

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

С.П. ВЕЛИЧКО, О.С. КУЗЬМЕНКО

**СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ У  
ФІЗИЧНОМУ ЕКСПЕРИМЕНТУВАННІ  
З ОПТИКИ**

Посібник для вчителів фізики

КІРОВОГРАД, 2014

УДК 53 (07)  
ББК 74.265.1  
В 27

Рецензенти:

*Бик А.С.* - кандидат педагогічних наук, доцент, заступник директора Кіровоградського обласного інституту післядипломної педагогічної освіти імені В.О. Сухомлинського.

*Вовкотруб В.П.* - доктор педагогічних наук, професор, завідувач кафедри фізики та методики її викладання Кіровоградського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка.

*Мартинюк М.Т.* - доктор педагогічних наук, професор, член кореспондент НАПН України, завідувач кафедри фізики та методики навчання Уманського державного педагогічного університету імені Павла Тичини.

***Величко С.П.***

В 27 Сучасні технології у фізичному експериментуванні з оптики: посібник для вчителів. / Величко С.П., Кузьменко О.С. – 2-е вид., перероб. і доп. – Кіровоград: КЛА НАУ, 2014. – 261 с.

**ISBN**

У посібнику розкриваються науково-теоретичні основи шкільного фізичного експерименту як ефективно діючої педагогічної системи у процесі навчання фізики, аналізуються різні види навчального експерименту, принципи функціонування шкільного кабінету фізики, шляхи і способи оптимізації педагогічного процесу в сучасній школі при вивченні фізики та сучасні тенденції й основні напрямки вдосконалення системи ШФЕ з оптики.

Описане нове сучасне обладнання з оптики та методика і техніка виконання на його основі демонстраційних і лабораторних дослідів у відповідності до діючої програми шкільного курсу фізики, що підвищують ефективність вивчення оптики й активізують самостійну пізнавально-пошукову діяльність учнів у поєднанні із сучасними інформаційними технологіями й комп'ютерними засобами їх реалізації у навчальному процесі.

Для вчителів фізики з метою реалізації та запровадження сучасних технологій у методику вивчення оптики за різнопрофільними програмами, буде корисний студентам фізико-математичних факультетів педагогічних ВНЗ й усім, кого цікавлять проблеми поліпшення фізичної освіти у загальноосвітніх навчальних закладах.

УДК 53(07)  
ББК 74.265.1

*Рекомендовано Вченою радою Кіровоградського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка як посібник для вчителів фізики загальноосвітніх навчальних закладів (протокол № 9 від 31.03.2014 р.)*

**ISBN**

© С.П. Величко, О.С. Кузьменко, 2014

## ЗМІСТ

<b>ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....</b>	<b>5</b>
<b>ПЕРЕДМОВА.....</b>	<b>6</b>
<b>РОЗДІЛ 1 НАУКОВО–ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ШКІЛЬНОГО ФІЗИЧНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ.....</b>	<b>10</b>
1.1 Психолого-педагогічні основи шкільного експерименту у навчальному процесі з фізики.....	10
1.2 Історико-генезисний розвиток навчального фізичного експерименту як складової процесу навчання фізики.....	14
1.3 Демонстрації з фізики.....	22
1.3.1 Техніка підготовки і проведення демонстраційних дослідів.....	24
1.4 Самостійні досліди і спостереження учнів.....	26
1.5 Фронтальні лабораторні роботи .....	29
1.6 Сутність фізичного практикуму.....	35
1.6.1 Значення фізичного практикуму.....	35
1.6.2 Підготовка фізичного практикуму.....	38
1.6.3 Вимірювання фізичних величин.....	39
1.6.4 Визначення похибок результатів вимірювань.....	44
1.6.4.1 Похибки прямих вимірювань.....	51
1.6.4.2 Похибки непрямих вимірювань.....	52
1.6.4.3 Типи похибок при прямих вимірюваннях. Класифікація похибок.....	53
1.6.5 Графічне зображення результатів експерименту.....	54
1.6.6 Вказівки до робіт практикуму.....	59
1.7 Система обладнання кабінету фізики сучасної школи.....	61
1.8 Педагогічні принципи функціонування шкільного кабінету фізики та системи ШФЕ.....	64
1.9 Оптимізація процесу навчання та навчального експерименту з фізики в загальноосвітніх навчальних закладах.....	70

1.10 Тенденції розвитку і вдосконалення навчального експерименту з оптики.....	75
<b>РОЗДІЛ 2 СУЧАСНЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ОПТИКИ.....</b>	<b>85</b>
2.1 Концептуальні засади розвитку методики навчання оптики в сучасній середній школі.....	85
2.2 Сучасне обладнання для вивчення оптики у загальноосвітніх навчальних закладах.....	91
<b>РОЗДІЛ 3 НАВЧАЛЬНІ ДОСЛІДИ З ОПТИКИ ПРИ ВИКОРИСТАННІ НОВОГО ОБЛАДНАННЯ.....</b>	<b>99</b>
3.1 Демонстраційний експеримент.....	99
3.2 Фронтальні лабораторні роботи.....	152
3.3 Роботи фізичного практикуму.....	169
3.4 Використання сучасних технологій у вивченні оптичних явищ.....	217
<b>ПІСЛЯМОВА.....</b>	<b>223</b>
<b>ДОДАТКИ.....</b>	<b>225</b>
<b>РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА.....</b>	<b>252</b>

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧАНЬ І ТЕРМІНІВ

- А – аналізатор;
- ВНЗ – вищі навчальні заклади;
- Д – діаграма;
- Дз – дзеркало;
- ДЗ – дидактичні засоби;
- ДР – дифракційна ґратка;
- ЗНЗ – загальноосвітні навчальні заклади;
- ЗН – засоби навчання;
- Е – екран;
- ЕОМ – електронно-обчислювальні машини;
- ЕОТ – електронно-обчислювальні технології;
- ІКТ – інформаційно-комунікаційні технології;
- КВО – комплект для вивчення оптики;
- НО – навчальне обладнання;
- НВП – навчально-виховний процес;
- НФЕ – навчальний фізичний експеримент;
- О – об’єктив;
- ОКГ – оптичний квантовий генератор;
- П – поляроїд;
- ПВВ – повне внутрішнє відбивання;
- ПЕОМ – програмована електронно-обчислювальна машина;
- ППЗ – програмно-педагогічні засоби;
- ППП – плоско паралельна пластинка;
- СІТН – сучасні інформаційні технології навчання;
- ЦНД – цілеспрямована навчальна діяльність;
- ШКФ – шкільний курс фізики;
- ШФЕ – шкільний фізичний експеримент.

## ПЕРЕДМОВА

Рівень загальноосвітньої підготовки випускників сучасної середньої школи великою мірою залежить від того, як кожний учень опановує систему фізичних знань, умінь і навичок, бо фізика, розкриваючи закони природи, розширює знання людини про природу й одночасно є основною складовою сучасного наукового світорозуміння та науково-технічного прогресу.

Сучасний навчальний процес з фізики у загальноосвітній школі базується на експериментальній основі та в оптимальному поєднанні враховує можливості запровадження теоретичного методу. При цьому незалежно від методу пізнання, покладеного в основу процесу навчання фізики, навчальний фізичний експеримент є обов'язковим його елементом і одночасно невід'ємною складовою методики навчання фізики як навчальної дисципліни.

Проблема подальшого розвитку і вдосконалення навчального фізичного експерименту на сучасному етапі актуалізувалася внаслідок переходу до варіативного навчання фізики та створення шкіл і класів різного профілю. У цих закладах фізико-математичні дисципліни вивчаються у різному обсязі й за різними програмами, а подекуди й за різними посібниками та підручниками, які не повною мірою відображають останні наукові й технічні досягнення та методи наукових досліджень, які формуються і розвиваються й одночасно широко використовуються у методиці навчання фізики. Це пов'язано з тим, що багато тем і розділів, які складають предмет дослідження у процесі навчання фізики, недостатньо теоретично представлені у змісті шкільного курсу фізики (ШКФ) та погано забезпечені системою шкільного фізичного експерименту (ШФЕ) для виконання різних видів навчальних дослідів і для вирішення різних дидактичних цілей.

Тому важливим є подальше вивчення проблеми розвитку системи ШФЕ з урахуванням сучасних вимог навчання фізики в загальноосвітніх навчальних закладах (ЗНЗ), виявлення шляхів подальшого вдосконалення цієї системи для забезпечення ефективної організації та проведення навчального процесу з фізики з метою активізації пізнавальної діяльності учнів.

Одним із ефективних напрямків, який уможлиблює розв'язати зазначені проблеми, є широке запровадження в навчально-виховному процесі новітніх технологій та сучасних засобів їх реалізації.

Необхідність втілення сучасного обладнання та інноваційних технологій у навчанні фізики та розробка засобів їхньої реалізації впливає з того, що понад двадцять років постачання школам будь-яких засобів навчання (ЗН) взагалі припинилося, бо в Україні відсутня промисловість з виготовлення навчального обладнання для середніх навчальних закладів.

Особливо такий стан характерний для вивчення тем курсу фізики згідно варіативних програм, де розглядаються питання сутності природних, і зокрема оптичних, явищ і тих законів та закономірностей перебігу оптичних процесів, що складають предмет останніх наукових досягнень і практичного використання у різних галузях діяльності людини, що представлені по-різному програмами поглибленого вивчення природничих дисциплін у ЗНЗ.

Разом з тим зазначимо, що важливим і значущим для вирішення питання розвитку творчої активної діяльності учнів є залучення школярів до конструювання і виготовлення саморобного обладнання, що дозволяє ефективно виконувати самостійні спостереження як в домашніх, так і в шкільних умовах, вивчаючи і досліджуючи фізичні явища з оптики. Тому доцільно знайомити учнів, наприклад, з особливостями поширення і властивостями світла, хвильовою оптикою, можливістю використання оптичних приладів на основі наявного і досить поширеного обладнання. За цих обставин вимагається розробка нових та вдосконалення відомих навчальних дослідів, лабораторних робіт та відповідно рекомендацій для їхнього ефективного виконання.

Поряд з цим аналіз сучасного стану методики і техніки шкільного фізичного експерименту вказує на те, що спостерігається значне оновлення та широке впровадження у навчальний експеримент комп'ютерної техніки.

У зв'язку з цим розробляються методичні рекомендації до лабораторних робіт та демонстрацій з оптики, що передбачають використання нового

сучасного обладнання, яке дозволяє ґрунтовно та ефективно виконувати спостереження, досліджувати та аналізувати результати експериментальних завдань і дослідницьких лабораторних робіт; запропоновано комп'ютерне представлення теоретичних відомостей та результатів лабораторних робіт і демонстрацій за допомогою програми Microsoft Power Point, обчислення результатів експериментальної роботи та побудови графіків за допомогою Excel; а також представлено **комп'ютерну тестову програму**, за допомогою якої вчителі можуть проводити оцінювання знань учнів та узагальнювати одержані результати, виконаних навчальних дослідів і експериментів.

