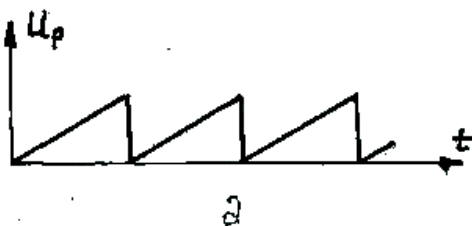


Рис. 3.1.

При вимкненому генераторі розгортки електронний пучок під впливом напруги, прикладеної до входу Y , здійснюватиме коливання вгору і вниз.

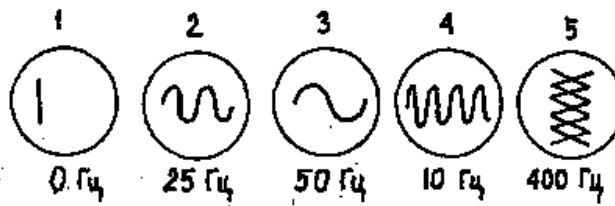


Рис.3.2

Якщо ввімкнути розгортку, то електронний пучок одночасно буде зміщуватись з постійною швидкістю вправо, відображаючи зображення залежності напруги, прикладеної до входу Y , від часу (рис.3.2). Частоту розгортки (тобто швидкість руху пучка вправо) можна змінювати. Якщо частота розгортки більша частоти сигналу, то на екрані буде суцільна мало наочна картина. Тому рекомендується розпочинати дослідження сигналу, добираючи спочатку малу частоту розгортки. Картина на екрані буде стійкою лише в тому випадку, коли частота сигналу кратна частоті розгортки. В іншому випадку зображення буде “бігати” по екрані. Зупинити зображення можна за допомогою спеціального пристрою, що називається каналом синхронізації. Якщо прилад увімкнено, то частоту розгортки можна підбирати не так ретельно.

Для вимірювання напруги за допомогою осцилографа слід врахувати, що перш ніж потрапити на пластини, змінна напруга, прикладена до входу Y , ділиться в певну кількість разів подільником (якщо напруга завелика) або підсилюється (якщо вона замала). Таким чином амплітуда зображення на екрані визначається і величиною самого сигналу і положенням регуляторів подільника та підсилювача.

За допомогою осцилографа можна виміряти частоту синусоїдальних коливань. Для цього напругу невідомої частоти f_y подають на вхід Y , а на вхід X подається синусоїдальна напруга відомої частоти f_x від спеціального генератора (наприклад звукового). В результаті електронний пучок буде коливатися у двох взаємно перпендикулярних напрямках. На екрані одержиться одна з фігур Ліссажу. За нею можна визначити в скільки разів f_y відрізняється від f_x . Якщо $f_x=f_y$, то одержиться пряма або еліпс, в залежності від зсуву фаз φ . Якщо $f_y=2f_x$, одержиться фігура типу вісімки, якщо $f_y=3f_x$, потрійної вісімки і т.д. Кількість кілець фігури відповідає відношенню частот.

Конструктивно в осцилограф можуть бути вмонтованими вузли і блоки, які розширюють можливості вимірювань.

Виконання роботи

1. Ознайомитись з призначенням і особливостями використання обладнання, наведеного в переліку до даної роботи.

І. Дослідження роботи осцилографа

2. Скласти установку, приєднавши до входу осцилографа гнізда експериментального поля зі змінною низьковольтною напругою. Ручками регуляторів встановіть на екрані стійку картину графіка змінного струму промислової частоти, відобразіть графік у звіті.

3. Приєднайте до гнізд низьковольтної напруги однонапівперіодний випрямляч. З виходу випрямляча сигнал подайте до входу осцилографа. Встановіть чітку і стійку картину осцилограми пульсуючого струму, відобразіть вигляд графіка у звіті.

4. Приєднайте до гнізд низьковольтної напруги двонапівперіодний випрямляч. З виходу випрямляча сигнал подайте на вхід осцилографа. Встановіть чітку і стійку картину осцилограми випрямленого струму, відобразіть вигляд графіка у звіті.

5. Приєднайте до виходу двонапівперіодного випрямляча фільтр, а з виходу останнього сигнал подайте на вхід осцилографа. Встановіть чітку і стійку картину осцилограми, відобразіть вигляд графіка у звіті.

6. За одержаними осцилограмами зробіть висновок щодо графічного відображення певних параметрів електричних сигналів.

7. Увімкніть до входу осцилографа вихід генератора звукових коливань (рис. 3.3). Змінюючи частоту виходу з генератора, одержіть на екрані осцилографа фігури Ліссажу. Занесіть до звіту дані про частоту розгортки та частоту досліджуваного сигналу.



Рис. 3.3

Контрольні запитання

1. Які осцилограми струму чи напруги ви спостерігали на екрані осцилографа в процесі виконання роботи?
2. Від чого залежить кількість усталених періодів синусоїд напруги на екрані?
3. Чому під час роботи трансформатор треба розміщувати не дуже близько від осцилографа?
4. Чому вмикання конденсатора веде до згладжування пульсацій?
5. Чому телефон може виконувати функцію мікрофона?

Лабораторна робота №4

Визначення залежності опору напівпровідникових фоторезистора і фотодіода від освітленості.

Мета: Дослідити залежність опору напівпровідників від освітленості.

Обладнання: 1. Джерело постійного струму. 2. Міліамперметр 43125У (або мультиметр). 3. Вольтметр 43123-У (або мультиметр). 4. Мультиметр. 5. Джерело світла неперервного спектру. 6. Набірне поле «Школяр».

Виконання роботи

1. Складіть електричне коло за схемою, зображеною на рис. 33 (див. інструкцію до наборного поля «Школяр»). Загальний вигляд установки показаний на рис. 34 (там само).

2. Замкніть вимикач. Дослідіть залежність опору фоторезистора, зміщуючи його у пучку світла через кожні 3-5 см, від відстані до джерела світла, фіксуючи покази вольтметра та амперметра і відповідні заміни відстані. Результати вимірювань занесіть у таблицю звіту.

3. За вимірними значеннями розрахуйте опір напівпровідника.

4. Складіть електричне коло з фотодіодом, зображене на рис. 35 (там само). Для вимірювання опору використовуйте мультиметр.

5. Дослідіть залежність опору фотодіода від освітленості. Зафіксуйте значення опору фотодіода для послідовної серії відстаней до джерела світла.

6. За результатами вимірювань побудуйте графік залежності опору фотодіода від відстані до джерела світла.

7. Зробіть висновки.

Контрольні запитання

1. Запишіть рівняння Ейнштейна для фотоефекту.

2. Яка причина зміни опору напівпровідників від зміни освітленості?

3. Як змінюється густина потоку випромінювання із зміною відстані до джерела світла?

4. Чому значення опору напівпровідника, розраховані через напругу і струм, відрізняються від значень вимірних омметром (мультиметром)?

5. Чим відрізняються фоторезистор і фотодіод?

