

Міністерство освіти і науки України
Кіровоградський державний педагогічний університет
імені Володимира Винниченка

В.В.Слюсаренко

М.І.Садовий

**Методичні рекомендації до
виконання вибраних лабораторних
робіт із новітнім обладнанням
«PHUWE»**

Кіровоград – 2013

ББК 22.3-ф
УДК 53(09)
С-49

Слюсаренко В.В., Садовий М.І. Методичні рекомендації до виконання вибраних лабораторних робіт із новітнім обладнанням «РНУВЕ»: Навчально-методичний посібник / За ред. М.І. Садового. – Кіровоград: «САБОНІТ», 2013. – 28 с.

Методичні рекомендації до виконання вибраних лабораторних робіт із новітнім обладнанням німецького виробництва «РНУВЕ» excellence in science». Роботи виконані на базі лабораторії новітнього обладнання Національного педагогічного університету ім. М.П. Драгоманова.

Посібник розрахований на науково-педагогічних працівників та студентів фізико-математичних факультетів педагогічних вузів, вчителів фізики, учнів середніх навчальних закладів освіти.

Рецензенти:

Вовкотруб В.П. – доктор педагогічних наук, професор, завідувач кафедри фізики та методики її навчання КДПУ імені Володимира Винниченка

Царенко О. М. – професор кафедри фізики та методики її викладання, кандидат технічних наук КДПУ імені Володимира Винниченка

Даний посібник обговорений і рекомендований до друку на засіданні кафедри фізики та методики її викладання Кіровоградського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка (протокол № 8 від 22 травня 2013 року).

ББК 22.3-ф
© В.В.Слюсаренко, М.І.Садовий

ВСТУП

В умовах прогресу науки й, зокрема, фізики, підвищується роль та важливість експериментального вивчення фізики в середніх закладах освіти. Навчальний експеримент безпосередньо пов'язаний з науковим фізичним експериментом, під яким розуміють систему цілеспрямованого вивчення явищ природи шляхом чітко спланованого відтворення фізичних явищ в лабораторних умовах з подальшим аналізом і узагальненням одержаних за допомогою приладів експериментальних даних. Традиційні безпосередні способи спостереження за фізичним явищем чи виконанням роботи за інструкцією забезпечують лінійне накопичення знань. Постановка фізичного експерименту за нелінійного підходу відрізняється тим, що суб'єкт дослідження може активно втручатись у хід дослідження, виокремлювати ту чи іншу частину фізичного явища за допомогою експериментальних засобів. Він сам собі планує експериментальну роботу. Це відповідає меті однієї з актуальних проблем сучасної педагогічної науки – залучення учнів до пізнавальної діяльності для вирішення основного завдання: формування творчої конкурентоздатної особистості учнів та студентів. Виконання цього завдання ускладнюється стрімким зростанням потоку інформації, яка зумовлена темпами розвитку науки та техніки.

Нині виникла суперечність між новітнім наповненням знаннями підручників і посібників та застарілою матеріальною експериментальною базою, яка не в змозі забезпечити успішне засвоєння цих знань. Це викликає необхідність оновлення та вдосконалення фізичного обладнання. Виявлену суперечність у значній мірі можна розв'язати з використанням обладнання німецького виробника «PHUWE», який вже чимало років є одним із головних постачальників новітнього фізичного обладнання. Вказане фізичне обладнання в останні роки впроваджується і в навчальні заклади України. Проте методичне забезпечення постановки фізичного експерименту не розроблене. Ми виконали таке забезпечення експериментів у лабораторії новітнього обладнання Національного педагогічного університету ім. М.П.Драгоманова.

В даному посібнику представлено виконання 8 лабораторних робіт: дві роботи з механіки і по три роботи із оптики та атомної фізики. Ці роботи виконуються на основі новітнього обладнання «PHUWE».

Лабораторна робота № 1. Вивчення моменту інерції та кутового прискорення за допомогою шарнірної опори

Мета роботи: Визначити залежність моменту інерції від маси і відстані від осі обертання для диску, стрижня і матеріальної точки.

Обладнання: тринога, шарнірна основа, інерціальна штанга, диск з кутовою розміткою, додатковий вказівник для диску, з'єднувальний провідник довжиною 1000 мм, світловий бар'єр з лічильником, перехідник ВНС/роз'єднувач 4 мм, конденсатор 100 нФ/250 В, джерело струму 5 В/2,4 А, прицельний шків, прямокутний затискач, стрижень прямокутного перерізу довжиною 400 мм, настільний затискач, нитка довжиною 200 м, круглий рівень, вантажі з розрізами (1, 10 та 50 г), тримач для вантажу (1 г), пусковий пристрій, рулетка довжиною 2 м.

Вказівки до виконання роботи

Досліджувані фізичні поняття: кутова швидкість, обертовий рух, момент інерції диска, момент інерції стрижня та момент інерції матеріальної точки.

Кутова швидкість – це фізична величина, яка рівна відношенню зміни кута при обертанні до відрізка часу, за який ця зміна відбулася $\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$.

Обертовий рух – це рух, при якому одна точка механічної системи, що називається центром обертання, залишається нерухомою. Момент інерції – скалярна фізична величина, міра інертності тіл, що обертаються навколо осі. Подібно до того, як маса тіла є мірою його інертності в поступальному русі. Характеризується розподілом мас у тілі: момент інерції дорівнює сумі добутків елементарних мас на квадрат їх відстаней до базової (точки, прямої або площини): одиниця вимірювання в СІ – 1 кг м.

Момент інерції диску рівний $J = \frac{mr^2}{2}$, де m – маса диску, r – його радіус. Момент інерції прямого стрижня у

випадку, коли вісь обертання перпендикулярна до осі стрижня і проходить через його центр мас, рівна $J = \frac{ml^2}{12}$, де l – довжина стрижня. Якщо ж вісь обертання перпендикулярна до стрижня і проходить через його кінець, то

момент інерції рівний $J = \frac{ml^2}{3}$. Момент інерції матеріальної точки визначається за формулою $J = mr^2$, де r – відстань від точки до осі обертання [5, с. 173-183].

Принцип роботи: Момент інерції досліджуваних тіл визначається із закону збереження моменту імпульсу, шляхом вимірювання кутового прискорення.

Хід роботи

1. Зберіть установку як показано на рис. 1. Розмістіть світловий бар'єр таким чином, щоб кінець диска був розміщений перпендикулярно до пучка світла.