Отже, розроблені і запропоновані методичні рекомендації для демонстраційних дослідів і фронтальних лабораторних робіт та робіт фізичного практикуму з оптики будуть корисними як вчителям загальноосвітніх навчальних закладів, так і студентам та викладачам фізики й методики навчання фізики у педагогічних ВНЗ, оскільки вони суттєво поліпшують методику навчання оптики, розкривають сутність оптичних явищ та процесів, базуються на новітніх сучасних технологіях, а також комп'ютерних програмах Microsoft Power Point, що розширює можливості принципу наочності, відповідно у поєднанні з науковістю у процесі навчання фізики в умовах реалізації змісту та вимог різнопрофільних програм.

Отже, в умовах сучасного розвитку фізичної освіти й удосконалення методики навчання фізики важливим постає питання глибшого розуміння і з'ясування сутності системи ШФЕ як основної компоненти процесу навчання. Удосконалення методики вивчення оптики в середніх ЗНЗ в умовах профільного навчання має базуватися на останніх наукових досягненнях дидактики фізики і враховувати можливості запровадження у навчальному процесі нової матеріально-технічної бази для оснащення сучасного кабінету фізики.

Вирішенню зазначеної проблеми присвячується цей посібник, у якому поряд з науково-теоретичними основами шкільного фізичного експерименту достатньо представлені нові сучасні прилади та навчальні комплекти, та

методика виконання відповідних демонстраційних дослідів, лабораторних робіт і фізичного практикуму з оптики та їх поєднання з ІКТ у процесі вивчення оптики.

# РОЗДІЛ 1

## НАУКОВО-ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ШКІЛЬНОГО ФІЗИЧНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ

### 1.1 Психолого-педагогічні основи шкільного експерименту у навчальному процесі з фізики

Вивчаючи курс фізики відповідно до сучасних програм у загальноосвітніх навчальних закладах, учні знайомляться з низкою найважливіших фізичних явищ, їх науковим поясненням, отримують уявлення про науковий світ та шляхи і можливості його пізнання. Таким чином, школярі усвідомлюють, як людина, спираючись на свої наукові знання, може перетворювати навколишній світ і навіть впливати на суспільний прогрес.

У методиці навчання фізики взагалі, і зокрема в сучасній профільній загальноосвітній школі, провідне місце відводиться шкільному фізичному експерименту з низки таких важливих аспектів, як:

1 – у навчально-виховному процесі шкільний фізичний експеримент є об'єктом вивчення і виступає у вигляді джерела знань;

2 – навчальний фізичний експеримент у процесі вивчення основного навчального матеріалу (ядра курсу фізики) і особливо тієї його частини, яка одержана внаслідок теоретичного методу пізнання, виступає критерієм істинності нових знань і слугує для більш повного і глибокого розуміння теоретичних висновків та важливих наслідків, які випливають із фізичних теорій;

3 – у процесі навчання шкільний фізичний експеримент дуже часто використовується як засіб наочності навчального матеріалу та засіб для підготовки учнів до активної самостійної пошукової діяльності, включаючи і навчально-пізнавальну діяльність з метою пізнання оточуючого світу.

Важливість шкільного фізичного експерименту у навчальному процесі впливає з того, що у процесі психологічного розвитку людини висхідною є практична її діяльність, в якій розвивається мислення, що на першому етапі

його формування є в основному наочно-дієвим, тобто дитина спершу аналізує і синтезує об'єкт вивчення, практично роз'єднуючи і з'єднуючи окремі елементи пізнавального предмета. У ході розвитку пізнавальної діяльності учня, тобто у процесі подальшого пізнання об'єкта, дитина починає мислити наочними образами, що сприяє розвитку наочно-образного мислення. Згодом на основі практичного і наочно-чуттєвого досвіду в учнів у ранньому шкільному віці починає розвиватись мислення у формі абстрактних понять, що виступають головним чином у формі абстрактних понять і міркувань. Ці поняття являють собою знання суттєвих властивостей об'єкта – предметів і явищ навколишнього світу, а також суттєвих зв'язків і співвідношень між ними.

Оволодіння поняттями під час засвоєння основ шкільних природничих дисциплін завжди відноситься до важливих актуальних проблем психології і дидактики як теорії навчання, серед яких чільне місце посідає фізика, що займає важливе місце разом з тим у розумовому розвитку особистості школяра. Зокрема, праці видатних психологів детально розкривають, які поняття, і в якій послідовності та за яких умов засвоюються учнями. Зокрема, Н.О. Менчинська стверджує, що засвоєння фізичних понять залежить від характеру тієї основи, на якій вони формуються (за одних умов сутність поняття може бути розкрита „у процесі сприйняття фактів чи явищ”, внаслідок чого здійснюється перехід від одиничного, конкретного до загального, абстрактного; в інших випадках – „основним джерелом є слово – визначення, в якому сутність поняття виражена в узагальненій формі”), і зумовлена наявністю „суперечностей між сприйняттями та умовиводами самого учня і тими формулюваннями визначень і правил, котрі він одержує у процесі навчання” [16]. При цьому психологічний зміст суперечностей зводиться до того, що наукове знання, яке вводиться в школі, або одержує підтримку у власному досвіді учня і тоді легко засвоюється ним, або наштовхується на внутрішній опір і спотворюється чи зовсім не сприймається учнем.

Відповідно рівень знань учнів великою мірою залежить від впливу на навчальний процес життєвого досвіду школяра. Якщо такий досвід учня не

суперечить науковому розумінню навчальних понять, тоді використання його як опори знань підвищує ефективність засвоєння нового навчального матеріалу; за інших причин і педагогічних умов він вступає у суперечність, що призводить до виникнення розриву в суттєвих ланцюжках у процесі формування знань, оскільки теоретичне знання виявляється відірваним від практичного досвіду, а самі практичні знання залишаються не включеними в систему наукових знань.

Таким чином, зовнішні дії, забезпечуючи необхідну керованість здатністю учнів навчатися, можуть виступати у двох формах: у вигляді дії на сам процес засвоєння знань і дій, на вже утворену в учнів систему думок і чуттів, на їх підхід до навчального матеріалу, на вже сформовані вміння і навички. Оскільки учень є одночасно і об'єктом, і суб'єктом навчання, то керування процесами його мислення повинно відбуватися як ззовні (з боку вчителя, навчаючої машини, ЕОМ, підручника і т.п.), так і шляхом самоконтролю. Тому, впливаючи на учня взагалі й у навчальному процесі з фізики зокрема, *необхідно впливати на його відношення до навчальної і практичної діяльності, одночасно озброюючи його узагальненими й ефективними прийомами самостійної роботи, активізувати пізнавально-пошукову діяльність школяра, формуючи цілеспрямовану навчальну діяльність.*

Таким чином, після завершення вивчення фізики в школі в учнів формується система наукових понять, що складають основу знань з фізики. На базі такої системи понять учні починають оперувати набутими знаннями і використовувати їх для різних цілей, зокрема, пояснення фактів і явищ, що спостерігаються у повсякденному житті, для використання знань на практиці у відповідній галузі, для створення відповідних машин і механізмів, що поліпшують умови праці тощо. Разом з тим набуті знання, уміння і навички складають базис фізики та з інших природничих дисциплін і дають можливість кожному випускнику ЗНЗ знайти своє місце в житті і реалізувати себе як активний індивід у суспільстві.

Виходячи із розглянутих психологічних висновків, можна стверджувати, що навчальний фізичний експеримент у процесі формування фізичних знань

займає особливе місце, оскільки він може бути використаний і як засіб зовнішньої дії на мислення учнів, і як досить важливий чинник, який діє на вже наявні в учнів знання, вміння і навички, тобто експеримент впливає на діяльність учня через його самоуправління.

Різноманітні прояви навчального фізичного експерименту під час емпіричного і теоретичного пізнання та виявлення багатогранних його дидактичних функцій у процесі навчання дозволяють вважати, що систему ШФЕ можна виділити як важливий об'єкт (компоненту) педагогічної системи процесу навчання, що здатний суттєво впливати на його хід і результати [16,с. 74-89].

Психологічні уявлення свідчать, що процес учіння слід оцінювати як трансформацію зовнішніх впливів у внутрішні процеси особистості. Така діяльність учня, зазвичай, відбувається або в мовних, або у сенсомоторних діях. До структури цієї діяльності входять спонукаючі, стимулюючі її мотиви; дії-процеси, які підпорядковуються, а також методи, прийоми і способи та засоби, що сприяють передачі певної порції знань у формі дій або у вигляді зовнішньої мови. Процес передавання й освоєння цих зовнішніх способів обов'язково відбувається у спілкуванні.

Водночас до важливих компонентів пізнавальної діяльності учнів відносяться мотиви учіння, тобто ті внутрішні збудники, якими керується учень, здійснюючи певні навчальні дії. Серед мотивів учіння важлива роль належить пізнавальним інтересам і пізнавальним потребам, джерелом яких є зміст навчальних дисциплін та сам процес пізнавальної діяльності. Зазвичай, досить високий рівень пізнавального інтересу породжує в учнів потребу в знаннях. При цьому пізнавальний інтерес і пізнавальні потреби перебувають у тісному взаємозв'язку. Тут варто констатувати, що пізнавальні потреби не завжди можуть бути сформованими високим рівнем пізнавального інтересу, а й наприклад, такими мотивами, як бажання вступу до вузу, бажання отримати відповідну кваліфікацію тощо.

Сприятливі умови навчального процесу створюються емоційними процесами, які є важливими елементами у спілкуванні й у відношеннях між учасниками процесу навчання, а також входять до складу самостійних пізнавальних дій. Багаторічна практика переконує, що взаємна повага і прихильність учителя й учнів, бажання допомогти і підтримати один одного, уболівання за успіхи схиляє його учасників до подальших плідних дій. Відтак, мотиви навчальної діяльності, виступаючи як зокрема самостійна підсистема у навчальному процесі, тісно взаємопов'язані з іншими його компонентами і, зокрема, з підсистемою „шкільний фізичний експеримент”.

Звернемо увагу на те, що аналіз шкільного навчально-виховного процесу дає однозначні результати, що ці два компоненти, крім досить тісного взаємозв'язку, значною мірою взаємно впливають і доповнюють один одного, а відповідно запровадження навчального експерименту суттєво стимулює мотиви навчання.

Історичний аналіз шкільного фізичного експерименту на різних етапах його генезисного розвитку аргументовано засвідчує велику роль і значення експериментального вивчення шкільного курсу фізики в сучасних умовах реалізації профільності фізичної освіти.