Лабораторна робота № 5

Роботи фізичного практикуму з хвильової і квантової оптики

Завдання: 1. Повторити навчальний матеріал з хвильової і квантової природи світла за підручником з фізики для 11 класу.

2. Вивчити теоретичні відомості до лабораторних робіт за рекомендаціями даного посібника.

3. Складіть інструкції до лабораторних робіт «Визначення довжини світлової хвилі за допомогою дифракційної ґратки» і «Визначення сталої Планка».

4. Виконайте роботи в зазначеному порядку, використовуючи результати попередньої роботи до виконання завдань наступної.

5. Складіть звіти учня про виконані роботи.

1. Визначення довжини хвилі за допомогою дифракційної ґратки

Обладнання: 1. Джерело світла (лампа розжарення, світлодіод); 2. Дифракційна ґратка; 3. Лінійка з тримачем дифракційної ґратки; 5. Екран із вертикальною щілиною і шкалою; 6. Джерело живлення для джерела світла.

Теоретичні відомості

Явище інтерференції дає змогу з великою точністю визначити довжину хвилі світла. З цією метою найзручніше використовувати інтерференцію світлових пучків, які утворюються після проходження світла крізь дифракційну ґратку. Світлові пучки, що пройшли крізь ґратку, збираються опуклою лінзою в різних точках екрана у фокальній площині й інтерферують (рис. 5.1)

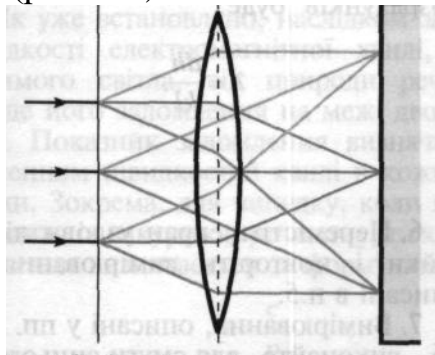


Рис. 5.1

Внаслідок цього на екрані утворюються світлі або темні смуги, якщо діафрагма виготовлена у вигляді щілини, або круглі плями, якщо діафрагма має форму круглого отвору.

Як відомо, умовою максимуму в інтерференційній картині, яка утворюється внаслідок дифракції світла, є рівність різниці ходу пучків світла цілому числу довжин хвиль:

$$k\lambda = d \sin \varphi,$$

звідки

$$\lambda = \frac{d \sin \varphi}{k},$$

де d – стала дифракційної ґратки, що дорівнює ширині прозорої і непрозорої ділянок ґратки. Якщо ширина прозорої частини ґратки дорівнює a , а непрозорої частини, яка розділяє щілини, - b , то $d=a+b$.

Більшість дифракційних ґраток промислового виробництва мають спеціальні позначення сталої ґратки. Так, якщо ґратка має позначення 1 : 100, то це означає, що її стала дорівнює 0,01 мм.

Літера K у формулі відповідає порядку максимуму при підрахунку смуг від центральної світлої смуги. Коефіцієнт може мати лише цілі значення:

$$K = 0; 1; 2 \dots,$$

Але кількість смуг для кожної дифракційної ґратки обмежена тим, що $\sin \varphi$ змінюється від 0 до 1.

Кут φ - це кут між центральним максимумом і напрямком на ту чи іншу смугу картини. Оскільки ці кути, як правило, невеликі, то для вимірювань і розрахунків зручніше користуватися функцією тангенса. Для малих кутів $\sin \varphi \approx \operatorname{tg} \varphi$.

Для визначення тангенса кута потрібно виміряти відстані від ґратки до екрана l і від центра картини до обраної світлої смуги h .

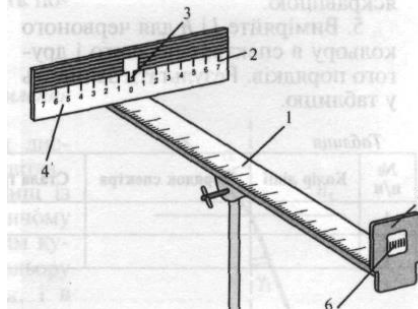


Рис. 5.2.

Пристрій для визначення довжини хвилі (рис. 5.2) складається з лінійки 1, закріпленої на штативі. Екран 2 з поділками 4 і щілиною 3 змонтований на лінійці так, що забезпечує зручне переміщення його вздовж лінійки. Роль лінзи при спостереженні картини відіграє кришталік ока.

Якщо дифракційну ґратку 6 встановити у рамку 5 і спрямувати лінійку на джерело світла, то на фоні екрана з поділками можна побачити спектри у вигляді райдужних смуг по обидва боки від щілини. Кожен колір одержаних спектрів знаходитиметься на деякій відстані h від щілини. Саме це і потрібно виміряти для розрахунків.

Отже, робочою формулою для розрахунків буде:

$$\lambda = \frac{dh}{kl}.$$

Хід роботи

1. Ознайомтеся з установкою. Визначте сталу дифракційної ґратки.
2. Накресліть в зошиті таблицю за наведеним нижче зразком.
3. Вставте дифракційну ґратку в рамку і спрямуйте лінійку на джерело світла.
4. Спостерігаючи щілину крізь дифракційну ґратку, оберіть таке положення приладу, за якого інтерференційна картина буде найяскравішою.
5. Виміряйте l і h для червоного кольору в спектрах першого і другого порядків. Результати запишіть у таблицю.
6. Перемістіть екран вздовж лінійки і повторіть вимірювання, описані в п. 5, для трьох різних положень екрана.
7. Вимірювання, описані в пп. 5 і 6, виконайте для смуги синього кольору.
8. Розрахуйте довжину хвилі світла за результатами всіх вимірювань.
9. Знайдіть середні значення довжин хвиль синього і червоного кольору.
10. Результати вимірювань і розрахунків запишіть у таблицю, розрахуйте похибки вимірювань і сформулюйте відповідні висновки.
12. Визначте довжину хвилі світла, випромінюване світло-діодами, що входять до переліку обладнання до лабораторної роботи, результати використайте в інших лабораторних роботах.

№ п/п	Колір лінії	Порядок спектра	Стала ґратки	l	h	λ	$\lambda_{\text{сер}}$
1							
2							
3							

II. Визначення сталої Планка

До основного змісту роботи практикуму за варіантом, описаним М.І. Шефером [Шефер Н.И. Определение постоянной Планка с помощью светодиода //Физика в школе.- 1991.- №2.- С. 52-54.], запропоновані зміни. Загально визнано, що визначення фундаментальної сталої за результатами лише одного досліду і лише з одним об'єктом (одним світлодіодом) не є переконливим і потребує експериментального підтвердження за результатами декількох дослідів, виконуваних за різних умов. Тому доцільним є виконання досліду принаймні з двома-трьома світлодіодами. Наявність комплекту різних світлодіодів в лабораторії сприяє осучасненню обладнання, бо такий комплект неодноразово використовується при вивченні й інших розділів курсу фізики.

