

**Міністерство освіти і науки України
Житомирський державний університет імені Івана Франка**

О.К. Ткаченко М.В. Федьович

**ПРАКТИКУМ ІЗ ШКІЛЬНОГО ФІЗИЧНОГО
ЕКСПЕРИМЕНТУ**

Коливання і хвилі

Житомир 2012

ПЕРЕДМОВА

- Експериментальні методи пізнання – важлива складова частина методологічного арсеналу фізичної науки. Більше того, експеримент як штучне відтворення фізичних явищ з метою їх, багаторазового спостереження і детального вивчення, один з основних методів пізнання.

- Він, по-перше, дає змогу одержати нові емпіричні дані, які систематизуються й узагальнюються в законах і теоріях. По-друге, він є критерієм істинності положень науки і проводиться в інтересах підтвердження чи спростування вже існуючих ідей та теорій. По-третє, через експеримент здійснюється взаємозв'язок фізичних знань із практикою та виробництвом.

- Хоч сучасна фізика і поділяється на експериментальну та теоретичну, в загальному процесі пізнання експериментальні і теоретичні методи тісно взаємопов'язані. Будь-який експеримент від початку до кінця пронизується теорією. У свою чергу, результати, одержані шляхом теоретичних досліджень, підлягають експериментальній перевірці. Отже, теорія й експеримент – дві сторони єдиного процесу пізнання.

- Враховуючи той факт, що навчальне пізнання багато в чому подібне до наукового, досягти бажаних результатів у навчанні можна, приділяючи належну увагу методам і засобам, характерним для фізичної науки. Відображення експериментального характеру фізичної науки здійснюється в шкільному курсі шляхом широкого використання різних видів фізичного експерименту: демонстраційних і фронтальних дослідів, фронтальних лабораторних робіт, робіт фізичного практикуму, експериментальних задач, позакласних дослідів.

- Майже всі ці види фізичного експерименту увійшли до даного посібника, в якому подається опис лабораторних робіт із методики й техніки шкільного фізичного експерименту. Запропонований посібник містить завдання, які спрямовують навчальну

самостійну роботу студентів на вивчення шкільного обладнання й оволодіння методикою проведення експерименту. Майбутній учитель повинен навчитись грамотно з методичної й технічної точок зору проводити навчальний експеримент, за його допомогою знайомити учнів із методами природничонаукового дослідження, розвивати творчий потенціал їх, мислення .

- Оскільки вчитель виступає посередником між учнями і навчальним експериментом, від його методичної майстерності і технічної грамотності залежить успіх у засвоєнні навчального предмета. Тому-то лабораторні роботи з методики й техніки навчального фізичного експерименту передбачають експериментальну підготовку майбутнього вчителя як у плані оволодіння технікою та технологією фізичного експерименту, так і в напрямку формування навичок розв'язування конкретних дидактичних завдань, як-от:

- а/ дотримання певної логічної послідовності в доборі демонстрацій;

- б/ визначення мети, функціонального призначення досліду;

- в/ раціонального розміщення приладів при проведенні демонстрацій;

- г/ надання демонстрації проблемного характеру;

- д/ виявлення методичних переваг однієї демонстрації перед іншою;

- е/ порівняльна методична оцінка варіантів досліду;

- є/ вибір доцільної методики роботи з таблицею, відеофільмом, кінофільмом, демонстрацією тощо.

- Посібник написано з урахуванням програм шкільного курсу фізики та вузівського курсу методики навчання фізики.

- На етапі самостійного опрацювання літературних джерел, студенту необхідно:

- ознайомитись з програмою середньої загальноосвітньої школи;
- повторити за шкільними та вузівськими підручниками теоретичний матеріал, пов'язаний з темою роботи;
- продумати методику проведення демонстрацій, передбачених інструкцією до лабораторної роботи;
- пригадати /або вивчити/ будову, принцип дії, правила користування приладами, які використовуються в роботі;
- обдумати відповіді на контрольні запитання;
- систематизувати й узагальнити отриману інформацію;
- зробити необхідні записи і зарисовки в робочому зошиті для лабораторних занять.

- Під час виконання лабораторної роботи необхідно проробити самостійно всі досліди, передбачені інструкцією, консультуючись, у разі потреби, із викладачем або лаборантом. При цьому слід пам'ятати, що мистецтво експериментування не є природним даром, воно виробляється практичним тренуванням. Щоб добре оволодіти фізичним експериментом, потрібні багаторазові й тривалі вправи в його проведенні. Відомий учений О. Ейхенвальд із метою відпрацювання техніки проведення дослідів приїжджав на лекцію з теоретичної фізики за дві години до її початку. Усі досліди проробляв сам. Причому не стільки з'ясовував те, чи получаються досліди /у їх надійності сумнівів не було/ скільки дбав про забезпечення доброї видимості і естетичної привабливості: виразність та переконливість дослідів, охайність приладів, розміщення викладача і його рух, доречність дослідів тощо.

- Щоб демонстраційні досліди ефективно виконували свої функції у навчанні, майбутній учитель повинен добре засвоїти основні вимоги щодо демонстраційного експерименту, а саме:

- ❖ підготовленість учнів до сприймання досліду;
- ❖ змістовність демонстраційного експерименту;
- ❖ наочність дослідів;
- ❖ їх простота;
- ❖ надійність;
- ❖ добра видимість;
- ❖ переконливість;
- ❖ естетичність;
- ❖ емоційність;
- ❖ короткочасність;
- ❖ додержання правил техніки безпеки.

- Будь-який дослід викликає мимовільну увагу учнів, але вона не стійка. Поставивши мету досліду, вчитель переводить її довільну, викликає інтерес, мобілізує увагу на основному, готує учнів до сприймання досліду. Учні повинні розуміти, для чого проводиться дослід, у чому вони мають переконатися, що зрозуміти в результаті досліду. Демонстрування дослідів без зазначення їхньої мети не ефективне.

- Необхідно наголосити, що дослід тільки тоді ефективний, коли його результат добре бачать усі учні. Намагання ж переконати учнів у тому, що в досліді, який не вдався, все-таки дещо вийшло, підриває авторитет учителя, порушує нормальний хід уроку. Коли трапилася невдача з демонстрацією, потрібно пояснити, причину невдачі і продемонструвати дослід повторно. А щоб уникнути цього,

демонстрацію слід ретельно готувати багаторазовою попередньою перевіркою, з'ясуйте оптимальні умови, за яких вона вдається найкраще.

- Щоб не забути тонкощів, від яких залежить успіх тих чи інших демонстрацій, необхідно фіксувати в робочому зошиті для лабораторних занять їхні секрети. Це значно скоротить час, необхідний учителю в майбутньому для повторної підготовки демонстраційного експерименту.

- Інтереси майбутньої професійної діяльності студентів вимагають, щоб на заняттях із методики й техніки шкільного фізичного експерименту вони набули вмінь і навичок у виконанні й оформленні шкільних фронтальних лабораторних робіт і робіт фізичного практикуму. Суттєвим засобом формування таких умінь і навичок у залученні студентів до активної діяльності з виконання завдань, характерних для практичної роботи педагога. Природно, що під час виконання шкільних фронтальних лабораторних робіт і робіт фізичного практикуму необхідно дотримуватися тих вимог, які пред'являються в школі до цих видів фізичного експерименту.

- Важливою методичною вимогою є оволодіння експериментальним методом, що реалізується в лабораторній установці. Не менш важливо знати конструкцію і правила користування приладами, які добираються відповідно до методу дослідження, вміти скласти установку. Під час вимірювань потрібно вміти правильно робити відлік значень вимірюваних величин за показами приладів, оцінювати реальність здобутих результатів. Треба враховувати обґрунтованість висновків, охайність і грамотність оформлення роботи.

- Письмове оформлення виконаної фронтальної лабораторної роботи та роботи фізичного практикуму повинно містити:

- назву й мету роботи;
- перелік обладнання, використаного в роботі;
- схематичний малюнок установки або схеми електричного кола;
- виведення розрахункової формули;
- звітну таблицю з результатами вимірювань і обчислень;
- графік (якщо такий передбачається завданням роботи);
- обчислення досліджуваних величин;
- записи необхідних пояснень;
- висновки з досліджень.

- Не останнє місце в підготовці майбутнього вчителя займають питання культури ведення записів у робочому зошиті та культури оформлення роботи. Записи слід вести охайно і грамотно, без

перекреслень і виправлень. Малюнки й таблиці мають бути виконані за допомогою креслярських інструментів олівцем або пастою.

- При виконанні робіт необхідно бути гранично акуратним і обережним, строго дотримуватись правил техніки безпеки. Після закінчення лабораторної роботи слід упорядкувати робоче місце.

- Захист лабораторної роботи передбачає: з'ясування рівня володіння теоретичним матеріалом, уміннями й навичками здійснювати вимірювання; розуміння методики й техніки фізичного експерименту, знання програми та шкільних підручників. Враховується акуратність і повнота опрацювання результатів спостережень та вимірювань, дотримання вимог щодо оформлення лабораторних робіт, знання літератури з фізичного експерименту. Важливим професійним елементом відповіді студента є вміння супроводжувати демонстрування дослідів змістовними, чіткими, лаконічними й вичерпними поясненнями на рівні, доступному для учнів відповідного класу.

Лабораторна робота № 1

Механічні коливання

Мета: оволодіти методикою і технікою постановки демонстрацій з теми „Механічні коливання”. Виконати лабораторні роботи, передбачені шкільною програмою.

Завдання I. Опрацювати відповідний навчальний матеріал за шкільними і вузівськими підручниками.

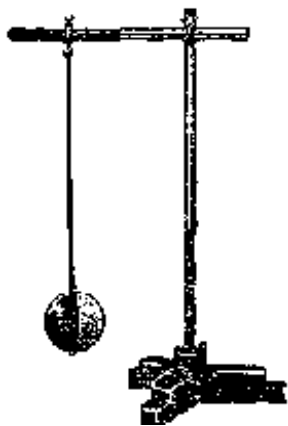
Завдання II. Набути умінь та навичок у виконанні таких демонстрацій:

1. Вільні коливання під дією сили тяжіння і сили пружності

Обладнання: пружини спіральні – 2 шт., куля із двома гачками, штатив універсальний, блок діаметром 25-50 мм в обоймі на стержні, нитка.

Для початкового ознайомлення з коливальним рухом можна обмежитися демонстрацією коливання тіла під дією сили тяжіння і сили пружності. Як тіло, зручно взяти кулю діаметром 50-70 мм із двома гачками, у якої одна половина поверхні біла, а друга – чорна.

Спочатку показують найпростішу коливальну систему – кулька на нитці, підвішена на Г-подібну стійку, зібрану з універсального штатива (мал. 1). Маятник відводять рукою від положення



Мал. 1

рівноваги, спостерігаючи вільні коливання. Учням роз'яснюють, що в будь-якій коливальній системі вільні коливання підтримуються тільки в результаті дії внутрішніх сил і інертності тіла.

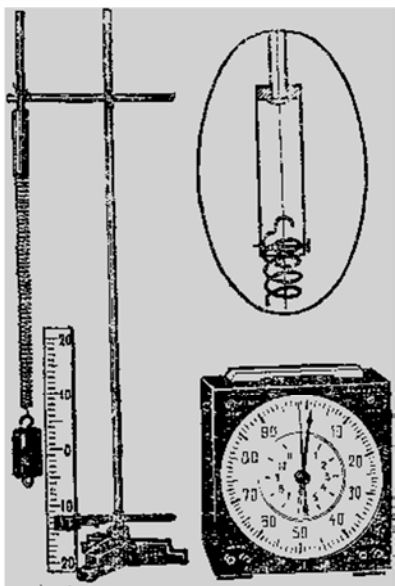
Спостерігаючи за коливаннями маятника, встановлюють, що енергія надана коливальній системі, поступово розсіюється в результаті чого амплітуда зменшується, і коливання зрештою припиняються (затухають).

Дослід показує, що вільні коливання є затухаючими.

2. Гармонічні коливання

Обладнання: спіральні пружини – 2 шт., гирі масою 1 і 2 кг, штатив універсальний, лінійка демонстраційна, секундомір демонстраційний, динамометр демонстраційний.

Для одержання повільних коливань збирають установку з вертикальним пружинним маятником (мал. 2).



Мал. 2

На вільний кінець пружини підвішують гирю 1 кг і розміщують шкалу так, щоб її нульова поділка була розташована на одному рівні із серединою нерухомої гирі. Поруч з маятником на стіл ставлять демонстраційний секундомір. Маятник приводять у коливання. Під час демонстрації вводять наступні поняття:

1. Період і частота коливань. При проходженні маятником одного з крайніх положень включають демонстраційний секундомір і вимірюють тривалість декількох повних коливань та знаходять час одного повного коливання, тобто період. Величину, обернену періоду,

називають частотою коливань.

2. Амплітуда коливань. Коли гиря знаходиться крайньому верхньому або нижньому положенні, її затримують рукою. Це найбільше відхилення коливального тіла від положення рівноваги називають амплітудою, а всі проміжні відхилення – зміщеннями.

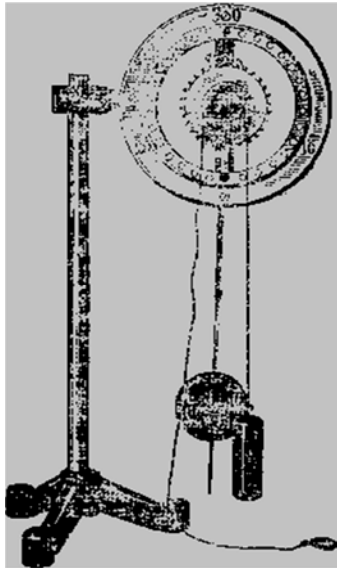
Вимірюють амплітуду коливань за шкалою демонстраційної лінійки.

3. Швидкість і прискорення при коливаннях. Уважно спостерігаючи за повільними коливаннями тіла, встановлюють, що воно має максимальну швидкість у момент проходження положення рівноваги, рівну нулю в крайніх положеннях. Прискорення тіла досягає найбільшого значення в крайніх положеннях, коли його рух змінюється на протилежний, і дорівнює нулю, при проходженні положення рівноваги.

4 Фаза коливань. Продовжуючи спостереження за коливанням тіла, зазначають, що в різні моменти часу воно займає різні положення відносно рівноваги, які характеризуються відповідними зміщеннями і напрямками руху. Одне й те саме положення, крім крайніх, маятник проходить двічі протягом періоду: один раз, рухаючись вгору, другий – вниз. Через кожен період маятник знову повертається в попереднє положення, а через півперіод положення відрізняються одне від одного лише напрямком руху. Тому для характеристики напрямку руху і зміщення тіла вводять нову фізичну величину, яку називають фазою коливань.

3. Автоколивання

Обладнання: маятник у годиннику на підставці, пружина, гиря масою 1 кг.



Мал. 3

Автоколивання можуть бути отримані в найрізноманітніших коливальних системах: механічних, електричних, електромеханічних і ін.

Механічні автоколивання демонструють на моделі годинника (мал. 3).

Спочатку показують основні частини механічної автоколивальної системи: коливальну систему (маятник), джерело енергії, що підтримує незатухаючі коливання (гирю), і пристрій, який регулює надходження енергії в коливальну систему (храпове колесо з анкерною вилкою). Потім заводять годинник і показують, що при будь-якому початковому відхиленні маятника амплітуда його коливань через якийсь час досягає певної величини і після цього залишається постійною. Величина амплітуди визначається, з одного боку, величиною енергії, що надходить від джерела (гирі), а з іншого боку – витратою її на подолання різних сил опору.

При сталих коливаннях кількість енергії, що витрачається маятником за один період, дорівнює кількості енергії, що надходить за цей же час від джерела. Такі стаціонарні незатухаючі коливання, які підтримуються в системі за рахунок енергії постійного джерела, називають автоколиваннями.

Далі змінюють частоту коливань маятника, переміщаючи вантаж на стержні. При цьому встановлюють, що частота автоколивань не залежить від зовнішніх умов, як це спостерігається у випадку вимушених коливань; вона визначається довжиною маятника. Зміна частоти автоколивань призводить до зміни швидкості витрати енергії джерела (швидкості опускання гирі), причому надходження енергії в систему при будь-якій частоті автоматично регулюється самою системою завдяки наявності зворотного зв'язку.

Завдання III. Виконати лабораторні роботи, додержуючись методичних вимог, щодо оформлення їх письмового звіту:

1. Вивчення коливань математичного маятника

Мета: дослідити залежність періоду коливань математичного маятника від його довжини.

Обладнання: вимірювальна стрічка, секундомір, штатив з муфтою і кільцем, кулька, нитка.

Порядок виконання роботи:

1. На краю стола встановлюють штатив з математичним маятником. Кулька повинна висіти на відстані $1-2\text{ см}$ від підлоги.

2. Виміряйте довжину маятника l .

3. Виведіть математичний маятник з положення рівноваги, змістивши його на $5-7\text{ см}$ від положення рівноваги і експериментально визначте період коливань маятника. Для цього, виміряйте проміжок часу Δt , протягом якого маятник здійснює 15-20 коливань і визначте період коливань за формулою:

$$T = \frac{\Delta t}{N},$$

де N – число коливань.

4. Проробити аналогічні виміри, зменшуючи довжину маятника на $0,1\text{ м}$ до 1 м .

5. Результати вимірювань і обчислень записують в таблицю.

№ п/п	$L, \text{ м}$	N	$T, \text{ с}$	T^2

6. Побудуйте графік залежності квадрату періоду від довжини маятника. З графіка визначити прискорення вільного падіння.

7. Прискорення можна знайти з формули:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}, \text{ звідси } g = 4\pi^2 \frac{l}{T^2},$$

де l – довжина маятника.

Висновок:

2. Вивчення коливань пружинного маятника

Мета: дослідити залежність періоду коливань пружинного маятника від маси тягарця і жорсткості пружини.

Обладнання: штатив з двома муфтами і лапками, тягарці набірні масою 1 кг, 3 пружини різної жорсткості, лінійка, секундомір, стрілка.

Теоретичні відомості

Тягарець підвішений на пружині і виведений з положення рівноваги, під дією сил тяжіння і пружності пружини здійснює гармонічні коливання. Період коливань такого маятника визначається виразом

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}},$$

де k – жорсткість пружини, m – маса тіла.

Завдання цієї роботи в тому, щоб експериментально перевірити виведену теоретично закономірність. Для виконання цього завдання спочатку потрібно визначити жорсткість k пружини, використаної в даній установці, масу тягарця, та обчислити період коливань.

Послідовність виконання роботи:

а) Дослідити залежність періоду коливань пружинного маятника від маси

1. Закріпити пружину у лапці штатива і підвісити до неї тягарець масою 100 г.

2. Виміряти видовження пружини Δx .

3. Обчислити жорсткість пружини:

$$k = \frac{F}{\Delta x}.$$

4. Виведіть пружинний маятник з положення рівноваги, змістивши його на 5-7 см вниз, і експериментально визначте період коливань маятника. Для цього, виміряйте проміжок часу Δt , протягом якого маятник здійснює 15-20 коливань, визначте період коливань за формулою

$$T = \frac{\Delta t}{N},$$

де N – число коливань.

5. Проробити аналогічні виміри, збільшуючи масу тягарця на $0,1$ кг до $0,8$ кг.

6. Дані дослідів і обчислень занести до таблиці:

№ дослідів	$F, Н$	$\Delta x, м$	$k, \frac{Н}{м}$	$m, кг$	$\sqrt{m}$	$\Delta t, с$	N	$T, с$
				0,1				
				0,2				
				0,3				
				0,4				
				0,5				
				0,6				
				0,7				
				0,8				

7. Побудувати графік $T=f(\sqrt{m})$.

8. З графіка визначити жорсткість пружини.

Висновок:

б) Дослідити залежність періоду коливань пружинного маятника від жорсткості пружини

1. Закріпіть пружину в лапці штатива, підвісьте до неї тягарець масою $0,5$ кг і виміряйте її видовження Δx . За виміряними видовженнями і відомою силою обчисліть жорсткість пружини:

$$k = \frac{F}{\Delta x}.$$

2. Виведіть пружинний маятник з положення рівноваги, змістивши його на $5-7$ см униз, і експериментально визначте період коливань маятника. Для цього, виміряйте проміжок часу Δt , протягом якого маятник здійснює $15-20$ коливань, визначте період коливань за формулою:

$$T = \frac{\Delta t}{N},$$

де N – число коливань.

3. Проробити аналогічні виміри п. 1,2 з другою пружиною, з'єднавши їх послідовно і паралельно, не змінюючи масу тягарця.

4. Результати вимірювань і обчислень записати в таблицю.

№ досліджу	$F, Н$	$\Delta x, м$	$k, \frac{Н}{м}$	$m, кг$	$\sqrt{\frac{l}{k}}$	$\Delta t, с$	N	$T, с$

5. Побудувати графік $T = f\left(\sqrt{\frac{l}{k}}\right)$.

6. З графіка визначити масу тягарця – m .

Висновок:

Лабораторна робота № 2

Електромагнітні коливання

Мета: оволодіти методикою і технікою постановки демонстрації з теми: “Електромагнітні коливання”. Виконати роботу фізичного практикуму передбачену шкільною програмою.

Завдання I. Повторити за шкільним та вузівськими підручниками матеріал, що стосується електромагнітних коливань.

Завдання II. Набути умінь і навичок у виконанні таких демонстрацій:

1. Вільні електромагнітні коливання низької частоти в коливальному контурі

Обладнання: гальванометр від демонстраційного амперметра, батарея конденсаторів, дросельна котушка з осердям, випрямляч універсальний ВУП, перемикач двохполюсний, з'єднувальні провідники.

Демонстрацію слід проводити за допомогою установки, схема якої дана на мал. 1.