## **1.2 Історико-генезисний розвиток навчального фізичного експерименту як складової процесу навчання фізики**

Вивчення в історичному аспекті проблеми становлення і розвитку навчального експерименту з фізики можливе у тісному поєднанні з аналізом діяльності видатних учених-фізиків, методистів-фізиків і педагогів, праці яких відчутно вплинули на розвиток методичної думки та на становлення і розвиток методики навчання фізики як окремої галузі педагогічної науки. Цей аналіз з урахуванням результатів досліджень відомих українських фахівців з методики навчання фізики, про періодизацію історії розвитку методики фізики як

педагогічної науки дає можливість виділити такі найважливіші етапи становлення і розвитку шкільного фізичного експерименту [16]:

**Перший етап** (середина 18 ст. – 50-і роки 19 ст.) пов'язаний із зародженням методики навчання фізики як педагогічної науки, під час якого експеримент із фізичної галузі наукових досліджень поступово запроваджується у навчальний процес. Цей етап тісно пов'язаний із діяльністю видатних учених М.В. Ломоносова, Е.Х. Ленца, а також охоплює важливі для методики фізики результати педагогічної діяльності М.Є. Головіна „Краткое руководство к физике” (1785 р.), П.І. Гіларовського „Руководство к физике” (1793 р.) та М.М. Сперанського (1797 р.).

**Другий етап** охоплює 60-і – 90-ті роки 19 ст. й узгоджується з періодом становлення і творчого розвитку методики фізики. Він характеризується значним вкладом, який вніс у розвиток К.Д. Краєвич, який намагався дотримуватись такого досить важливого принципу: *викладання починати з простого і поступово ускладнювати його за рахунок вправ, що передбачають використання лише доступних і зрозумілих учням предметів.*

Характерною ознакою цього етапу є становлення демонстраційного експерименту з фізики, який виконується вчителем. Важливими тут є праці К.В. Дубровського „Общедоступные физические приборы” (1881 р.) та Я.І. Ковальського „Первоначальные опыты по физике” (1885 р.), де описані прості фізичні прилади та серія навчальних дослідів. Вагомою є праця В.В. Лермантова „Объяснение к практическим работам по физике” (1888 р.), яка започаткувала метод практичних робіт з фізики.

**Третій етап** (кінець 19 ст. – 20-і роки 20 ст.), коли методика фізики сформувалася вже як педагогічна наука, і було видано серію посібників з фізики: И.Й. Косоногова „Концентрический учебник физики” (1908 р.), О.В. Цингера „Начальная физика” (1910 р.), Ф.Н. Індриксона „Учебник физики для средних учебных заведений” (1911-1912 рр.), А.І. Бачинського „Физика для средних учебных заведений” (1915 – 1918 рр.).

Для подальшого розвитку методики навчання фізики важливою стала праця Ф.Н. Шведова, яка була написана як конспект лекцій для слухачів Педагогічних курсів в Одесі і згодом узагальнена як фундаментальна праця „Методика фізики” (1894 р.).

Розвитку ШФЕ на цьому етапі сприяла книга доцента Петербурзького університету В.В. Лермантова „Методика фізики и содержание приборов в исправности” (1907 р.), у якій пропонується запровадження демонстраційних дослідів та саморобних приладів. У посібнику І.В. Глінки „Опыт методики фізики” (1911 р.) пропагандуються лабораторні роботи, які стають обов’язковими в школі. Цю ж думку висловлюють П.А. Баранов („Методика начальной фізики” 1913 р.) та викладач фізики Педагогічного інституту у Москві Н.В. Кашин у праці „Методика фізики” (1916 р.), де автор розглядає проблеми демонстраційного експерименту, питання організації і проведення лабораторних робіт, обладнання фізичного кабінету, ролі індукції і дедукції у навчанні фізики тощо.

Виокремлені ідеї отримали розвиток у таких рекомендаціях, щоб у кожній школі при фізичному кабінеті було споруджено фізичний клас з усіма приладами для успішного проведення учнями практичних вправ й одночасно при кожній шкільній окрузі був створений Зразковий фізичний кабінет, де учителі мали можливість ознайомитися з дослідями та могли б опрацьовувати різні питання методики навчання фізики.

**Четвертий етап** (20-і р. – початок 50-х р. 20 ст.), який охоплює період становлення і розвитку методики фізики у післяжовтневі роки і період її генезису на основі використання і розвитку прогресивної методичної думки.

У цей період передові вчителі самі розробляли методику навчання фізики, розвивали її наукові основи, концентруючи увагу на лабораторних роботах, екскурсіях та навчальних приладах. У цей час були запропоновані практичні роботи та широке запровадження екскурсій для ознайомлення учнів із технікою, виробництвом і природними явищами.

Частину лабораторних робіт рекомендується проводити у вигляді фізичного практикуму, створення якого розпочате у 30-х роках, що стало подальшим кроком у розвитку методики навчання фізики.

Значну роль у розвитку ШФЕ на цьому етапі відіграли праці видатних методистів, зокрема книга професора Г.Г. Де-Метца „Загальна методика викладання фізики. Теорія та практика викладання” (1929 р.); фундаментальна праця в 6-ти томах Д.Д. Галаніна, Є.М. Горячкіна, С.М. Жаркова, Д.І.Сахарова та О.В. Павши „Физический эксперимент в школе” (1934 – 1941 рр.); П.О. Знаменського „Лабораторные занятия по физике в средней школе”; В.Н. Бакушинського „Организация лабораторных работ по физике в средней школе” (1948-1949); С.П. Слесаревського „Лабораторні роботи з фізики в середній школі” (1946 р.), „Саморобні прилади з фізики” (1947 р.), „Оборудование лаборатории по физике в средней школе”; О.А. Покровського „Оборудование физического кабинета” (1933 р.) і „Руководство к практикуму по методике и технике физического эксперимента” (1940 р.) та інші, а також започаткований у 1934 році у Москві журнал „Физика в школе” та з 1946 року методичний збірник „Фізика в школі” в Україні. Ці періодичні видання інформували вчителів про всі важливі досягнення у методиці фізики, включаючи й успіхи в галузі шкільного фізичного експерименту.

**П'ятий етап** (кінець 50-х – 80-і роки 20 ст.) розвитку системи ШФЕ впливає із періоду досягнень і тенденцій розвитку методики фізики в умовах науково-технічної революції та у зв'язку з генералізацією фізичних знань на основі фундаментальних фізичних теорій.

У кінці 60-х років стала очевидною реформа шкільної фізичної освіти (1967-1972 рр.), одним з основних питань якої було підвищення наукового рівня фізичної освіти школярів. Реалізація вимог реформи здійснювалася через наукове трактування традиційного матеріалу та введенням у ШФЕ фундаментальних експериментів і результатів наукових досліджень сучасної фізики.

Особливої уваги у своєму розвитку заслуговує навчальний фізичний експеримент, який був визнаний невід'ємною частиною змісту фізичної освіти та процесу навчання фізики в цілому. Проблеми ШФЕ у цей час розв'язувалися на основі досліджень, які були спрямовані на вирішення таких головних *напрямків*: встановлення системи навчального фізичного експерименту; розробка необхідного комплексу шкільного обладнання для відтворення цієї системи у навчальному процесі; запровадження нового обладнання у промислове виробництво; створення нових методичних рекомендацій і вказівок та посібників для вчителя з усіх видів ШФЕ.

Про характер науково-методичних пошуків з проблем навчального фізичного експерименту переконливо свідчить такий факт, що упродовж 1946-1985 років були захищені 105 дисертацій з ШФЕ, тематика яких дозволяє виділити такі основні напрямки:

- 1 – розробка методики організації навчального експерименту;
- 2 – модернізація змісту ШКФ, яка вимагала розробки нових фізичних дослідів для шкільних навчальних цілей;
- 3 – освоєння промисловістю виробництва нових матеріалів, технічних пристроїв, запровадження яких породжує потребу в нових дослідках і дозволяє модернізувати старі прилади;
- 4 – постійне удосконалення точності вимірювань, використання у шкільному експерименті нових способів вимірювання фізичних величин;
- 5 – пошук оригінальних та ефективних варіантів навчального експерименту.

Серед цих напрямків значними успіхами виокремилися дослідження Б.Ю. Миргородського з питань використання електроніки в ШФЕ, роботи Є.В. Коршака з проблеми виготовлення та запровадження приладів на напівпровідниковій основі, дисертації з методики фізичного практикуму В.Г. Чепуренка (1954 р.), Ф.П. Несторенка (1963р.), М.Г. Цілінка (1966 р.), з домашніх спостережень і дослідів М.С. Білого (1949 р.), з розробки фундаментальних фізичних дослідів Д.Я. Костюкевича (1973 р.), з проблеми

удосконалення експерименту з електродинаміки В.Ю. Кліха (1971 р.), зі створення системи навчальних дослідів з ядерної та атомної фізики С.П. Величка, В.І. Савченка (1980 р.), з формування вимірювальних умінь і навичок В.Г. Нижника (1979 р.), з питань розробки основ стробоскопічного, осцилографічного та спектрального методів дослідження у шкільному курсі фізики С.І. Фролова (1978 р.), із запровадження електричних вимірювань неелектричних величин Г.М. Гайдучка (1966 р.) та праці інших методистів.

*Шостий етап* розвитку ШФЕ (останнє десятиліття 20 ст.) впливає із періоду переорієнтації змісту фізичної освіти та методів, форм і засобів навчання в умовах гуманізації і гуманітаризації навчального процесу в школах різного типу і профілю з метою створення атмосфери становлення і розвитку особистості учня, її активності у пізнанні природи. За цих умов навчально-виховний процес у школі має базуватися на суб'єкт-суб'єктній основі, що суттєво посилює роль учня у навчанні. Тоді, система ШФЕ розглядається як багатофункціональна ефективно діюча педагогічна система, здібна засобами експериментування активізувати пошуково-пізнавальну діяльність школярів у вивченні природних явищ, законів і теорій, що їх описують. Разом з тим система ШФЕ передбачає широке запровадження наукових методів пізнання та різнобічну ілюстрацію прикладів практичного застосування фізичних досягнень у процесі навчання, сприяє формуванню дієвих інтегрованих фізичних знань та розвиткові мислення і творчих здібностей учнів, являє собою ефективну сферу діяльності кожного школяра і вчителя для задоволення інтересів, побажань і планів на майбутнє кожного учасника навчального процесу. Тут заслуговують на увагу дослідження С.П. Величка [15] та монографічна праця [16].

Шкільний фізичний експеримент з оптики, охоплюючи різні види навчального експерименту, базується на широкому запровадженні нових джерел світла – лазерів, що розкриває специфічні його можливості у посібнику [18] і використовується для різних дидактичних цілей: як метод навчання, засіб наочності та форма навчальних занять; слугує джерелом нових знань, для перевірки правильності одержаних теоретичним способом наслідків із фізичних

теорій; методом визначення фізичних величин і закономірностей; ілюструє тісний взаємозв'язок теоретичного й емпіричного у пізнанні навколишнього світу, що доведено у дослідженні О.І. Ляшенка [54].