Збільшення обсягу завдань в одній лабораторній роботі відповідно актуалізує проблему часу, виділеного на виконання такої роботи у відповідності з дидактичними принципами, бо виконання завдання за змістом запропонованого варіанту є надто тривалим, адже зміст роботи складають дві експериментальні частини: 1-експериментальне визначення частоти випромінювання світлодіоду та 2-зняття його вольтамперної характеристики. Визначення довжини хвилі (частоти) випромінювання світлодіодів складають завдання попередньої роботи з хвильової оптики.

Під час виконання другої частини і побудови вольт амперної характеристики світлодіода слід врахувати, що чутливість аналогових мікроамперметрів недостатня для якісних вимірювань і визначення зміни струму в інтервалах 0,01-0,1 мА. Відповідно нижня частина графіку "губиться". Тому для вимірювання запропоновані мультиметри: один -увімкнений для вимірювання сили струму в межах 0-2000 мА, інші – для вимірювання напруги в межах 0-20 В. Цифрові табло відображають значення з точністю до сотих. Відповідно, зміна сили струму на 0,01 мА потребує зміни напруги в інтервалі 0,2-0,3 В.

Для зміни напруги в порівняно вузьких інтервалах – 0,1-0,2 В виконано відповідне удосконалення принципової схеми установки вмиканням в коло потенціометра на 1 кОм, за допомогою якого подається напруга для живлення світлодіодів. Разом з тим і в джерелі живлення, і на потенціометрі слід забезпечити обмеження зміни напруги в допустимих межах використання обмежувальних пристроїв до переміщень повзунів, регулювальних ручок тощо. Усі комутаційні елементи в даних експериментальних установках підібрані так, щоб запобігати небажаним, чи помилковим варіантам неправильного збирання схем і установки. Досить ефективним є збирання експериментальних установок на базі модулів-полігонів з цифровими вимірювальними приладами.

Варіант такого універсального полігону використовують при виконанні практично всіх лабораторних робіт, що потребують вимірювання вказаних величин. Одночасно на полігоні вмонтований і цифровий секундомір. Перемикачами, вмонтованими нижче табло кожного вимірювального приладу, і під'єднання полігону до електричного кола. Принципова схема полігону зображена на верхній панелі, згідно з якою виконано маркування всіх органів керування та відображення інформації.

Для одночасного використання всіх світлодіодів з комплекту в більшості дослідів і експериментальних завдань, виготовлений окремий модуль світлодіодів. Останній являє собою основу – паралелепіпед розмірами 1,5×1,5×6 см з муфтою на кінці для закріплення на стержнях штативу чи стійки. В основі на відстані 1 см один від одного виконані гнізда, в які вставляються і затискаються контакти світлодіодів. "Мінусові" контакти останніх з'єднані вузлом. Від гнізда позитивного

виводу кожного світлодіоду виводяться окремі провідники, клеми (штекери) яких конструктивно відрізняються від "мінусового". Клеми всіх провідників мають відповідне маркування.

Для виконання лабораторної роботи з метою визначення сталої Планка на основі біля кожного світлодіоду допускається маркування у відповідності з текстом інструкції: простою нумерацією, із зазначенням довжини хвилі випромінювання, частоти тощо.

Інструкція до роботи практикуму має наступну структуру.

Визначення сталої Планка

Обладнання: 1 - лабораторне джерело електроживлення ЛІП-90; 2 - реостат лабораторний або модуль потенціометра; 3 - вольтметр постійного струму на 6 В; 4 - мультиметр; 5 - світлодіод на панелі; 6 - вимикач струму (або механічний датчик з вільно розімкнутими контактними); 7 - прилад для визначення довжини світлової хвилі з дифракційною ґраткою; 8 - штатив лабораторний з муфтою; 9 - з'єднувальні провідники і шнури.

Короткі теоретичні відомості.

У серії напівпровідників (CaAs, CaP, InAs, InSh, SiC, ZnS) процес рекомбінації супроводжується випромінюванням квантів енергії $h\nu$. На основі рекомбінації випромінювання працюють світлодіоди, де відбувається електролюмінесценція – безпосереднє перетворення енергії електричного струму в світлову енергію, тобто енергія джерела електричного струму, що витрачається на подолання потенціального бар'єру eU_k для кожного носія електричного струму, перетворюється у світлову енергію, таким чином, що:

$$eU_k = h\nu,$$

де: ν - частота випромінювання світлодіода; U_k – контактна різниця потенціалів; e – заряд електрона; h – стала Планка.

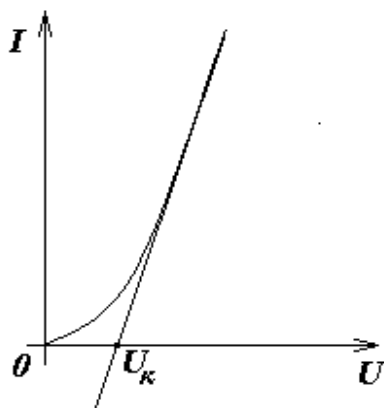


Рис. 5.3. Вольт-амперна характеристика світлодіода.

Відтак, за відомою частотою випромінювання світлодіода та контактною різницею потенціалів знаходять сталу Планка за формулою

$$h = \frac{eU_k}{\nu} \quad \text{або} \quad h = \frac{eU_k \lambda}{c}.$$

Контактну різницю потенціалів світлодіода визначають з графіка його вольт-амперної характеристики. Для цього до графіка проводять дотичну до перетину з віссю абсцис (віссю

напруг). На рис. 5.3 зображено вольт-амперну характеристику для фосфідогалієвого світлодіода АЛ102БМ, за якою контактна різниця потенціалів дорівнює $U_k=1,8$ В.

Довжина хвилі випромінювання визначається за допомогою дифракційної ґратки на приладі для визначення довжини світлової хвилі.

Порядок виконання роботи

1. Підготувати таблицю для запису вимірних і розрахованих значень фізичних величин.

№ світло діоду	I (мА) / U (В)	Результати вимірювань сили струму і напруги, № досліду					λ (м)	U_k (В)	h	h_c
1	I (мА)									
	U (В)									
2	I (мА)									
	U (В)									
3	I (мА)									
	U (В)									

2. Зібрати експериментальну установку за рис. 5.4. Записати у таблицю значення довжини хвилі для ввімкненого світлодіода.
3. Вивести повзунок потенціометра в положення 1. Замкнути коло.