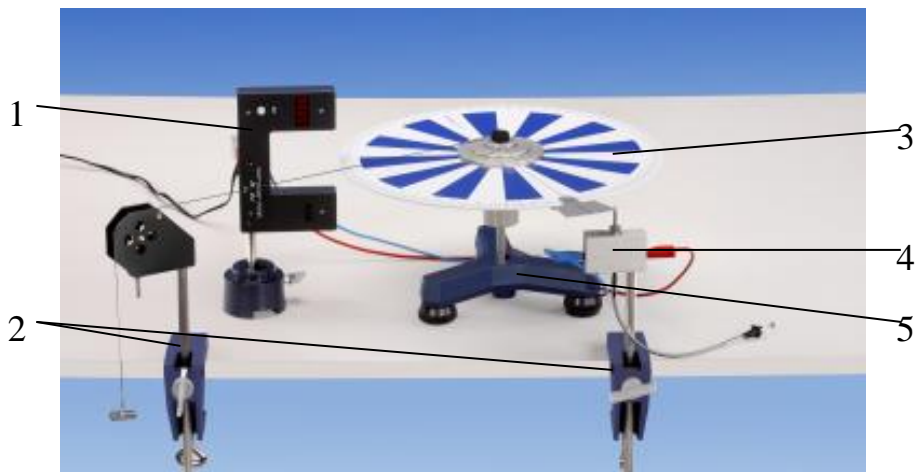


Рис. 1. Експериментальна установка: 1 - світловий бар'єр з датчиком, 2 - настільні затискачі, 3 - диск з кутовою розміткою, 4 - пусковий пристрій, 5 - тринога.

2. Виміряйте кутову швидкість. Для цього спочатку встановіть перемикач світлового бар'єра в положення $\uparrow \downarrow$ та натисніть кнопку «Reset». Розімкніть тримач. За допомогою світлового бар'єра виміряти початковий час затемнення. При русі установки натисніть кнопку «Reset» після того як швидкість екрану досягне свого кінцевого значення, але до того як перетнув світловий бар'єр.

3. Визначте час, при цьому використовуйте параметр Δt з формули $\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$, де $\Delta\varphi$ – кут заслінки обертового диска.

4. Тепер визначте кутове прискорення. Повторіть дослід за тих умов, що і при визначенні кутової швидкості. Встановіть перемикач світлового бар'єра в положення $\uparrow \downarrow \uparrow$ та натисніть кнопку «Reset». З формули $\alpha = \frac{\omega}{t}$ знайдіть прискорення.

Контрольні питання

1. Що називається моментом інерції твердого тіла?
2. Які одиниці вимірювання моменту інерції?
3. Яку фізичну величину називають кутовою швидкістю? Її розмірність.

Лабораторна робота № 2. Момент інерції різних тіл. Теорема Штейнера

Мета роботи: Визначити кутовий коефіцієнт пружності спіральної пружини; визначити залежність моменту інерції круглого диска від відстані між віссю обертання до центра маси.

Обладнання: вісь обертання з часовою пружиною, диск з отворами по діаметру, динамометр (2 Н), джерело струму 5 В/ 2,4 А, світловий бар'єр з лічильником, тринога, циліндрична опора, лінійка.

Вказівки до виконання роботи

Досліджувані фізичні поняття: тверде тіло, момент інерції, центр ваги, вісь обертання, крутильні коливання та коефіцієнт жорсткості пружини.

Тверде тіло – це агрегатний стан речовини, що характеризується стабільністю форми і характером теплового руху атомів, які здійснюють малі коливання біля положень рівноваги. Абсолютно тверде тіло — це тіло, яке ні за яких умов не деформується і за всіх умов відстань між двома точками (або точніше між двома частинами тіла залишається постійною

Момент інерції – скалярна фізична величина, міра інертності при обертальному русі тіла навколо осі, подібно до того, як маса тіла є мірою його інертності в поступальному русі. Одиниця вимірювання в СІ –1 кг м. Центром маси тіла називається точка, відносно якої сумарний момент сил ваги, що діють на систему, дорівнює нулю [5, с. 174-178].

Обертальним рухом твердого тіла називають такий рух, при якому залишаються нерухомими всі точки прямої, що називається віссю обертання. Якщо вісь обертання закріплена, то говорять про обертання твердого тіла щодо нерухомої осі.

Коефіцієнт жорсткості - це характеристика здатності стрижня або пружини зазнавати пружної деформації під дією навантаження, яка пов'язує між собою силу пружності та абсолютне видовження при одновісній пружній деформації за формулою: $k = \frac{F}{x} = \frac{mg}{x}$.

Теорема Штейнера: момент інерції тіла I_z відносно довільної осі дорівнює сумі моменту інерції цього тіла $I_{\bar{n}o}$ відносно осі, що проходить через центр маси тіла паралельно до осі, що розглядається та добутку маси тіла m на квадрат відстані d між осями: $I_z = I_{\bar{n}o} + md^2$ [1, с. 233-235].

Принцип роботи: Вимірюються періоди коливань диска, осі якого розташовані в різних точках його діаметра. Визначається залежність моменту інерції диска від відстані осі обертання до центра ваги.

Хід роботи

1. Зберіть установку як показано на рис. 2. Закріпіть диск на вісі обертання. За допомогою динамометра виміряйте силу, яка потрібна для відхилення диску на певний кут.



Рис. 2. Експериментальна установка:

1 - світловий бар'єр з лічильником, 2 - циліндрична опора, 3 - диск з отворами по діаметру, 4 – тринога, 5 - динамометр, 6 - лінійка.

2. Прикріпіть аркуш паперу (ширина ≤ 3 мм) на лінії отворів. Розмістіть диск так, щоб аркуш знаходився під світловим бар'єром. Для бар'єра встановіть режим $\uparrow \square \uparrow$. Відхиліть диск на 180° і виміряйте півперіод коливань «за» та «проти» часової стрілки. Отримані результати округліть.

3. Побудуйте графік залежності моменту спіральної пружини від кута обертання. Визначити кутовий коефіцієнт пружності спіральної пружини.

4. Побудуйте графік залежності періоду коливань диску від відстані між віссю та центром тяжіння.

Контрольні питання

1. Що таке момент інерції?
2. Як визначається коефіцієнт жорсткості пружини і від чого він залежить?
3. Сформулюйте теорему Штейнера.