*Сьомий етап*, що охоплює перше десятиліття 21 століття. Це перехід до гуманістичної парадигми, що з одного боку характерний змінами взагалі освітньої парадигми на гуманістичну основу навчання фізики і створенням програм профільного навчання фізики у загальноосвітніх навчальних закладах, а з другого боку, пов'язаний з широким запровадженням в освітній процес комп'ютерної техніки, інноваційних процесів та вирішенням нових науково-методичних проблем дидактики фізики, що пов'язані з особистісно орієнтованим навчанням і відповідно зміну цих акцентів й у методику і техніку системи ШФЕ, як невід'ємної складової навчально-виховного процесу з фізики, який спрямовується на формування особистості школяра та виховання у нього потреби у самовдосконаленні, самоосвіти й саморозвитку. Такий підхід тісно поєднаний з організацією цілеспрямованої навчальної діяльності (ЦНД) у всіх складових процесу навчання, включаючи й самостійну (індивідуальну) навчально-пізнавальну діяльність учня як під час підготовки до виконання спостережень і дослідів, так і в ході виконання фронтальних лабораторних робіт та робіт фізичного практикуму.

За цих умов система ШФЕ розглядається як поліфункціональна ефективно діюча педагогічна система, здібна активізувати пошуково-пізнавальну діяльність школярів у вивченні природних явищ, законів і теорій із запровадженням наукових методів пізнання, що сприяє формуванню дієвої системи знань та розвитку мислення і творчих здібностей учнів і являє собою ефективну сферу спільної діяльності кожного школяра і вчителя для задоволення їхніх інтересів. Для розвитку системи ШФЕ потрібне змістовне, матеріально-технічне та методичне забезпечення навчального експерименту; постійне поліпшення методики і техніки навчального експерименту, запровадження експериментальних методів дослідження у процесі навчання; розробка нових навчальних демонстраційних дослідів, лабораторних робіт та

шкільного обладнання, що розкривають зміст останніх наукових досягнень та практичного їх використання і охоплюють оптоелектронну, електронно-обчислювальну та комп'ютерну техніку й широке запровадження засобів ІКТ та виваженого співвідношення реального (фізичного) і віртуального (комп'ютерного) варіантів навчальних дослідів. У цьому відношенні вагомими є результати досліджень А.Н. Петриці [68], К.Г. Чорнобай [84], О.В. Слободяник [77].

Відповідно, комп'ютерна техніка разом із відповідними програмно-педагогічними засобами (ППЗ) дає можливість на екрані монітора ілюструвати демонстраційні навчальні досліди: у ході виконання різних лабораторних досліджень легко виконує складні математичні розрахунки, досить точно визначає фізичні параметри і похибки їх вимірювання, у ході виконання навчальних дослідів, де необхідні складні установки або неможливо відтворити у шкільних умовах, ПЕОМ дає можливість візуалізувати із використанням методу моделювання досліджувані об'єкти і вести їхнє вивчення, вивчати явища мікро і макросвіту з використанням методу мисленого експерименту, і таким чином здійснювати віртуальний навчальний експеримент. Комп'ютер одночасно вирішує проблему індивідуалізації навчального процесу і дає можливість кожному школяреві працювати у властивому саме йому режимі, скористатися необхідними підказками і вказівками, відтворити і повторити вивчення конкретного навчального матеріалу необхідну кількість разів, не погіршуючи якості ілюстрацій та отриманих експериментальних результатів і поданої навчальної інформації. Заслужовують на увагу створені нові спецкурси „Практика з ШФЕ”; „ОКГ у ШКФ”, „ЕОТ у НВП з фізики” у КДПУ ім. В. Винниченка, що розкривають велику кількість вагомих проблем методики навчання фізики та аналізують варіанти можливих прикладів їх вирішення.

Таким чином, створена система ШФЕ оснований на ідеї поступового посилення самостійності учнів у процесі навчання фізики, особливо коли самостійна робота проявляється в домашніх умовах, і учні глибше розглядають

поставлені проблеми вчителем, які стимулюють їх до активного самостійного вивчення та зацікавленості фізичними явищами і мають можливість використати засоби ІКТ з відповідними ППЗ для конкретних навчальних цілей.

Відтак, сучасний період розвитку фізичної освіти, методики навчання фізики та навчального експерименту свідчить про доцільність детальнішого вивчення змісту і структури системи ШФЕ та встановлення нових її зв'язків з урахуванням особистісно-орієнтованого та діяльнісного підходу до навчального процесу з фізики в сучасній школі. Тому варто велику увагу надавати демонстраціям, лабораторним роботам та фізичному практикуму при використанні комплектів: „Оптика”, „Оптична міні-лава”, „Оптика-класика”, спектральний прилад у поєднанні із засобами ІКТ, „Спектрометр – 01”, який за своєю будовою і можливістю реалізації різних підходів до його використання у навчанні (ручний напівавтоматичний і автоматичний режим) дає можливість студентові добирати ту власну траєкторію виконання навчального дослідницького завдання у ході фізичного практикуму, реалізуючи елемент синергетичного підходу та вимог педагогічної синергетики.

Таким чином, використання сучасного обладнання, котре є невід'ємною частиною експерименту, що дозволяє глибоко проникати у фізичні процеси та досліджувати оптичні явища, спонукає учнів до активізації власної пізнавально-пошукової діяльності, до розвитку критичного мислення та зацікавленості фізикою і заодно приводить до самоосвіти і саморозвитку школяра

### **1.3 Демонстрації з фізики**

Під демонстраціями з фізики розуміють показ фізичних явищ і зв'язків між ними. Демонстрації охоплюють показ самих фізичних явищ і засобів унаочнення (моделей, плакатів, слайдів тощо), що взаємно доповнюють одні одних.

*Демонстрація дослідів* – активний цілеспрямований процес відтворення експериментів для навчальних цілей, у ході якого вчитель керує відчуттями та

сприйманнями учнів і на їх основі формує певні поняття й переконання. Частіше всього демонстраційні досліди використовуються з метою розв'язання таких дидактичних цілей: створення початкових уявлень про фізичні явища (наприклад, демонстрування механічних рухів, теплової дії струму); формування фізичних понять; встановлення функціональних залежностей між величинами (демонстрування залежності опору провідників від температури, залежність прискорення тіла від його маси та ін.); підведення учнів до розуміння сучасних фізичних законів та їх проявів у різних галузях науки і техніки; розкриття принципів, покладених в основу деяких технологічних процесів (електрофарбування, електроіскрова обробка матеріалів, міднення та інше); підведення учнів до розуміння сучасних фізичних методів дослідження (осцилографічного, стробоскопічного, спектрального та ін.); показу в мініатюрі природних явищ (грим, блискавка, північне сяйво, райдуга); формування практичних умінь та навичок у поводженні з приладами та апаратурою.

Демонстраційний дослід передає інформацію в основному за допомогою зорових образів. Ігнорування цієї вимоги, як правило, приводить до порушення дисципліни і втрати учнями інтересу до питань, що розглядаються на уроці. Достатня видимість забезпечується відповідним конструюванням приладів, розміщенням їх, а також використанням деяких спеціальних заходів і прийомів, вироблених практикою викладання.

Не менш важливою вимогою до демонстраційного експерименту є його наочність. Під „наочністю” розуміють чітку й зрозумілу постановку досліду. Для цього слід складати найбільш прості установки, використовувати уже знайомі учням прилади, намагатися досягти потрібного результату найпростішими засобами.

Кожне демонстрування має бути переконливим, не викликати сумнівів у достовірності здобутих результатів. Проводячи демонстраційний дослід, треба повністю виключати або зводити до мінімуму різні побічні явища, які можуть відвернути увагу учнів від основного. Для цього інколи доводиться проводити

додаткові досліді. Наприклад, проводячи досліді з тілами різних мас, треба спершу переконати учнів у тому, що тіла справді мають різну масу.

Психологічні дослідження показують: чим сильнішою буде дія досліді на органи чуттів, тим краще він запам'ятовується. Тому демонстраційні досліді мають бути достатньо емоційними для збудження в учнів почуттів „здивованості”, „захоплення”, „невизначеності”, тобто почуттів, необхідних для виникнення проблемної ситуації.

Одним з найважливіших факторів педагогічного процесу є раціональне використання часу. Вчителеві завжди потрібно стежити, щоб темп виконання досліді відповідав темпу сприймання учнями навчального матеріалу. Зекономити час на уроці можна в процесі попередньої підготовки досліді вчителем. Наприклад, тривалість кипіння води при зниженому тиску можна значно скоротити, якщо воду брати не холодною, а заздалегідь підігріту.

Важливою методичною вимогою до демонстраційних дослідів є їх надійність. Невдале демонстрування завжди порушує нормальний хід уроку, підриває авторитет вчителя і призводить до дезорганізації роботи в класі. Надійність дослідів забезпечується ретельною підготовкою їх, багаторазовою перевіркою, вибором найбільш вдалих приладів і деталей.

Проведення дослідів має сприяти естетичному вихованню учнів. Критерієм естетичності досліді є насамперед якість створення потрібних ефектів для правильного формування уявлень про досліджуване явище.

Проведення будь-якого досліді повинне здійснюватись при суворому дотриманні правил техніки безпеки.

### **1.3.1 Техніка підготовки і проведення демонстраційних дослідів**

Для проведення демонстраційних дослідів слід скласти прості установки, в яких використовуються поширені в школах прилади та обладнання. Відомо, що для проведення одного і того ж досліді існує значна кількість варіантів. При виборі експериментальних установок треба виходити з таких критеріїв:

ефективність дослідів; можливість пояснити принцип дії приладу чи установки, якщо це потрібно на даному етапі або взагалі при вивченні фізики в школі; простота і зручність приладів та установок у налагодженні й використанні їх; час, відведений на підготовку та проведення дослідів; можливість використання певного приладу чи установки в якомога більшій кількості дослідів як при вивченні даного питання, так і при розгляді інших питань курсу фізики, у тому числі й під час індивідуальних, факультативних і позакласних занять; наявність додаткових деталей та комплектності установок; додержання правил техніки безпеки під час проведення дослідів учителем і учнями та ін. Зрозуміло, що оптимальним є створення комплексів навчального обладнання, зокрема з окремих розділів або відповідних тем курсу фізики.

У багатьох випадках для демонстраційних дослідів треба виготовляти певні нескладні пристосування. Таку підготовчу роботу вчитель виконує завчасно. До цієї роботи можна залучати й учнів. Їхньою допомогою варто користуватися і при підготовці дослідів, що прищеплює інтерес до фізики, до експериментальних досліджень.

Тут варто наголосити, що всі досліди можна поставити на найпростішому обладнанні. У навчальний експеримент дедалі більше включаються складні сучасні прилади, які широко використовують і в наукових дослідженнях. Зокрема, у вивченні фізики використовуються електронні осцилографи, генератори, лазери тощо. При розробці демонстраційних дослідів таке нове обладнання також треба використовувати з максимальною ефективністю. Окремі прилади можуть бути й такими, які призначаються тільки для одного дослідів (наприклад, трубку для демонстрування газового розряду при зниженні тиску в ній).

Немає сумніву в тому, що при систематичній роботі над демонстраційним експериментом кожен учитель знайде ще значну кількість дослідів, в яких ефективно використовуватимуться наявні в школах прилади та установки і тим самим суттєво розширюють можливості їх використання, що в свою чергу сприяє вдосконаленню демонстраційного експерименту.