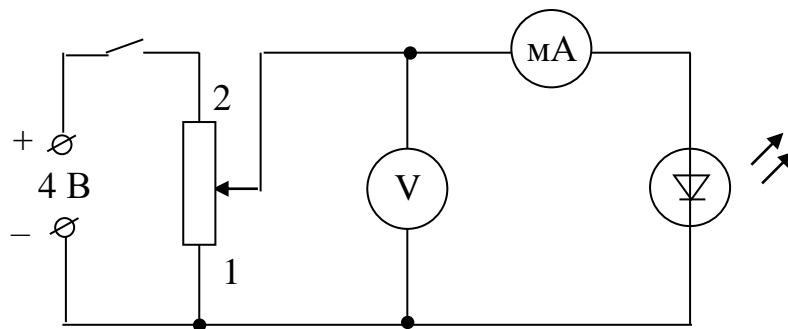


Рис. 5.4

4. Уведенням потенціометра змінювати напругу в колі до 2,8 В, записуючи у таблицю значення сили струму і напруги, відповідно після кожної зміни значення сили струму на 0,1 мА.
5. Повторити дослід (пункт 3-4) для інших двох світлодіодів.
6. Побудувати вольтамперні характеристики кожного із світлодіодів.
7. Провести дотичні до лінійних ділянок характеристик. Визначити відповідні значення контактної різниці потенціалів, занести їх у таблицю.
8. За результатами дослідів для кожного світлодіода розрахувати значення сталої Планка за формулою

$$h_i = \frac{eU_{ki}\lambda_i}{c}$$

9. Знайти середнє значення сталої Планка, зробити висновки розбіжності результатів з табличними значеннями. Визначити похибки вимірювань

Наводимо результати, одержані нами для червоного, оранжевого, жовтого, зеленого і синього світлодіодів.

Колір світлодіоду	U (В)	λ (м)	h (Дж·с)
червоний	1,68	$0,07 \cdot 10^{-5}$	$6,272 \cdot 10^{-34}$
оранжевий	1,88	$0,066 \cdot 10^{-5}$	$6,6176 \cdot 10^{-34}$
жовтий	2,12	$0,062 \cdot 10^{-5}$	$7,01 \cdot 10^{-34}$
зелений	2,45	$0,056 \cdot 10^{-5}$	$7,317 \cdot 10^{-34}$
синій	2,8	$0,048 \cdot 10^{-5}$	$7,168 \cdot 10^{-34}$



Рис. 5.5 Загальний вигляд установки для визначення сталої Планка.

Лабораторна робота № 6

Вивчення явища фотоефекту

Завдання: 1. Вивчити зміст теми «Світлові кванти. Дія світла» з курсу фізики для 11 класу.

2. Ознайомитися із запропонованим навчальним експериментом до теми.

3. Складіть інструкції до варіантів роботи шкільного фізичного практикуму «Вивчення явища фотоефекту».

4. Виконайте перші два варіанти роботи, напишіть звіти учня про їх виконання.

Обладнання: 1. Комплект приладів для фотоефекту; 2. Джерело електроживлення для практикуму ІЭПП-1; 3. Світлофільтри СФО; 4. Лампа настільна; 5. З'єднувальні провідники.

Короткі теоретичні відомості

При освітленні фотоелемента з катода вириваються електрони і створюють струм. Якщо робота подолання затримуючого потенціалу між катодом і анодом у фотоелементі дорівнює кінетичній енергії найшвидших електронів, які вирвалися з катода внаслідок фотоэффекту і

$$eU = \frac{mv_{\max}^2}{2}, \quad (1)$$

то сила струму в колі фотоелемента дорівнюватиме нулю. Виходячи з рівняння Ейнштейна

$$h\nu = A + \frac{mv_{\max}^2}{2} \quad (2)$$

і умови запирання струму, можна записати:

$$h\nu = A + eU. \quad (3)$$

З виразу (3) випливає, що, знаючи частоту світла ν і напругу запирання струму в колі фотоелемента U , можна виміряти роботу виходу електронів A з катода фотоелемента:

$$A = h\nu - eU.$$

У даній роботі джерелом світла є звичайна електрична лампа розжарювання, спектр випромінювання якої неперервний (суцільний). Щоб виділити у суцільному спектрі випромінювання з певною частотою ν , використовують синій світлофільтр з оптичного скла типу СС-2. Синій фільтр пропускає світло довжиною хвилі до 420 нм. Цій довжині хвилі відповідає частота

$$\nu = 7,15 \cdot 10^{14} \text{ c}^{-1}.$$

Фотоелемент встановлюють у захисному світлонепроникному корпусі, а світлофільтри - у спеціальному віконці перед фотоелементом.

Послідовність виконання роботи

1. Складіть експериментальну установку, з'єднавши фотоелемент послідовно з гальванометром до джерела постійного струму з регульованою напругою і забезпечуючи приєднання позитивного полюса джерела напруги до катода. Паралельно до джерела струму приєднайте вольтметр.

2. Вставте у віконце перед фотоелементом синій світлофільтр і освітіть фотоелемент.

3. Плавно збільшуючи напругу, зафіксуйте таке її значення, фотоелемент запирається (сила фотоструму через гальванометр дорівнює нулю).

4. За відомим значенням частоти світла, яке пропускає синій світлофільтр, і виміряними значеннями напруги запирання фотоструму розрахуйте роботу виходу електрона з катода фотоелемента. Запишіть знайдений результат в одиницях СІ та в електронвольтах.

Контрольні запитання

1. Чому в лабораторній установці на катод фотоелемента подають позитивний потенціал?
2. Чи можна за допомогою установки, яку використовують в цій лабораторній роботі, визначити сталу Планка?
3. Які будуть результати вимірювань, якщо в лабораторній установці змінити полярність приєднання джерела напруги на протилежну?

Варіант 2

Дослідження залежності сили фотоструму від поверхневої густини потоку випромінювання

Обладнання: 1. Прилад для вивчення законів фотометрії; 2. Мікроамперметр на 100 мкА; 3. Джерело електроживлення для практикуму, або ЛІП-90; 4. Реостат повзунковий; 5. Вимикач струму; 6. З'єднувальні провідники.

У приладі для вивчення законів фотометрії використаний селеновий фотоелемент. Передбачено зміну положення фотоелемента відносно напрямку світлового пучка, що падає на нього. Це здійснюють шляхом повороту рукоятки з покажчиком на кутову шкалу. Передбачено також і зміну площі фотоелемента через обмеження її різними за площею діафрагмами (фотоелемент розміщений в лівій частині труби, середня частина якої складається з двох половин рис.б.1). Внизу труби є щілина, закрита клапаном з чорної тканини. Вздовж щілини переміщують джерело світла. В середині труба і захисні ребра забарвлені у чорний матовий колір. Ребра захищають фотоелемент від відбитого випромінювання.

У нижній частині відкидної кришки закріплена шкала з поділками від 0 до 30 см, причому нульова поділка шкали збігається з площиною чутливого шару фотоелемента.

У цій роботі потрібно дослідити залежність сили фотоструму фотоелемента від поверхневої густини потоку випромінювання і побудувати графіки цієї залежності.

Поверхневу густину потоку випромінювання на фотоелементі E обчислюють за формулою

$$E = \frac{\Phi}{4\pi R^2},$$

де Φ - повний потік енергії випромінювання джерела світла (наближено вважають, що він дорівнює потужності електричної лампи – 1 Вт), R – відстань між лампою і фотоелементом, виражена в метрах.