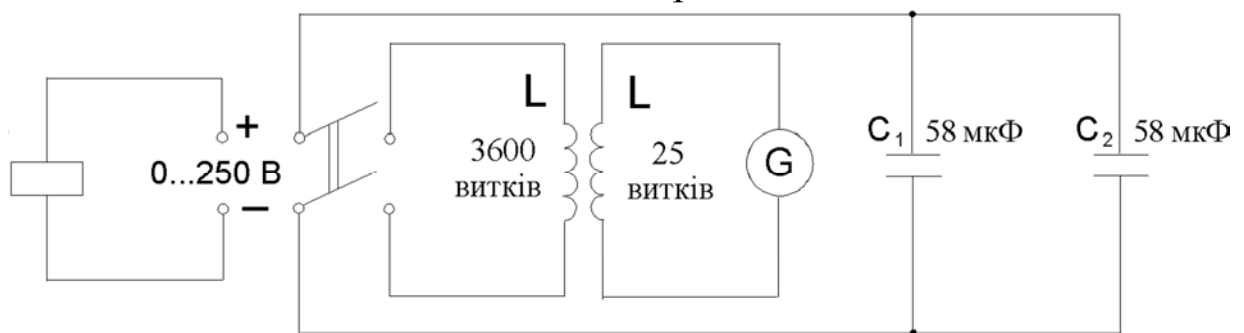
За допомогою двохполюсного перемикача батарею конденсаторів можна почергово перемикати: на заряд від джерела постійного струму і на розряд через дросельну котушку.

Індикатором струму служить гальванометр від демонстраційного амперметра.

Спочатку заряджають конденсатор і, перемкнувши його на котушку, показують, що стрілка гальванометра при цьому здійснює декілька затухаючих коливань.

Із демонстрації видно, що розряд конденсатора має коливальний характер. Дослід показують декілька разів і пояснюють явище, що спостерігалось, використовуючи аналогію з механічними коливаннями.

Далі показують, що частота коливання в контурі залежить тільки від параметрів самого контуру і є його власною частотою. Для цього зменшують спочатку ємність батареї, потім кількість витків котушки в контурі і, збуджуючи коливання, одержують помітне збільшення частоти коливань стрілки.



Мал. 1

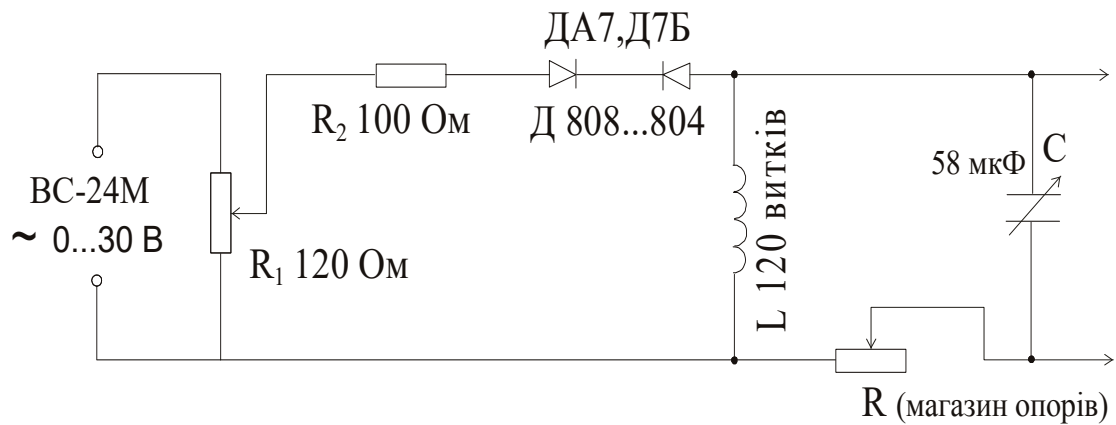
2. Спостереження затухаючих коливань за допомогою електронного осцилографа

Обладнання: осцилограф, батарея конденсаторів, котушка 120-220 В від універсального трансформатора, реостат, діоди, з'єднувальні провідники.

Схема установки для одержання осцилограми затухаючих коливань зображена на мал. 2. Вона складається з однопівперіодного випрямляча, коливального контуру і електронного осцилографа. Імпульси змінного струму проходячи через напівпровідниковий діод періодично заряджають конденсатор. В проміжку між імпульсами конденсатор розряджається через котушку і реостат. Розряд має коливальний

характер і на екрані осцилографа спостерігають осцилограму затухаючих коливань.

Після цього показують зміну частоти коливань при зміні ємності конденсатора і індуктивності котушки. Змінюючи опір



Мал. 2

реостата, звертають увагу, що від цього не тільки зменшується початкова амплітуда коливань, але і збільшується швидкість затухання.

4. Повільні незатухаючі коливання низької частоти в ламповому генераторі

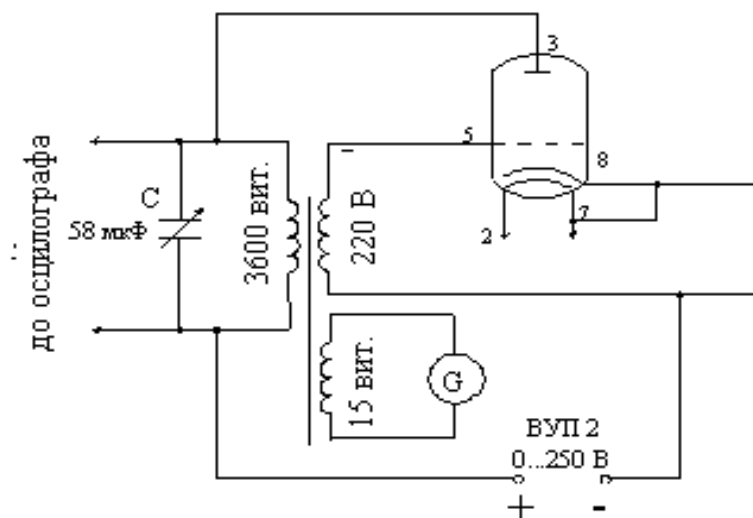
Обладнання: батарея конденсаторів, універсальний трансформатор, дросельна котушка, реостат, гальванометр від демонстраційного вольтметра, демонстраційна лампова панелька з тріодом, гучномовець, випрямляч універсальний ВУП, з'єднувальні провідники.

Одержання незатухаючих електричних коливань демонструють за допомогою лампового генератора. Як видно з мал. 4, генератор складається із коливального контуру, трьохелектродної лампи (тріода), випрямляча з потенціометром, за допомогою якого можна регулювати напругу в анодному колі, і котушки на 220 В з осердям від універсального трансформатора. Ця котушка має індуктивний зв'язок з котушкою в коливальному контурі. Для виявлення коливань, які виникають в коливальному контурі, додаткову обмотку (червоного кольору), приєднують до затискачів гальванометра.

Перед вмиканням установки ручку потенціометра ставлять приблизно на середину, вмикають на повну ємність батарею конденсаторів і всю обмотку дросельної котушки. Через деякий час після вмикання випрямляча, коли прогріється катод лампи, генератор починає працювати. Період коливання приблизно дорівнює $0,5\text{ с}$. Якщо розмах коливань стрілки гальванометра недостатньо великий, збільшують напругу в анодному колі. Якщо коливання не збуджуються, потрібно зменшити ємність батареї конденсатора і, як тільки виникнуть коливання, знову збільшити ємність до максимальної величини.

Потрібно мати на увазі, що генератор може працювати тільки при певному, узгодженому включенні обмоток котушок. Правильне вмикання знаходять методом проб, якщо генератор не працює, то міняють місцями провідники на затискачах однієї з котушок.

Індикаторами коливань можуть виступати одночасно гучномовець, осцилограф, гальванометр.



Мал. 4

Пояснити роботу генератора можна таким чином. Показують, що для одержання незатухаючих коливань необхідно періодично відшкодовувати необоротні втрати енергії в контурі, які ведуть до затухання. Для цього коливальний контур за допомогою котушки зв'язаний з джерелом енергії. Щоб порції енергії, які поступають від джерела, були своєчасними, ця котушка відповідним чином індуктивно зв'язана з сіткою лампи, яка виконує роль електронного вимикача.

В процесі коливань, які здійснюються в коливальному контурі, відбувається періодична зміна потенціалу сітки відносно катода. При збільшенні потенціалу сітки анодний струм підсилюється, а при зменшенні - послаблюється. Але в котушці коливального контуру при будь-якій зміні анодного струму індукується електричне поле. Воно створює в котушці контуру додаткову ЕРС, яка і поповнює втрати енергії, якщо тільки напрямок індукційного вихрового електричного поля співпадає з напрямком струму у витках котушки.

Для збудження коливань потрібний досить сильний імпульс анодного струму в котушці. Цей імпульс виникає в момент замикання анодного кола. Можна показати, що без такого імпульсу коливання можуть і не виникнути. Для цього під час роботи генератора ручкою потенціометра, зменшують напругу в анодному колі до нуля, внаслідок чого коливання припиняються. Далі плавно і повільно знову збільшують анодну напругу і показують, що коливання при цьому не виникають. Але досить вимикачем розімкнути і знову замкнути анодну ділянку, щоб генератор знову почав працювати.

Завдання III. Виконати лабораторну роботу, додержуючись методичних вимог, щодо оформлення її письмового звіту:

Визначення індуктивності котушки

Мета: виміряти індуктивність котушки, використавши закон Ома для змінного струму.

Обладнання: котушка дросельна, міліамперметр, вольтметр з великим внутрішнім опором, джерело змінного струму, вимикач, з'єднувальні провідники, омметр.

Теоретичні відомості

Один із способів вимірювання індуктивності котушки ґрунтується на тому, що дросельна котушка, увімкнена в коло змінного струму, крім активного опору R , який визначається матеріалом розмірами і температурою дротини, створює додатковий опір X_L , який називають

індуктивним. Числове значення цього опору пропорційне індуктивності L і частоті ν , тобто:

$$X_L = 2\pi\nu L \quad (1)$$

При цьому опір змінному струмові дорівнюватиме:

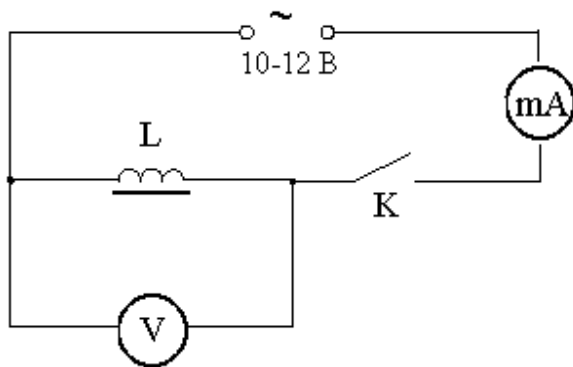
$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} \quad (2)$$

З рівнянь (1) і (2) можна знайти індуктивність:

$$L = \frac{1}{2\pi\nu} \sqrt{Z^2 - R^2} \quad (3)$$

Активний опір визначають омметром. Повний опір знаходять користуючись законом Ома:

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



Мал. 6

Порядок виконання роботи:

1. Визначити за допомогою омметра активний опір котушки.
2. Зібрати електричне коло за схемою мал. 6.
3. Замкнувши ключ, встановити певну напругу U . Зняти покази амперметра I . Визначити повний опір кола для різних напруг і переконатись у тому, що він не залежить від напруги.
4. Обчислити індуктивність котушки за формулою (3).
5. Внести в котушку залізне осердя і повторити дослід. Порівняти індуктивність котушки з осердям і без осердя.
6. Результати вимірювань і обчислень занести у таблицю:

№ п/п	Активний опір R , Ом	Кількість витків	БЕЗ ОСЕРДЯ					З осердям				
			U (В)	I (мА)	Z (Ом)	$\langle Z \rangle$ (Ом)	L (Гн)	U (В)	I (мА)	Z (Ом)	$\langle Z \rangle$ (Ом)	L (Гн)
1		1200										
2		2400										
2		3600										

Висновок:

Лабораторна робота № 3

Змінний електричний струм

Мета: оволодіти методикою і технікою проведення демонстраційних дослідів з теми: „Змінний електричний струм”.

Завдання I. Опрацювати відповідний навчальний матеріал за шкільними і вузівськими підручниками.

Завдання II. Набути умінь та навичок у виконанні таких демонстрацій:

1. Будова і принцип дії генератора змінного струму

Обладнання: лампочка на 3,5 В, гальванометр, джерело постійної напруги на 4 В, реостат, амперметр, з'єднувальні провідники, магнітоелектрична машина.

Щоб показати процес одержання змінного струму за допомогою індукційного генератора, потрібно встановити щітки магнітоелектричної машини так, щоб вони дотикалися до кілець колектора. Машину із знятою пасовою передачею приєднайте до гальванометра від демонстраційного вольтметра (без додаткового опору). При повільному обертанні ротора машини, гальванометр показуватиме струм, який змінюється як за значенням, так і за напрямом. Обертати ротор машини потрібно якомога повільніше і рівномірніше.

Після цього надіньте пасову передачу і до машини замість гальванометра приєднайте лампочку на 3,5 В. Обертаючи ручку машини, спостерігайте за яскравістю свічення лампочки. Слід мати на увазі, що в потужних промислових генераторах струм індукується не в рухомій частині машини, а в нерухомих провідниках.

2. Осцилограма змінного струму

Обладнання: осцилограф електронний, лампочка на 6,3 В, випрямляч ВС-24, магнітоелектрична машина, з'єднувальні провідники.

Приєднайте до вертикального входу електронного осцилографа лампочку на 6,3 В. Подайте до лампочки змінну напругу промислової частоти з випрямляча ВС-24 або будь-якого іншого джерела змінного струму. За допомогою ручок керування роботою осцилографа отримайте на екрані стійку осцилограму одного-двох періодів змінного струму.

Тепер приєднайте до лампочки магнітоелектричну машину і обертайте її з такою швидкістю, щоб на екрані утворилась осцилограма одного-двох періодів змінного струму, який дає машина. Оскільки в машині дістати однорідне магнітне поле, в якому обертається рамка, практично неможливо, то струм не має чіткого синусоїдального характеру.

3. Залежність ємнісного опору від частоти змінного струму і ємності

Обладнання: генератор звуковий шкільний, батарея конденсаторів, електрична лампочка (3,5 В, 0,28 А), з'єднувальні провідники.

Послідовно з виходом звукового генератора (5 Ом) включають лампу (3,5 В, 0,28 А) і батарею конденсаторів. Після включення генератора в мережу і прогріву ламп регулятором виходу встановлюють нормальну яскравість свічення лампи. Частота змінного струму на вихідному генераторі при цьому повинна бути 2000 Гц. Змінюючи ємність включених конденсаторів, звертають увагу учнів на зміну яскравості світіння лампи. Цей дослід показує залежність електричного опору змінного струму, що містить ємність, від ємності конденсатора.

Встановлюють ємність конденсатора на 4 мкФ, змінюють частоту генератора від 200 до 2000 Гц. Яскравість свічення лампи збільшується при збільшенні частоти. Таким чином, опір конденсатора змінного струму зменшується зі збільшенням частоти струму. На основі результатів цього досліду вводять поняття про ємнісний опір та виводять формули його залежності від ємності і частоти, тобто:

$$X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi\nu C}.$$

Зміну частоти змінного струму учні зможуть контролювати на слух, якщо до виходу генератора (600 Ом) підключити гучномовець.

4. Залежність індуктивного опору від частоти змінного струму та індуктивності котушки

Обладнання: генератор звуковий шкільний, універсальний трансформатор з котушкою 6/6 В, електрична лампочка (3,5 В, 0,28 А), з'єднувальні провідники.

Послідовно з виходом звукового генератора (5 Ом) включають електричну лампочку і котушку 6/6 В з набору універсального

трансформатора. Після включення генератора і прогріву регулятором виходу встановлюють нормальну яскравість свічення лампи. Частота змінного струму на виході генератора при цьому повинна бути 2000 Гц .

Не виключаючи генератор, котушку надівають на стержень магнітопроводу яскравість свічення лампи при цьому зменшиться. Якщо замкнути магнітопровід, то яскравість зменшиться до нуля.

Цей дослід показує залежність електричного опору кола змінного струму від індуктивності котушки.

Розімкнувши магнітопровід і змінюючи частоту генератора. Показують залежність індуктивного опору від частоти змінного струму. Яскравість лампи зменшиться при збільшенні частоти. Ці досліди розкривають поняття про індуктивний опір і служать основою для виводу формули:

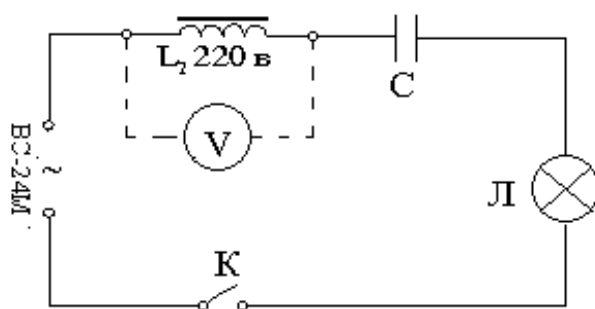
$$X_L = \omega L = 2\pi\nu L.$$

Зміну частоти змінного струму учні можуть контролювати на слух, якщо до виходу генератора (600 Ом) підключити гучномовець.

5. Розподіл напруг у колі змінного струму зі змішаним навантаженням

Обладнання: випрямляч ВС-24, універсальний трансформатор з котушкою $220/120 \text{ В}$, батарея конденсаторів ємністю 58 мкФ , амперметр демонстраційний із шунтом на 1 А , електрична лампочка ($3,5 \text{ В}$, $0,28 \text{ А}$), з'єднувальні провідники.

Для дослідження розподілу напруг на різних ділянках кола



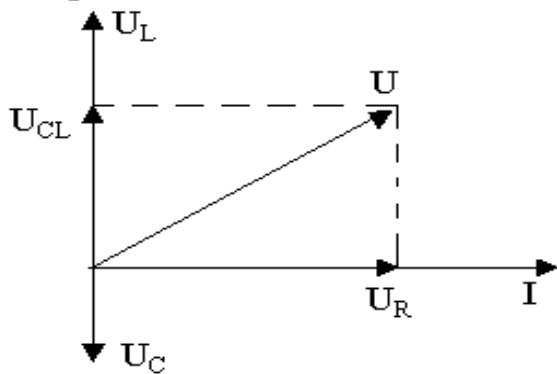
Мал. 1

змінного струму, яке містить активний, ємнісний і індуктивний опір, з'єднують послідовно лампочку, батарею конденсаторів і котушку 120 В трансформатора (мал. 1).

На зібрану установку подають змінну напругу 9 В від випрямляча ВС-24. Для вимірювання напруги беруть демонстраційний вольтметр з

додатковим опором на 15 В і по чергово вимірюють напругу на випрямлячі, конденсаторі, котушці і лампочці. Звертають увагу на

те, що загальна напруга не рівна сумі напруг, яку виміряли на окремих ділянках кола.



Мал. 2

Далі закрочують батарею конденсаторів і показують, що при цьому сила струму буде зменшуватись (лампочка потухне або її розжарення зменшиться). До таких же результатів приводить і закорочування котушки. Таким чином, виявляється, що при зменшенні ємнісного чи індуктивного опору повний опір

кола не зменшується, а збільшується.

Користуючись результатами дослідів і використовуючи метод векторних діаграм (мал. 2) можна записати:

$$U=IZ$$

$$U_R=IR$$

$$U_L=IX_L$$

$$U_C=IX_C$$

$$\text{Отже, } U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2}.$$

Згідно закону Ома:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

6. Резонанс у послідовному колі змінного струму

Обладнання: генератор звуковий шкільний, батарея конденсаторів 58 мкФ, трансформатор універсальний з котушкою 6/6 В, гучномовець електродинамічний, лампа розжарення 3,5 В, 0,28 А на підставці.

Із попереднього дослідів легко зробити висновок, якщо $X_L - X_C = 0$, тобто $X_L = X_C$ тоді опір всієї ділянки кола буде рівним опорі лампи $Z=R$.

Власна частота коливального контуру, дорівнює

$$\frac{1}{2\pi\nu C} = 2\pi\nu L, \text{ або } \nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

Виражену в цій формулі залежність резонансної частоти від ємності і індуктивності коливального контуру можна показати на установці, яка зібрана по схемі (мал. 3). До затискачів звукового генератора приєднаний гучномовець, який служить звуковим індикатором частоти.

Перед дослідом установку настроюють на резонанс. Для цього котушку (6/6 В) трансформатора вмикають повністю (12 В), на батареї конденсатора встановлюють ємність 2 мкФ, частоту на генераторі приблизно 3000 Гц. Змінюючи частоту на генераторі добиваються найяскравішого свічення лампочки.

Дослід проводять в такій послідовності.

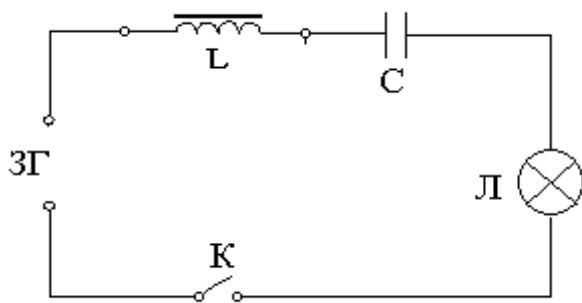
Включають генератор і, коли лампа загориться, по чергово закорочують спочатку конденсатор, потім котушку. В обох випадках лампа горить однаково тьмяно. Це означає, що при частоті близькій до 3000 Гц індуктивний і ємнісний опори рівні. Змінюючи частоту, показують, що резонанс порушується. Зміну частоти відмічають за висотою тону гучномовця.

Зменшують індуктивність, включивши половину витків котушки, спостерігають порушення резонансу. Для встановлення резонансу частоту приходиться збільшувати (наближено до 5500 Гц).