## 1.4 Самостійні дослідження і спостереження учнів

Формування пізнавальної діяльності учнів з фізики великою мірою залежить від запровадження та організації спостережень і дослідів, які учні самостійно виконують у домашніх умовах та в повсякденному житті, в умовах життя – діяльності.

Відмічаючи велике значення самостійності та ініціативи, які учні проявляють під час домашньої роботи з фізики, а також їх вплив на ефективність всієї навчально-пошукової роботи, П.О. Знаменський зазначав, що сказане приводить до думки про необхідність домашніх експериментальних робіт та доцільність ширшого запровадження домашніх завдань у вигляді спостережень і дослідів [35].

Особливого значення набувають домашні дослідження і спостереження для розвитку пізнавального інтересу і творчих здібностей школярів, бо контроль з боку вчителя за навчально-пізнавальною діяльністю учнів за цих умов зведений до мінімуму. Учень у даному випадку відчуває максимум самостійності та покладається на власний самостійний досвід і набуті знання. Виконуючи саме самостійні спостереження і дослідження, учень більшою мірою відчуває себе незалежним дослідником у власному, особистому пізнанні нового, пізнаваного в оточуючому середовищі.

Зазвичай, домашні дослідження і спостереження дозволяють: розширити зв'язки теорії та практики; розвивати інтерес до фізики і техніки; зароджують творчу думку і розвивають здібність до винахідництва; залучають учнів до самостійної дослідницької роботи; виробляють у кожного учня спостережливість, увагу, наполегливість і охайність; доповнюють демонстраційний експеримент і класні лабораторні роботи матеріалом, який не може бути отриманим у класі; привчають учнів до свідомої практичної роботи та свідомого самостійного експериментування і таким чином, формують і значною мірою розвивають набуті знання, інтегруючи їх на основі поєднання теоретичної та експериментальної складових фундаментальних фізичних знань.

Успішне виконання учнями самостійних спостережень і домашніх дослідів залежать від того, як учитель розкрив мету, дає рекомендації щодо виконання завдання та оформлення одержаних результатів; попередив про можливі затруднення, можливі прорахунки та імовірні варіанти їх усунення, рекомендує найбільш доцільні способи самоконтролю та розкриває основні критерії, на основі яких буде оцінюватися результат домашнього завдання.

Для успішного запровадження самостійних дослідів і спостережень зміст завдань повинен бути простим, доступним і цікавим для учнів відповідного класу [16]. При виконанні домашнього завдання, воно може переростати у цікаве довгострокове дослідження, під час якого учні самостійно ускладнюють його відповідно до своїх бажань, рівня своїх знань, умінь та навичок, конструкторських здібностей. Учитель зі свого боку має грамотно керувати цим дослідженням. Наведемо приклад такого завдання.

**Завдання 1** Виконати і скласти перелік домашніх дослідів для спостереження спектрів за допомогою дифракційної ґратки та поширених джерел світла.

За наслідками спостережень учні можуть оформляти звіти з коротким описом схеми досліду та результатів спостережень, які вони добирали за власним бажанням. Звіти учнів включають такі спостереження, які можуть мати різний характер:

1 Спостереження суцільного спектра та визначення крайньої межі червоного та фіолетового діапазону, що спостерігається оком. Дані дослідження торкається і теми визначення порівняння чутливості ока кожного члена сім'ї, що, як індивідуальна дослідницька робота школяра, а також як результат, саме по собі є корисними і разом з тим дають цікаві результати.

2 Спостереження яскравих ділянок спектра від ламп денного освітлення.

3 Спостереження лінійчастих спектрів випромінювання від різних джерел світла: від ламп для вуличного освітлення.

Для подальшої зацікавленості учнів варто запропонувати спостереження спектрів випромінювання парів натрію. З цією метою джерелом світла,

використовують полум'я свічки, в яке вноситься незначна кількість кристалів солі.

У цьому досліді можна використовувати просте комбіноване джерело світла: настільну лампу і свічку розміщують на одній лінії спостереження, тому учні мають можливість спостерігати спектр випромінювання від нитки розжарення електричної лампи, увімкнувши її, та одночасно можуть спостерігати незалежно спектр поглинання атомів натрію, за умов внесення у полум'я свічки декількох кришталіків солі. І врешті можна спостерігати почергово або спектр випромінювання, або спектр поглинання натрію, коли вмикають і вимикають лампу, а свічка постійно горить і в її полум'я додають кришталіки кухонної солі.

Після проведених досліджень учні роблять висновок, що для спектрів випромінювання та поглинання натрію характерним є спостереження не однієї спектральної лінії, як це спостерігається за допомогою шкільного двохтрубного спектроскопа, а ця лінія являє собою подвійну лінію, оскільки роздільна здатність голографічних дифракційних ґраток  $600 \frac{\text{лін}}{\text{мм}}$  достатня для того, щоб розділити дві лінії з різницею довжин хвиль  $\Delta\lambda < 6 \text{ \AA}$ .

4 У ході виконання дослідів можна фотографувати спектри.

Під час організації цього виду навчального експерименту потрібно дотримуватись таких дидактичних вимог:

- пропонувані домашні досліді і спостереження як за своїм змістом, так і за способами і методами та засобами виконання повинні бути доступними і можливими для відтворення, а не лише бажаними у здійсненні, вони повинні мати узагальнювальний характер;

- завдання повинні бути сформульованими на основі суб'єктивної новизни і вимагати від учнів індивідуальних підходів у виконанні; самостійно вирішувані учнями пізнавальні проблеми повинні бути послідовно зв'язаними, мати розвивальний характер, забезпечуючи наступність, щоб кожна попередня проблема слугувала основою для формулювання і вирішення складнішої

наступної; досліди повинні мати практичну значущість та інтерес для учнів при вивченні різних тем з фізики;

- самостійні спостереження і домашні досліди не повинні копіювати досліди вчителя, фронтальні лабораторні роботи чи фізичний практикум, а доповнювати і розвивати їх, активізуючи діяльність учня, та створювати щось нове, до чого завжди спрямовується пізнавальна діяльність школярів;

- у процесі виконання самостійних спостережень і дослідів учні знайомляться з новими експериментальними методами дослідження, розширюють коло своїх знань, умінь та навичок, ознайомлюючись з науковими досягненнями та новими прикладами практичного їх використання;

- особливу увагу привертає обладнання, яке пропонується для самостійного виготовлення: воно має бути простим за своєю будовою та роботою, але й викликати інтерес до приладів практичного його використання у навчально-пізнавальній діяльності та повсякденній життєдіяльності.

Для забезпечення ефективності позакласної роботи та домашньої експериментальної роботи самостійні спостереження і досліди учнів повинні складати систему, яка, з одного боку, тісно взаємопов'язана з іншими видами навчального процесу, щоб відображати її зовнішні зв'язки, а з іншого боку викликати позитивне відношення світу особистості учня до експериментування і дії та характерна внутрішніми зв'язками, що обумовлені послідовністю, складністю, методичною і матеріальною забезпеченістю, рівнем знань, умінь і навичок учнів, рівнем їх творчих здібностей і конструкторськими нахилами та бажаннями школярів задовольнити свої бажання і запити у самостійному експериментуванні.

### **1.5 Фронтальні лабораторні роботи**

Програмами з фізики для середньої школи значна частина навчального часу відводиться на самостійне виконання учнями лабораторних робіт. При вивченні окремих питань курсу фізики учні під безпосереднім керівництвом

вчителя виконують фронтальні лабораторні роботи. Їхньою особливістю є те, що всі учні класу одночасно виконують одну роботу. Це полегшує працю вчителя на уроці, даючи йому можливість оперативно керувати діяльністю учнів, контролювати хід та ефективно виконання роботи на кожному її етапі. Залежно від змісту і складності фронтальної лабораторної роботи на виконання її може бути відведено від 25 до 45 хв.

Однак усі ці ознаки виявляються недостатніми, щоб охопити у повному обсязі усю розмаїтість фронтальних лабораторних робіт. Найбільший інтерес з методичної точки зору являє собою класифікація лабораторних робіт у зв'язку з тими завданнями і цілями, які переслідує вчитель, організовуючи і проводячи фронтальні лабораторні заняття у процесі навчання фізики.

Згідно з цими ознаками можна виділити, такі типи фронтальних лабораторних робіт:

- 1 Спостереження і вивчення фізичних явищ.
- 2 Знайомство з пристроєм і дією різних фізичних приладів, установок і прийомами роботи з ними.
- 3 Знайомство з вимірювальними приладами і вимірюванням фізичних величин.
- 4 Виявлення або перевірка кількісних закономірностей між фізичними величинами та вивчення основних фізичних законів.
- 5 Визначення фізичних сталих величин особливо фундаментальних постійних і знайомство з різними методами визначення таких фізичних величин.

Фронтальні лабораторні роботи дозволяють учителеві розв'язувати у потрібний момент поставлені питання з оптики, що потребують зацікавлення учнів та формування і розвитку інтересу до предмету та розвитку мислення. Такі роботи звичайно пов'язані з поясненням вчителя, з розв'язком задач в ході уроку, а також із з'ясуванням нових проблем і того, що особливо гостро цікавить учнів у зв'язку з вивченням питань нового навчального матеріалу, з підготовкою до наступних занять, з формуванням вимірювальних умінь і

навичок та використанням вимірювальних приладів. Таким чином, фронтальні заняття – це, насамперед, ті роботи, що пов’язані із тим, що вчитель на основі навчального фізичного експерименту організовує процес одночасної навчальної діяльності усіх учнів класу, спираючись на самостійну роботу учнів, навчаючи кожного школяра експериментуванню і контролюючи цей процес на кожному його етапі навчання.

Тут основна роль належить учителеві. Він повинен вміти організувати і направляти всю роботу: складати разом з учнями план занять; проводити підготовку і швидко видачу обладнання; давати усно чіткі і ясні завдання і пояснення; своєчасно надавати допомогу учням, особливо слабким; вміло обробляти й узагальнювати отримані результати роботи; вести постійні спостереження за учнями; контролювати й оцінювати отримані ними знання, уміння і навички.

Фронтальні лабораторні роботи можуть бути поставлені по-різному: як підсумок до тієї або іншої теми курсу фізики; як ілюстрація до пояснення нового матеріалу вчителем; як повторення й узагальнення пройденого або як контроль отриманих знань, умінь і навичок.

Прикладом фронтальної лабораторної роботи, що органічно поєднується з поясненням вчителя і є невід’ємною складовою уроку, слугує робота „Одержання дійсних зображень за допомогою лінз”, якщо напередодні не проводилася інша яка-небудь робота з лінзами.

Урок починається з демонстрації досліду, що виявляє основне поняття – головний фокус лінзи. З цією метою за допомогою оптичного диска на лінзу направляються пучки світла, що сходяться, і з’ясовується поняття фокуса як точки, у якій збираються ці пучки, пройшовши лінзу. Потім дослід повторюється, але з пучками рівнобіжними, котрі збираються за лінзою в головному фокусі, на визначеній відстані, названій головною фокусною відстанню.

Потім учням пропонується необхідне обладнання, зазначене в роботі, і ставиться завдання: як можна визначити головну фокусну відстань лінзи?