Лабораторна робота № 3. Дисперсія та роздільна здатність призми і дифракційного спектроскопа

Мета роботи: Розрахувати роздільну здатність скляних призм з нахилу кривих дисперсії; визначити постійну ґратки Роуланда за кутом дифракції (до третього порядку) спектральних ліній ртуті високої інтенсивності; визначити кутову дисперсію решітки; визначити роздільну здатність призми.

Обладнання: спектрометр-гоніометр з ноніусом, патрон для спектральної лампи, спектральна лампа (частота 100 Гц, цоколь 9 пінів), джерело струму для спектральних ламп, тригранна призма (між граннями 60° , висота 30 мм), порожниста призма (між граннями 60° , висота 60 мм), пластмасова пляшка для ополіскування об'ємом 500 мл, настільний затискач, трубка із затискачем, дифракційні решітки (4, 8, 10, 50 та 600 ліній/мм), штангенциркуль з ноніусом, циліндрична опора, стрижень прямокутного перерізу довжиною 250 мм та циліндричний затискач.

Вказівки до виконання роботи

Досліджувані фізичні поняття: дисперсія світла, поляризація, показник заломлення, спектрометр-гоніометр.

Дисперсія світла – це залежність показника заломлення (або діелектричної проникності) середовища від частоти світла. Внаслідок зміни показника заломлення змінюється також довжина хвилі [6, с. 228].

Поляризація хвиль – явище порушення симетрії розподілу збурень у поперечній хвилі (наприклад, напруженостей електричного або магнітного полів в електромагнітних хвилях) відносно напрямку її поширення. У поздовжній хвилі поляризація виникнути не може, так як збурення в цьому типі хвиль завжди збігаються з напрямком їх поширення [6, с. 157].

Показник заломлення або абсолютний показник заломлення - це характерне для середовища число, яке визначає в скільки разів швидкість розповсюдження світла в середовищі менша за швидкість світла у вакуумі.

Спектрометр-гоніометр – прилад, призначений для вимірювання показника заломлення і дисперсії прозорих твердих тіл.

Принцип роботи: Визначається залежність показників заломлення рідин, а також стекол кронглас і флінтглас від довжини хвилі при заломленні променя світла призмою з мінімальним відхиленням. На основі кривої графіка дисперсії визначається роздільна здатність скляної призми.

Хід роботи

1. Зберіть експериментальну установку (рис. 3). Відрегулюйте обидві трубки телескопа горизонтально за допомогою регулювальних гвинтів до тих пір, поки напрямки їх осей не співпадуть.



Рис. 3. Експериментальна установка: 1 - спектральна лампа, 2 - настільний затискач, 3 - джерело струму, 4 - спектрометр-гоніометр з ноніусом, 5 - призми.

2. Розташуйте ртутну лампу навпроти щілини: вона повинна повністю висвітлювати щілину. На шкалі окуляра з'явиться чітке зображення. Розгляньте його в окуляр, виступаючого в ролі збільшувального скла. Ширина щілини повинна бути максимально вузькою.

3. Визначте постійну ґратки Роуанда. Для цього розташуйте ґратки перпендикулярно осі коліматора і зафіксуйте столик зі щілиною. Визначте кути дифракції для спектральних ліній ртуті першого і другого порядку. Розрахуйте лінії третього порядку. Виміряйте кут спектральної лінії того ж порядку дифракції праворуч і ліворуч від нульового порядку. Для кожного кута проведіть вимірювання два рази (два ноніуса).

4. Зменшить кількість освітлених щілин решітки та визначте роздільну здатність ґратки. Для цього розташуйте штангенциркуль, використаний як допоміжна щілина, навпроти лінзи коліматора, щоб світло не доходило до щілини при зімкнутому штангенциркулі.

5. Потім відкрийте допоміжну щілину, щоб можна було спостерігати окремо, наприклад, жовті і зелені лінії ртуті. Зменшить ширину допоміжної щілини до тих пір, поки дві лінії (жовта і зелена) не будуть проходити окремо. Визначте ширину допоміжної щілини при декількох вимірах. Для визначення

здатності, необхідної для розділення пари жовто-зелених ліній використайте решітки до 50 ліній/мм. Для поділу пари жовтих ліній ртуті використовуйте ґратку Роуланда.

6. Визначити постійну ґратки Роуланда на основі кута дифракції (до третього порядку) спектральних ліній ртуті високої інтенсивності.

7. Визначити кутову дисперсію решітки та роздільну здатність призми.

Контрольні питання

1. Яке явище називається дисперсією?
2. Яке світло називається поляризованим?
3. Яке призначення має спектрометр-гоніометр?

Лабораторна робота № 4. Кільця Ньютонa

Мета роботи: За допомогою установки виміряти діаметр кільця для різній довжині хвилі та визначити довжину хвиль при заданому радіусі кривизни лінзи й радіус кривизни при заданій довжині хвилі.

Обладнання: прилад для отримання кільця Ньютонa, лінза в оправі з фокусною відстанню +50 мм, набір трьох світлофільтрів, напівпрозорий екран, освітлювач з ртутною лампою потужністю 50 Вт, джерело струму 230В/50Гц, подвійний конденсатор, тримач для лінзи, бігунки для оптичної лави висотою шкота 30 та 80 мм, оптична лава довжиною 1000 мм, тримач для конденсорних ламп, ніжки до оптичної лави, пластмасова лінійка довжиною 200 мм.

Вказівки до виконання роботи

Досліджувані фізичні поняття: когерентне світло, різниця ходу, інтерференція в тонких плівках та кільця Ньютонa.

Когерентність світла – це здатність світла утворювати нерухому інтерференційну картину. Когерентність світла пояснюють постійним у часі співвідношенням між фазами світлових хвиль, що створює можливість отримання інтерференції. Когерентні промені одержують від того самого джерела. Розрізняють повну і часткову когерентність світла. Повна когерентність настає тоді, коли контраст інтерференційної картини ідеальний, тобто мінімальна інтенсивність світла в області тіні дорівнює нулю; часткова — якщо контраст не ідеальний. Якщо контраст відсутній, то світло цілком некогерентне.

Інтерференція світла – перерозподіл інтенсивності світла в результаті накладення (суперпозиції) декількох світлових хвиль. Це явище супроводжується чергуванням у просторі максимумів і мінімумів інтенсивності. Її розподіл називається інтерференційною картиною. Різниця ходу - це різниця шляхів променів від двох джерел хвиль до довільної точки на інтерференційному полі (екрані).