Встановлюють початкові умови і ємність зменшують до 1 мкФ. це знову порушує резонанс, який встановлюється приблизно таким же збільшенням частоти.

Поставивши установку в початкове положення, зменшують індуктивність котушки, а ємність збільшують до 4 мкФ. Резонанс майже не спостерігається.

В цих дослідах не можна одержати точні кількісні залежності, так як батарея конденсаторів не може служити еталоном ємності, а зміна індуктивності при переключеннях на затискачах котушки не може бути визначена достатньо точно.



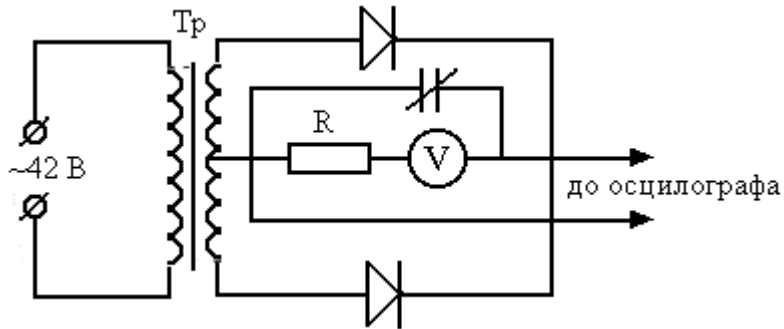
Мал. 3

7. Одно- і двопівперіодне випрямлення змінного струму

Обладнання: електронний осцилограф, демонстраційний вольтметр, батарея конденсаторів, установка для демонстрації випрямлення

змінного струму, з'єднувальні провідники.

Добрі результати дає установка, зображена на мал. 4. Живиться установка від змінної напруги 42 В. Демонструючи одно- і двопівперіодне випрямлення змінного струму та дію фільтра у випрямлячі, перевірте співвідношення середнього і амплітудного значення напруги змінного струму. Для цього, ввівши в коло лише



Мал. 4

один діод і відключивши конденсатор, записують покази вольтметра. Він покаже середнє значення напруги U_c . Приєднують конденсатор і спостерігають за зміною осцилограми при зміні ємності. При максимальній ємності, коли осцилограма матиме форму близьку до прямої лінії, записують покази вольтметра. Він покаже практично амплітудне значення напруги змінного струму U . Знаходять відношення $\frac{U_c}{U_o}$, яке близьке до 0,32; тобто $U_c = 0,32U_o$.

Приєднавши другий діод, проводять аналогічні спостереження і вимірювання. Переконаються, що при двопівперіодному випрямленні $U_c = 0,64U_o$.

Завдання III. Виконати лабораторну роботу, додержуючись методичних вимог, щодо оформлення її письмового звіту:

Визначення кількості витків в обмотках трансформатора

Обладнання: джерело змінного струму, трансформатор універсальний, вольтметр, котушка (6/6 В), котушка (120/220 В), дріт для виготовлення додаткової обмотки.

Порядок виконання роботи:

1. Намотати на ярмо осердя додаткову обмотку, підрахувавши при цьому кількість її витків n_0 .
2. Приєднати котушку (6/6 В) трансформатора до джерела змінної напруги.
3. Виміряти напругу U_1 на первинній і U_0 - на виготовленій

обмотках і обчислити коефіцієнт трансформації:

$$k_1 = \frac{U_1}{U_0}.$$

4. За відомим коефіцієнтом трансформації $k_1 = \frac{n_1}{n_0}$ обчислити кількість витків n_1 первинної обмотки:

$$n_1 = k_1 n_0.$$

5. Замість виготовленої обмотки встановити на осердя котушку (120/220 В) від універсального трансформатора.

6. Для визначення кількості витків у котушці (120/220 В) n_2 знову приєднують трансформатор до джерела струму так, щоб вона була вторинною.

7. Виміряти напругу на обмотках U_2 і U'_1 і обчислити

$$k_2 = \frac{U_2}{U'_1}.$$

8. За відомим коефіцієнтом трансформації k_2 обчислити кількість витків n_2 вторинної обмотки:

$n_2 = k_2 n_1$. Результати вимірювань і обчислень занести до таблиці.

№ п/п	n_0	U_0, B	U_1, B	k	n_1	U_2, B	U'_1, B	k_2	n_2
1									
2									
3									

Примітка. Якщо кількість витків додаткової обмотки невелика (30-50), не слід подавати на неї напругу від джерела струму, щоб уникнути пробою трансформатора.

Висновок:

Лабораторна робота №4

Механічні хвилі

Мета: оволодіти методикою і технікою проведення демонстраційних дослідів з теми: „Механічні хвилі”. Виконати шкільні лабораторні роботи, передбачені програмою.

Завдання I. Опрацювати відповідний навчальний матеріал за шкільними і вузівськими підручниками.

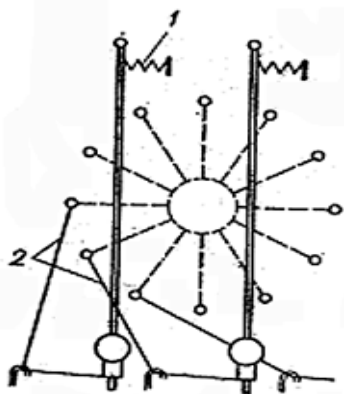
Завдання II. Набути умінь та навичок у виконанні таких демонстрацій:

1. Моделювання поперечних і поздовжніх хвиль за допомогою хвильової машини, конструкції Зворикіна Б.С.

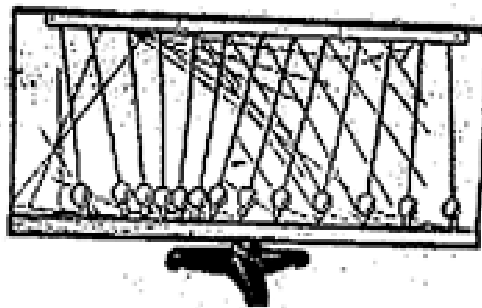
Обладнання: машина хвильова, конструкції Зворикіна Б.С.

Машина хвильова, конструкції Зворикіна Б.С. призначені для моделювання коливальних і хвильових рухів. Прилад змонтований на прямокутному чорному щиті, поставленому на підставці. На лицевій стороні на рівних відстанях підвішені 13 спиць з насадженими на них кульками. Вони приводяться в рух двома системами ниток, одна з яких призначена для отримання картини поперечних хвиль, друга - поздовжніх. Механізм для управління нитками розташований на оберненій стороні щитка. Знизу кожної спиці, під кулькою знаходиться маленька муфта. За допомогою цієї муфти можна встановити кульки на шпичках на різних висотах. Кожна шпичка з кулькою служить маятником, який зверху відтягується пружиною 1 вправо, а знизу, ниткою 2 вліво, тому залишається у вертикальному положенні.

Нитки від маятника пропущені через 12 отворів в щитку, розташованих по колу, і з'єднані разом на зворотній стороні щитка



Мал. 1



Мал. 2

клем з ручкою, як показано на мал. 1. Клема прижимається до щитка натягненням ниток і утримується в будь-якому місці між отворами в щитку.

Якщо клеми повільно обертати рукою приблизно по колу, то рух кульок буде створювати ілюзію біжучої поздовжньої хвилі. Якщо клеми привести в коливальний рух, то кульки будуть моделювати рух частинок середовища в стоячій поздовжній хвилі.

Для демонстрації поздовжніх хвиль прилад має другу систему ниток, прив'язаних не до маятників, а до кульок, які дозволяють переміщувати кульки вздовж шпичі. Кожна з цих ниток огинає гак замість підвісу, проходить через один з 12 отворів другого ряду і кріпиться на оберненій стороні щитка до краю металевого диска. До диска приєднані стержень з кулькою і рукоятка, яку вкладають в спеціальний затискач, розміщений біля краю щитка.

Для демонстрації поперечних хвиль закручують стержень в металеве гніздо, закріплене до щитка під диском, а потім закручують рукоятку. Обертаючи кінець рукоятки, отримують модель біжучої поздовжньої хвилі, а нахиливши рукоятку вгору чи вниз або вправо чи вліво, отримуємо модель поперечної стоячої хвилі.

2. Хвильові процеси у хвильовій ванні

Мета: отримати різноманітні хвильові процеси та порівняти їх властивості.

Обладнання: хвильова ванна з вібратором.

Хвильова ванна з вібратором служить для демонстрації хвиль на воді методом тіньового проектування.

Ванна являє собою прямокутний металевий посуд розміром 500 на 400 мм і глибиною 40 мм, установлений на трьох опорах. При їх допомозі ванна встановлюється в горизонтальне положення. Дно ванни скляне. Всередині по контуру ванни вставляються пластинки з косими пологими краями, виготовленими або з матеріалу, який добре змочується водою, або з металу з тканинними чохлами.

а) хвилі на поверхні води:

У ванну наливають води, шаром 4-5 мм і гвинтами встановлюють рівновагу. Якщо використовують ванну з дзеркальним дном, то освітлювач для тіньового проектування розміщують на столі поруч з ванною так, щоб вся поверхня води

була освітлена, а відбите світло падало на екран, розміщений похило над класною дошкою.

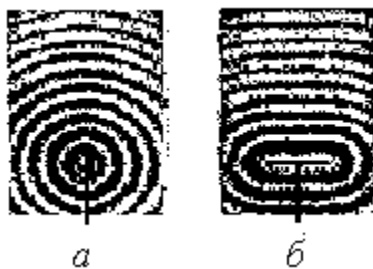
На стінці ванни закріплюють вібратор, а на вібраторі насадку з однією кулькою, яка повинна торкатись поверхні води. Для послаблення відбивання хвиль на похилі краї ванни кладуть стрічки з тканини і добре їх змочують.

б) інтерференція хвиль:

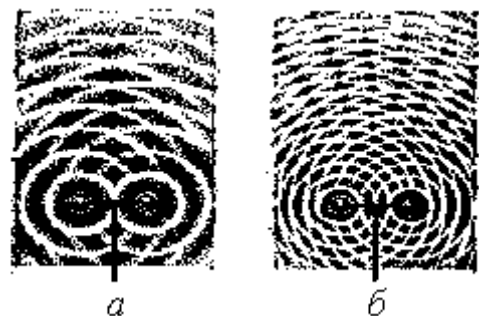
Збирають установку з ванною для проекції хвиль. Для вібратора прикріплюють насадку з двома кульками так, щоб при коливаннях вони одночасно торкались поверхні води. Вмикають освітлювач і один раз торкаються кулькою води, утворюючи одночасні кругові хвилі. На екрані спостерігаються темні і світлі кільця, які розходяться від місця торкання кульок, зустрічаються і проходять далі без будь-якої зміни форми.

Дослід показує, що хвилі поширюються від двох джерел незалежно одна від одної.

Збуджують вібратор і отримують неперервний ряд колових хвиль. Вони, поширюючись, накладаються одна на одну на всій поверхні води і утворюють стійку інтерференційну картину, схематично зображену на мал. 4. На екрані добре помітний ряд напрямків, по яких поширюються ці хвилі. Ці області розділюються світлими „доріжками”, де коливання води значно ослаблене.



Мал. 3



Мал. 4

в) відбивання хвиль:

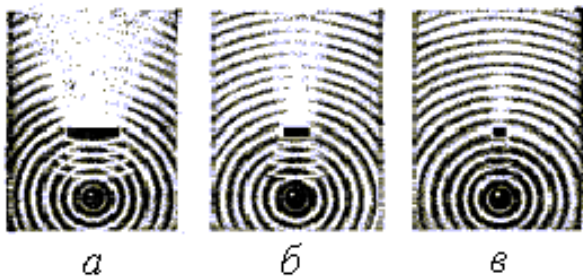
Дослід починають з демонстрації відбивання хвиль від плоского дзеркала. Щоб полегшити для учнів спостереження за розповсюдженням і відбиванням хвиль, спочатку вібратор приводять в рух рукою, утворюючи поодинокі хвилі.

На екрані спостерігають як утворена хвиля доходить до плоскої пластинки, поставленої на шляху розповсюдження хвиль,

відбивається від неї і змінює свій напрямок. При цьому фронт відбитої хвилі зберігає свою форму.

2) дифракція хвиль:

Складають установку з ванною для проекції хвиль. На вібратор встановлюють насадку з одною кулькою, а на дно ванни на відстані 15-20 см від нього ставлять тіло прямокутної форми, розміри якого в декілька разів більші довжини хвилі. Вмикають освітлювач для тіньового проектування і приводять вібратор в коливання. На екрані спостерігають поширення хвиль і тіні, яка утворюється за перешкодою. Вздовж границі тіні помічають невеликий згин, який вказує на те, що хвилі трохи огинають краї перешкоди (мал. 5, а).



Мал. 5

Потім на дно ванни ставлять тіло, розміри якого в 2-3 рази більші від довжини хвилі. Тепер хвилі ще більш заходять за границі тіні тіла і її контури стають розмитими (мал. 5. б).

Потім замінюють тіло таким, розміри якого співрозмірні з довжиною хвилі. Помічають, що в даному випадку практично не відбувається утворення тіні: хвилі огинають перешкоду і за нею розповсюджуються так, як би перешкоди не було (мал. 5, в).

Таким чином, при наближенні розмірів перешкоди до розмірів довжини хвилі, спостерігається порушення прямолінійності поширення хвиль, тобто явище дифракції хвиль.

3. Стоячі хвилі

Обладнання: гумовий шнур.

Стоячі хвилі легко отримати, використовуючи відбивання хвиль на гумовому шнурі. Шнур беруть за вільний кінець, легенько натягують поперек класу і приводять в коливання у вертикальній площині. Частоту коливань і натягнення шнура підбирають практично так, щоб спочатку на шнурі утворилась одна стояча хвиля, потім дві і три. Велике число стоячих хвиль руками створити не можна і в цьому немає необхідності. Учням пояснюють, що вздовж шнура розповсюджуються в протилежних напрямках дві хвилі - пряма і відбита.

Ці хвилі когерентні: вони інтерферують одна з одною і дають спостерігачу картину стоячих хвиль.

4. Осцилографування звуку

Обладнання: мікрофон, камертон, осцилограф, гучномовець, генератор звуковий шкільний.

Перед мікрофоном встановлюють камертон і, користуючись регулятором плавної зміни частоти горизонтальної розгортки осцилографа, отримують на екрані стійке зображення декількох синусоїд. Вільні коливання камертона і резонуючого стовпа повітря в ящику через деякий час затухають, внаслідок втрати енергії на тертя і випромінювання звуку. Тоді камертон збуджують знову і продовжують спостереження.

Потім до мікрофону підносять по черзі на деякий час збуджену струну і гучномовець, який живиться від звукового генератора. Для кожного джерела отримують стійку осцилограму. Щоб не затягувати дослід, джерела передчасно настроюють на однакову висоту тону. Спостерігаючи осцилограми, учнів переконують, що кожне джерело звуку має свій графік коливань. У камертона і гучномовця, які здійснюють вимушені коливання, графіки мають вигляд синусоїд, тобто, вказані джерела коливань гармонічні. Вільні коливання струни мають складний, не гармонічний характер.

Завдання III. Виконати лабораторну роботу, додержуючись методичних вимог щодо оформлення її письмового звіту:

Вимірювання довжин звукової хвилі і швидкості звуку в повітрі методом резонансу.

Мета: одержати стоячу хвилю, навчитись вимірювати довжину звукової хвилі та швидкість звуку в повітрі методом резонансу.

Теоретичні відомості

Традиційно, лабораторну роботу з визначення швидкості звуку виконують за методикою, в якій використовують звуковий резонанс. Перед скляною або металевою трубкою з поршнем збуджують ударами гумового молотка по камертону звукові хвилі. Поршень пересувають вздовж лінійки і на слух знаходять таке його положення l_1 , при якому звук посилюється. Це перший максимум.

Пересувають поршень далі і знаходять, знову ж таки на слух, положення другого максимуму l_2 . За різницею показів l_2 та l_1 знаходять довжину хвилі:

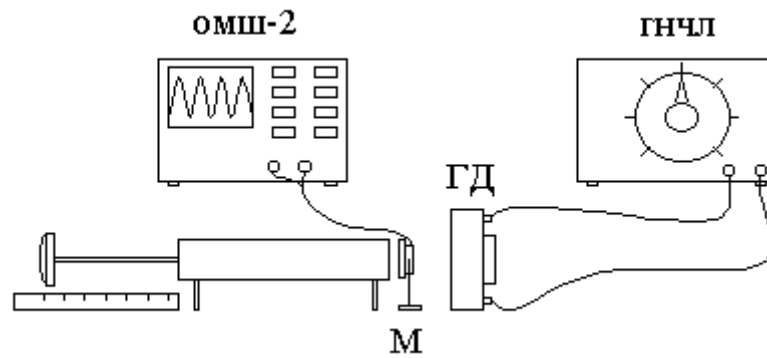
$$\lambda = 2(l_2 - l_1).$$

Знаючи частоту звучання камертона ν , знаходять швидкість звуку

$$V = \lambda \nu = 2(l_2 - l_1) \nu.$$

В постановці роботи застосовується типове обладнання фізичного кабінету:

1. Осцилограф ОМШ-2, у якого трансформатор живлення перемкнуто на напругу 42 В.
2. Генератор звукової частоти типу ГНЧЛ, у якого уточнено за допомогою генератора ГЗМУ на шкалі частот положення поділок 800 Гц, 100 Гц, 1200 Гц. Уточнення слід виконати за фігурами Ліссажу. Осцилограф ОМШ-2 має вертикальні та горизонтальні входи і дозволяє здійснити таку операцію.
3. Можна також скористатись генератором типу ГНЧШ. Для цього з нього потрібно зняти трансформатор живлення, місток випрямляча, за допомогою шнура з відповідною вилкою, підключити до напруги 42 В.
4. Телефонний капсуль типу ТОН-2 або МТ-56. При постановці роботи капсуль виконує роль електромагнітного мікрофона. Його встановлюють на вертикальній підставці.
5. Динамічний гучномовець.
6. Лінійка або вимірювальна стрічка з міліметровими поділками.
7. Металева трубка з поршнем.
8. З'єднувальні провідники.



Мал. 6

Телефонний капсуль-мікрофон[°]М приєднують до клем вертикального входу осцилографа. Відстань від відкритого кінця трубки до мікрофона становить $1 \dots 1,5$ см. На відстані $2 \dots 3$ см від мікрофона розташовують гучномовець[°]ГД, з'єднаний з виходом звукового генератора. Прилади вмикають у сітку напругою 42 В. Звукові хвилі від гучномовця за рахунок явища дифракції огинають мікрофон і потрапляють у трубку з поршнем. Початкове положення поршня таке, що він повністю закриває трубку. На генераторі встановлюють частоту 800 Гц і одержують осцилограму звукових коливань. Поршень пересувають і спостерігають за зміною амплітуди коливань на осцилографі. При резонансі амплітуда різко зростає. Знаходять положення першого максимуму і лінійкою вимірюють відстань від закритого кінця трубки до ручки поршня - l_1 . Пересувають поршень далі, помічають другий максимум і вимірюють відстань до положення ручки поршня при третьому максимумі - l_3 .

На генераторі встановлюють частоту 1000 Гц і повторюють усі операції з визначення довжин l'_1 та l'_3 для цієї частоти. Аналогічно виконують вимірювання довжин l''_1 та l''_3 для частоти 1200 Гц.

Роблять обрахунки довжини хвилі для першої, другої та третьої частоти:

$$\lambda_1 = l_3 - l_1; \quad \lambda_2 = l'_3 - l'_1; \quad \lambda_3 = l''_3 - l''_1.$$

Знаходять швидкість звуку:

$$V_1 = \lambda_1 \nu_1; \quad V_2 = \lambda_2 \nu_2; \quad V_3 = \lambda_3 \nu_3.$$

Результати вимірів заносять у таблицю.

№ п/п	Частота, ν , Гц	l_1 , м	l_3 , м	λ , м	V , $\frac{м}{с}$	V_c $\frac{м}{с}$
	800					
	1000					
	1200					

Визначають середнє значення швидкості звуку:

$$V_{\text{сеп}} = \frac{V_1 + V_2 + V_3}{3}.$$

За традиційною методикою обраховують похибки.

Висновок:

Лабораторна робота №5

Властивості електромагнітних хвиль

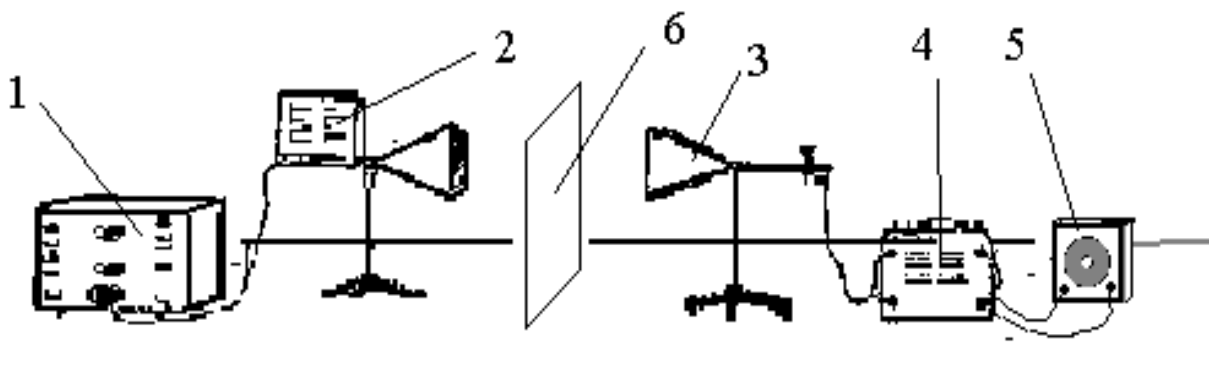
Мета: оволодіти методикою і технікою демонстрування основних властивостей електромагнітних хвиль.