Завдяки низки запитань спрямованого характеру з'ясовується, що для цього потрібно скористатися таким джерелом світла, промені від якого можна вважати майже паралельними. Зібравши ці промені на екран за допомогою лінзи, тобто виявивши її головний фокус, легко зробити наближене визначення головної фокусної відстані за допомогою простої вимірювальної стрічки. Учні роблять вимірювання й одержують близькі числа, тому що лінзи у всіх групах однакові.

Далі перед учнями ставиться наступне питання: що можна одержати на екрані, якщо джерело світла або інший освітлений предмет помістити не де-небудь удалині, а на подвійній фокусній відстані від лінзи? Першим вибирається саме цей випадок, бо він відрізняється найбільшою простотою і визначеністю в змісті виконання досліду й одержання результату.

Виконане дослідження й отримані результати піддаються в класі обговоренню і на основі цього робляться висновки: зображення предмета, встановленого на подвійній фокусній відстані від лінзи, яка збирає світло, виявляється оберненим, за величиною рівним предметові і знаходиться на подвійній фокусній відстані по іншу сторону лінзи (такий випадок одержання зображення проявляє властивість зворотності).

Тепер цілком природно виникає питання про те, як за допомогою лінзи одержати дійсне зображення предмета, збільшене і зменшене. З цією метою учням рекомендується предмет, що знаходиться на подвійній фокусній відстані лінзи спочатку трохи змістити, ближче до лінзи й одержати на екрані різке зображення, а потім змістити цей предмет далі від подвійної фокусної відстані і знову одержати зображення на екрані.

З розгляду результатів цих дослідів легко впливає висновок: коли предмет наближається до головного фокуса лінзи, то зображення предмета збільшується і віддаляється від лінзи; якщо ж предмет віддаляється від лінзи, то його зображення зменшується і наближається до головного фокуса.

Нарешті, вчитель звертає увагу учнів на випадок, коли предмет міститься в головному фокусі лінзи або ближче фокусної відстані. За допомогою

оптичного диска він показує, що в цих випадках пучки світла після лінзи йдуть паралельними або стають розбіжними, тобто вони не будуть перетинатися, а отже, і не можуть давати зображення на екрані. У цьому учні легко переконуються, розташувавши предмет між головним фокусом і лінзою і переміщуючи екран за лінзою вздовж головної оптичної осі.

Як приклад третього типу фронтальної лабораторної роботи, у якій повторюється й узагальнюється пройдений раніше навчальний матеріал, може слугувати збирання моделі мікроскопа [48]. Ця робота проводиться після того, як вивчені основні властивості лінз, а учні знайомляться з будовою і роботою різних оптичних приладів.

До проведення роботи вчитель, спираючись на ці знання, показує за допомогою креслення, що він виконує на класній дошці у процесі пояснення, які лінзи і як застосовуються в мікроскопі. Він детально розбирає хід променів і побудову зображення в цьому оптичному інструменті. І коли учні, зрозумівши викладене, будуть мати у своїх зошитах чітке схематичне креслення ходу променів, тоді можна проводити заплановану роботу.

На учнівські столи подається необхідне обладнання (дві лінзи, екран, що спостерігається об'єкт) і ставиться задача: зібрати модель мікроскопа – складного оптичного інструмента, використовуючи наявне в зошитах креслення.

Коли установки будуть готові, швидко перевіряють їх, вказуючи на те, що збільшення буде тим більше, чим ближче знаходиться розглянутий предмет до головного фокуса об'єктива. Учням рекомендується перевірити це практично і переконатися, що надмірно великого збільшення добиватися не потрібно через сильні перекручування зображення, що спостерігаються при цьому.

Описані лабораторні роботи зі складання моделі мікроскопа та на вивчення моделі труби Кеплера і труби Галілея [48] можуть бути гарним прикладом робіт з контролю одержаних раніше знань, умінь і навичок.

Тут учні повинні самостійно перейти від теоретичних обґрунтувань, виражених у кресленнях, до реальної дійсності. Виконуючи роботу, учні

повинні застосовувати свої теоретичні знання і практичні навички. За отриманими у цій роботі результатами неважко зробити висновок, як було засвоєно основний навчальний матеріал з геометричної оптики і які з цього розділу учні отримали практичні уміння і навички.

Іншим з видів навчального експерименту є *фізичні практикуми*, до яких відносяться складніші лабораторні роботи, що виконуються в кінці вивчення великих розділів. Особливістю фізичних практикумів є те, що при проведенні їх учні одночасно виконують різні роботи. Фізичні практикуми, як і фронтальні лабораторні роботи, учні виконують індивідуально (або ланками по 2-3 особи) залежно від конкретних умов школи, укомплектованості її фізичного кабінету.

Виконуючи фронтальні лабораторні роботи, учні досліджують чи розглядають одне або невелику кількість споріднених питань. Якщо проводяться фізичні практикуми, то в них включають ширше коло питань, які стосуються всього розділу або навіть декількох розділів курсу фізики.

Кількість вказаних у програмах лабораторних робіт є обов'язковою. Але вчителю дається право залежно від умов школи, рівня підготовки учнів певного класу, методики вивчення матеріалу, якої дотримується вчитель, замінювати лабораторні роботи рівноцінними їм або більш ефективними. Бажано, розширити кількість фронтальних лабораторних робіт, якщо для цього є відповідне обладнання, а роботи є невід'ємною органічною складовою процесу вивчення навчального матеріалу. Особливо це слід робити при вивченні тих розділів, в яких кількість передбачених програмами фронтальних лабораторних робіт незначна.

Тому, основна мета лабораторних робіт: ознайомити учнів з експериментальним методом дослідження фізичних явищ; формувати розуміння принципів вимірювання фізичних величин, оволодіти способами і технікою вимірювань, а також методами аналізу похибок, що узагальнюється формуванням умінь і навичок експериментувати.

## 1.6 Сутність фізичного практикуму

### 1.6.1 Значення фізичного практикуму

У практиці навчання фізики з метою успішного розв'язання комплексу завдань у процесі навчання фізики поряд із фронтальними лабораторними роботами в старших класах програмою передбачений фізичний практикум. Це викликано тим, що фронтальний метод проведення лабораторних робіт, незважаючи на його позитивні сторони, формує лише початкові експериментальні навички й уміння, що згодом розвиваються і перетворюються у стійкі самостійні навички учнів, які закінчують загальноосвітню середню школу.

Фізичним практикумом називають таку форму проведення лабораторних робіт, при якій усі ланки (або групи ланок) учнів отримують різні завдання ускладненого змісту. Практикум проводиться після вивчення певного розділу курсу фізики або частіше всього наприкінці навчального року. Його завдання охоплюють великі теми курсу і вимагають для свого виконання складнішої фізичної апаратури та експериментальних установок.

*Роботи фізичного практикуму переслідують такі цілі:*

- 1 Сприяти оптимальному виконанню загальних завдань навчання фізики.
- 2 Сприяти систематизації знань, встановленню внутрішньопредметних і міжпредметних зв'язків курсу фізики з іншими дисциплінами.
- 3 Узагальнити і закріпити знання з найвагоміших і важливих питань курсу фізики.
- 4 Ознайомити учнів з технічними приладами, з методами визначення фізичних величин.
- 5 Сформуванню низку політехнічних вмінь і навичок: збирати установки і виконувати спостереження, користуватися вимірювальними приладами, вивчати конструкції приладів за описами, виконувати вимірювання і обробку одержаних результатів, робити висновок за результатами одержаного експерименту, конструювати установки, працювати з інструментами,

джерелами тепла, світла, електричної енергії, організувати своє робоче місце і дотримуватись техніки безпеки.

Навчальна програма з фізики [71; 72; 73] відводять певний час на виконання робіт фізичного практикуму й особливо програми профільного навчання фізики у 10-11 класах. Тут же наводиться і орієнтовний перелік робіт фізичного практикуму в кожному класі. Учитель, залежно від доцільності та можливостей, вибирає ті роботи, які будуть запропоновані учням для виконання. Організаційно ці роботи можуть бути одно- та двогодинними. У першому випадку роботи повинні бути простішими для виконання та вимагати менших затрат часу, але їх кількість за цих умов буде в два рази більшою. Для виконання робіт практикуму використовуються складніші прилади (порівняно з приладами для фронтальних робіт), що дає можливість точніше провести вимірювання та ознайомити учнів із приладами, які використовуються на практиці, а інколи і для фізичних досліджень.

При виконанні робіт фізичного практикуму одночасно виставляються всі роботи, які виконуються групами учнів згідно спеціально складеного графіка.

До проведення практикуму вчитель готує інструкції, які містять: мету роботи, метод розв'язування експериментального завдання, перелік необхідних приладів, порядок дій при виконанні експерименту, таблицю результатів вимірювань та їх обробки, контрольні запитання.

До виконання кожної роботи учні готуються вдома, повторюючи теоретичний матеріал. На заняттях вони проводять експериментальні дослідження, отримують і обробляють результати, формулюють висновки та звітуються перед учителем, оформивши звіт про виконане дослідження.

Першому заняттю, зазвичай, передує вступна бесіда, в ході якої вирішується низка організаційних питань: інструктаж з техніки безпеки; з'ясовується, як готуватися до роботи, що повинен робити учень на заняттях, які вимоги ставляться до звіту про роботу, як буде організований контроль та оцінка робіт учнів; учні ознайомлюються з графіком виконання робіт.

У процесі виконання робіт учитель слідкує за якістю підготовки учнів до роботи, за правильністю збирання установки та роботи з вимірювальними приладами, за дотриманням учнями правил техніки безпеки тощо, а при потребі надає консультативну допомогу.

На основі своїх спостережень та поданого учнями звіту вчитель виставляє загальну оцінку за роботу в класний журнал. У багатьох випадках учителі практикують таку організацію залікової роботи, коли учні "захищають" одержані результати.

Відповідно, фізичний практикум має певні відмінності від фронтальних лабораторних робіт:

1 Фізичний практикум ставить широкі експериментальні завдання. Зазвичай, ці завдання пов'язані або з вивченням певного розділу, чи великої теми курсу фізики, або з поглибленим вивченням якого-небудь явища. Така постановка експериментальних задач надає учням можливість отримати більш різнобічні експериментальні уміння і навички і сприяє повторенню та узагальненню навчального матеріалу.

2 Фронтальні лабораторні роботи виконуються на простих за своєю конструкцією приладах у той час, як експериментальні задачі практикуму можуть бути виконані на більш складній фізичній апаратурі, технічних приладах і установках.

3 Проведення фронтальних лабораторних робіт у часі органічно зв'язано з моментом вивчення визначених тем курсу фізики, а фізичний практикум проводиться переважно або наприкінці навчального року, або два рази в році, після вивчення цих тем.

4 Практикум у формі індивідуальних експериментальних завдань підвищеної складності сприяє розвитку більшої самостійності учнів, ніж фронтальні лабораторні роботи, одночасно індивідуальні завдання, можуть суттєво розширювати обсяг, глибину дослідження, збільшувати кількість операцій і дій учня, передбачити запровадження різних методів дослідження, розвитку здібностей учнів, розвивати мислення учнів та їхні уявлення про

оточуючий світ, як єдину систему життя і діяльності та співвідношення людини і природи.