Отримати стійку інтерференційну картину для світла від двох розділених у просторі і незалежних один від одного джерел світла не так легко, як для накладання хвиль на воді. Атоми випускають світло цугами дуже малої тривалості. Тому когерентність джерела порушується. Порівняно просто таку картину можна отримати, зробивши так, щоб інтерферувати хвилі одного і того ж цуга. Так, інтерференція виникає при поділі первинного променя світла на два промені при його проходженні через тонку плівку, наприклад плівку, що наноситься на поверхню лінз у просвітлених об'єктивів. Промінь світла, проходячи через плівку товщиною d , відіб'ється двічі - від внутрішньої та зовнішньої її поверхонь. Відбиті промені будуть мати постійну різницю фаз, рівну подвоєній товщині плівки. Тоді промені стають когерентними і будуть інтерферувати. Повне гасіння променів відбудеться при $d = \frac{\lambda}{4}$.

Кільця Ньютона - кольорові кільця, які можна спостерігати за допомогою випуклої скляної пластинки внаслідок інтерференції світла, відбитого від різних поверхонь. Вперше це явище описав у 1664 році Роберт Гук, але своєю назвою кільця завдячують Ісаку Ньютону, який детально проаналізував їхню структуру [4, с. 115-116].

Принцип роботи: В установці для спостереження кілець Ньютона монохроматичне світло інтерферує в тонкому прошарку повітря між опуклою лінзою і плоскою скляною пластиною. З формули для радіусів кілець інтерференції визначають довжину хвилі.

Хід роботи

1. Зберіть установку для отримання кілець Ньютона як показано на рис. 4. Закріпіть ртутний ліхтар високого тиску з подвійним конденсором (фокусна відстань 60 мм), тримач для лінз з інтерференційним фільтром, пристрій для отримання кілець Ньютона, тримач для лінз, лінза з фокусною відстанню 50 мм і напівпрозорий екран на відстані 40 см від лінзи на оптичній лаві.



Рис. 4. Експериментальна установка:

- 1 - прилад для отримання кілець Ньютона, 2 - освітлювач з ртутною лампою,
3 - джерело струму, 4 - напівпрозорий екран, 5 - оптична лава, 6 – тримачі.

2. На початку експерименту відрегулюйте траєкторію ходу променів, спочатку без світлофільтрів, щоб на екрані можна було спостерігати кільця інтерференції. Потім у тримач для лінзи вставте жовтий світлофільтр. За допомогою трьох регулювальних гвинтів на пристрої для одержання кілець Ньютона встановіть плосковипуклу лінзу на плоскопаралельній скляній пластині так, щоб світлий центр кілець спроектований на екран інтерференції знаходився в середній точці міліметрової шкали. У процесі регулювання переконайтеся, що лінза і скляна пластина тільки дотикаються одна до другої. Спроектуйте світло на екран.

3. Визначте радіуси кілець інтерференції для різних інтерференційних фільтрів відповідних порядків.

4. Визначити довжину хвиль при заданому радіусі кривизни лінзи й радіус кривизни при заданій довжині хвилі.

5. Побудуйте графік залежності радіуса кілець інтерференції від номера порядку при різній довжині хвилі.

Контрольні питання

1. Що таке когерентність світла?
2. Що собою являє явище інтерференції світла?
3. Яку фізичну величину називають довжиною хвилі?
4. Чому ширина кілець Ньютона зменшується зі збільшенням їх радіуса?

Лабораторна робота № 5. Перевірка закону Малюса

Мета роботи: Визначити площину поляризації лінійно поляризованого лазерного променя; визначити залежність сили світла, переданої поляризуючим фільтром, від кутового положення фільтру; перевірити закон Малюса.

Обладнання: лазер (He-Ne, 1,0 мВт, 230 В зм.), оптична лавка довжиною 600 мм, ніжки для оптичної лавки, бігунок для оптичної лавки висотою штока 30 мм, поляризаційний фільтр в оправі, фотоелемент для опорної плити та цифровий мультиметр.

Вказівки до виконання роботи

Досліджувані фізичні поняття: поляризація, поляризатор, аналізатор, закони Брюстера та Малюса.

Поляризація хвиль - явище порушення симетрії розподілу збурень у поперечній хвилі відносно напрямку її поширення. Поляризатор - це оптичний фільтр, що пропускає певну поляризацію електромагнітних хвиль, в т.ч. – світла. За способом поляризації і будовою поляризаційної решітки розрізняють лінійні та циркулярні поляризатори. Аналізатор в оптиці – це поляризатор, що призначений для визначення стану поляризації світла (ступеня поляризації, ступеня еліптичності), або для реєстрації його зміни. В якості аналізатора використовують лінійні, кругові, чи еліптичні поляризатори.

Закон Брюстера – закон оптики, що виражає зв'язок показника заломлення з таким кутом, при якому світло, відбите від межі розділу середовищ, буде повністю поляризованим у площині, перпендикулярній площині падіння, а заломлений промінь частково поляризується в площині падіння, причому поляризація заломленого променя досягає найбільшого значення. Легко встановити, що у цьому випадку відбитий і заломлений промені взаємно перпендикулярні. Відповідний кут називається кутом Брюстера. Це явище оптики названо по імені шотландського фізика Девіда Брюстера, що відкрив його в 1815 році. Закон Брюстера: $\operatorname{tg}\theta_{br} = n_{21}$, де n_{21} – показник заломлення другого середовища відносно першого, θ_{br} - кут падіння (кут Брюстера).

Закон Малюса – це фізичний закон, що виражає залежність інтенсивності лінійно-поляризованого світла після його проходження через поляризатор від кута між площинами поляризації падаючого світла і поляризатора $I = k_a I_0 \cos^2 \varphi$,

де k_a – коефіцієнт пропускання поляризатора, I_0 - інтенсивність падаючого на поляризатор світла. Закон встановлений Е. Л. Малюсом у 1810 році [4, с. 345].

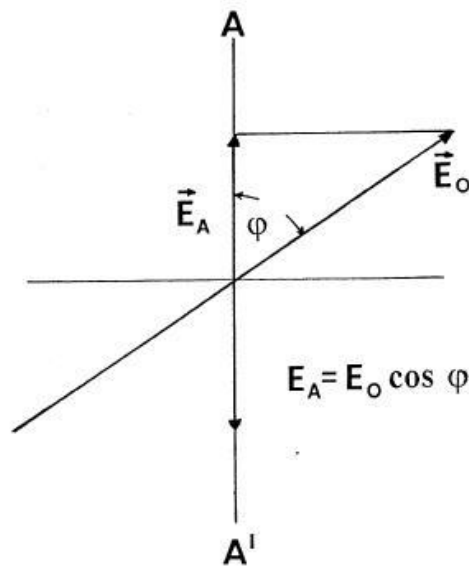


Рис. 5. Визначення сили приходящого світла.