Загальний вигляд лабораторної установки зображено на рис.б.1.

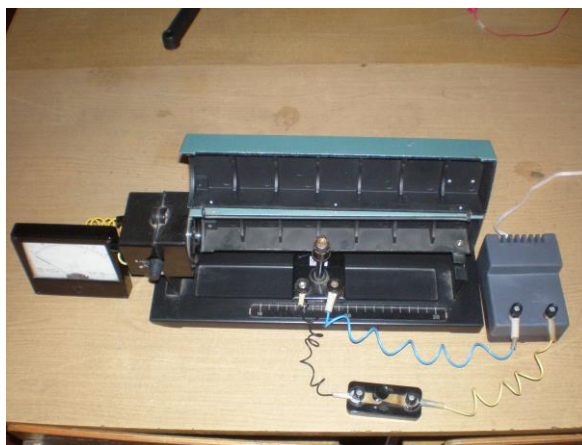


Рис. 6.1.

Порядок виконання роботи

1. Підготуйте таблицю для запису результатів вимірювань і обчислень:

Відстань між фотоелементом і лампою R , м	Поверхнева густина потоку випромінювання на фотоелементі E , Вт/м ²	Сила фотоструму I , мкА

2. Ознайомтесь з будовою приладу.

3. Складіть електричну схему: приєднайте затискачі фотоелемента до мікроамперметра; електричну лампу через вимикач і реостат приєднайте до джерела струму.

4. Встановіть фотоелемент перпендикулярно до вісі труби, а лампу на відстані 10 см від фотоелемента, введіть реостат.

5. Замкніть електричне коло живлення лампи розжарення нитки реостатом доберіть таке, щоб стрілка мікроамперметра відхилилась на всю шкалу.

6. Збільшуйте відстань між лампою та фотоелементом і через кожні 2 см вимірюйте і запишіть силу струму.

7. За одержаними даними побудуйте графік залежності сили фотоструму від поверхневої густини потоку випромінювання. По осі абсцис відкладіть поверхневу густину потоку випромінювання у ватах на квадратний метр, а по осі ординат – силу фотоструму в мікроамперах.

Контрольні запитання

1. Як залежить сила фотоструму від поверхневої густини потоку випромінювання?

2. Як потрібно змінити відстань від лампи до фотоелемента, щоб сила фотоструму збільшилась у два рази?

3. Чому під час виконання досліду не можна змінювати положення фотоелемента і розжарення нитки лампи?

4. Для чого всередині труби приладу зроблені захисні ребра і чому його всередині пофарбовано чорною матовою фарбою?

Лабораторна робота № 7

Експериментальне визначення сталої Стефана-Больцмана

Вказівки до складання теоретичних відомостей

Стала Стефана-Больцмана відноситься до фундаментальних фізичних сталих з квантової фізики як одна із характеристик теплового випромінювання.

В умовах будь-якої середньої школи можлива постановка лабораторної роботи з визначення сталої Стефана-Больцмана. З цією метою використовується фрагмент варіанту виконання роботи, який стосується методу визначення температури розжареної вольфрамової дротини (нитки розжарення електричної лампи). Стосовно інших даних, необхідних для визначення сталої Стефана-Больцмана, варто зауважити, що їх вимірювання і визначення потребують ретельності, бо навіть соті і тисячні долі кількісних значень суттєво впливають на результат сталої, порядок якої складає 10^{-8} .

Зокрема, визначення площі поверхні вольфрамової спіралі практично є завданням досить непростим. Практично виконання цього завдання відбирає значну частину часу, а запропоноване обладнання дуже загромаджує експериментальну установку. Таке завдання може слугувати і змістом окремої лабораторної роботи, і пропедевтичною експериментальною задачею. Тоді одержані результати у ході виконання таких експериментальних завдань корисно повідомляти разом з іншими даними як уже відомі і можуть наводитися в теоретичних відомостях до роботи практикуму і використовуються як уже відомі результати.

Належну увагу приділено використанню цифрових вимірювальних приладів – амперметра і вольтметра, замість яких використано мультиметри, які дозволяють однозначно фіксувати результати вимірювань з порядком до тисячних долей вимірювальних величин. Опір спіралі при температурі 20^0 С також зручно вимірювати мультиметром.

У роботі використовуються виконані розрахунки площі поверхні за вимірними розмірами: 1- діаметра поперечного перерізу вольфрамової нитки; 2- діаметра витка спіралі; 3- кількості витків спіралі. Розраховані результати порівнювались з іншими результатами, для яких довжина нитки спіралі розрахована за формулою $\ell = \frac{RS}{\rho}$. За цих обставин

даються такі результати для електричної лампи, розрахованої на 6 В і 0,7 А: d (діаметр дротини) = $4 \cdot 10^{-5}$ м, ℓ (довжина дротини) = $2,7 \cdot 10^{-3}$ м

Тоді середнє значення площі поверхні спіралі $S = 3,39 \cdot 10^{-6}$ м².

Досить відповідальним є завдання визначення температури спіралі. На жаль, перелік обладнання фізичного кабінету не передбачає наявності оптичного пірометра. Відповідно варто обмежитись традиційним методом визначення температури нитки розжарення за формулою залежності опору провідників від температури $t = \frac{R - R_0}{R_0 \alpha}$, де

α – температурний коефіцієнт опору. Значення останнього також нестабільне і має вагомий вплив на шуканий результат. Нами використовувалось значення $\alpha = 5,1 \cdot 10^{-3}$ К⁻¹.

Використання середнього значення температурного коефіцієнту опору має певний вплив за умов зміни температури, проте такі зміни пов'язані більшою мірою не від цього коефіцієнта, а від зміни випромінювальної здатності вольфраму. Відповідно необхідно враховувати коефіцієнт сірості a_T . Фізичну сутність останнього важливо включити і розкрити в теоретичних відомостях до даної роботи. Тут можна скористатися методичними рекомендаціями з посібника [2].

Фрагмент теоретичних відомостей може бути таким.

Випромінювання і поглинання енергії тілом характеризується його випромінювальною та поглинальною здатністю. Тіло, для якого ці характеристики однакові, називається *абсолютно чорним*. Практично абсолютно чорних тіл не існує. Тіло, для якого поглинальна здатність менша випромінювальної, називається сірим. Між випромінювальною і поглинальною здатністю будь-якого тіла існує певний зв'язок: за законом Кірхгофа відношення випромінювальної та поглинальної здатностей не залежить від природи тіла і є функцією частоти і температури.

Енергія, яку випромінює тіло при даній температурі з одиниці поверхні за одиницю часу в усьому інтервалі частот, характеризує його *випромінювальну здатність*. Залежність випромінювальної здатності абсолютно чорного тіла від температури встановлює закон Стефана-Больцмана. Ця залежність була одержана експериментально у 1879 р. Й. Стефаном (1835-1893), а в 1884 р. за допомогою методів термодинаміки теоретично виведена Л. Больцманом (1844-1906) [3, с. 264].