5 Фізичний практикум знайомить учнів з методами вимірювання фізичних величин, які використовуються у сучасній фізиці, з приладами та устаткуванням і прийомами його використання на практиці.

Слід звернути увагу на те, що з урахуванням рівня підготовки учнів та вимог сучасного профільного навчання фізики роботи практикуму можуть бути різними і передбачати можливість запровадження різнорівневих та творчих завдань.

На думку В.Г. Разумовського [74], під час розробки творчих лабораторних експериментів для фізичного практикуму реально можливим є напрямок, який тісно пов'язаний із лабораторним обладнанням у тому числі і за рахунок саморобного обладнання. При створенні творчих лабораторних робіт важливо, щоб умови сформульованого завдання розкривалися однією галуззю знань, а передбачуваний його розв'язок знаходився б у сфері іншої галузі. У цьому випадку пропоновані матеріали і обладнання для виконання творчої роботи можуть охоплювати можливість запровадження не одного, а декількох методів дослідження і, відповідно, можуть передбачати декілька розв'язків. Як правило, творчі роботи пропонуються на фізичних олімпіадах. Однак деякі завдання, чи окремі їхні елементи можуть складати предмет дослідження під час фізичного практикуму, особливо коли навчання проводиться за програмами поглибленого вивчення фізики.

Такі роботи з оптики потребують детального та поглибленого вивчення й удосконалення в цілому всієї системи ШФЕ, за рахунок, наприклад, використання лазерів у шкільному курсі фізики [18], вивчення основ квантової фізики [19], нових джерел випромінювання [22] та комп'ютерних програм [24].

### **1.6.2 Підготовка фізичного практикуму**

При підготовці фізичного практикуму робота вчителя має дуже важливе значення, бо експериментальні завдання практикуму набагато більші за обсягом

і змістом, ніж завдання при постановці інших лабораторних робіт. Крім того при виконанні практикуму учням надається значно більша самостійність у виконанні лабораторних досліджень.

Підготовку окремих експериментальних завдань фізичного практикуму з оптики доцільно проводити в такій послідовності:

- 1 Уточнення тематики експериментальних завдань для конкретного класу.
- 2 Вибір методики виконання окремих експериментальних завдань.
- 3 Комплектування робіт приладами, пристосуваннями і матеріалами.
- 4 Виявлення особливостей будови і дії приладів та установок для окремих робіт.
- 5 Перевірка обраної методики проведення експерименту.
- 6 Складання письмової інструкції для учнів з обліком проведеного методичного дослідження або складання додаткових вказівок до друкованих посібників.
- 7 Остаточне налагодження приладів та установок і перевірка їх на робочих місцях.
- 8 Складання графіка роботи учнів.

Досвід роботи шкіл показує, що учні старших класів з великим бажанням і інтересом надають учителям посильну допомогу в підготовці робіт фізичного практикуму. Відтак, таку захопленість учнів та бажання бачити активну участь у підготовці навчальних експериментів варто розвивати і заохочувати.

### **1.6.3 Вимірювання фізичних величин**

У своїй більшості роботи фізичного практикуму носять кількісний характер, тобто пов'язані не тільки зі спостереженнями визначених фізичних явищ, але передбачають робити низку вимірювань різних фізичних величин. У цьому полягає одна з найважливіших методичних переваг лабораторних робіт і практикуму перед демонстраційним експериментом.

У результаті виконання робіт фізичного практикуму учні повинні добре усвідомити, що будь-яке вимірювання є наближеним. Це зумовлюється недосконалістю вимірювальних приладів і недосконалістю наших органів чуттів. На результат будь-якого фізичного вимірювання впливають багато факторів. До них можна віднести: якість вимірювальної апаратури; метод спостереження; установка приладів; спосіб вимірювання; експериментальні навички учнів; обчислення шуканої величини та інші. Тому у процесі підготовки будь-якої роботи фізичного практикуму варто звертати увагу учнів на необхідність обліку усіх чинників з метою досягнення кращих результатів вимірювання.

Вплив окремих факторів у процесі вимірювання фізичних величин на таких конкретних прикладах. Так, відомо, що правильна робота різних приладів вимагає визначеної їхньої установки. Одні електровимірювальні прилади повинні бути розташовані горизонтально, інші – вертикально. Прилади можна установити в цих положеннях приблизно, а можна встановити точно за допомогою різних інструментів, наприклад, за допомогою рівня.

Шкільні лабораторні амперметри і вольтметри – прилади електромагнітної системи, складені в пластмасовий корпус. Їх необхідно розташовувати так, щоб поблизу не було важких сталевих предметів або магнітів. Крім того, не можна встановлювати амперметр поруч з вольтметром (тієї самої системи). При недотриманні цих умов буде сильно зростати похибка вимірювань.

Важливим моментом у вимірюваннях є методика спостереження різних фізичних явищ, що за своїм характером бувають різними. В одних випадках це будуть спостереження за показаннями електровимірювальних приладів, а в інших випадках – спостереження ліній спектрів, зміна температури, тиску і т.п.

Розроблювальна методика спостережень пов'язана з особливостями апаратури, використаної у вимірюваннях. Так, спостерігаючи за процесом зміни температури під впливом визначених факторів, необхідно продумати, через які проміжки часу доцільно відраховувати температуру, яку кількість

відліків варто провести, щоб можна було скласти чітке уявлення про характер змінної величини, скільки потрібно часу на один відлік і т.п.

Важливо прищеплювати учням навички, що пов'язані з технікою вимірювання різних фізичних величин. Так, при вимірюванні температури за допомогою термометрів необхідно фіксувати зміну температури не відразу після внесення термометра в рідину, а впродовж сплину деякого часу, необхідного для прогрівання самого приладу. Відомо, що у всіх стрілкових електровимірювальних приладах стрілка не миттєво встановлюється на розподілі, що відповідає даному режимові, а лише через визначений проміжок часу.

Усяке вимірювання – це операція, за допомогою якої встановлюється чисельне співвідношення між вимірюваною величиною і заздалегідь обраною одиницею вимірювання, масштабом або еталоном.

Залежно від форми визначення числового значення вимірюваної величини розрізняють вимірювання прямі і непрямі. Тому все розмаїття виконуваних учнями вимірювань у лабораторних роботах та у фізичному практикумі також розбити на дві групи: прямі і непрямі.

Прямими називаються такі вимірювання, результат яких виходить безпосередньо із самого процесу вимірювання. При прямих вимірюваннях шукане значення тієї або іншої величини визначається шляхом її порівняння з відповідною одиницею (мірою) або шляхом відліку показань вимірювального приладу, градуйованого у встановлених одиницях. До прямих вимірювань відноситься вимірювання довжини масштабною лінійкою, часу годинником, температури термометром і т.д.

При плануванні прямих вимірювань дуже важливо правильно вибрати засоби вимірювання. Не завжди приладом з меншою інструментальною похибкою можна одержати більш точний результат. Уявимо собі, що при виконанні роботи „Вивчення руху тіла, кинутого під кутом до горизонту” замість рулетки з основною похибкою  $\Delta_p = 1,0\text{см}$  використовується лінійка з межею вимірювання 10 см і основною похибкою  $\Delta_n = 1\text{мм}$ . На перший погляд,

логіка такої заміни  $\epsilon$  – основна похибка лінійки в 10 разів менша похибки рулетки. Однак при вимірюванні дальності польоту за допомогою лінійки істотну роль грає та обставина, що довжина лінійки значно менша дальності польоту. Тому виникає необхідність виконати не одне, а кілька вимірювань і при кожному робити оцінку, ширина якої більша ширини штриха і ціни поділки. Усе це приведе до збільшення похибки, що виявиться істотно більшою суми  $\Delta_n + \frac{c}{2} = 1,5 \text{ мм}$  і, швидше за все, виявиться більшою 10 см при досить великій дальності.

Провівши два вимірювання і переконавшись в тому, що результати вимірювань збігаються або відрізняються не більше, ніж на  $\Delta = \Delta_{np} + \frac{c}{2}$ , ви застерігаєте себе від промаху.

Непрямими називаються такі вимірювання, що виходять на підставі прямих вимірювань декількох величин, зв'язаних із шуканою величиною деяким рівнянням, що дозволяє обчислити шукану величину, коли прилад безпосередньо вимірює деяку величину  $X^*$ , а величина  $X$ , яку необхідно визначити, пов'язана з  $X^*$  деякою функціональною залежністю. За незмінності інших величин, що входять до такої залежності (формули), шкалу приладу можна проградувати в одиницях величини  $X$ . Так рідинний термометр безпосередньо вимірює не температуру  $T$ , а збільшення об'єму рідини. Але ці величини пов'язані, тому на шкалі термометра проставлено градуси. Так і амперметр магнітоелектричної системи безпосередньо вимірює не силу струму, а момент сили (сили Ампера), яка закручує пружину. Але сила Ампера однозначно пов'язана із силою струму і тому шкалу градуують в амперах. Прикладом непрямого вимірювання може слугувати задача 1.

**Задача 1** Визначити відносну похибку при вимірюванні опору за допомогою вольтметра й амперметра з використанням схеми, зображеної на рис.1.1, якщо прилади показують 25 В і 12,5 А (точно). Межа вимірювання вольтметра 30 В, його клас точності 2,5. Внутрішній опір вольтметра 5 кОм.

Межа вимірювання амперметра 15 А, його клас точності 4, внутрішній опір 0,2 Ом.

**Розв'язок.**

Насамперед, необхідно оцінити систематичну похибку, зумовлену методом увімкнення вольтметра. Дійсно, якщо ми оцінимо опір резистора на основі показань приладів, то одержимо  $R_1 = \frac{U_v}{I} = \frac{U_A + U_R}{I} = \frac{U_A}{I} + \frac{U_R}{I} = R_A + R$ , де  $R_A$  - опір амперметра,  $R$  - опір резистора.

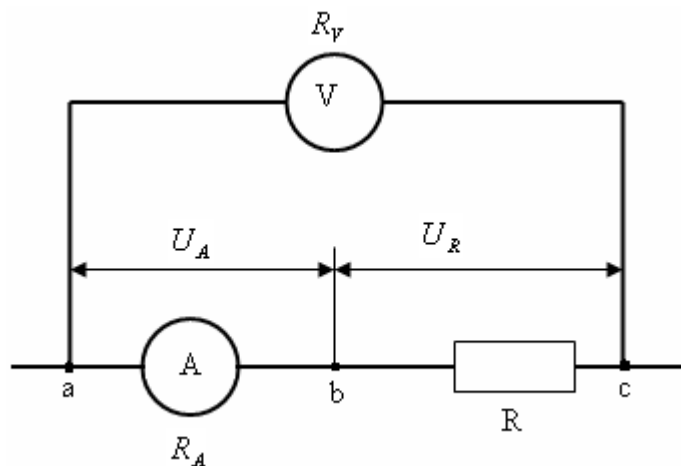


Рис. 1.1 Схема для визначення відносної похибки при вимірюванні опору за допомогою вольтметра й амперметра

Таким чином, границя абсолютної (систематичної) похибки дорівнює  $\Delta R_c = R_A$ . Границя відносної похибки дорівнює

$$\varepsilon_c = \frac{\Delta R}{R} = \frac{R_A}{R_1 - R_A} = \frac{0,2 \text{ Ом}}{\frac{25 \text{ В}}{12,5 \text{ А}} - 0,2 \text{ Ом}} = 0,11; \varepsilon_c = 11\%.$$

Оцінимо тепер похибку, зумовлену основними похибками використаних приладів.