Принцип роботи: Лінійно поляризоване світло проходить через аналізатор. Визначається залежність сили світла, що пройшло через поляризатор від кутового положення аналізатора.

Хід роботи

1. Зберіть установку як показано на рис. 6. Якщо експеримент виконується в незатемненій кімнаті, то варто визначити фоновий струм i_0 при виключеному лазері. Дану поправку використовувати при подальших розрахунках.

2. Протягом 30 хвилин розігрійте лазер. Поверніть поляризаційний фільтр з кроком 5° між положеннями фільтра $+/-90^\circ$ й визначте відповідний струм фотоелементу.

3. Побудуйте графік залежності сили струму фотоелемента з врахуванням фонового струму від кутового положення ($\cos^2 \varphi$) площини поляризації аналізатора.

4. Побудуйте графік залежності звичайного і вирівняного струмів фотоелемента від кутового положення ($\cos^2 \varphi$) аналізатора.



Рис. 6. Експериментальна установка для перевірки закону Малюса:
 1 - поляризаційний фільтр, 2 – лазер, 3 – фотоелемент,
 4 - оптична лава, 5 - цифровий мультиметр.

Контрольні питання

1. Які хвилі є поляризаційними?
2. Яке призначення аналізатора в оптиці?
3. Сформулюйте закон Брюстера.
4. Яку залежність виражає закон Малюса?

Лабораторна робота № 6. Визначення сталої Планка за допомогою фотоефекту з використанням підсилювача

Мета роботи: Визначення величини сталої Планка за вимірюванням фотоелектричної напруги для різних довжин хвиль падаючого випромінювання.

Обладнання: фотоелемент з кожухом, дифракційна решітка (600 ліній/мм), світлофільтри (580 нм, жовтий та 525 нм, зелений), тримач для діафрагм, регульована щілина, тримач для лінзи, лінза в оправі (фокусна відстань +100 мм), ртутна лампа потужністю 80 Вт, з'єднувальний провідник довжиною 250 мм, з'єднувальний кабель з BNC роз'єднувачем довжиною 250 мм, джерело струму, патрон для лампи на стрижени, цифровий мультиметр, оптична лава довжиною 600 мм, універсальний підсилювач та ніжка, шарнір і бігунок (висота штока 60 мм) для оптичної лави.

Вказівки до виконання роботи

Досліджувані фізичні поняття: зовнішній фотоелектричний ефект, робота виходу, енергія фотона.

Зовнішнім фотоелектричним ефектом (фотоелементом) називається випромінювання електронів речовини під дією електромагнітного випромінювання. Встановлені три закони зовнішнього фотоелементу.

1) При фіксованій частоті падаючого світла число фотоелектронів, що відриваються з катода у одиницю часу, пропорційне інтенсивності світла .

2) Максимальна початкова швидкість (максимальна початкова кінетична енергія) фотоелектронів не залежить від інтенсивності падаючого світла, а визначається тільки його частотою.

3) Для кожної речовини існує червона межа фотоелементу, тобто мінімальна частота світла (залежна від хімічної природи речовини та стану його поверхні), нижче якої фотоелемент неможливий.

Робота виходу – найменша кількість енергії, яку необхідно надати електрону для того, щоб вивести його з твердого тіла у вакуум. Робота виходу є характеристикою речовини. Як і будь-яку іншу енергетичну характеристику роботу виходу можна вимірювати в Джоулях, але це непрактично. Зазвичай роботу виходу заведено вимірювати в електрон-вольтах.

Стала Планка – елементарний квант дії, фундаментальна фізична величина, яка відображає квантову природу Всесвіту. Загальний момент кількості руху фізичної системи може змінюватись лише кратно величині сталої Планка. Як наслідок у квантовій механіці фізичні величини виражаються через сталу Планка. Вона позначається латинською літерою h . Вона має розмірність енергії, помноженої на час – $1 \text{ Дж} \cdot \text{с}$. В системі СІ стала Планка має значення $h = 6.6260695(29) \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$ [2, с. 185].

Фотон – квант електромагнітного випромінювання, елементарна частинка, що є носієм електромагнітної взаємодії. Енергія фотона визначається з формули $E = h\nu$, де h – стала Планка, ν – частота [6, с. 283].

Принцип роботи: Потік світла від ртутної лампи потрапляє на дифракційну решітку. За допомогою фотоелемента і підсилювача визначають кутовий розподіл енергії і розраховують постійну Планка.

Хід роботи

1. Зберіть експериментальну установку (рис. 7). Встановіть на підсилювачі параметри: електрометр $R_e \geq 10^{13}$ Ом. Для розрядки приладу між вимірюваннями натискайте на кнопку «zero» підсилювача.



Рис. 7. Експериментальна установка для визначення сталої Планка: 1 – тримач для лінзи, 2 - ртутна лампа, 3 - джерело струму, 4 - оптична лава, 5 - фотоелемент з кожухом, 6 - універсальний підсилювач, 7 - цифровий мультиметр.

2. Включіть джерело світла, встановіть світлофільтр з відповідною смугою пропускання, щоб освітлювався вхід фотоелемента.

3. За допомогою мультиметра на фотоелементі встановіть напругу. Отримані результати занесіть до таблиці 6.1.

4. Повторіть пункти 2-3 з іншими світлофільтрами.

5. Отримані результати подайте у вигляді графіка залежності напруги від частоти $U = f(\nu)$. Проведіть лінійну апроксимацію.

Таблиця 6.1.

№	Колір фільтра	Частота ν , 10^{12} Гц	Напруга U , В

6. Використовуючи отриманий графік, визначте сталу Планка за формулою $h = e \cdot tg\alpha$, де $tg\alpha$ - кутовий коефіцієнт отриманої прямої на графіку.

Контрольні питання

1. Що таке робота виходу?
2. У чому суть явища зовнішнього фотоефекту?
3. Що характеризує стала Планка? Чому вона рівна?
4. Який принцип визначення сталої Планка в даній роботі?

Лабораторна робота № 7. Експеримент Франка-Герца з неоновною трубкою

Мета роботи: Визначити залежність сили зворотного струму в трубці Франка-Герца від напруги на аноді; визначити енергію збудження з урахуванням різниці мінімумів і максимумів сили струму.