Завдання I. Опрацювати відповідний навчальний матеріал за шкільними і вузівськими підручниками.

Завдання II. Набути умінь та навичок у виконанні таких демонстрацій:

1. Пропускання і поглинання електромагнітних хвиль

Обладнання: комплект приладів для вивчення властивостей електромагнітних хвиль, випрямляч універсальний ВУП, підсилювач низької частоти, металевий екран, екран із діелектрика, гучномовець електродинамічний, з'єднувальні



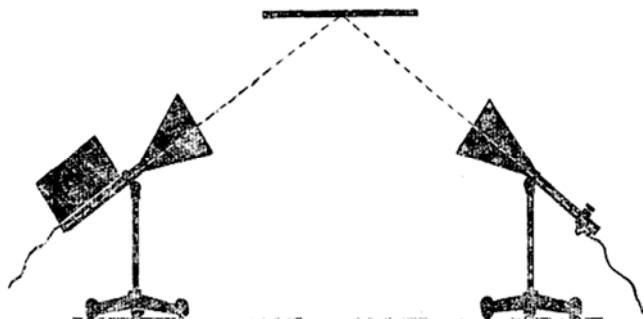
Мал.°1

провідники.

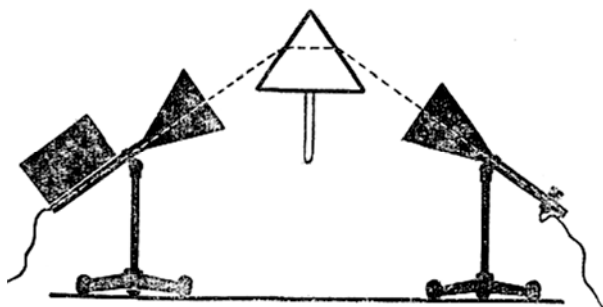
Перед демонстрацією дослідів проводять таку підготовку. На кінцях демонстраційного стола встановлюють на однаковій висоті генератор² і приймач³ із рупорними антенами (мал.¹).

Для ознайомлення учнів із зібраною установкою повідомляють, що джерелом електромагнітних хвиль довжиною 3 см служить генератор, який завдяки рупорній антені дає спрямоване випромінювання. Коливання, які виробляє генератор, модульовані звуковою частотою. Приймач також має спрямовану дію. У його хвилеводі встановлений кремнієвий діод, що служить детектором. Виділені детектором електричні коливання звукової частоти підсилюються і перетворюються гучномовцем у звук.

Через деякий час після включення блоку живлення в мережу динамік починає звучати. Повертаючи спочатку рупор генератора, а потім рупор приймача, показують гостру спрямованість випромінювання і прийому. Потім приводять генератор і приймач у початкове положення і поміщають між приймачем і генератором металевий екран (мал.¹). При цьому спостерігають ослаблення і припинення прийому.



Мал. 2



Мал. 3

Повторюють дослід з екранами із ізолюючих матеріалів і переконуються, що вони ослаблюють сигнал, тобто поглинають.

2. Відбивання електромагнітних хвиль

Генератор і приймач повертають, як показано на мал. 2, після чого прийом припиняється. Беруть алюмінієву пластину і знаходять для неї таке положення, при якому відновлюється голосний прийом. Повертаючи

пластину, показують, що найбільш голосний прийом спостерігається, якщо кут падіння електромагнітного променя

дорівнює кутіві відбивання, падаючий і відбитий промінь знаходяться в одній площині з перпендикуляром до поверхні.

3. Заломлення електромагнітних хвиль

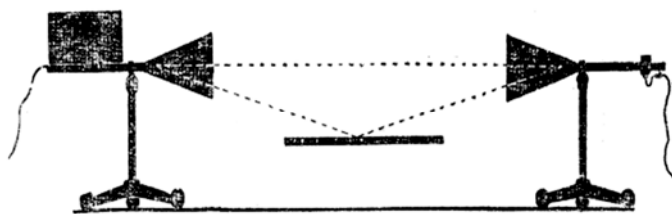
Скориставшись попередньою установкою генератора і приймача, беруть у руку трикутну призму із діелектрика і поміщають її на місце пластини (мал. 3). При цьому спостерігають відновлення прийому. Дослід дозволяє визначити хід променів і зробити висновок про їх заломлення на гранях призми.

Виконані досліди переконують в тому, що:

- а) на границі двох середовищ поряд з відбиванням відбувається заломлення хвиль;
- б) заломлення хвиль на границі двох середовищ є загальна властивість хвиль, що не залежить від їх природи.

4. Інтерференція електромагнітних хвиль

Для спостереження інтерференції електромагнітних хвиль застосовують метод розщеплення одного пучка хвиль на два. Підносять до установки металеву пластину (дзеркало) так, як показано на мал. 4 спостерігають, що приймач відмічає підсилення, або послаблення прийому. Це є наслідком інтерференції прямого і відбитого пучка хвиль. Рухаючи дзеркало вертикально вгору або вниз, спостерігають декілька послідовних підсилень і послаблень



Мал. 4

прийому. Це пояснюється тим, що при русі дзеркала змінюється різниця ходу між прямим і відбитим пучком хвиль.

5. Явище дифракції електромагнітних хвиль

Встановлюють відстань між генератором та приймачем близько одного метра. Вносять у простір між випромінювальною і приймальною антеною алюмінієвий екран. Поставивши приймальну антену за екраном, і направивши її на край екрана, помічають електромагнітні хвилі за екраном. Роблять висновок, що електромагнітні хвилі дифрагують.

В простір між генератором і приймачем вносять другий екран так, щоб утворилася щілина шириною 4-5 см. Рухаючи за щілиною прийомну антену по дузі кола, центр якої знаходиться на середині

щілини, помічають центральний і 1-2 побічних максимуми з кожної сторони (вісь приймальної антени повинна співпадати з напрямком радіуса кола).

Із металевих пластин роблять дифракційну решітку і повторюють дослід. Помічають, що в цьому випадку побічні максимуми виражені значно чіткіше, ніж в досліді з одною щілиною.

На шляху електромагнітних хвиль встановлюють алюмінієвий диск і за допомогою дипольного приймача помічають інтерференційний максимум в центрі тіні, яку повинен був утворювати диск.

6. Поляризація електромагнітних хвиль

Між генератором і приймачем електромагнітних хвиль ставлять поляризаційні решітки таким чином, щоб випромінювальні генератором електромагнітні хвилі проходили через них, досягали приймача і приймалися ним. Далі одну з поляризаційних решіток повільно обертають, і спостерігають послаблення гучності приймального сигналу. При взаємно перпендикулярному положенні решіток, хвилі не проходять і сигнал не приймається. Забирають одну з решіток і повторюють дослід. Переконаються, що хвилі, які випромінює генератор, поляризовані. Це дає можливість поставити дослід по поляризації хвиль без використання поляризаційних решіток. Для цього встановлюють приймач навпроти генератора і спостерігають прийом сигналів, що посиляються генератором. Потім повільно повертають одну з антен (не суттєво яку) навколо осі хвилеводу і помічають зменшення гучності сигналу, який приймається. При взаємно перпендикулярному положенні осей поляризації хвилеводів прийому не має. Явище поляризації доводить поперечність електромагнітних хвиль.

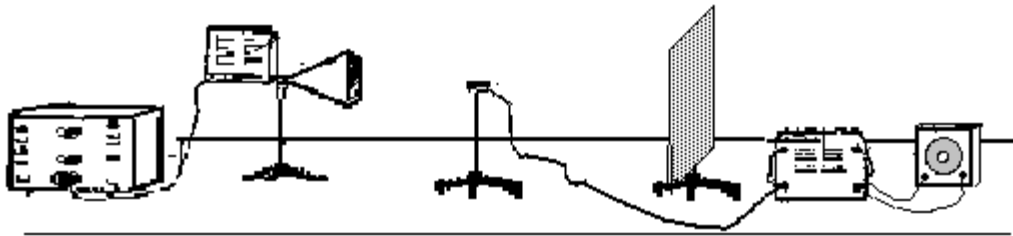
Завдання III. Виконати лабораторну роботу, додержуючись методичних вимог щодо оформлення її письмового звіту:

Визначення довжини електромагнітних хвиль

Обладнання: комплект приладів для вивчення властивостей електромагнітних хвиль, випрямляч універсальний ВУП, підсилювач низької частоти, металевий екран, лінійка або вимірювальна стрічка, гучномовець електродинамічний, з'єднувальні провідники.

Стоячу хвилю одержують так. Перед генератором встановлюють металевий екран на відстані приблизно 80 см від рупора. Рупор розміщують перпендикулярно площині екрана (мал. 5). Внаслідок накладання прямої і відбитої хвилі виникне стояча хвиля. Якщо в поле такої хвилі помістити приймач з дипольною антеною, то в колі приймальної антени виникне електричний стум. Максимальні значення сили стуму спостерігатимуться при проходженні приймальною антеною пучностей стоячої хвилі, мінімальні – в її вузлах.

Враховуючи, що відстань між сусідніми вузлами дорівнює половині довжини хвилі, можна записати: $l_0 - l_n = \frac{n\lambda}{2}$, де l_0 –



Мал. 5

початкова відстань дипольної антени від екрана, на якій відхилення гальванометра буде максимальним. Її уточнюють, повільно переміщуючи екран вперед–назад до одержання максимального відхилення стрілки гальванометра. l_n – відстань між нульовим і n -

ним підсиленням. Вимірявши l_n знаходять: $\lambda = \frac{2 \cdot (l_0 - l_n)}{n}$.

Результати вимірювань і обчислень записують до таблиці.

№ п/п	$l_0, \text{м}$	$l_n, \text{м}$	n	$\lambda, \text{м}$

Обчислити λ – середнє. Визначити частоту електромагнітних хвиль.

Лабораторна робота № 6

Світлові хвилі

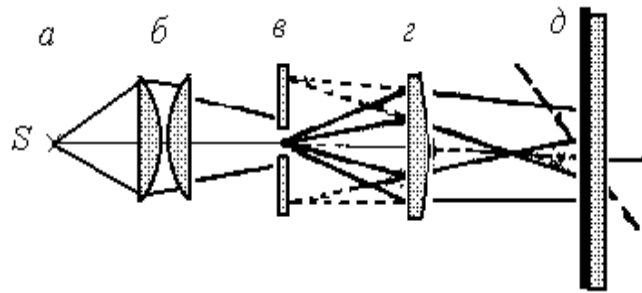
Мета: оволодіти методикою і технікою проведення дослідів з теми „Світлові хвилі”. Виконати шкільні лабораторні роботи, передбачені програмою.

Завдання I. Опрацювати відповідний навчальний матеріал за шкільними і вузівськими підручниками.

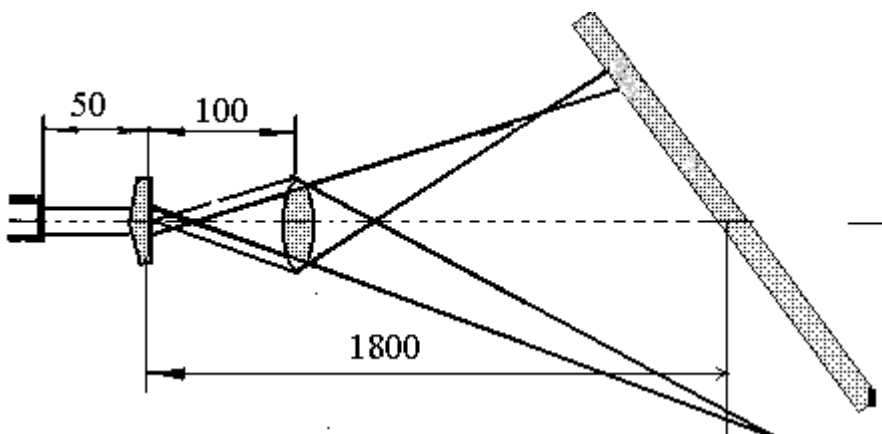
Завдання II. Набути умінь і навичок у виконанні таких демонстрацій:

1. Спостереження інтерференції світла від біпризми Френеля

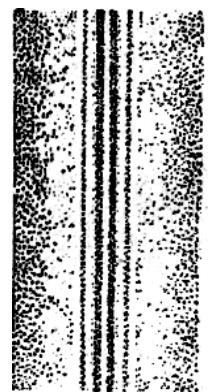
Обладнання: газовий лазер встановлений на оптичній лаві проекційного апарату ФОС, біпризма Френеля, об'єктив від мікроскопа, екран. Для проведення досліду використовують біпризму Френеля, що входить у комплект по дифракції й



Мал. 1



Мал. 2



Мал. 3

інтерференції. Цей дослід є дуже важливим у методичному відношенні, тому що він дає можливість з'ясувати хвильову природу світла. Уже з принципової схеми досліду (мал. 1) видно, що явище інтерференції зумовлене наявністю двох уявних

зображень щілини (когерентних „джерел світла”), утворених біпризмою.

Досить важко одержати інтерференцію за допомогою проекційного апарату (потрібне досить потужне джерело світла, паралельність при розміщенні щілини і ребра призми, затемнення кімнати і т. д.).

Однак можна значно поліпшити якість досліду, якщо замість звичайного джерела використати лазер і скласти установку за схемою, як показано на мал. 2.

При такому розміщенні приладів пучки світла, поділені біпризмою, перетинаються і на екрані дають чітку інтерференційну картину у вигляді світлих і темних смуг (мал. 3). При повільному русі об’єктива від біпризми до екрана можна помітити, як спочатку з’являються два окремі пучки світла лазера, потім вони повільно наближаються один до одного, і коли починається їх накладання, виникають чіткі інтерференційні смуги. Розміри картини залежать від відстані між об’єктивом і екраном: чим більша відстань тим більша картинка.

2. Спостереження інтерференції світла за допомогою кілець Ньютона

Мета: познайомити учнів з виникненням інтерференції світла в тонкому шарі повітря між скляною пластинкою і плоско-випуклою лінзою великого радіуса кривизни з використанням цього явища для визначення довжини світлової хвилі.

Обладнання: проекційний апарат ФОС, прилад “кілець Ньютона”, екран.

Для демонстрації кілець Ньютона в білому світлі збирають установку за схемою мал. 4, де: *K* – конденсор, *Д* – діафрагма, *КН* – прилад для демонстрування кілець Ньютона, *О* – об’єктив, *Е* – екран.

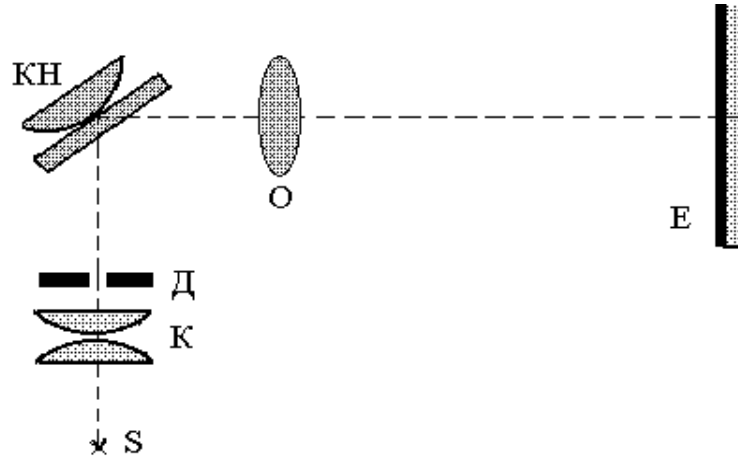
Перед дослідом регульовальні гвинти на приладі, для демонстрування кілець Ньютона, потрібно поставити так, щоб у середній частині приладу утворилися кольорові кільця діаметром 20-25 мм.

На оптичній лаві проекційного апарату встановлюють на відстані 10-12 см від конденсора – дискову діафрагму. На кінці оптичної лави під кутом 45° встановлюють прилад „кілець Ньютона” (мал. 4). Діафрагму підбирають так, щоб пучок світла був більший за прилад. Встановивши об’єктив, на шляху відбитого від пластин приладу пучка світла, демонструють кільця Ньютона.

Плавним переміщенням об'єктива добиваються різкої інтерференційної картини. В білому світлі вона представляє собою ряд концентричних райдужних кіл.

Діставши на екрані зображення, покажіть, як зміна величини повітряного проміжку впливає на форму кілець.

Покажіть кільця Ньютона в монохроматичному світлі, звертаючи увагу на зміну діаметра кілець при зміні світлофільтрів.

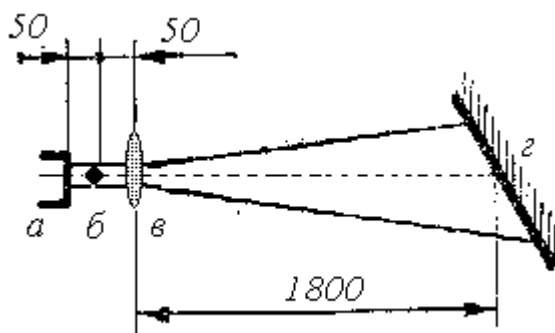


Мал. 4

3. Дифракція світла від тонкої нитки

Обладнання: газовий лазер встановлений на оптичній лаві проекційного апарату ФОС, тонка нитка натягнута на диску-ширмі, короткофокусний об'єктив від мікроскопа, екран.

Установка для проведення досліду показана на мал. 5. Пучок світла падає на рамку з натягнутою строго вертикально тонкою ниткою. При діаметрі нитки, приблизно рівному $0,05\text{ мм}$, на екрані одержується чітка дифракційна картина. Між двома темними смугами в центрі добре проглядається світла смуга (мал. 6). По обидві сторони від темних смуг спостерігають систему світлих і темних смуг. При збільшенні відстані до екрана розміри картинки зростають.



Мал. 5

Застосовуючи метод Гюйгенса-Френеля (мал. 7) на дошці пояснити учням утворення дифракційних смуг, звернути увагу на важливий факт наявності в середині спектру світлої смуги. Вона утворюється внаслідок

огинання перешкоди та інтерференції двох когерентних систем світлових хвиль.

Наявність темних смуг у напрямку A і A_1 та світлих смуг у напрямку B і B_1 пояснюється відповідною різницею ходу світлових хвиль. У першому випадку різниця ходу складає парне, а в другому – непарне число півхвиль.

4. Дифракція світла від вузької щілини

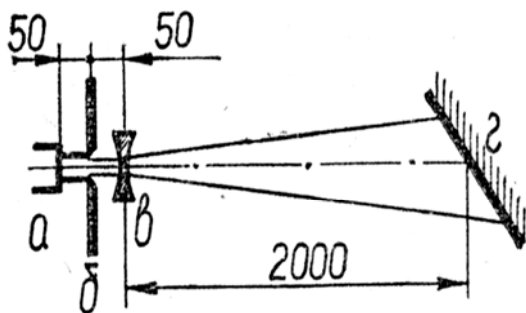
Обладнання: лазер ЛГ-209, щілина, лінза з фокусною відстанню $F = -263$ мм, екран, проекційний апарат ФОС

Дифракцію від однієї щілини можна спостерігати як при звичайному вузькому пучку світла лазера, так і при розширеному.

1. Схему установки з лазером для демонстрації дифракції світла від щілини показано на мал. 8, де: a – лазер ЛГ-209; b – щілина; c – лінза з фокусною відстанню $F = -263$ мм; z – екран. Повільним поворотом гвинта зменшують ширину щілини і спостерігають дифракційну картину на екрані.

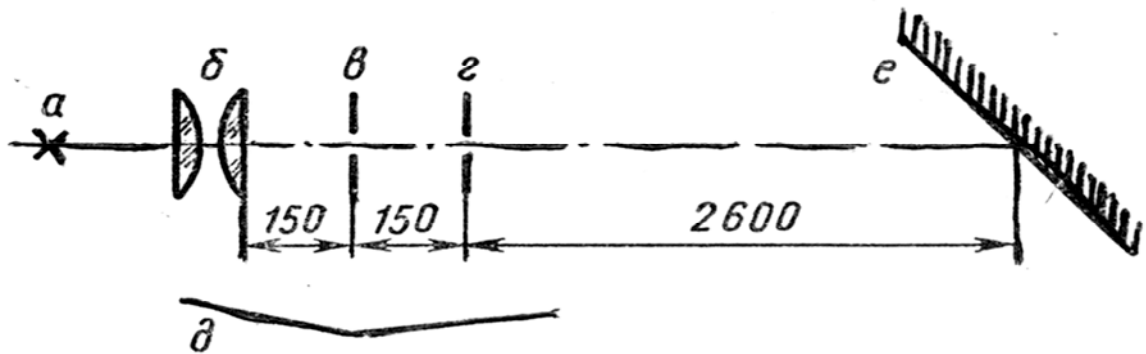
2. Підготовку до демонстрації починають з розміщення джерела світла. Лампу розжарення ставлять так, щоб її спіраль знаходилась на оптичній осі конденсатора і була повернута “ребром” до нього. Потім в пучку світлового конуса від конденсатора переміщують щілину і закріплюють її на лаві в тому місці, де переріз світлового конуса повністю перекриває щілину. Вона повинна бути паралельна спіралі лампи і мати ширину приблизно $0,2$ мм.

Потім встановлюють другу щілину; вона повинна бути строго паралельна першій (мал. 9).



Мал. 8.