Випромінювальна здатність нечорного тіла характеризується коефіцієнтом сірості (ступенем чорноти). Вона визначається відношенням енергії випромінювання сірого тіла до енергії випромінювання абсолютно чорного тіла за тієї ж температури. Для абсолютно чорного тіла закон Стефана-Больцмана записується у такому вигляді [2, с.186]:

$$E_T = \sigma T^4 \quad (1).$$

Для сірих тіл формула набуває вигляду:

$$E_T = a_T \sigma (T^4 - T_0^4) \quad (2).$$

Використання відомих значень цього коефіцієнту для окремих інтервалів температур, наведених в окремих посібниках та збірниках задач цілком задовольняють якості кінцевих результатів лабораторної роботи.

Один із варіантів інструкції до роботи та одержані результати виконання в роботі.

Визначення сталої Стефана-Больцмана.

Мета: вивчити і дослідити закономірності теплового випромінювання вольфраму.

Обладнання: 1) джерело постійного струму для практикуму (або акумулятор і реостат на 12-30 Ом) ; 2) вольтметр постійного струму (мультиметр); 3) міліамперметр постійного струму (мультиметр); 4) електрична лампа розжарювання, 6 В, 0,7 А; 5) вимикач; б) провідники.

Теоретичні відомості

Енергетична світність абсолютно чорного тіла E описується законом Стефана-Больцмана:

$$E = \sigma T^4$$

де σ – стала Стефана-Больцмана.

Для визначення цієї сталої можна застосувати метод порівняннi потужності електричного струму, що витрачається на розжарення провідника, та потужності випромінювання з його повної поверхні. Вважаючи, що свічення вольфраму лише наближається до свічення абсолютно чорного тіла і залежить від стану його поверхні, для опису такої залежності можна записати рівність (3):

$$IU = a_T S \sigma (T^4 - T_0^4) \quad (3).$$

Звідси

$$\sigma = \frac{IU}{a_T S (T^4 - T_0^4)} \quad (4),$$

де S – повна площа вольфрамового провідника; T_0 – початкова температура (20°C); T – температура при максимальному свіченні; U та I – відповідні значення напруги і сили струму в режимі максимального свічення; a_T – коефіцієнт сірості.

Коефіцієнт сірості характеризує світність твердого тіла в порівняннi зі світністю абсолютно чорного тіла. Його значення визначає частину затраченої енергії, яка витрачається не на теплове випромінювання, а на нагрівання підвідних провідників, затискачів і середовища. Його кількісне значення залежить від температури тіла,

проте для інтервалів температур біля 500°C змінюється мало. При виконанні лабораторної роботи в запропонованому варіанті відповідно з даними, наведеними в таблиці 1, значення коефіцієнту сірості становить $a_T = 0,234$.

Вольфрамова спіраль лампи розжарення розрахована на 6 В, 0,7 А. Відповідно при виконанні роботи перевищення вказаних параметрів не варто допускати. При складанні електричного кола установки мультиметри перемикають на відповідні режими вимірювання: вольтметр – в режим "20 В", міліамперметр – в режим "10 А". Вольтметр приєднують безпосередньо до клем (контактів) лампи.

Вимірювання температури T здійснюють за формулою, яка описує залежність опору провідника від температури: $R = R_0(1 + \alpha t)$, звідки

$$t = \frac{R - R_0}{R_0 \alpha}, \text{ а } T = t + 273. \text{ Для цього } R_0 \text{ вимірюють до складання}$$

електричного кола мультиметром, а R – розраховують за значеннями сили струму I і напруги U за максимального її свічення. Для використаного нами інтервалу температур нагрітої нитки вольфраму значення температурного коефіцієнту опору доцільно брати $\alpha = 5,1 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$.

Загальний вигляд лабораторної установки зображений на рис. 7.1.

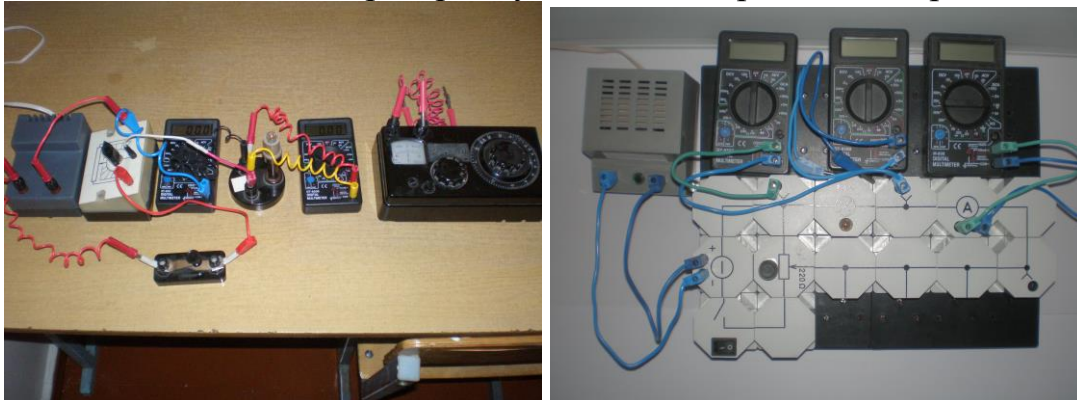


Рис. 7.1.

Хід роботи

1. Ознайомтесь з фізичним змістом та особливостями теплового випромінювання твердих тіл. З'ясуйте фізичну сутність наступних понять і величин: теплове випромінювання, випромінювальна здатність E , абсолютно чорне тіло, коефіцієнт сірості, стала Стефана-Больцмана [2].

2. Виміряйте опір R_0 спіралі лампи за допомогою мультиметра і результати занесіть у таблицю.

3. Зберіть експериментальну установку за схемою (рис.7.2). При цьому мультиметр (вольтметр) приєднайте безпосередньо до контактів стійки з електричною лампою.

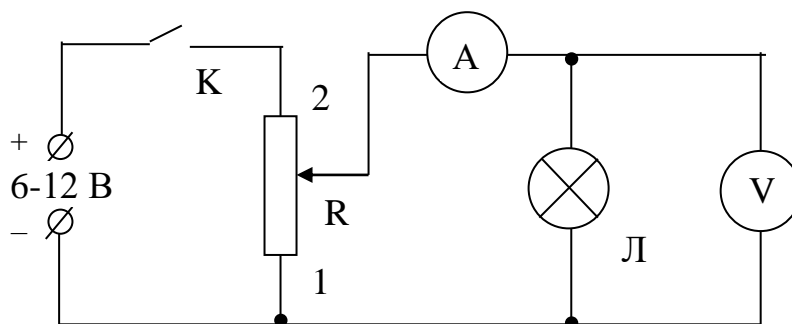


Рис. 7.2.