Обладнання: джерело струму для експерименту Франка-Герца з програмним забезпеченням, неоновна трубка Франка-Герца, з'єднувальні кабелі для неоновної трубки Франка-Герца з BNC роз'єднувачем довжиною 750 мм та RS 232.

Вказівки до виконання роботи

Досліджувані фізичні поняття: кванти енергії, квантові переходи, енергія збудження, модель атома Бора.

Квант енергії – доза енергії, яку може поглинати або випромінювати мікросистема, переходячи з одного стану в інший. Квант енергії пропорційний частоті фотона, який поглинається або випромінюється системою: $\varepsilon = h\nu$.

Квантові переходи – стрибкоподібні переходи квантової системи (атома, молекули, атомного ядра, твердого тіла) з одного стану в інший. Найбільш важливими є квантові переходи між стаціонарними станами, що відповідає переходу системи з одного рівня енергії на інший [6, с. 301-305].

Збудження – це процес поглинання електронами енергії і перехід їх із нижчих енергетичних рівнів і підрівнів на вищі.

Нільс Бор запропонував у 1913 році свою модель атома, яка нині має назву «Атомна модель Бора». Він стверджував, що можливими є лише певно не дуже велика кількість станів, у яких можуть перебувати електрони. Відповідно, енергія, що вивільнюється чи поглинається, є лише результатом переходу електрона з одного стану в інший [6, с. 305-308].

Зазначимо, що для отримання результатів виконання даної лабораторної роботи потрібне застосування інформаційно-комунікаційних технологій для отримання графік. Цю проблему успішно можна вирішити за допомогою системи «Кобра 3» (рис. 8).

Комп'ютерний інтерфейс «Кобра 3» використовується для отримання вимірювань та обчислень при проведенні експериментів з фізики, хімії і біології.

Розглянемо технічні дані системи «Кобра 3». На передній панелі приладу розміщені модуль порт ± 10 В; з'єднання виконується 25-контактним Sub-D; датчик порту на $\pm 30/10$ В; тип з'єднання виконується 4 міліметровим гніздом; з'єднання за допомогою 9-контактного Sub-D; вхід заземлення; вхідний опір на

500 кОм; датчик порт на $\pm 30/10/3/1/0,3/0,1$ V; з'єднання проводиться 4-а розетками; вхідний опір на 1 МОм. Для всіх аналогових входів максимальна частота дискретизації 500 кГц; Інтернет частота дискретизації 5 кГц; пакетний режим 5 Гц ... 500 кГц; роздільна здатність 12 біт; граничний захист напруги



Рис. 8. Система «Кобра 3».

230 В змінного струму; тригер з регулятором. Таймери/лічильника мають значення 32 біт, дозвіл 800 нс, тип з'єднання 4 розетки. Таймери/лічильника мають значення 40 біт, дозвіл 200 нс, тип з'єднання 4 розетки; аналоговий вихід управління ± 10 В, роздільна здатність 12 біт, тип з'єднання 9-контактний Sub-D.

Загальні дані: напруга живлення 12 В, потужність 6 Вт, інтерфейс USB, швидкість передачі даних 115200 біт/с, пам'ять 12000 значень, розміри (мм) 190 x 135 x 90. Надійний пластиковий корпус на ніжках, кілька варіантів фіксації і бічний варіант стикування для зручної роботи із обладнанням. Обладнання надійно працює, потребує належної теоретичної та практичної підготовки викладачів, лаборантів, студентів та учнів.

Принцип роботи: Електрони розганяється у трубці, наповненою неонам. Енергію збудження неону розраховуємо по відстанях між рівновіддаленими мінімумами струму в змінному електричному полі.

Хід роботи

1. Зберіть експериментальну установку як показано на рис. 9.
2. Під'єднайте універсальну установку «Кобра 3» до порту комп'ютера. Запустіть програму для проведення вимірювань й виберіть установку «Кобра 3» для проведення експерименту Франка-Герца. Встановіть параметри як показано на рис. 10. Потім натисніть кнопку «Continue» й виконайте дослід.



Рис. 9. Експеримент Франка-Герца з неоновною трубкою: 1 - неоновна трубка Франка-Герца з кожухом, 2 - джерело струму, 3 - система «Кобра 3».

3. На екрані комп'ютера отримаємо залежність сили зворотного струму в трубці Франка-Герца від напруги на аноді. На графіку будуть представлені рівновіддалені мінімуму та максимуму.

4. На основі отриманого графіка обраховуємо середнє значення енергії збудження атома неону.

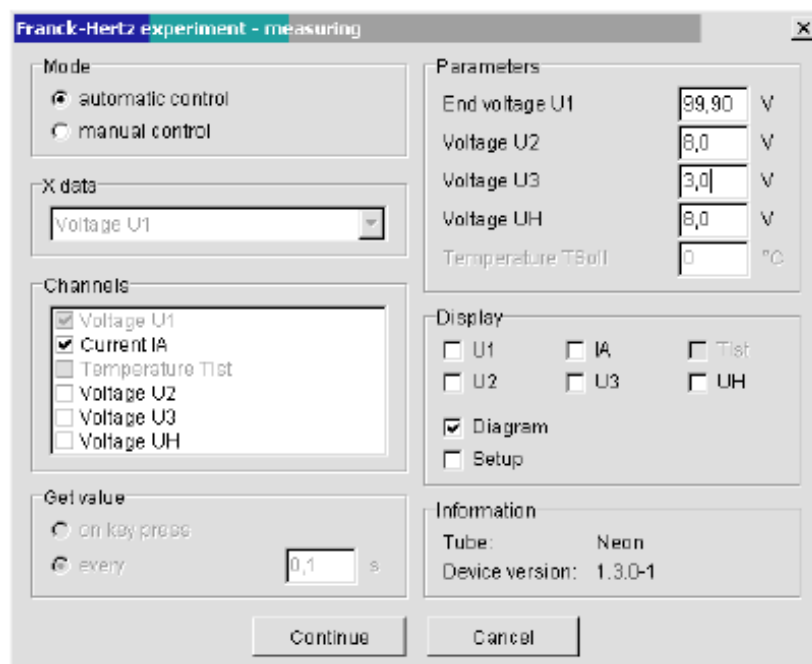


Рис. 10. Параметри вимірювання.