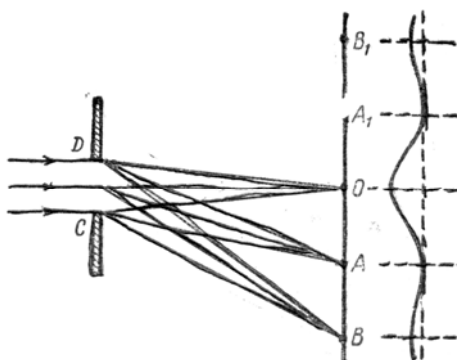
Обережно обертають гвинт розсувної щілини, повільно зменшують її ширину і спостерігають за дифракційною картиною. Спочатку отримаємо світлу смугу з розмитими краями. При подальшому звуженні другої щілини, ширина світлової смуги і її освітленість зменшується і починає з'являтися дифракційна



Мал. 9

картина. Якщо поступово змінювати ширину другої щілини, то можна помітити, як на екрані, в середині світлої смуги з'являється темна смуга (в щілину вкладається парна кількість зон Френеля), а потім зникає (вкладається непарне число зон). Цей результат можна отримати іншим способом. Не змінюючи ширину другої щілини, повільно переміщати її відносно першої, слідкуючи за тим, щоб не порушувалось зображення на екрані.

На мал. 10 показана схема утворення дифракційних смуг та графік їх яскравості. На щілину CD падає плоска хвиля. Згідно принципу Гюйгенса-Френеля кожна її точка стає джерелом



Мал. 10

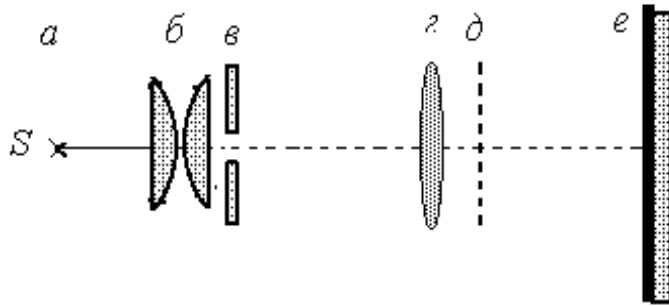
поширення вторинних хвиль, які поширюються в різних напрямках.

Очевидно, хвилі у напрямку O поширюються в однаковій фазі та підсилюють одна одну, утворюючи при цьому яскраву смугу, яка носить назву центрального максимуму.

5. Дифракція світла від дифракційної решітки (гратки)

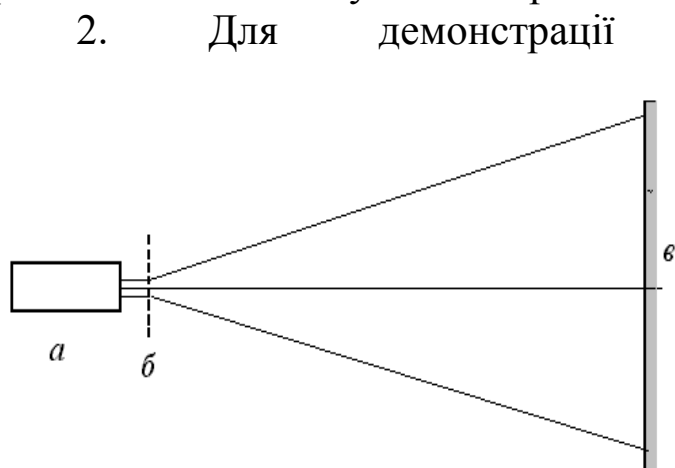
Обладнання: проекційний апарат, щілина розсувна, дифракційна решітка, світлофільтр, газовий лазер.

1. Для одержання спектра дифракційної картини, збирають установку, зображену на мал. 11. Вертикальна щілина ϵ , шириною $0,5-2\text{ мм}$ за допомогою об'єктива $г$ проектується на екран $е$. Потім безпосередньо за об'єктивом встановлюють дифракційну решітку δ . На екрані одержимо дифракційний спектр, який



Мал. 11

складається із білої смуги посередині (центрального максимум) і ряду спектрів, симетрично розміщених справа і зліва від нього. При віддаленні від центра, спектри стають більш широкими, але менш якими. Вони носять назву спектрів першого, другого, третього і т.д. порядку. Спектри всіх порядків починаються з фіолетового і закінчуються червоним кольором.



Мал. 12

смуги (спектр нульового порядку).

6 Ознайомитись із “Набором для поляризації світла”.

“Набір з поляризації світла” складається з таких деталей:

1) два поляроїди I в оправках з петлями для закріплення на дисках-шарнірах, які входять до комплекту універсального проєкційного апарата або набору з інтерференції і дифракції;

2) чорне дзеркало $б$ (металева кругла пластинка з двома петлями, покрита чорним нікелем);

3) стопа Столетова, закріплена в оправі так, щоб поверхня скляних пластинок лежала під кутом 35° до осі пучка світла, який падає на неї;

4) кристал ісландського шпату, приклеєний до пластинки, у металевій оправі з двома петлями;

5) препарат з клаптиків целофану різної товщини і форми, затиснутий між двома окантованими пластинками скла;

6) прес для стискання за допомогою гвинта;

7) деталь з органічного скла у вигляді рейки;

8) модель балки із органічного скла з двома металевими ручками для її згинання.

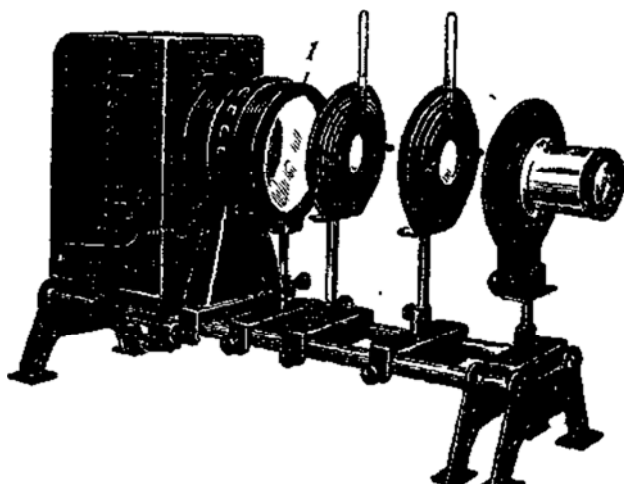
Поляроїди, які входять до комплекту набору, являють собою тоненькі целулоїдні плівки, в які введено велику кількість маленьких кристаликів йодистого хініну (герапатиту), причому так, що вони орієнтовані в одному напрямі.

Поляроїд розкладає пучок світла, яке падає на нього, на два пучки, поляризовані у взаємно перпендикулярних площинах. Один з них майже повністю поглинається, а другий проходить майже неослабленим. Поляроїди не витримують тривалого нагрівання понад $70-80^\circ$. Це завжди слід пам'ятати.

7. Поляризація світла поляроїдами

Обладнання: апарат проекційний, два поляроїди з набору для поляризації світла, екран проекційний.

Перед тим, як скласти установку, закріплюють поляроїди на ширмах дисків. До поворотних кілець кожного з дисків приклеюють вирізані з білого картону, добре помітні здалеку, стрілки-показчики так, щоб при схрещених поляроїдах стрілки розташовувалися перпендикулярно одна до одної.



Мал. 13

Включають лампу проекційного апарата і за конденсором (але не у фокусі) закріплюють поляроїд у світловому конусі, що утворився. За допомогою об'єктива проектують освітлену частину поляроїда на екран у вигляді досить яскравого кола.

Відмітивши положення

стрілки в поляроїді, повертають його спочатку на 90° , потім на 180° , 270° , 360° . Звертають увагу учнів, що при цьому ніяких змін на екрані не відбувається. Дослід повторюють, але з другим поляроїдом.

Далі збирають установку з двома схрещеними поляроїдами так, щоб стрілки-показчики лежали в одній площині (мал. 13). При цьому поляроїди краще розташувати ближче до конденсора, щоб фокус світлового пучка, що виходить з конденсора, був за другим поляроїдом. За допомогою об'єктива знову проєктують на екран освітлену частину другого поляроїда, повільно повертаючи його на 90° відносно першого. Учні помічають поступове зменшення освітленості кола на екрані аж до максимального гасіння. Подальші повороти на 180° , 270° і 360° призводять відповідно до просвітлення, гасіння і знову до просвітління кола на екрані.

З досліду учні роблять висновок про перпендикулярність коливань у світловому пучку відносно напрямку його поширення. Очевидно, перший поляроїд служить у досліді поляризатором, а другий – аналізатором. Повторюють останній дослід, помінявши місцями поляроїди і переконуються, що кожний з них може служити як поляризатором, так і аналізатором.

8. Поляризація світла при відбиванні

Обладнання: апарат проєкційний, дзеркало чорне і поляроїд з набору для поляризації світла, два дзеркала на штативі, штатив універсальний, екран переносний.

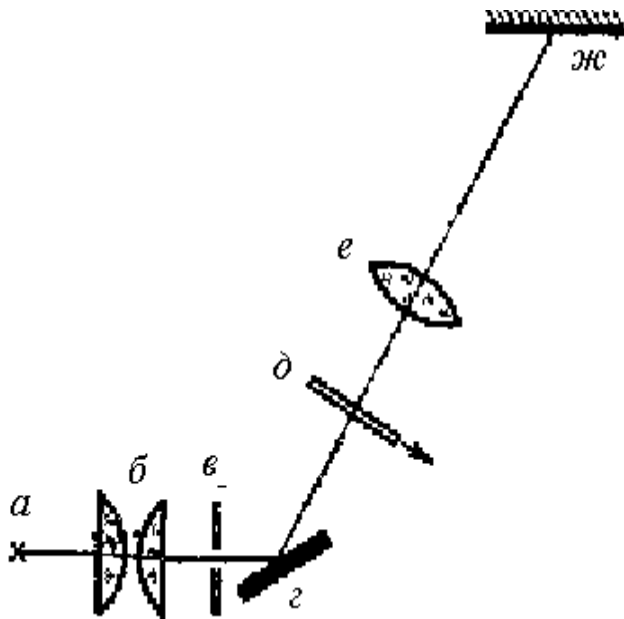
Основна мета досліду полягає в тому, щоб розширити уявлення учнів про явище поляризації світла; показати експериментально, що світло поляризується не тільки при проходженні через поляроїди, як показано в попередньому досліді, але і при відбиванні від поверхні різних речовин.

Установку для досліду збирають на оптичній лаві за схемою, показаною на мал. 14. Тут поляризатором світла служить чорне дзеркало *г*, а аналізатором – поляроїд *д*. Дзеркало закріплюють вертикально на ширмі-диску, встановленому в рейтері лави, і повертають до головної оптичної осі конденсора приблизно під кутом 60° . На шляху відбитого пучка світла поміщають об'єктив *е*. Його встановлюють на висувній частині лави, яку розташовують по ходу пучка відбитих променів. Об'єктив

переміщують вздовж пучка й одержують на екрані *ж* світлу круглу пляму – зображення діафрагми *в*.

За об'єктивом або перед ним встановлюють поляроїд, закріплений на ширмі-диску і встановлений у рейтері. Повільно повертають поляроїд навколо горизонтальної осі. На екрані буде ясно видно поступове затемнення і просвітлення плями. Отже, пучок світла, відбитий від дзеркала, виявиться поляризованим.

Після цього повертають дзеркало так, щоб кут падіння пучка світла спочатку став 45° , а потім 75° , і щоразу переставляючи



Мал. 14

переносний екран, повторюють описаний вище дослід. Зі спостережень на екрані переконуються, що ступінь поляризації світла значною мірою залежить від величини кута відбивання.

Найбільша поляризація настає приблизно при 60° . При кутах же, більших або менших 60° , світло поляризується лише частково.

За допомогою освітлювача для тіньового проектування одержують на екрані або стелі “зайчик” при відбиванні пучка світла від поверхні води. У відбитий пучок поміщають поляроїд на ширмі-диску і, тримаючи його в одній руці, інший повільно повертають на 360° . По затемненню і просвітлінню “зайчика” переконуються в поляризації світла, відбитого від поверхні води.

9. Поляризація світла при заломленні

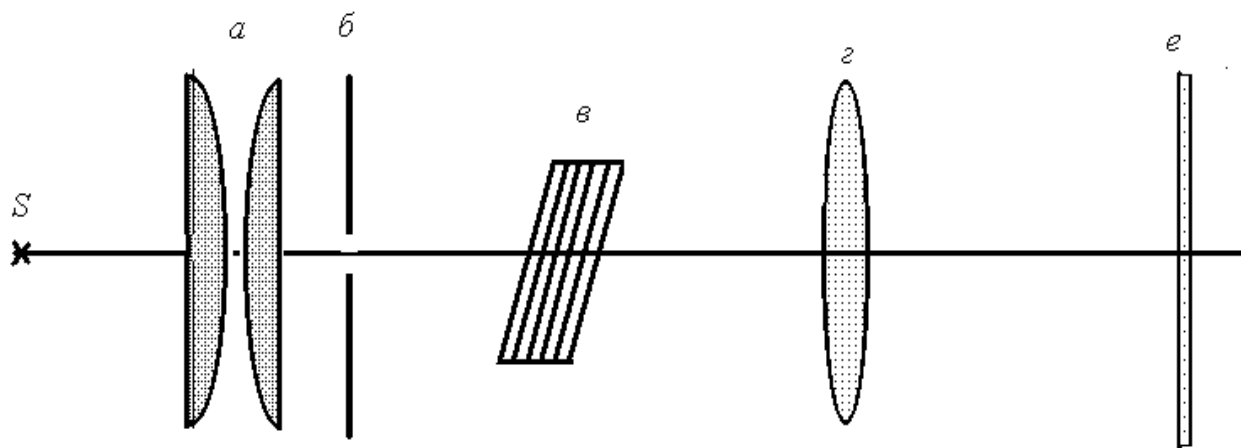
Обладнання: апарат проекційний, стопка скляних пластинок з набору по поляризації, поляроїд, екран проекційний.

Світло, що падає на скляну пластинку під кутом повної поляризації (57°), відбивається від її поверхні, частково заломлюється і проходить крізь пластинку. При цьому, поляризованим виявляється не тільки відбитий пучок світла, як це демонструвалося в попередньому досліді, але й заломлений.

Однак, при заломленні завжди поляризується лише незначна частина світла (кілька відсотків), тому знайти це явище в

демонстраційному досліді важко. Але ступінь поляризації можна значно збільшити, якщо багаторазово повторити явище заломлення, тобто пропустити світло через стопку лежачих одна на одній скляних пластинок. У такій стопці з 15-20 пластинок кожне нове заломлення збільшує поляризацію і її можна наочно знайти за допомогою поляроїда.

Для демонстрації досліду збирають просту установку на лаві проекційного апарата. Перед конденсором освітлювача розміщують за допомогою рейтерів діафрагму і за нею – диск-ширму зі стопкою пластинок. Отвір діафрагми підбирають так, щоб через стопку проходив максимум світла. За стопкою встановлюють об'єктив, а потім – поляроїд (мал. 15). Переміщаючи об'єктив вздовж лави, проектують на екран діафрагму *б* і спостерігають на ньому порівняно світлу пляму (кут повороту поляроїда підбирають заздалегідь).



Мал. 15

Повільно обертають поляроїд навколо головної осі конденсора (роблять повний оберт) і виявляють, що освітленість плями на екрані поступово змінюється: за один оберт світло двічі з'являється і двічі гасне. Таким чином, стопка пластинок є типовим поляризатором і має такі ж властивості, як і поляроїдна плівка. Очевидно, стопка може служити й аналізатором, якщо її помістити перед поляроїдом і повільно обертати в диску-ширмі.

Варто звернути увагу, що стопка зібрана в оправі так, щоб поверхня пластинок була нахилена до головної оптичної осі конденсора під кутом 33° , коли оправа розташована перпендикулярно до неї. Виявляється, в цьому випадку відповідно до закону Брюстера ($n = \operatorname{tg} \varphi$), кут заломлення в склі буде $54^\circ 31'$.

тобто це буде кут максимальної поляризації. Якщо в стопці пластинки скла розташувати під іншим кутом, то за інших рівних умов ступінь поляризації світла буде меншою.

10. Дослідження деформацій за допомогою поляризованого світла

Обладнання: апарат проекційний, два поляроїди, прес гвинтовий з моделлю рейки, пластинка для демонстрації вигину, пластинка віконного скла, спиртівка, дріт діаметром 2,5-3 мм, екран проекційний.

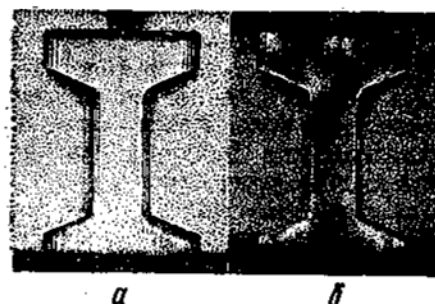
Для цього досліду збирають установку по мал. 13. Між поляроїдами розміщують невелику пластинку віконного скла, затиснутого в лапці штативу. За допомогою об'єктива проектують пластинку на екран, для чого на ній роблять яку-небудь невелику мітку.

Потім схрещують поляроїди, щоб одержати на екрані майже повне затемнення. Нагрівають на спиртівці або газовому пальнику до червоного кольору кінець дроту і торкаються ним до поверхні скляної пластинки. При такому нерівномірному нагріванні в ній виникає напруженість. Скло втрачає свою ізоотропність, стає двозаломлюючим, і на екрані з'являється картина, показана на мал. 16.

Так як подібні напруги виникають у склі і при механічній дії, то можна описаним способом досліджувати розподіл напруг у моделях різної конфігурації при стиску або розтягу.



Мал. 16



Мал. 17

З цієї метою замість пластинки між поляроїдами розміщують на рейтері модель рейки з органічного скла, вставленої в гвинтовий прес. На екран спочатку проектують зображення моделі при не схрещених поляроїдах (мал. 17 а). Потім поляроїди схрещують, а модель стискають, обертаючи від руки головку гвинта. Тоді на

екрані з'являється картина розподілу напруг у моделі (мал. 17 б). Поступово послабляють гвинт преса і звертають увагу, що картина в поляризованому світлі зникає, і поле на екрані знову стає затемненим.

Таким самим способом показують розподіл напруг у вигнутій пластинці. Для зручності демонстрації, пластинку за допомогою “вушок”, закріплюють на оправі гвинтового преса, знявши з нього попередню модель рейки. При схрещених поляроїдах стискають пластинку двома пальцями за ручки і на екрані виявляють просвітлення верхнього і нижнього краю і темну смугу посередині, що відповідає зоні відсутності напруг.

Завдання III. Виконати лабораторні роботи, додержуючись методичних вимог щодо оформлення їх письмового звіту:

Лабораторна робота №5

“Визначення довжини світлової хвилі за допомогою дифракційної решітки”

Мета роботи: визначити довжину світлової хвилі по положенню головних максимумів в дифракційному спектрі першого порядку.

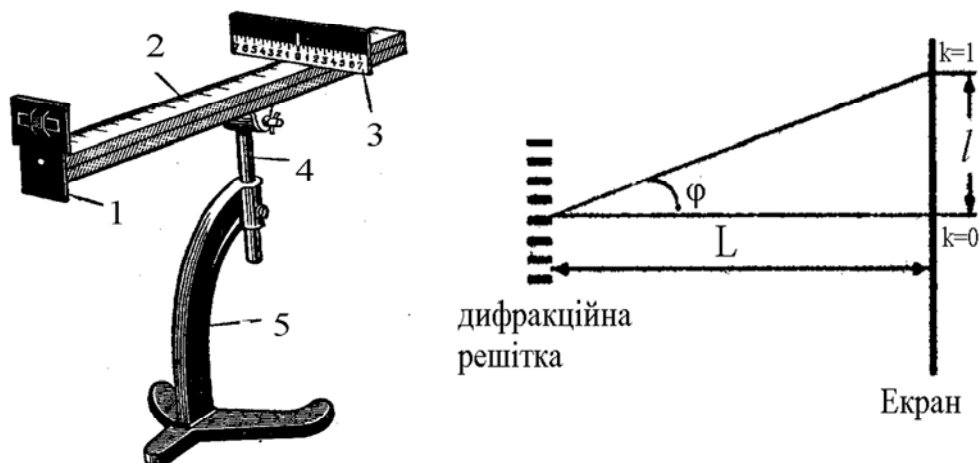
Обладнання: електрична лампа з прямою ниткою розжарення; вимірювальна установка з лінійкою 1мм/под. та екраном з поділками; дифракційна решітка (1/100).

Хід роботи:

1. Розгляньте дифракційну решітку і визначте її період d за формулою

$$d = \frac{1}{N}(\text{мм}), \quad \text{де } N = 100.$$

2. Помістіть дифракційну решітку у рамку 1 приладу і закріпіть його в підставці 5 підйимального столика 4, мал.



мал.

3. Дивлячись крізь дифракційну решітку, спрямуйте прилад на джерело світла так, щоб його було видно через вузьку прицільну щілину щитка 3. При цьому по обидва боки екрану на лінійці видно дифракційні спектри кількох порядків. У випадку похилого положення спектрів поверніть решітку на певний кут до усунення перекосу.
4. За шкалою визначіть положення середин кольорових смуг l у спектрах першого порядку, мал. . Вимірювання l проведіть для смуг відповідного кольору ліворуч і праворуч та знайдіть середні значення відстаней. Результати запишіть в таблицю 5.1.
5. Визначіть за допомогою лінійки 2 відстань від дифракційної

№ n/n	$d, м$	$L, м$	$l, м$	n	$\lambda, м$	$\nu, Гц$

решітки до шкали рухомого екрана L .

6. Довжину світлової хвилі можна знайти з рівняння

$$\lambda = \frac{d \cdot \sin \varphi}{k}.$$

Так як порядок дифракційного спектру $k = 1$, то $\sin \varphi \approx \operatorname{tg} \varphi = \frac{l}{L}$, і розрахункова формула матиме вигляд

$$\lambda = d \frac{l}{L}.$$

7. Розрахуйте довжини хвиль для семи кольорів і запишіть їх в таблицю.
8. Повторіть вимірювання при іншій відстані екрана від решітки та для інших дифракційних порядків. Порівняйте отримані результати.
9. Направте на дифракційну решітку промінь монохроматичного світла від лазерної указки. Отримайте дифракційну картину. Запишіть в зошиті чим відрізняється ця картина від попередньої. Зробіть аналогічні попереднім завданням вимірювання і знайдіть довжину хвилі лазерного випромінювання.
10. Зробіть висновок.