4. Виведіть регулятор напруги на блоку живлення (або повзунок потенціометра в крайнє положення, за якого напруга на лампі рівна нулеві).

5. Увімкніть живлення. Регулятором напруги встановіть на лампі напругу 4 В. Запишіть у таблицю відповідні значення показів амперметра і вольтметра.

6. Повторіть дії попереднього пункту для напруги 5 В, 6 В.

7. Виведіть регулятор напруги і розімкніть коло.

8. Запишіть у таблицю значення коефіцієнта сірості та температурного коефіцієнту опору.

9. Розрахуйте для кожного вимірювання температуру T та T^4 , результати запишіть у таблицю.

10. Розрахуйте для кожного вимірювання сталу Стефана-Больцмана за формулою (4). Визначте похибки вимірювань

11. Порівняйте одержані результати з табличним значенням, зробіть висновки.

Контрольні запитання

1. Який механізм теплового випромінювання твердих тіл?
2. Який фізичний зміст випромінювальної здатності твердого тіла?
3. Який фізичний зміст коефіцієнту сірості?
4. Який фізичний зміст сталої Стефана-Больцмана?
5. Чому в розглядуваному процесі вольфрам не вважається абсолютно чорним тілом?
6. З чим пов'язано зміна опору металевого провідника від зміни температури?
7. Чому не можна вимірювати опір омметром вольфрамової дротини, ввімкненої в електричне коло?
8. На що витрачається енергія електричного струму окрім теплового випромінювання?

Результати виконання даної роботи практикуму на вказаній в інструкції елементній базі відповідали таким, що наведені у таблиці 1.

Таблиця 1.

№ досліду	I, A	U, B	a_T	$S, м$	T, K	T_0, K	$\sigma, Вт/(м^2 \cdot K^4)$
1	0,64	6	0,277	0,00000339	2913	293	$5,67 \cdot 10^{-8}$
2	0,54	5	0,205	0,00000339	2878	293	$5,657 \cdot 10^{-8}$
3	0,48	4	0,219	0,00000339	2598	293	$5,675 \cdot 10^{-8}$

№ досліду	I, A	U, B	$a_{T(середнє)}$	$S, м$	T, K	T_0, K	$\sigma, Вт/(м^2 \cdot K^4)$	$\sigma_{(середнє)}, Вт/(м^2 \cdot K^4)$
1	0,64	6	0,234	0,00000339	2913	293	$6,72 \cdot 10^{-8}$	$5,664 \cdot 10^{-8}$
2	0,54	5	0,234	0,00000339	2878	293	$4,95 \cdot 10^{-8}$	$5,664 \cdot 10^{-8}$
3	0,48	4	0,234	0,00000339	2598	293	$5,31 \cdot 10^{-8}$	$5,664 \cdot 10^{-8}$

ЛІТЕРАТУРА ДО РОБОТИ №7

1. Величко С. П. Дидактичні принципи і ергономічні вимоги до навчального фізичного експерименту / Величко С. П., Вовкотруб В. П. – Кіровоград : РВЦ КДПУ ім. В. Винниченка, 2007. – 123 с.
2. Величко С.П., Костенко Л.Д. Вивчення основ квантової фізики: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів.- Кіровоград: РВЦ КДПУ ім.. В.Винниченка, 2002.- 274с.
3. Глазунов А. Т. Методика преподавания физики в средней школе. Электродинамика нестационарных явлений. Квантовая физика: пособие для учителя / Глазунов А. Т., Нурминский И. И., Пинский А. А. ; под ред. А. А. Пинского. – М. : Просвещение, 1989. – 272 с.
4. Практикум з фізики в середній школі: дидактичний. матеріал : посіб. для вчителя / [Л. І. Анциферов, В. А. Буров, Ю. І. Дік і ін.]; за ред. В. А. Бурова, Ю. І. Діка. – [3-є вид., перероб.]. – К. : Рад. шк., 1990. – 176 с.
5. Прокопенко М. М. Опис лабораторних занять з набірним полем «Школяр» / Прокопенко М. М. – Житомир : 2005. – 76 с.
6. Трифонова О. М. З досвіду експериментального визначення сталої Планка / О. М. Трифонова // Фізика та астрономія в школі. – К. : Педагогічна преса, 2008. – № 2 (65) – С. 36–39.
7. Фізика. 10-11 класи. Програми для профільних класів загальноосвітніх навчальних закладів з українською мовою навчання. – К.: Педагогічна преса, 2004. – 143 с.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Анциферов Л.И. Пищиков И.М. Практикум по методике и технике школьного физического эксперимента: Учеб пособие для студев пед. ин-тов по физ.-мат. спец,- М.: Просвещение, 1984.- 255 с.
2. Бурсиан Э.В. Физические приборы: Учеб. пособие для студентов физ.-мат. фак. пед. ин-тов.- М.: Просвещение, 1984.- 271 с.
3. Величко С.П. Розвиток системи навчального експерименту та обладнання з фізики у середній школі.- Кіровоград, 1998.-302 с.
4. Величко С.П., Ковальов І.З.Лазер у шкільному курсі фізики.- К.: Рад.шк., 1989.-143с.
5. Величко С.П., Костенко Л.Д. Вивчення основ квантової фізики: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів.- Кіровоград: РВЦ КДПУ ім. В.Винниченка, 2002.- 274с.
6. Вовкотруб В.П. Ергономіка навчального фізичного експерименту. – Кіровоград: РВВ КДПУ ім. В. Винниченка, 2005. – 308 с.
7. Гуржій А.М., Величко С.П., Жук Ю.О. Фізичний експеримент у загальноосвітньому навчальному закладі (Організація та основи методики): Навчальний посібник. – К.: ІЗМН, 1999. – 303 с.
8. Кабардин О.Ф.И др. Факультативный курс физики: 9 кл. Учеб. Пособие для учащихся. – 3-е изд., перераб. – М.: Просвещение, 1986. – 239 с.
9. Коршак Є.В., Миргородський Б.Ю. Методика і техніка шкільного фізичного експерименту. Практикум: посібник для пед. інститутів,- К.: Вища школа, 1981,- 280 с.
- 10.Коршак Є.В., Ткачук Р. З. Методичне обґрунтування блочно-функціонального принципу у вивченні елементів радіоелектроніки // Фізика та астрономія в школі. – 1998. - №4. – С. 8-10.
- 11.Основы методики преподавания физики в средней школе /Под ред. А.В. Перышкина Г.Разумовского, В.А.Фабриканта,- М.: Просвещение, 1964,- 398 с.
- 12.Практикум з фізики в середній школі: Дидакт. матеріал: Посібник для вчителя: /Л.І.Анциферов, В.А. Буров, Ю.І. Дік і ін.: За ред. В.А.Бурова, Ю.І. Діка. - 3-є вид., перероб. - К.: Рад. шк., 1990.- 176 с
- 13.Прокопенко М.М. Опис лабораторних занять з набірним полем «Школяр» - Житомир, 2005. – 76 с.
- 14.Тригг Дж. Л., Решающие эксперименты в современной физике. Перевод с англ., - М., 1974.
- 15.Федішова Н.В, Комплект для вивчення фізичних основ роботи електронно-обчислювальної техніки //Фізика та астрономія в школі,- 1999,- №2,- С. 23-27.
- 16.Федішова Н.В. Комплект автоматичних пристроїв і функціональних вузлів електронної техніки для фізичного експерименту //Наукові записки,- Випуск 16,- Серія: Педагогічнауки.-Кіровоград: РВЦ КДПУ ім. В.Винниченка, 1999,- С. 40-45.