Контрольні питання

1. Що собою являє квант? Які переходи називають квантовими?
2. Що таке фотон? Назвіть основні властивості фотона.
4. Наведіть формулу енергії фотона, знаючи частоту.
3. Сформулюйте постулати Бора.

Лабораторна робота № 8. Фізика рентгенівських променів

Мета роботи: Дослідження структури монокристала LiF методом Лауе; дослідження характеристичного рентгенівського випромінювання від різних анодних матеріалів; перевірка закону Мозлі; оцінка постійної Рідберга і постійної екранування.

Обладнання: обкладки конденсатора для рентгенівської установки, гоніометр для рентгенівської установки (35 кВ), вставні модулі з Cu-, Mo- та Fe-рентгенівською трубками, базова рентгенівська установка з програмним забезпеченням (35 кВ), кристали KBr і LiF з кріпленням, комплект обладнання для поглинання рентгенівського випромінювання, діафрагматична трубка з нікелевою фольгою, хімічний набір для вивчення границь поглинання, лічильник, додаткове обладнання для демонстрації ефекту Комптона, інформаційний кабель, джерело струму, операційний підсилювач, нітрат срібла, ступка, сталевий шпатель, цифровий універсальний електромагнітний пристрій, резистор опором 50 МОм, перехідник, кабель із захисним покриттям, з'єднувальні провідники довжиною 100, 500 та 750 мм.

Вказівки до виконання роботи

Досліджувані поняття: кристалічна ґратка, кристалічні системи, кристалічні класи, ґратка Браве, індекси Міллера, рентгенівське випромінювання, характеристичне рентгенівське випромінювання.

Кристалічна ґратка - це геометрично правильне розміщення атомів (йонів, молекул), властиве речовині, що перебуває в кристалічному стані. Просторові фігури, у вершинах яких розміщено атоми, називаються комірками кристалічної ґратки. Регулярна нескінченна система геометричних точок (вузлів ґратки) є ідеальною періодичною в трьох вимірах простору. Існує 14 основних типів просторових ґраток. Кристалічна система - один з видів кристалів за ознакою їх характерної симетрії. Залежно від геометричної симетрії (симетрії зовнішньої форми) кристали можуть бути розбиті на сім кристалічних систем. У таблиці наведено список усіх можливих у тривимірному просторі кристалічних систем, а також визначальні елементи симетрії, тобто елементи симетрії, наявність яких необхідна для віднесення кристала до певної кристалічної системи [3, с. 345-347].

Ґратка Браве – це сукупність еквівалентних вузлів кристалічної ґратки, які можуть бути суміщені один із іншим лише при паралельному переносі (трансляції). Ґратка Браве - паралелепіпед, утворений трансляцією будь-якого з

вузлів кристалічної ґратки в трьох напрямках. Ці напрямки зазвичай вибираються перпендикулярними до осей симетрії або до площин симетрії. Існує 14 типів ґраток Браве, кожна з яких відноситься до певної сингонії. Індеси Міллера – система позначень для напрямків, площин, сімейств напрямків і площин у кристалічній ґратці. Напрямок задається трьома числами $[l, m, n]$ у базисі ортогональних векторів, які задають обернену кристалічну ґратку, взятими в квадратні дужки.

Рентгенівське випромінювання – це короткохвильове електромагнітне випромінювання з довжиною хвилі від 10 нм до 0.01 нм. В електромагнітному спектрі діапазон частот рентгенівського випромінювання лежить між ультрафіолетом та гамма-променями. Рентгенівське випромінювання виникає від різкого гальмування руху швидких електронів у речовині, при енергетичних переходах внутрішніх електронів атома. Воно використовується у науці, техніці, медицині. Характеристичне рентгенівське випромінювання – лінійчаста складова спектру рентгенівського випромінювання, характерна для кожного хімічного елемента, основа для рентгенофлуоресцентного аналізу [2, с. 165].

Принцип роботи: В залежності від призначення рентгенівської трубки та гоніометра з встановленим у нього лічильника Гейгера здійснюється дослідження характеристичного випромінювання. Є також можливість фотографування проходження фотоплівки для розбіжного рентгенівського променя після проходження кристалічних структур.

Хід роботи

Завдання 1. Дослідження структури монокристалу LiF методом Лауе.

1. Зберіть установку (рис. 11).

2. Поставте трубку з діафрагмою діаметром 1 мм на виході рентгенівських променів з рентгенівської трубки в робочу область. Помістіть кристал LiF в оправу, розмістіть утримувач з оправою на трубці з діафрагмою. Вставте рентгенівську плівку в рамку для плівки робочою стороною до кристалу на відстані 1,5 - 2 см від нього. Площина плівки повинна бути паралельна поверхні кристала і перпендикулярна до напрямку первинного рентгенівського променя.

3. Включіть установку. Встановіть такі робочі параметри: напругу 35 кВ, силу струму 1 мА, час експозиції 60 хвилин. Проведіть експеримент. Виведіть на екрані лауеграму. Для кожного пронумерованого рефлексу визначте його координати, обчисліть значення за формулою $\vartheta_{\text{exp}} = \frac{1}{2} \cdot \arctg \frac{L}{D}, L = \sqrt{y^2 + z^2}$.

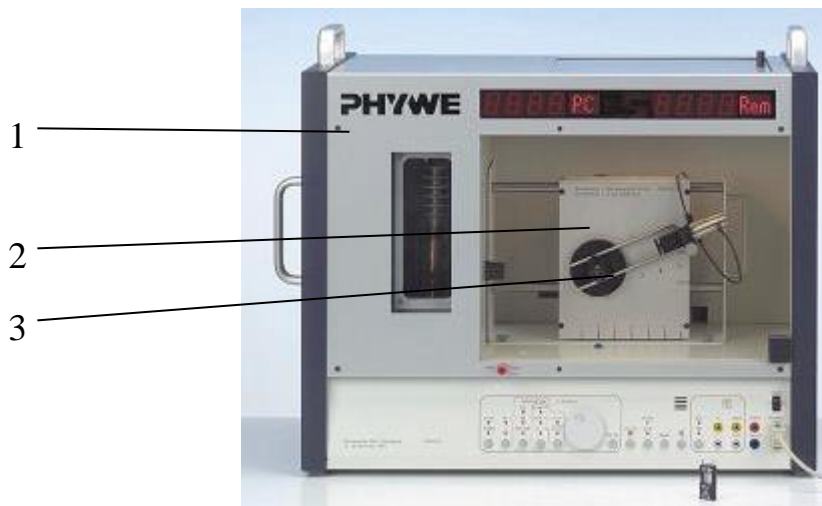


Рис. 11. Експериментальна установка: 1 – базова рентгенівська установка, 2 – вставний модуль, 3 – гоніометр.