Примітка: Якщо в роботі застосувати світлофільтри, то можна точніше виміряти довжину хвилі світла, яке пропускає світлофільтр.

2. Спостереження інтерференції і дифракції світла

Мета роботи: одержати інтерференційні картини різними методами та пояснити їх; розглянути та пояснити дифракційні картини, одержані різними методами.

Обладнання: пластинки скляні — 2 шт.; дротяна рамка на підставці; водний розчин мила; трубочка; лампочка з прямою ниткою розжарення; екран з отворами різного діаметру; шматок шовкової тканини; пташине перо; аркуш чорного паперу.

Хід роботи:

Спостереження інтерференції світла:

1. Опустіть трубочку у мильну воду. Потім вийміть трубочку і видуйте мильну бульбашку. Повертаючи бульбашку

роздивіться інтерференційну картину. Опишіть свої спостереження у зошиті.

2. Дві скляні пластинки добре протріть, складіть разом і стисніть пальцями. Розгляньте пластинки у відбитому світлі на темному фоні (розміщувати їх треба так, щоб на поверхні скла утворювались не дуже яскраві відблиски од вікон чи од білих стін).
3. Простежте за зміною форми і розташування одержаних інтерференційних смуг зі зміною товщини повітряного прошарку між ними (зміною натиску на пластинки). Опишіть результати спостережень у зошиті.
4. Опустіть дротяну рамку в мильний розчин. Витягніть її і отримайте мильну плівку. Спрямувавши на плівку світло, розгляньте виникнення інтерференційної картини. Зробіть в зошиті малюнок інтерференційної картини, використовуючи кольорові олівці.

Спостереження дифракції світла:

1. Візьміть екран з отворами різного діаметра. Через отвір в екрані розгляньте точкове джерело світла. Намалюйте дифракційну картину.
2. Спостерігайте дифракційну картину у прохідному світлі за допомогою пташиного пера та шматків шовкової тканини. Зробіть малюнки.

Лабораторна робота № 7

Геометрична оптика

Мета: оволодіти методикою і технікою проведення дослідів з теми „Геометрична оптика”. Виконати шкільні лабораторні роботи, передбачені програмою.

Завдання I. Опрацювати відповідний навчальний матеріал за шкільними та вузівськими підручниками.

Завдання II. Ознайомитись із приладом для вивчення законів геометричної оптики та пристроями, що додаються до нього.

Для демонстрації дослідів з оптики, крім основних приладів, потрібно насамперед правильно підібрати джерела світла, приймачі світла й індикатори струму. Вони повинні бути добре узгоджені між собою, і з необхідною допоміжною апаратурою, яка є в шкільних фізичних кабінетах.

Джерелами світла можуть служити електричні лампи: автомобільні, освітлювальні (газонаповнені) і проєкційні. Автомобільні лампи ближче інших підходять до так званих „точкових” джерел світла.

Про силу світла освітлювальних ламп можна судити за їх потужністю.

Якщо необхідно порівняно сильне джерело світла, можна використати проєкційну лампу потужністю 300 Вт . У цієї лампи нитка розжарення утворює невелику площадку з мінімальною відстанню між окремими секціями, що робить її зручною для деяких дослідів.

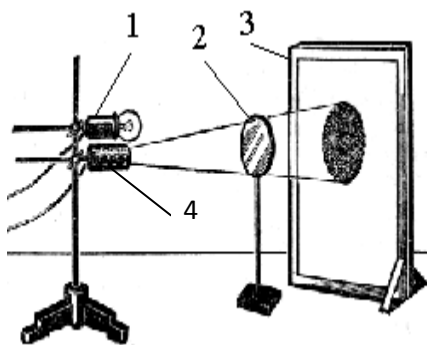
Приймачами світла можуть бути: термостовпчик, напівпровідниковий фотоелемент і око.

Найважливішою властивістю будь-якого приймача є його чутливість до різних частот падаючого випромінювання. Кращим приймачем у цьому змісті є термостовпчик. Однак він має теплову інертність – порівняно довго нагрівається. Тому для демонстраційних дослідів зручніше використати напівпровідникові фотоелементи, які реагують на світло практично миттєво. У них, як і для термостовпчика, залежність між струмом і світловим потоком майже лінійна. Варто мати на увазі, що чутливість фотоелементів залежить не тільки від інтенсивності падаючих на них променів, але і від спектральних сполук з яких вони виготовлені.

Індикатором струму може бути чутливий демонстраційний гальванометр М1032, а у випадку застосування сірчисто-срібного фотоелемента – демонстраційний гальванометр з чутливістю $5 - 10^5 \text{ A/под.}$

Візуальні фотометричні спостереження й вимірювання виконуються за допомогою найпростіших фотометрів і люксометрів. Вони носять відносний характер і дають похибку $10-20\%$. Роль ока в цих вимірах зводиться до встановлення рівності освітленості двох поверхонь.

Щоб підвищити точність вимірів і чіткість таких демонстраційних дослідів, необхідно прагнути до створення найкращих умов для роботи ока: при порівнянні користуватися джерелами світла з близькими спектральними характеристиками,



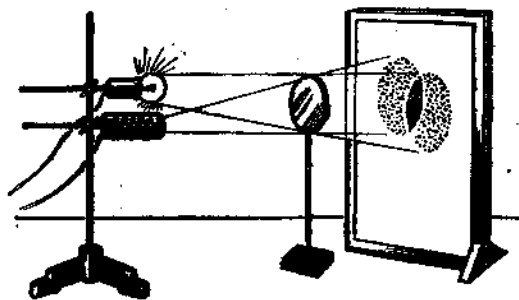
Мал. 1

підтримувати високий рівень освітлення й адаптувати око на темряву.

Завдання III. Набути вмінь і навичок у виконанні таких демонстрацій:

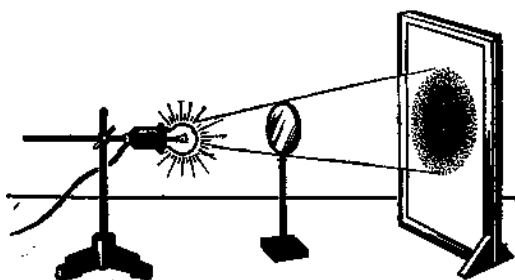
1. Одержання тіні та напівтіні

Обладнання: освітлювач для тіньового проектування і підсвітка, патрон комбінований з автомобільною лампою, лампа електрична з матовим склом, джерело живлення, вимикачі однополюсні демонстраційні — 2 шт., з'єднувальні провідники, екран настільний, штатив універсальний, диск картонний діаметром приблизно 80 мм .



Мал. 2

Для демонстрації дослідів збирають установку зображену на мал. 1. За допомогою універсального штатива закріплюють близько один від одного освітлювач для тіньового проектування 4 і комбінований патрон з автомобільною лампою 1.



Мал. 3

Обидві лампи підключають паралельно до джерела живлення. На відстані $1-1,5$ м від лампи встановлюють екран 3, а перед ним – картонний диск 2. Після затемнення переходять до демонстрації дослідів.

Спочатку вмикають лампу освітлювача для тіньового проектування, і проєктують на екран тінь від картонного диска.

Учням показують, що при точковому джерелі, внаслідок прямолінійного поширення світла, форма тіні повторює форму диска (якщо площина диска паралельна до екрана). При наближенні диска до джерела світла розміри тіні на екрані збільшуються, а при – віддаленні зменшується. При цьому вона завжди має досить різку межу.

Після вмикання другої лампи на екрані одержують тінь і дві півтіні (мал. 2). При послідовному вмиканні кожної з ламп і обох разом переконуються, що тінь на екрані утвориться в тому місці, куди не падає світло від ламп, а півтінь – там, куди падає світло лише від однієї лампи. Очевидно, що на освітлену частину екрана падає світло від обох ламп.

Показують, що при зближенні ламп, область повної тіні збільшується, а область напівтіней зменшується, а при віддаленні – область повної тіні зменшується, а напівтіней збільшується. Починаючи з деякої відстані, тінь зникає зовсім, а на екрані залишаються тільки дві круглі півтіні, розміри яких збільшуються при наближенні диска до ламп.

Нарешті, демонструють дослід з однією лампою, балон якої зроблений з матового або молочного скла. При такому джерелі світла, на екрані спостерігають тінь від диска, оточену півтінями (мал. 3).

2. Одночасне відбивання і заломлення світла на межі двох середовищ

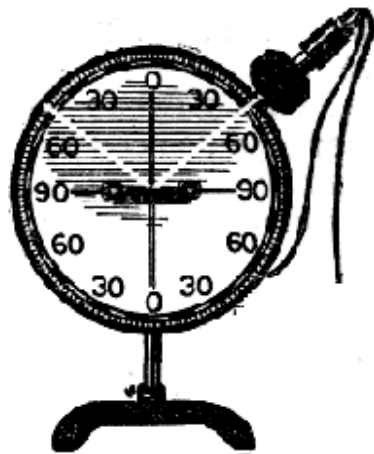
Обладнання: диск оптичний (шайба Гартля), джерело живлення, вимикач однополюсний, з'єднувальні провідники.

Скляний півциліндр закріплюють у центрі оптичного диска так, щоб плоска грань співпала з діаметром диска (мал. 4). Лампу освітлення підключають через однополюсний вимикач до джерела живлення напругою 6-8 В. Затемнюють кімнату і встановлюють освітлювач у верхньому положенні диска під кутом 30° - 40° до вертикального діаметра диска. Спостерігаючи за пучком світла на границі двох середовищ „повітря – скло”, роблять висновок, що пучок світла роздвоюється: частина його відбивається від плоскої поверхні скла і проходить по диску вверх, а друга частина проходить через скло, відхиляючись від попереднього напрямку.

Ці явища називають відповідно відбиванням і заломленням світла.



Мал. 4



Мал. 5

Змінюючи напрямок падаючого пучка шляхом переміщення освітлювача, демонструють зміну напрямків відбитого і заломленого пучка світла.

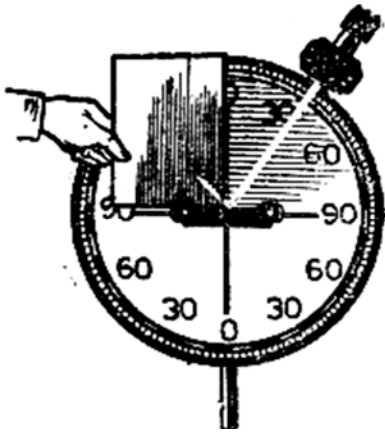
3. Закони відбивання світла

Обладнання: диск оптичний із плоским дзеркалом, джерело живлення, вимикач однополюсний демонстраційний, з'єднувальні провідники, лист білого щільного паперу.

Збирають установку згідно мал. 5. У центрі оптичного диска закріплюють плоске дзеркало так, щоб його відбивна поверхня збігалася з діаметром диска. Попередньо перевіряють рівність кутів падіння і відбивання пучків світла при різних положеннях освітлювача. Після цього трохи затемнюють клас і переходять до демонстрації досліду.

Освітлювач встановлюють у правій верхній частині диска і спостерігають падаючі і відбиті пучки світла.

Для встановлення законів відбивання світла послідовно змінюють напрямок падаючого пучка і через кожні 10° вимірюють кути падіння і відбивання. Результати вимірювань записують на класній дошці. Звертають увагу учнів на рівність цих кутів.



Мал. 6

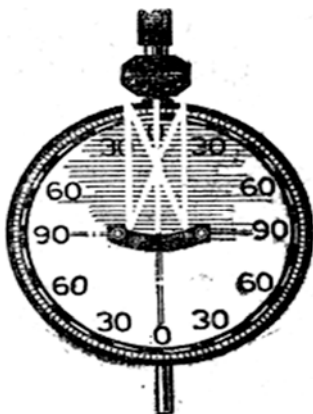
Потім показують, що падаючі і відбиті пучки світла лежать в одній площині. Для цього листом щільного паперу закривають ту чверть диска, де проходить відбитий пучок. Якщо папір щільно притиснутий до диска, то на ньому видно весь відбитий пучок, а якщо ж його повернути, як показано на мал. 6, то на папері буде видно тільки початок відбитого пучка.

На закінчення освітлювач переводять у ліву сторону диска і дослід повторюють, демонструючи властивість оборотності світлових пучків.

4. Відбивання світла від сферичних дзеркал

Обладнання: вгнуте і опукле дзеркала з набору лінз і дзеркал, апарат проєкційний, диск оптичний з угнутих й опуклих сферичними дзеркалами, джерело живлення, вимикач однополюсний демонстраційний, з'єднувальні провідники.

З проєкційного апарата забирають об'єктив і передню лінзу конденсора. За допомогою лінзи, що залишилася, одержують паралельний пучок світла. Щоб світловий пучок був добре помітний усім учням класу, його направляють вздовж демонстраційного столу, а повітря перед проєкційним апаратом задимляють; при цьому клас повинний бути затемнений.



Мал. 9

У паралельний пучок світла вносять вгнуте сферичне дзеркало. Спостерігають, як відбитий пучок, змінивши свій напрямок, поступово звужується, а потім розширюється (мал. 7).

Потім у пучок світла вносять опукле дзеркало і спостерігають, що світло від дзеркала поширюється розбіжним пучком (мал. 8).

Наступні досліди проводять з оптичним диском. Освітлювач диска встановлюють у верхнє положення так, щоб центральний пучок світла був спрямований уздовж діаметру $0^\circ-0^\circ$. У центрі

диска закріплюють вгнуте дзеркало (мал. 9). З підготовленою установкою в затемненому класі можна провести такі демонстрації:

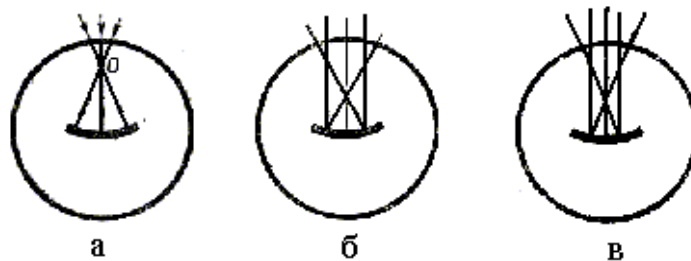
1. Відкрити середню щілину освітлювача й одержати на екрані пучок, який зображає головну оптичну вісь дзеркала.

Бічні пучки направляють так, щоб вони проходили через геометричний центр дзеркала. Звертають увагу на те, що пучки світла, які проходять через геометричний центр дзеркала, після відбивання йдуть у зворотному напрямку (мал. 10 а).

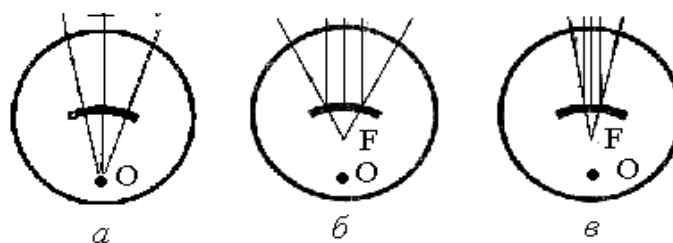
2. На вгнуте дзеркало направляють три пучки, паралельні головній оптичній осі. Після відбивання від дзеркала, пучки перетинаються в одній точці – головному фокусі дзеркала (мал. 10 б). Цю точку потрібно помітити і показати, що головна фокусна відстань дзеркала дорівнює половині його радіуса.

Тоді бічні пучки світла роблять збіжними, а потім розбіжними. У першому випадку точка перетину пучків буде нижче, а в другому – вище головного фокуса.

3. Бічні пучки направляють на дзеркало так, щоб вони попередньо перетнули головну оптичну вісь у точці, яка лежить перед дзеркалом. Якщо ця точка збігається з головним фокусом дзеркала, то відбиті пучки будуть паралельні (мал. 10 в). Якщо ж не збігається, – то вони будуть або сходитись, або розходитись.



Мал. 10



Мал. 11

Замість угнутого дзеркала ставлять опукле, і демонструють аналогічну серію дослідів:

1. Центральний пучок світла направляють вздовж головної оптичної осі дзеркала. Відбитий пучок піде у зворотному напрямку (мал. 11 а). Повертаючи освітлювач вправо та вліво, направляють падаючий пучок так, щоб він співпав з відбитим. Переконаються, що продовження падаючих пучків за дзеркало кожен раз проходять через одну і ту саму точку — геометричний центр дзеркала.

2. На опукле дзеркало направляють три пучки, паралельні головній оптичній осі. Відбиті пучки розходяться в різні сторони (мал. 11 б). Якщо відбиті пучки продовжити за дзеркало, то вони перетнуться в уявному фокусі дзеркала, яке лежить за дзеркалом (на головній оптичній осі) посередині радіуса.

3. Бічні пучки світла направляють на дзеркало так, щоб їх продовження за дзеркало проходило через уявний головний фокус. Після відбивання від дзеркала, пучки йдуть паралельно головній оптичній осі (мал. 11 в).

5. Закони заломлення світла

Обладнання: диск оптичний, скляний півциліндр.

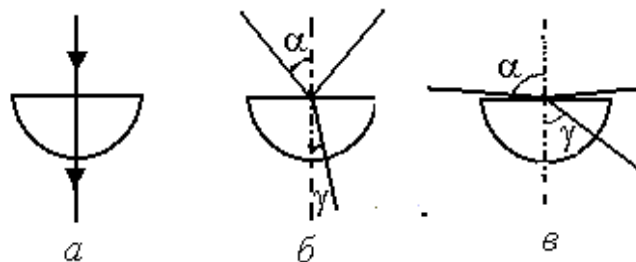
Скляний півциліндр закріплюють на оптичному диску так, щоб його плоска грань співпала з діаметром диска (мал. 4).

Демонструють заломлення світла при переході з повітря в скло.

Спочатку показують, що перпендикулярний промінь світла проходить півциліндр без зміни свого напрямку (мал. 12 а). Потім освітлювач повертають на деякий кут і спостерігають роздвоєння падаючого променя, одна частина якого відбивається, а інша — проходить з повітря в скло.

Звертають увагу учнів на те, що заломлений пучок іде по радіусу всередині півциліндра, тому він виходить зі скла без зміни свого напрямку (мал. 12 б).

Показують, що при зміні кута падіння, змінюється і кут



Мал. 12

заломлення, але він завжди залишається меншим від кута падіння.

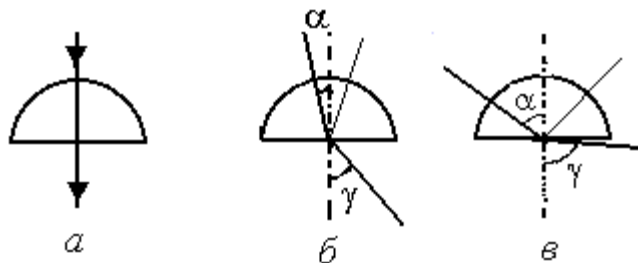
Якщо кут падіння променя наближається до 90° , то кут заломлення для скла зростає до максимального значення 42° (мал. 12 в), який називають граничним.

При збільшенні кута падіння помітно зростає яскравість відбитого пучка і зменшується заломленого. Також збільшується ширина заломленого пучка, а відбитого – залишається постійною.

Для встановлення закону заломлення через кожні 10° - 20° вимірюють кути падіння α і заломлення γ . Результати вимірювань, числові значення синусів кутів і їх відношення, записують у таблицю. Показують, що:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \text{const.}$$

Демонстрацію заломлення світла, при переході з оптично



Мал. 13

більш густого середовища у менш густе, починають з пучка, що іде по нульовому діаметру диска. Направляють пучок світла на опуклу поверхню півциліндра (мал. 13 а). У цьому випадку пучок проходить півциліндр без заломлення.

Потім направляють пучок під деяким кутом. Звертають увагу на те, що пучок при вході в скло не заломлюється, а при виході зі скла – відхиляється від початкового напрямку, причому кут заломлення стає більшим за кут падіння (мал. 13 б).

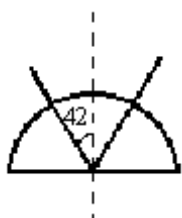
Кут падіння збільшують доти, поки кут заломлення не наблизиться до прямого, але так, щоб не досягнути повного відбивання (мал. 13 в). Одночасно із заломленим пучком спостерігають відбитий; він буде тим яскравіший, чим більший кут падіння. Яскравість заломленого пучка відповідно буде послаблюватись.

6. Явище повного відбивання і його використання

Обладнання: диск оптичний зі скляним півциліндром, апарат проєкційний, ванна скляна (або акваріум), екран для ванни, U-

подібна скляна трубка, столик піднімальний, світлофільтр червоний, куля металева закопчена, вода або гас.

Збирають установку (мал. 13 в) і повторюють демонстрацію заломлення світла, що іде з оптично більш густого середовища, у менш густе. Спостереження ведуть одночасно за трьома пучками: падаючим, відбитим і заломленим.

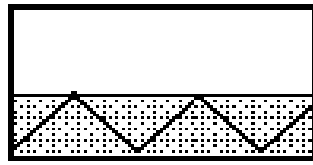


Мал. 14

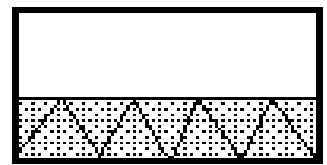
Зі збільшенням кута падіння, частка відбитого світла від плоскої поверхні скла зростає, а заломленого — зменшується. Як тільки кут падіння досягне деякого граничного значення — 42° , заломлений пучок почне ковзати вздовж плоскої грані півциліндра, і при незначному збільшенні кута падіння — зникає зовсім. При цьому яскравість відбитого пучка різко зростає і стає однаковою з яскравістю падаючого пучка.