ДОДАТКИ

Тематика індивідуальних завдань для самостійної роботи студентів

Завдання до лабораторної роботи №1

ІНТЗ: Обґрунтувати і теоретично довести, за яких умов кулька, підвішена на нитці, може використовуватися як модель математичного маятника для дослідження закономірностей його коливання. За основу взяти такі основні чинники і параметри: нитка (довжина, маса, матеріал); кулька (розміри, маса, матеріал); кріплення нитки до основи та нитки і кульки.

ІНДЗ: Дослідити і встановити доцільні параметри нитки та кульки, які доцільно використовувати для виготовлення моделі математичного маятника.

ІНМЗ: До яких висновків та узагальнень зводяться методичні пропозиції доцільного варіанту створення моделі математичного маятника для виконання учителем демонстраційних дослідів та для виконання учнями самостійних досліджень під час фізичного практикуму. Якими мають бути похибки в обох випадках?

Завдання до лабораторної роботи №2

ІНТЗ: Розрахувати співвідношення між основними параметрами активних і реактивних опорів для можливості аналізу явища резонансу у колі змінного струму із частотою 50 Гц.

ІНДЗ: Які параметри конденсатора та котушки індуктивності дають можливість не лише спостерігати явище резонансу струму і напруги в електричному колі, а й кількісно встановити співвідношення між резонансною частотою та індуктивністю і ємністю.

ІНМЗ: Дати критичну оцінку методичним рекомендаціям і порадам щодо спостереження явища електричного резонансу, а також з метою дослідження у фізичному практикумі явища резонансу струму та резонансу напруги в електричному колі.

Завдання до лабораторної роботи №3

ІНТЗ: Побудувати блок-схему та взаємозв'язки між основними елементами, що відображають будову, роботу та можливості практичного використання електронного осцилографа на уроках фізики в середній школі.

ІНДЗ: Дослідити основні параметри котушки індуктивності у поєднанні із шкільним демонстраційним осцилографом для моделювання «петлі гістерезису»

ІНМЗ: Серед різних методичних рекомендацій та порад у методичній літературі вибрати оптимальний варіант вивчення будови і роботи осцилографа у середній школі.

Завдання до лабораторної роботи №4

ІНТЗ: Обґрунтувати теоретично зміну опору напівпровідника під час його опромінення різними ділянками спектру від теплового джерела світла.

ІНДЗ: Виявити можливий вплив різних параметрів на графічну інтерпретацію результатів вимірювань під час виконання цієї лабораторної роботи.

ІНМЗ: Які з наявних у методичній літературі варіантів Ви вважаєте найбільш доцільними для дослідження залежності опору напівпровідникових елементів від їх освітленості і які їхні переваги?

Завдання до лабораторної роботи №5

ІНТЗ: Обґрунтуйте з науково-теоретичної точки зору доцільність використання не призми, а саме дифракційної ґратки для одержання неперервного спектру з метою виконання експериментів із спектроскопії для навчальних цілей.

ІНДЗ: Встановити дослідним шляхом, які інтервали спектрів 2-го, 3-го і вищих порядків можна використовувати для досліджень в галузі спектроскопії.

ІНМЗ: Виявити і виокремити методичні переваги використання дифракційних ґраток у процесі виконання спектроскопічних досліджень для навчальних цілей.

Завдання до лабораторної роботи №6

ІНТЗ: Теоретично обґрунтувати і підготувати пояснення можливостей виокремлення необхідного діапазону оптичного випромінювання для демонстрацій фотоефекту завдяки використанню теплового джерела світла та комплексу світлофільтрів. Як це узгоджується із рівнянням А.Ейнштейна для фотоефекту?

ІНДЗ: Виокремити основні чинники та явища, що створюють додаткові ускладнення у процесі вивчення явища фотоефекту. Як їх можна уникнути?

ІНМЗ: Які з наявних у методичній літературі рекомендацій найбільшою мірою, на Вашу думку, відповідають можливостям виділення послідовних однакових інтервалів ($\Delta\nu = \text{const}$) частот для виявлення і дослідження явища фотоефекту?

Завдання до лабораторної роботи №7

ІНТЗ: Обґрунтувати теоретичне пояснення учням старших класів під час з'ясування сутності абсолютно чорного тіла та постійної Стефана-Больцмана.

ІНДЗ: Встановити можливі інтервали можливих похибок під час визначення сталої Стефана-Больцмана з використанням запропонованого обладнання. Встановити, що саме найбільшою мірою впливає на точність одержаних результатів.

ІНМЗ: Оцінити інші методичні рекомендації щодо визначення постійної Стефана-Больцмана та можливої доцільності їх використання у навчальному процесі з фізики у середній та вищій школі.

ЗМІСТ

ВСТУП	3
Лабораторна робота №1 Дослідження математичного маятника	5
Лабораторна робота №2 Вивчення резонансу в електричному коливальному контурі	10
Лабораторна робота №3 Вивчення осцилографа і використання його для дослідження періодичних електричних процесів.....	12
Лабораторна робота №4 Визначення залежності опору напівпровідникових фоторезистора і фотодіода від освітленості.	16
Лабораторна робота № 5 Роботи фізичного практикуму з хвильової і квантової оптики	17
Лабораторна робота № 6 Вивчення явища фотоефекту.....	23
Лабораторна робота № 7 Експериментальне визначення сталої Стефана-Больцмана	27
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	33
<i>Додатки Тематика індивідуальних завдань для самостійної роботи студентів</i>	34
ЗМІСТ	34

Для нотаток

Для нотаток

Навчально-методичне видання

**Величко Степан Петрович
Вовкотруб Віктор Павлович
Слободяник Ольга Володимирівна**

**Лабораторний практикум
з шкільного курсу фізики
та методики її викладання**

Частина V

(для студентів фізико-математичного факультету)

Підп. до друку 07.09.2010. Формат 60×84^{1/16}. Папір офсет.
Друк різнограф. Ум. др. арк. 3,2 Тираж 150. Зам. № _____

*Редакційно-видавничий центр
Кіровоградського державного педагогічного
університету імені Володимира Винниченка
25006, Кіровоград, вул. Шевченка, 1
Тел.: (0522) 24–59–84.
Fax: (0522) 24–85–44.
E-Mail: mails@kspu.kr.ua.*