4. Визначте для кожного рефлексу трійку чисел. Для цього, перебираючи різні комбінації невід'ємних цілих чисел, починаючи з найменших, обчисліть за формулою $\sin \vartheta = \frac{h}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}$. Визначте трійки чисел, для яких виконається умова: $\vartheta_{\text{exp}} = \vartheta_{\text{cal}}$.

Завдання 2. Дослідження характеристичного рентгенівського випромінювання від різних анодних матеріалів.

1. Зберіть установку для експерименту. Встановіть модуль з рентгенівською трубкою з мідним анодом. Встановіть кристалу в спеціальний тримач на гоніометрі та діафрагму на виході рентгенівського випромінювання. З'єднайте гоніометр і лічильник. Підключіть комп'ютер.

2. Встановіть такі робочі параметри: режим авто і зв'язаних коливань, крок по часу 2 с, кутовий крок $0,1^\circ$, кут розгортки $6-55^\circ$ при монокристалі LiF, встановіть анодну напругу 35 кВ та струм 1 мА.

3. Отримайте залежність інтенсивності рентгенівських променів як функцію кута ковзання при використанні монокристала LiF як аналізатора.

4. Заповніть таблицю 8.1.

Таблиця 8.1.

Порядок дифракції	Кут $\vartheta, ^\circ$	Лінія	Довжина хвилі λ , пм	Середнє значення λ_c , пм

5. За допомогою рівняння Брега $2d \sin \vartheta = n\lambda$ визначте довжину хвилі. За середніми значеннями довжин хвиль визначте \sqrt{f} для K_α - лінії та \sqrt{f} для K_β - лінії.

6. Пункти 1-5 повторіть для анодів з молібдену та заліза.

Завдання 3. Перевірка закону Мозлі.

1. Отримані дані в завданні 2 представте графічно: значення \sqrt{f} для K_α - лінії в залежності від атомного номера Z матеріалу анода (для Fe $Z = 26$; для Cu $Z = 29$; для Mo $Z = 42$). Проведіть лінійну апроксимацію. За даними апроксимації оцініть сталу Ридберга R та сталу екранування σ .

2. Графічно представте значення \sqrt{f} для K_β - лінії в залежності від атомного номера Z матеріалу анода (для Fe $Z = 26$; для Cu $Z = 29$; для Mo $Z = 42$), використовуючи при цьому отримані дані в завданні 2. Проведіть лінійну апроксимацію. За даними апроксимації оцініть сталу Ридберга R та сталу екранування σ .

3. Визначте середнє значення сталої Ридберга R та сталої екранування σ .

Контрольні питання

1. Яка сутність дослідження структури монокристала LiF методом Лауе?
2. Що таке кристалічна ґратка?
3. Яке випромінювання називають рентгенівським?
4. Із яких матеріалів використовувалися аноди при дослідженні характеристичного рентгенівського випромінювання?

ПІСЛЯМОВА

Застосування сучасного нового обладнання у навчанні - одна з найбільш важливих і стійких тенденцій розвитку освітнього процесу. Завдяки новому обладнанню на якісно вищому рівні реалізується принцип наочності навчання, який спирається на діалектико-матеріалістичну теорію пізнання, суть якої полягає у сходженні до абстрактного мислення, а від нього до практики.

Нове обладнання німецького виробництва «PHUWE» дає можливість безпосередньо вивчати натуральні об'єкти, розвивати практичні уміння і навички, здібності до самостійної роботи. Така практична спрямованість освітнього процесу підвищує мотивацію тих, хто вивчає предмети природничо-наукового циклу, формує навички навчально-дослідницької діяльності, розкриває творчі здібності. Дане обладнання може бути використане в навчально-виховному процесі в наступних напрямках:

- під час поурочної діяльності при виконанні практичної частини освітніх програм;
- при проведенні позаурочної діяльності по предмету в рамках наочних декад;
- при організації проектної і науково-дослідної діяльності учнів;
- поширення педагогічного досвіду за допомогою майстра-класів, круглих столів і семінарів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Александрова Н.В., Яшкин А.Я. Курс общей физики. Механика. М., «Просвещение», 1978. 416 с.
2. Гончаренко С.У. Фізика, 11 кл.: Підручник. — К.: Освіта, 2004. — 319с
3. Ландау, Л. Д., Ліфшиц, Є. М. Статистична фізика. Частина 1 - Видання 3-тє, доповнене. - М.: Наука, 1976. - 584 с.
4. Ландсберг Г.С. Оптика. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. - 848 с.
5. Сивухин Д.В. Общий курс физики. – Том I. Механика: учебное пособие – М.: Наука, 1975. – 521 с.
6. Савельев И.В. Курс общей физики. Том 3. Оптика, атомная физика, физика атомного ядра и элементарных частиц. – М.: Наука, 1970. – 573 с.

ЗМІСТ

ВСТУП	3
Лабораторна робота № 1. Вивчення моменту інерції та кутового прискорення за допомогою шарнірної опори	4
Лабораторна робота № 2. Момент інерції різних тіл. Теорема Штейнера	6
Лабораторна робота № 3. Дисперсія та роздільна здатність призми і дифракційного спектроскопа	8
Лабораторна робота № 4. Кільця Ньютона	10
Лабораторна робота № 5. Перевірка закону Малюса	13
Лабораторна робота № 6. Визначення сталої Планка за допомогою фотоефекту з використанням підсилювача	16
Лабораторна робота № 7. Експеримент Франка-Герца з неоновною трубкою	18
Лабораторна робота № 8. Фізика рентгенівських променів	21
ПІСЛЯМОВА	25
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	26

**Слюсаренко Віктор Володимирович,
Садовий Микола Ілліч**

**Методичні рекомендації до виконання лабораторних
робіт з електрики та магнетизму із новітнім
обладнанням «PHUWE»**

Здано до набору 25 травня 2013 р. Підписано до друку 25.05.2013 р.
Формат А 5. Папір офсетний. Друк цифровий дублікатор.

Умовних друкованих аркушів 1,8. Тираж 100 екземплярів.

Зауваження та пропозиції надсилайте за адресою: м. Кіровоград,
вул. Шевченка, 1. Кіровоградський державний педагогічний університет
імені Володимира Винниченка, кафедра фізики та методика її викладання.