а



б



в

Мал. 15

При подальшому збільшенні кута падіння спостерігається тільки відбитий пучок. Він виходить зі скла без заломлення і залишає на поверхні диска добре видимий слід (мал. 14). Це явище називають повним відбиванням світла.

Повне відображення знаходить широке застосування в різних оптичних приладах, зокрема, у світлопроводах. Найпростішу модель світлопроводу демонструють на такій установці (мал. 15). Поруч із проєкційним апаратом або газовим лазером поміщають акваріум з водою. Направляють вузький пучок світла на бічну



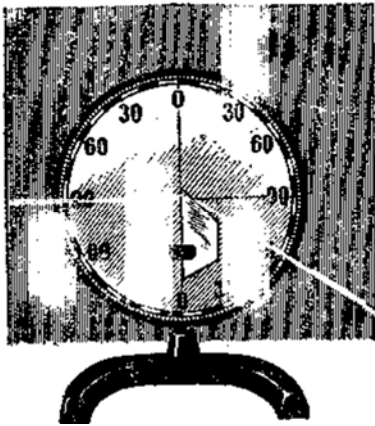
Мал. 16

стінку акваріума. У воді пучок заломлюється, а потім повністю відбивається від поверхні води і виходить з ванни з протилежної сторони, зазнавши ще раз заломлення. Щоб краще бачити хід пучка, у ванну вносять білий екран, або підливають розчин флюоресцеїну. Змінюючи кут падіння, демонструють багаторазове повне відбивання пучка від поверхні води і дна ванни — модель поширення

світла у світловоді (мал. 15).

Попередній дослід варто продовжити з *U*-подібною трубкою, заповненою гасом або водою (мал. 16).. Вихідний пучок світла направляють вертикально вниз. Пучок світла вносять у трубку з рідиною так, щоб він входив тільки в одне коліно. При цьому рідина в трубці починає світитися по всій довжині, начебто світло поширюється не прямолінійно, а криволінійно, відповідно до кривизни трубки.

Явище, яке спостерігається, пояснюють повним відбиванням світла на границі „скло–повітря” і частковим розсіюванням світла. Багаторазове відбивання на границі „гас–скло” (або „вода–скло”) не має значення через малу відмінність показників заломлення цих середовищ.



Мал. 17

7. Заломлення і повне відбивання світла в призмі

Обладнання: диск оптичний, апарат проєкційний, діафрагми з однією розсувною щілиною, діафрагма з двома щілинами, скляна пластинка, скляна призма, світлофільтр.

На оптичному диску закріплюють скляну пластинку, яка має форму трапеції. Вершина гострого кута 45° повинна небагато виступати за центр диска (мал. 17). На грань пластинки, яка відіграє роль призми, направляють вузький горизонтальний пучок світла. Пучок світла, здійснивши подвійне заломлення, виходить у повітря, помітно відхилившись від свого попереднього напрямку. Кут відхилення приблизно відраховують по градусних поділках диска.

Повертаючи повільно диск із призмою, показують, що кут відхилення заломленого пучка змінюється і досягає мінімального значення тоді, коли кут входу пучка дорівнює куту виходу.

Потім у центрі диска встановлюють пластинку гострим кутом 60° і повторюють дослід. Виявляється, чим більший заломлюючий кут призми, тим більший кут найменшого відхилення пучка. Для даної скляної призми, із заломлюючими кутами 45° і 60° , кути найменшого відхилення рівні 25° і 40° .

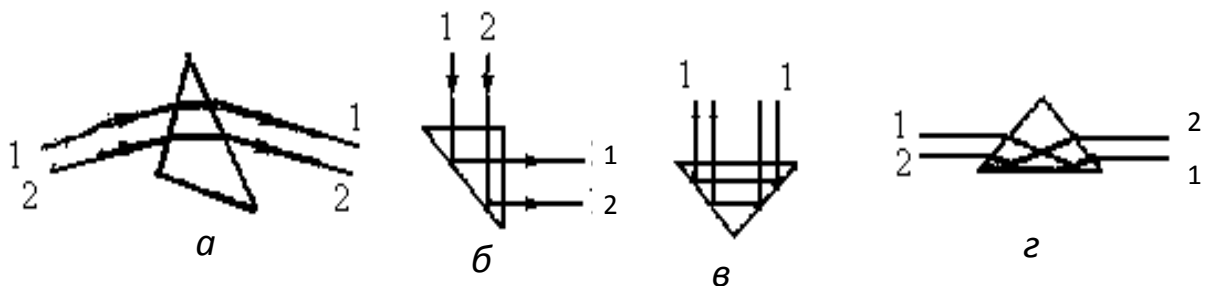
Пластинку у вигляді трапеції замінюють рівнобедреною прямокутною призмою. Її закріплюють на диску так, щоб грань, що лежить проти прямого кута, збігалася з діаметром диска.

Два вузьких горизонтальних пучки світла направляють на призму. Спочатку пучки світла направляють на катет призми під деяким гострим кутом, і спостерігають звичайне заломлення світла. Заломлені пучки відхиляються до основи призми (мал. 18 а).

Пучки напрямлені перпендикулярно до одного з катетів призми – не заломлюються і падають на гіпотенузу під кутом 45° (мал. 18 б).

Тут будемо спостерігати повне відбивання, тому що кут падіння більший граничного – 42° і пучки виходять із призми перпендикулярно до другого катета, не змінюючи свого напрямку. Таким чином, призма повертає пучки світла на 90° .

Після цього пучки направляють перпендикулярно гіпотенузі призми. Пучки проходять цю грань без зміни свого напрямку, двічі



Мал. 18

відбиваються і виходять із призми (мал. 18 в), міняючись місцями.

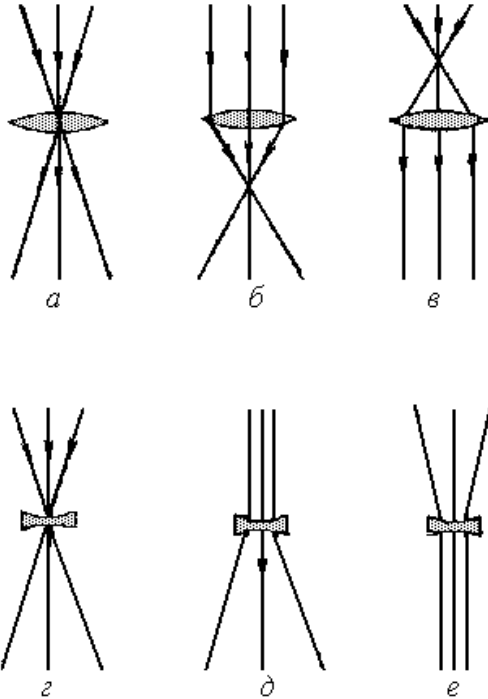
Нарешті, пучки направляють паралельно гіпотенузі призми на один з її катетів. Після подвійного заломлення й однократного повного відбивання, пучки виходять із призми по тому ж напрямку, міняючись місцями (мал. 18 г).

8. Хід променів у збиральній та розсіювальній лінзі

Обладнання: прилад для вивчення законів оптики, апарат проєкційний, лінзи порожнисті наливні: двоопукла і двоугнута, ванна скляна (або акваріум), штатив універсальний, насичений розчин кухонної солі.

Прилад для вивчення законів геометричної оптики встановлюють так, щоб на екрані були чіткі паралельні вузькі промені світла.

З підготовленою установкою в затемненому класі демонструють наступні досліди:



Мал. 19

1. Відкривають середню щілину й одержують на екрані білу смужку, яка зображає головну оптичну вісь лінзи. Потім направляють пучки вздовж побічних оптичних осей лінзи (мал. 19 а). Звертають увагу на те, що всі три пучки проходять оптичний центр лінзи майже без зміни свого напрямку.

2. На лінзу направляють три пучки, паралельні головній оптичній осі. Пройшовши лінзу, пучки перетинаються в одній точці – головному фокусі лінзи (мал. 19 б). За допомогою лінійки вимірюють головну фокусну відстань лінзи. Після цього пучки роблять збіжними і розбіжними. У першому випадку, їх

точка перетину виявляється вище, а в другому – нижче головного фокуса.

3. Бічні пучки направляють на лінзу так, щоб вони попередньо перетнули головну оптичну вісь у точці, яка лежить перед лінзою. Якщо ця точка збігається з головним фокусом, то після лінзи пучки йдуть паралельно (мал. 19 в), в іншому випадку – будуть або збіжні, або розбіжні.

Аналогічну серію дослідів проробляють з угнутою лінзою:

1. Спочатку пучки світла направляють через оптичний центр лінзи. Пучки проходять лінзу, зберігаючи свій початковий напрямок (мал. 19 г). Бічне зміщення крайніх пучків виявляється ледь помітним. Останнє пояснюється тим, що середина в розсіювальній лінзі тонша, ніж у збиральній.

2. На лінзу направляють три паралельні пучки, які пройшовши лінзу, розходяться в різні сторони. Причому кожен пучок поступово розширюється і тому швидко зменшується їх яскравість (мал. 19 д). Точка перетину цих ліній з головною оптичною віссю лінзи буде уявним фокусом лінзи. Вимірюють величину головної фокусної відстані.

3. Пучки світла направляють на лінзу так, щоб їх продовження за лінзою проходило через головний фокус лінзи. Після лінзи пучки йдуть паралельно до головної оптичної осі (мал. 19 е).

Учні повинні твердо запам'ятати хід цих пучків через лінзи, тому що їх використовують для побудови зображень.

Завдання III. Виконати лабораторні роботи, дотримуючись

методичних вимог, щодо оформлення їх письмового звіту:

1. Визначення показника заломлення скла

Обладнання: скляна пластинка, що має форму трапеції, аркуш паперу, лінійка.

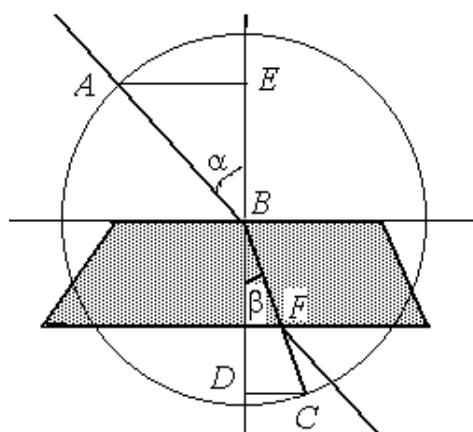
Теоретичні відомості

На межі двох середовищ промінь світла змінює свій напрям. Якщо друге середовище прозоре, то частина променя світла піде в нього, змінивши, як правило, напрям свого поширення. Промінь, який поширюється в першому середовищі, називається падаючим, а та частина його, яка поширюється в другому середовищі – заломленим променем. Кут α між падаючим променем і перпендикуляром, опущеним у точку падіння на межу двох середовищ, називається кутом падіння, а кут β між заломленим променем і перпендикуляром називається кутом заломлення. Згідно із законом заломлення, відношення синуса кута падіння до синуса кута заломлення для двох середовищ є величина стала.

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \quad (1)$$

Величину n називають показником заломлення другого середовища відносно першого. Його можна знайти таким чином.

Пластинку розміщують на аркуші паперу так, щоб одна з її паралельних граней збігалася із завчасно відміченою лінією на папері. Ця лінія позначатиме межу поділу “повітря–скло”. Проводять лінію вздовж другої паралельної грані, яка зображає межу поділу “скло–повітря”. Після цього, не зміщуючи пластинки, направляють на неї вузький пучок світла. Вздовж променя ставлять



Мал. 19

олівцем точки і після вимкнення лампочки, з'єднують їх (мал. 19). Далі за допомогою циркуля будують коло з центром в точці B і – прямокутні трикутники ABE і CBD .

Оскільки $\sin \alpha = \frac{AE}{AB}$, $\sin \beta = \frac{CD}{BC}$ і $AB = BC$, то формула (1)

для визначення показника заломлення скла матиме вигляд:

$$n = \frac{AE}{DC}. \quad (2)$$

Дослід повторити декілька разів для різних значень кута падіння і визначити показник заломлення. Результати вимірювань занести до таблиці.

Висновок:

2. Визначення оптичної сили і фокусної відстані збиральної лінзи

Обладнання: лінійка, два прямокутних трикутники, довгофокусна збиральна лінза, лампочка на підставці, джерело струму, вимикач, з'єднувальні провідники, екран, напрямна рейка.

Теоретичні відомості

Найпростіший спосіб вимірювання оптичної сили і фокусної відстані лінзи ґрунтується на використанні формули лінзи:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = D, \quad \text{або} \quad \frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}.$$

Як предмет беруть нитку розжарення лампочки, дійсне зображення якої утворюється на екрані.

Порядок виконання роботи:

1. Скласти коло, приєднавши лампочку до джерела струму через вимикач.
2. Поставити лампочку й екран на стіл, а між ними встановити лінзу.
3. Переміщаючи лінзу вздовж рейки знайти на екрані чітке збільшене і зменшене зображення нитки розжарення.
4. Ретельно виміряти відстані d і f .

5. Не змінюючи відстані між екраном і лампочкою, повторити дослід кілька разів. Кожен раз треба намагатися отримати чітке зображення предмета. Обчислити: f_c , D_c , F_c .
6. Обчислити абсолютну похибку ΔD вимірювання оптичної сили лінзи. Результати записати у вигляді:

$$D - \Delta D \leq D \leq D + \Delta D.$$
7. Результати вимірювань і обчислень записати в таблицю.

$N_{\text{о}}$ n/n	$d, \text{ м}$	$f, \text{ м}$	$F, \text{ м}$	$D, \text{ дптр}$
1				
2				
3				
Сер.				

Висновок:

Лабораторна робота № 8

Випромінювання і спектри

Мета: оволодіти методикою і технікою шкільного фізичного експерименту з теми "Випромінювання і спектри".

Завдання I. Опрацювати відповідний навчальний матеріал за шкільними і вузівськими підручниками.

Завдання II. Набути умінь і навичок у виконанні таких демонстрацій:

1. Одержання суцільного спектра

Обладнання: проекційний апарат, призми дисперсійні “Крон” і “Флінт”, призма прямого зору, екран.

Одержання яскравого й чіткого суцільного спектра на екрані, необхідно не тільки для демонстрації явища дисперсії, але і для демонстрації лінійчатих спектрів випромінювання, спектрів поглинання, додавання спектральних кольорів і проведення інших дослідів.

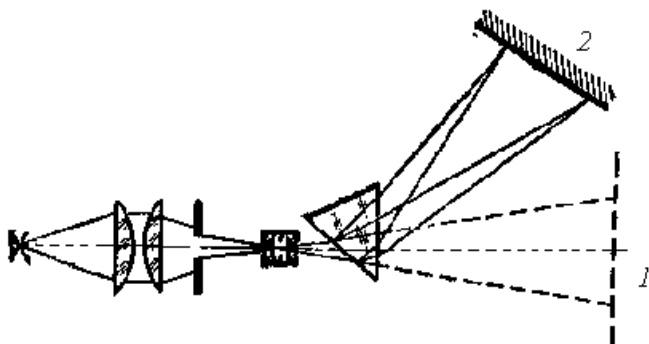
Установка збирається на лаві проекційного апарата з освітлювача, щілини, об'єктива і тригранної призми „Флінт”, як показано на схемі (мал. 1).

За допомогою об'єктива одержують на екрані збільшене, чітке, рівномірно освітлене зображення щілини.

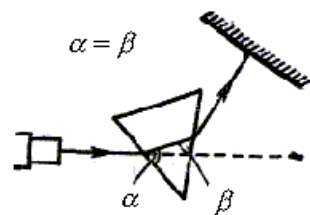
Після об'єктива на піднімальному столику встановлюють призму так, щоб її заломлююче ребро було паралельне щілині, а весь пучок світла проходив крізь грані заломлюючого кута. Тоді на екрані, переставленому з положення 1 у положення 2, при повному затемненні класу, буде добре видно суцільний спектр.

Для більш точної установки призми її злегка повертають навколо вертикальної осі доти, поки кут між пучком світла, що виходить із призми, і головною оптичною віссю об'єктива не стане мінімальним (метод мінімального відхилення заломленого променя). У такому положенні заломлений пучок світла буде спрямований паралельно основі призми, і утворить з бічними гранями рівні кути (мал. 2).

Щоб показати залежність довжини спектра від роду речовини призми (при тому самому заломлюючому куті), дослід продовжують із другою призмою такого ж розміру, але „Крон”. Призму „Крон” встановлюють на першу призму так, щоб їхні площини і ребра збіглися, а пучок світла з об'єктива - попадав на обидві призми. При цьому на екрані одержуємо одночасно два



Мал. 1



Мал. 2

спектри, які зручно порівнювати (спектр від призми „Флінт” виявляється більш розтягнутим).

Суцільний спектр виходить значно яскравіший і чіткіший, якщо користуватися призмою прямого зору. У цьому випадку екран встановлюють на продовженні головної оптичної осі конденсора й об'єктива. В іншому - підготовка установки для одержання спектра із призмою прямого зору не відрізняється від описаної вище. Учням треба коротко розповісти про будову призми прямого зору, і по мал. 3 пояснити хід крайніх пучків видимого спектра (червоного і фіолетового). При цьому можна вказати, що в такій призмі кути α_1 та α_2 і показники заломлення n_1 і n_2 підібрані так, щоб один з кольорових пучків виходив із призми по напрямку падаючого пучка, а дисперсія виходила б по можливості найбільшою.

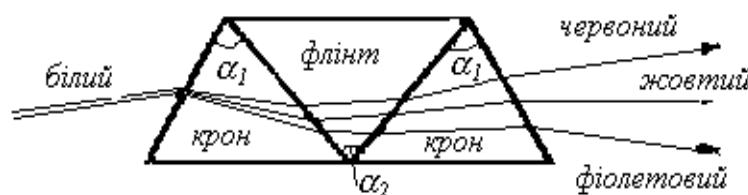
2. Додавання спектральних кольорів

Обладнання: апарат проєкційний, призма дисперсійна „Флінт” або призма прямого зору, прилад для додавання кольорів спектра, екран.

Одержавши за допомогою проєкційного апарата й призми прямого зору яскравий і чіткий суцільний спектр на переносному екрані, поміщають за нею прилад для додавання кольорів спектра (мал. 4). Установку збирають за схемою, зображеною на мал. 4 а.

Відстань від приладу до призми підбирають такою, щоб весь спектр (від червоних до фіолетових променів) потрапляв на дзеркала приладу.

Внаслідок відбивання пучків від дзеркал приладу, на екрані, який переміщений тепер у нове положення, одержують окремі монохроматичні смуги. Не змінюючи установки, обережно повертають за головки дзеркала так, щоб усі відбиті до екрана монохроматичні пучки світла зібралися в одну вузьку смужку.



Мал. 3

Кольори спектра, накладаючись один на один, дадуть на екрані білий колір, близький до того, який дає джерело світла.

По черзі, накладаючи на екран кольорові смуги, одна на одну, можна демонструвати змішування двох або декількох окремих кольорів, наприклад, жовтого із синім (виходить зелений), червоного з жовтим (виходить жовтогарячий) і т.д.

Збираючи на екрані в одну смужку всі кольори спектра, крім одного, наприклад, червоного, одержують порівняно яскраву зелено-блакитну смужку. Поруч із нею поміщають червону. Звертають увагу на те, що ці кольори є додатковими: при їх накладанні утворюється білий колір.

Таким самим прийомом показують утворення ще декількох інших пар додаткових кольорів.

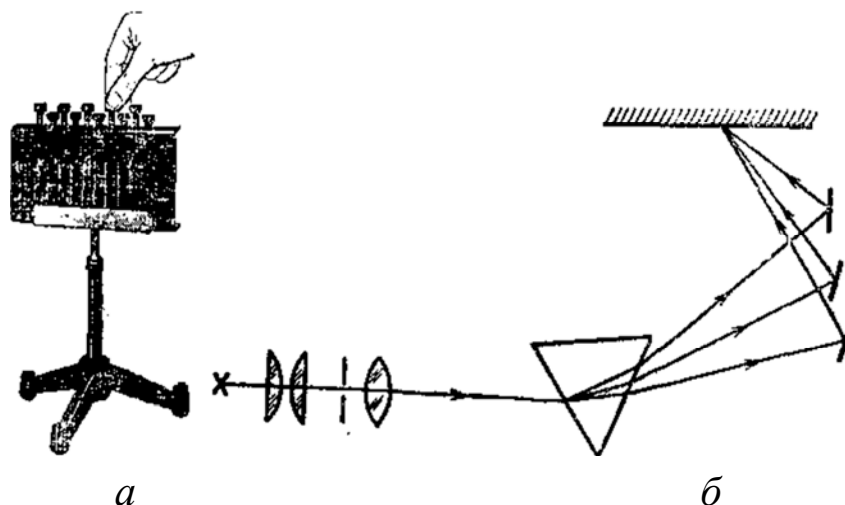
3. Одержання лінійчатого спектра випромінювання

Обладнання: освітлювач ультрафіолетовий, призма прямого зору або дисперсійна.

Найбільш просту й зручну установку для спостереження на екрані лінійчатого спектра випромінювання можна одержати при використанні ртутно-кварцевої лампи. У цьому випадку вся підготовка установки проводиться так само, як і для одержання суцільного спектра (див. дослід 1). Тільки замість освітлювача з лампою розжарення встановлюють на оптичній лаві проекційного апарата ультрафіолетовий освітлювач із ртутно-кварцевою лампою. На екрані учні зможуть побачити лінії спектра парів ртуті.

4. Демонстрація спектрів поглинання

Обладнання: апарат проекційний, призма прямого зору,



Мал. 4

спиртівка або свічка, кювета прямокутна для проектування, світлофільтри скляні (набір), суміш сухого спирту й сульфату натрію.

При вивченні спектрів поглинання досить важливо показати “обертання” лінії натрію.

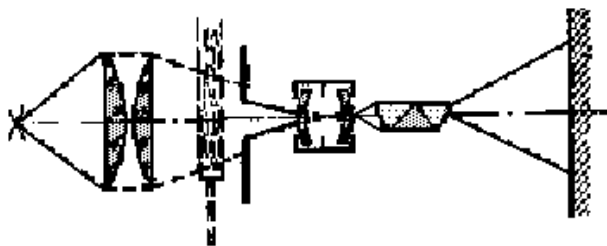
Спочатку одержують на екрані чітке зображення суцільного спектра. Потім встановлюють пальник із запаленою сумішшю між щілиною і конденсором проекційного апарату. Світло від конденсора повинно проходити через пофарбоване полум'я (мал. 5). При цьому на екрані з'являється добре видима темна вузька лінія поглинання натрію. Якщо після цього наполовину закрити щілину картонкою, помістивши її знизу між конденсором і полум'ям, то на одній половині екрану буде спостерігатися на темному тлі жовта лінія випромінювання натрію, а на іншій половині - темна лінія поглинання. Лінії переходять одна в одну при не дуже різкій границі між ними. Якщо повністю закрити конденсор, то буде видно лише одну жовту лінію випромінювання натрію.

Для демонстрації спектрів поглинання рідких світлофільтрів, варто заздалегідь приготувати водні розчини марганцевокислого калію або мідного купоросу. Ці розчини зберігають у колбах. Перед демонстрацією необхідний розчин наливають у кювету, яку встановлюють у рейтер проекційного апарату між щілиною й об'єктивом.

Так само демонструють на екрані спектри поглинання твердих тіл – світлофільтрів. При цьому на екрані буде видно не окремі лінії, а цілі смуги поглинання.

Завдання III. Виконати лабораторну роботу, додержуючись методичних вимог щодо оформлення її письмового звіту:

Лабораторний практикум. Лабораторна робота №6



Мал. 5

“Проведення якісного спектрального аналізу речовини”

Мета роботи: Ознайомитися з методом якісного спектрального аналізу.

Обладнання: спектроскоп двотрубний з відліковим мікрометричним гвинтом, трубки спектральні, прилад для засвічування спектральних трубок "Спектр", джерело електроживлення, дротина із жмутком вати на підставці, колба із спиртом, сіль кухонна.

Теоретичні відомості:

Цю роботу виконують за допомогою спектроскопа, зображеного на рис. 6.1, де 1 - окуляр; 2 - зорова труба, 3 - об'єктиви, 4 - коліматор, 5 - щілина, 6 - мікрометричний гвинт. Схему спектроскопа і хід променів у ньому показано на рис. 6.2.

Розбіжний світловий пучок, який іде від джерела світла, розміщеного поблизу щілини коліматора, проходить крізь щілину в головному фокусі лінзи (об'єктива коліматора) і після лінзи паралельним пучком падає на грань скляної призми.

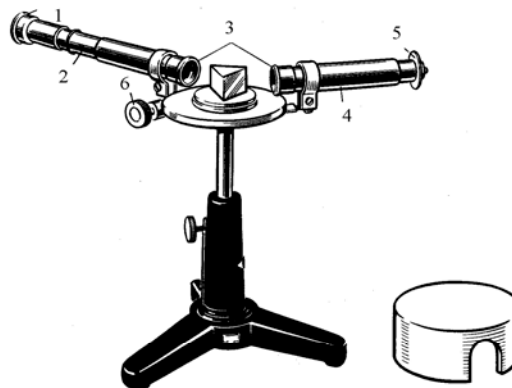


Рис. 6.1

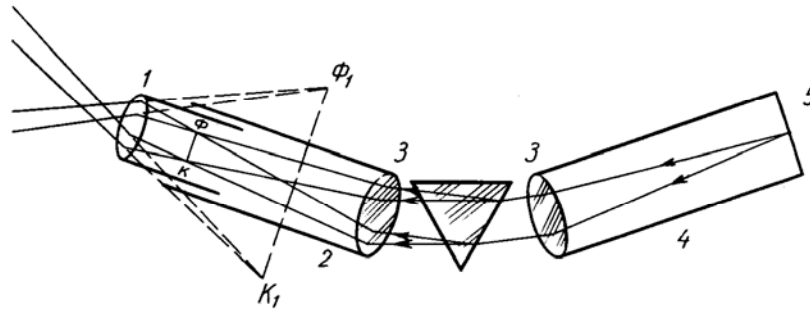


Рис.6.2

У призмі цей пучок відхиляється до основи і розкладається на складові кольорові пучки, оскільки різним частотам відповідають різні кути заломлення. Після виходу із призми ці пучки ще раз відхиляються до основи призми та йдуть в об'єктив зорової труби.

Пройшовши об'єктив, кожний пучок одноколірних променів утворює у фокальній площині об'єктива дійсне кольорове зображення щілини коліматора. З безлічі таких зображень утворюється спектр, червона ділянка якого лежить у напрямі до вершини призми, а фіолетова - до основи.

Зорову трубу на певній лінії спектра фіксують за допомогою тонкої вертикальної нитки, яку натягнуто всередині труби в тій самій площині, де утворюється спектр. Розглядаючи дійсне зображення спектра (і нитки) через окуляр, як через лупу, видно тільки частину спектра. Щоб розглянути окремі частини спектра, зорову трубу треба повертати, користуючись мікрометричним гвинтом, будова якого подібна до будови мікрометра.

Щоб можна було за розміщенням ліній у спектрі визначити в джерелі випромінювання наявність тих чи інших хімічних елементів, спектроскоп треба градуювати. Для цього спостерігають вже відомий спектр якого-небудь світлого газу. Довжину хвилі, яка відповідає кожній із спостережуваних ліній, беруть із довідника. Потім суміщають нитку зорової труби з кожною із спектральних ліній, знімають покази відлікового пристрою і будують криву. Для цього на вертикальній осі відкладають відомі довжини хвиль, а на горизонтальній — покази мікрометра, які їм відповідають (зняті під час досліду).

Після градуювання, спостерігаючи лінійчастий спектр невідомої речовини, на побудовану криву наносять покази мікрометра. Користуючись такою кривою, для кожної нової спектральної лінії можна визначити довжину хвилі, а потім з

довідника можна дізнатися, спектру якого елемента належать ці лінії.

Хід роботи.

Завдання 1. Градування спектроскопа:

1. Ознайомтеся з будовою спектроскопа (рис.6.1).
2. Вставте трубку з гелієм у тримач приладу для засвічування спектральних трубок і приєднайте прилад через вимикач до джерела постійного струму напругою близько 6 В. Щілину коліматора підведіть впритул до спектральної трубки й увімкніть струм.
3. Спостерігаючи через окуляр зорової труби, обертайте мікрометричний гвинт, щоб поступово побачити всі спектральні лінії ртуті. Переміщенням окуляра добийтеся різкого їх зображення.
4. Мікрометричним гвинтом поверніть зорову трубу вправо так, щоб у полі зору з'явилася крайня червона спектральна лінія. Сумістіть зображення вертикальної нитки з цією лінією і запишіть покази мікрометра в таблицю. Мікрометричний гвинт має крок 1 мм, а головку його поділено на 50 рівних частин - отже, ціна поділки на головці - 0,02 мм. Цілі міліметри відлічуйте за нерухомою шкалою на циліндрі, а соті частки — за шкалою на головці гвинта.

Колір лінії	Покази мікрометра, мм	Довжина хвилі за довідником, нм
Червона		728
Червона		668
Жовта		588
Зелена		502
Зелена		492
Голуба		471

Синя	447
------	-----

5. Обертаючи мікрометричний гвинт, пересувайте зорову трубу до суміщення нитки з кожною з наступних спектральних ліній. Для кожної лінії зніміть покази мікрометра і запишіть їх у таблицю проти зазначених довжин хвиль гелію, взятих з довідника.
6. За записами показів мікрометричного гвинта і довжинами хвиль, які відповідають цим показам, побудуйте криву. Для цього на осі абсцис відкладіть покази мікрометра, а на осі ординат — довжину світлових хвиль, взявши відповідний масштаб. Через знайдені точки проведіть плавну криву.

Завдання 2. Вимірювання довжини хвиль, які відповідають спектральним лініям пари різних газів, за побудованою кривою:

1. Змочіть вату на дротині і закріпіть її за допомогою підставки на висоті щілини коліматора. Запаліть вату і спостерігайте слабкий суцільний спектр. Осипте вату, на якій горить спирт, дрібною кухонною сіллю і спостерігайте появу на фоні суцільного спектра яскравої жовтої лінії пари натрію. Сумістіть з нею нитку і запишіть покази мікрометричного гвинта. Користуючись побудованою кривою, визначте довжину хвилі жовтої лінії натрію. Для цього на осі абсцис відкладіть показ мікрометричного гвинта, з цієї точки опустіть перпендикуляр і продовжить його до перетину з побудованою кривою. Опустіть з точки перетину перпендикуляр на вісь ординат і знайдіть відповідне значення довжини хвилі.
2. Трубку з гелієм у приладі для засвічування спектральних трубок замініть трубкою з іншим газом (Kr, H) і описаним вище способом виміряйте довжини хвиль деяких спектральних ліній, запропонованих учителем.
3. За результатами досліджень зробіть висновок.

Лабораторна робота №9

Квантова механіка

Мета: оволодіти методикою й технікою проведення демонстрацій з теми: "Квантова механіка".

Завдання I: Опрацювати відповідний навчальний матеріал за шкільними та вузівськими підручниками.

Завдання II: Набути вмінь і навичок у виконанні таких демонстрацій:

1. Зовнішній фотоефект

Обладнання: ультрафіолетовий освітлювач „Фотон”, підставка освітлювача, електрометр, секундомір, цинкова і мідна пластинки, ебонітова і скляна палички, хутро, або шкіра, скло, оптична лава універсальний штатив.

Ультрафіолетовий освітлювач „Фотон” за допомогою підставки встановлюють на рейтері оптичної лави або універсальному штативі. На відстані 40 см від освітлювача розміщують електрометр (мал. 1). На його стержні закріплюють цинкову пластинку, попередньо з однієї сторони зачищену до блиску. Пластину повертають зачищеною стороною до освітлювача і заряджають негативно від ебонітової палички. Тоді вмикають ультрафіолетовий освітлювач „Фотон” і освітлюють цинкову пластину. При цьому спостерігають поступову втрату цинковою пластинкою негативного заряду. Звертають увагу на те, що розряд електрометра починається одразу ж після освітлення пластинки і одразу ж припиняється, якщо світло лампи припиняється.

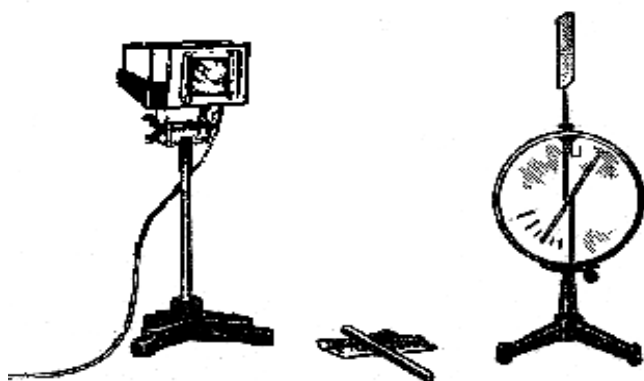
Далі заряджають цинкову пластину позитивним зарядом (від скляної палички) і також освітлюють ультрафіолетовими променями. Стрілка електрометра залишається нерухомою навіть при тривалому опроміненні.

Світло не може вибити із цинку позитивні заряди, а електрони з позитивної пластини не вибиваються тому, що вони утримуються електричним полем позитивного заряду.

Тоді освітлюють незаряджену пластинку. Фотоефект, який почався на ній у перший момент дуже швидко припиняється, тому що, втративши частину електронів, пластинка виявляється зарядженою позитивно, а електрони утримуються полем позитивного заряду. Цей заряд дуже малий і шкільний електрометр не виявляється.

Якщо до цинкової пластинки поступово наближати позитивно заряджену скляну паличку, стрілка електрометра все більше відхиляється від нульової поділки шкали і не повертається до неї після віддалення палички. Дослідження показує, що заряд, який залишився на пластинці, є позитивним. Це означає, що цинк під дією падаючих на нього променів втрачав електрони. Цей процес продовжувався увесь час, оскільки електричне поле позитивно зарядженої палички допомогло видалити з пластини негативний заряд, що і призвело до накопичення на електрометрі значного позитивного заряду, який уже можна виявити.

Ці досліди переконують учнів у тому, що причиною виходу зарядів з цинкової пластини є світло і що під дією його квантів з неї вибиваються тільки негативні заряди – електрони.



Мал. 1

Учням пояснюють, що практично миттєве виникнення фотоефекту не можна пояснити з погляду хвильових уявлень про світло, згідно з якими, між початком опромінення і моментом вильоту електрона повинний пройти деякий час, зв'язаний з поступовим накопиченням електроном

енергії, за рахунок поглинання падаючих хвиль.

Безінерційність фотоефекта доводить квантову природу світла. Електрон, одержавши при сприятливих умовах енергію окремого кванта, відразу залишає поверхню речовини.

3. Дослід Столетова.

Обладнання: цинкова пластина із сіткою в корпусі, освітлювач ультрафіолетовий „Фотон”, джерело живлення ВУП 2, оптична лава або універсальні штативи, підсилювач електронний

до гальванометра (навчальний), гальванометр демонстраційний М1032.

З'єднують прилади за схемою, показаною на мал. 3.

Освітлювач „Фотон” розташовують на одному рівні із сіткою на відстані 10-15 см. Включають універсальний випрямляч і подають на установку постійну напругу. Перевіряють положення світлового показчика, при необхідності, поворотом ручки установки нуля підсилювача, повертають його на нульову позначку шкали. Потім включають освітлювач „Фотон” і спостерігають за показами гальванометра. Для доказу того, що струм у колі виникає в результаті виривання електронів з поверхні цинкової пластини, при її опроміненні ультрафіолетовим світлом, а не іонізацією повітря між цинковою пластинкою і сіткою, варто повторити дослід, змінюючи полярність джерела струму. Досліди показують, що струм у колі виникає тільки в тому випадку, коли сітка приєднана до позитивного полюса джерела струму.

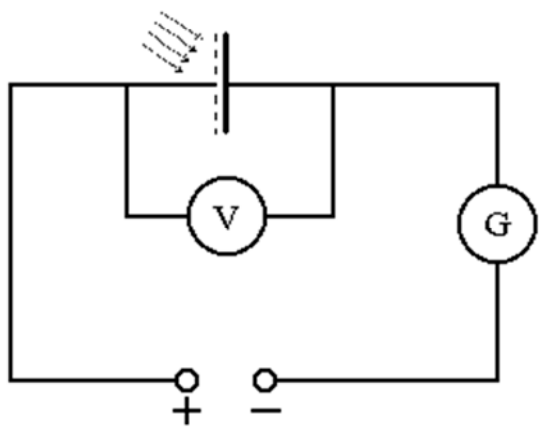
Якщо між освітлювачем і цинковою пластинкою із сіткою помістити скло, то струм в колі зникає, тобто фотоефект зникає. Цей дослід показує існування червоної межі фотоефекту.

4. Основні закони зовнішнього фотоефекта

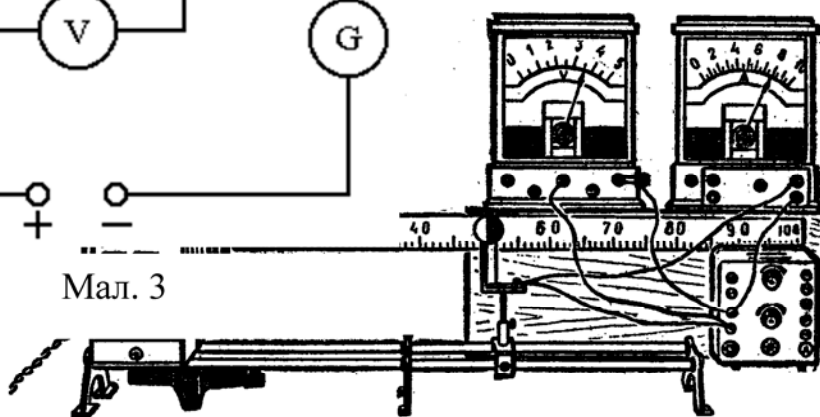
Обладнання: фотоелемент на підставці, гальванометр демонстраційний від амперметра, вольтметр демонстраційний, випрямляч універсальний ВУП, апарат проєкційний, реостат опором 600 Ом, метр демонстраційний, штатив універсальний.

Для демонстрації законів фотоефекта збирають установку згідно мал. 4. З проєкційного апарата знімають конденсор. За проєкційним апаратом горизонтально встановлюють

демонстраційний метр так, щоб його початок був проти нитки розжарення лампи. У рейтер

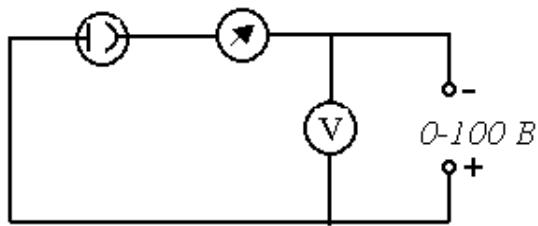


Мал. 3



Мал. 4

закріплюють вакуумний фотоелемент на підставці, вмикають в електричне коло за схемою, показаною на мал. 5.



Мал. 5

Регульовану постійну напругу беруть від універсального випрямляча (клемі 0 ± 100) і контролюють демонстраційним вольтметром. Коротко пояснюють зібрану установку і у напівзатемненому класі приступають до демонстрації дослідів:

1. Фотоелемент встановлюють на відстані приблизно 40 см від лампи і при незмінному світловому потоці поступово збільшують напругу на його електродах. Струм спочатку збільшується пропорційно прикладеній напрузі, а потім досягає деякого постійного значення (струм насичення).

Учням пояснюють, що струм насичення виникає в той момент, коли всі електрони, які вилітають з катода, доходять до анода. Подальше збільшення струму може бути досягнуто лише при збільшенні світлового потоку. Наближають фотоелемент до лампи і переконуються в цьому.

2. Фотоелемент повертають у попереднє положення, і при незмінній напрузі на електродах, відмічають на гальванометрі величину струму насичення. Потім світловий потік, що падає на фотоелемент, зменшують у чотири рази (збільшують відстань між фотоелементом і лампою у два рази), при цьому струм зменшується в чотири рази.

Отже, сила струму, зумовлена числом електронів, які вилітають за одиницю часу, прямо пропорційна падаючому світловому потоку (закон Столетова).

Завдання III. Виконати лабораторну роботу, додержуючись методичних вимог щодо оформлення її письмового звіту:

Вимірювання роботи виходу електронів у вакуумному фотоелементі

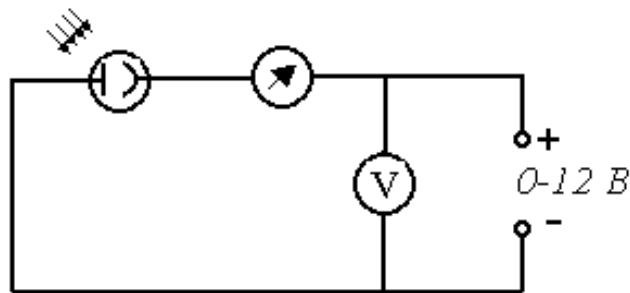
Обладнання: фотоелемент на підставці, гальванометр демонстраційний від амперметра, підсилювач до гальванометра, вольтметр демонстраційний, випрямляч універсальний ВУП, електрична лампочка розжарення на підставці, з'єднувальні провідники.

Якщо фотоелемент освітлювати, то з катода вириваються електрони і створюють струм у колі фотоелемента. Джерело постійної напруги ввімкнемо послідовно з фотоелементом, позитивний полюс якого з'єднано з катодом, а негативний – з анодом. За такого вмикання електричне поле між катодом і анодом перешкоджає руху електронів у бік анода. Якщо робота подолання затримуючого потенціалу дорівнює кінетичній енергії найшвидших електронів, які вириваються з катода внаслідок фотоэффекту:

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

то сила струму в колі фотоелемента дорівнюватиме нулю.

Виходячи з рівняння Ейнштейна:



Мал. 8

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

і умови запирання фотоструму, 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:

$$A = h\nu - eU. \quad (4)$$

Щоб виділити із суцільного спектра випромінювання з певною частотою ν використовують синій світлофільтр з оптичного скла, який пропускає світло з довжиною хвилі до 420 нм .

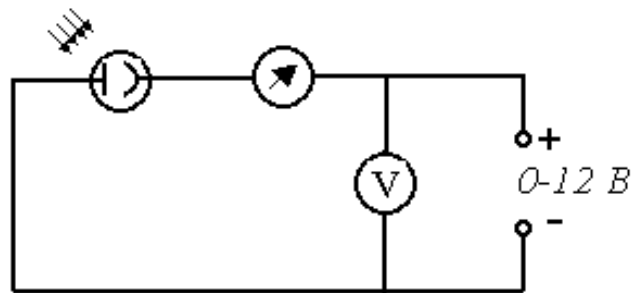
Електричну схему установки зображено на мал. 8.

Послідовність виконання роботи:

1. Підготуйте лабораторну установку до вимірювань. Зверніть увагу, що позитивний полюс джерела напруги має бути з'єднаний з катодом фотоелемента.

2. Вставте у віконце перед фотоелементом синій світлофільтр і освітіть фотоелемент. Плавно збільшуючи напругу, яка подається на фотоелемент, зафіксуйте таке її значення U , за якого фотострум в колі запирається, тобто сила струму через гальванометр дорівнюватиме нулю.

3. За відомими значеннями частоти світла, яке пропускає світлофільтр, і виміряним значенням напруги запирання фотоструму обчисліть роботу виходу електрона з катода фотоелемента.



Мал. 8