Основна похибка вольтметра має межу

$$\Delta_B = \frac{2,5 \cdot 30}{100} = 0,75 \text{ В}.$$

Відносна похибка вимірювання напруги не перевищує

$$\varepsilon_U = \frac{0,75 \text{ В}}{25 \text{ В}} \cdot 100\% = 3\%.$$

Аналогічно можна визначити

$$\Delta_A = \frac{4 \cdot 15A}{100} = 0,6A \text{ і } \varepsilon_1 = \frac{0,6}{12,5} \cdot 100\% = 5\%.$$

Отже, загальна межа відносної похибки вимірювання опору дорівнює  $\varepsilon' = 11\% + 3\% + 5\% \approx 20\%$ . Зменшення похибки можливе за рахунок зменшення систематичної похибки, якщо переключити провідник із точки  $a$  в точку  $b$ . Тоді систематична похибка буде зумовлена тим, що амперметр показує суму струмів, що протікають через вольтметр, біля  $I_v = \frac{25}{5000} = 0,005A$ , що складає  $\frac{I_v}{I} \cdot 100\% = \frac{0,005A}{12,5A} \times 100\% = 0,04\%$ . Цією цифрою в сумі  $\varepsilon'' = 0,04\% + 3\% + 5\%$  можна знехтувати в порівнянні із сумою  $3\% + 5\%$ . При іншому методі увімкнення вольтметра похибка зменшується більш ніж у 2 рази – з  $20\%$  до  $8\%$ .

#### 1.6.4 Визначення похибок результатів вимірювань

Під час вимірювання фізичних величин не можна уникнути похибок. Причинами похибок є недосконалість вимірювальних приладів та методів вимірювання фізичних величин, недосконалість наших знань, а також труднощі, пов'язані з урахуванням всіх факторів, які супроводжують досліджуване явище, обмежені можливості наших органів чуття та інше. Завданням фізичного експерименту полягає не тільки в одержанні найточнішого значення вимірюваної величини, а й в оцінці похибок при її вимірюванні.

За своїм характером похибки вимірювань фізичних величин поділяють на систематичні, випадкові і промахи.

**Систематичні похибки** пов'язані з дією незмінних за своєю величиною і напрямком факторів. Вони зумовлені:

а) похибкою обраного методу вимірювання, який не враховує деякі фактори, що впливають на результати вимірювань;

б) похибками вимірювальних приладів, які визначаються їх конструкцією та якістю виготовлення.

До систематичних похибок відносять також похибку відліку нуля. Вона виникає внаслідок неточного регулювання відлікового пристрою. Наприклад, амперметр, показ якого у відсутності струму становить  $0,2\text{ A}$ , під час вимірювань даватиме завищені покази, – результати вимірювання матимуть систематичну похибку  $0,2\text{ A}$ . Її можна усунути до початку вимірювання, встановивши коректором стрілку на нульову відмітку. Часто такі похибки усунути до початку вимірювання неможливо; наприклад, термометр, опущений у лід, що розтає при атмосферному тиску  $760\text{ мм рт. ст.}$ , показує не  $0^{\circ}\text{C}$ , а  $-1,5^{\circ}\text{C}$ . Такий термометр весь час занижуватиме результат вимірювання, тобто даватиме систематичну похибку  $-1,5^{\circ}\text{C}$ . Якщо виконувати вимірювання таким термометром, то для знаходження значення вимірюваної величини потрібно до його показів додати поправку  $+1,5^{\circ}\text{C}$ . Проте так враховувати похибку відліку нуля можна лише у вимірювальних приладах з рівномірною шкалою.

**Випадкові похибки** – це похибки, які при вимірюванні будь-якої фізичної величини змінюють свою величину і знак без усякої видимої на те закономірності. Випадкові похибки являють собою сумарний ефект впливу багатьох факторів, кожний з яких незалежно від інших вносить в результат вимірювання свою елементарну похибку.

Випадкові похибки можуть бути зумовлені:

а) низькою чутливістю та неточністю вимірювальних приладів (наприклад, чутливість гальванометра дорівнює  $4 \cdot 10^{-6}\text{ A}$ , тобто за такого струму стрілка гальванометра відхиляється на одну поділку шкали. Якщо ми на око відлічуватимемо десяті частини від цієї однієї поділки, то зрозуміло, що похибки неминучі в десятковому значенні вимірюваної величини сили струму та ін);

б) недосконалість наших органів чуття (головним чином, гостротою і якістю зору та слуху);

в) впливом навколишнього середовища (наприклад, зміна температури, якість освітлення, повітряні плинні і ін.).

**Властивості випадкових похибок:**

а) за даних умов вимірювання випадкові похибки за абсолютною величиною не можуть перевищувати певної межі;

б) чим більша за абсолютною величиною випадкова похибка, тим менша її ймовірність, тобто вона рідше зустрічається;

в) випадкові похибки, що однакові за абсолютною величиною, але протилежні за знаком, – рівно ймовірні, тобто зустрічаються однаково часто;

г) середнє арифметичне з випадкових похибок вимірювань однієї і тієї величини прямує до нуля за умови необмеженого зростання кількості вимірювань цієї величини.

**Задача 2** При вимірюванні гальмівного шляху були отримані наступні 10 результатів: 39,7 см; 37,5 см; 40,1 см; 43,2 см; 36,4 см; 38,1 см; 41,6 см; 39,2 см; 40,1 см; 39,5 см. Визначте границю випадкової похибки.

**Розв'язок.** Знаходимо середнє арифметичне значення гальмівного шляху:

$$S_{\text{сеп}} = \frac{39,7 + 37,5 + 40,1 + 43,2 + 36,4 + \dots + 39,5}{10} \text{ см} = 39,5 \text{ см}.$$

Розраховуємо

$$\begin{aligned} \Delta S_{\text{кв}} &= \sqrt{\frac{(39,7 - 39,5)^2 + (37,5 - 39,5)^2 + \dots + (39,5 - 39,5)^2}{10}} \text{ см} = \\ &= \sqrt{\frac{(0,2)^2 + (2,0)^2 + \dots + 0^2}{10}} \text{ см} = 3,2 \text{ см}. \end{aligned}$$

Межа випадкової похибки приблизно дорівнює

$$\Delta S_{\text{вип}} = 3\Delta S_{\text{кв}} = 3 \cdot 3,2 \text{ см} = 9,6 \text{ см}.$$

Отже, можна стверджувати, що на даній установці результат будь-якого досліду під час вимірювання гальмівного шляху виявиться в інтервалі  $[S_{\text{сеп}} \pm \Delta S_{\text{вип}}]$ , тобто  $[(39,5 - 9,6) \text{ см}; (39,5 + 9,6 \text{ см})]$ , або в інтервалі  $(29,9 - 49,1) \text{ см}$ .

Може трохи здивувати висока відносна похибка вимірювання гальмівного шляху  $\varepsilon_s = \frac{9,6}{39,5} \cdot 100\% = 24\%$ . Однак підкреслимо ще раз: мова йде про межі похибки одиночного досліду, проведеного на даній установці, але

$N = 10$  дослідів проводилося для того, щоб визначити середнє значення  $S_{сер} = 39,5 см$ .

У загальному вигляді проблема розв'язується в такий спосіб. Нехай у серії з  $N$  дослідів знайдене  $x_{сер} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_N}{N}$  і межа випадкової похибки кожного дослідів серії  $\Delta x_{вин}$ . Чому дорівнює границя похибки середнього арифметичного  $\Delta x_{сер}$ ?

У теорії випадкових похибок доводиться: границя випадкової похибки середнього арифметичного, отриманого в серії з  $N$  дослідів, у  $\sqrt{N}$  раз менше границі випадкової похибки  $\Delta x_{вин}$ , кожного дослідів серії:

$$\Delta x_{сер} = \frac{\Delta x_{вин}}{\sqrt{N}} = \frac{3\Delta x_{кв}}{\sqrt{N}} \quad (1)$$

Повертаючись до вимірювань гальмівного шляху, ми можемо оцінити похибку середнього значення  $\Delta S_{сер} = \frac{9,6 см}{\sqrt{10}} = 3,0 см$ .

Можна стверджувати, що середнє значення  $39,5 см$  відрізняється від дійсного не більше ніж на  $3,0 см$ , тобто належить інтервалові  $[(39,5 - 3,0) см; (39,5 + 3,0) см]$ .

Співвідношення (1) має фундаментальне значення в теорії і практиці вимірювань. Воно підтверджує принципову можливість зменшення випадкових похибок при збільшенні числа дослідів. При збільшенні числа дослідів у серії, наприклад, у 100 разів випадкова похибка середнього зменшиться усього в 10 разів.

Правильна організація вимірювань вимагає вибрати таке число дослідів  $N$ , щоб випадковими похибками можна було знехтувати в порівнянні з інструментальними.

**Промахи** – це похибки, які зумовлені неправильним відліком показань приладу, неправильною експлуатацією приладу, нерозбірливими записами результатів вимірювань. Під час обчислення значення вимірюваної фізичної

величини такі помилкові дані слід не враховувати і виконати повторне (контрольне) вимірювання.

За змістом і критеріями оцінки точності вимірювання похибки поділяються на абсолютні та відносні.

**Абсолютною похибкою** називається іменоване число, яке вказує межі, між якими знаходяться істинне значення вимірюваної величини.

Наприклад,  $x = (0,78 \pm 0,02)_{\text{мм}}$  означає, що вимірювана величина  $x$  визначена в інтервалі  $(0,76 \leq x \leq 0,80)_{\text{мм}}$ .

Знайти цей інтервал потрібно для того, щоб можна було б визначити кількість вірних знаків у кінцевому результаті вимірювань.

Звичайно, абсолютні похибки не повністю характеризують якість вимірювання. Важливим в оцінці якості вимірювання є не сама величина похибки, а те, яку частину вимірюваної величини вона становить.

Для оцінки якості вимірювання, тобто порівняння точності незалежних вимірів двох або кількох однорідних чи різнорідних величин, розраховують так звану відносну похибку. Для прикладу, при вимірюванні довжини дошки сантиметровою стрічкою, що не має міліметрових поділок, край дошки приходиться на поділку між оцінками 95 і 96. Тоді математично можна записати, що шукана величина ( $x$ ) більша 95 см, але менша 96 см, тобто  $95 < x < 96$  (см).

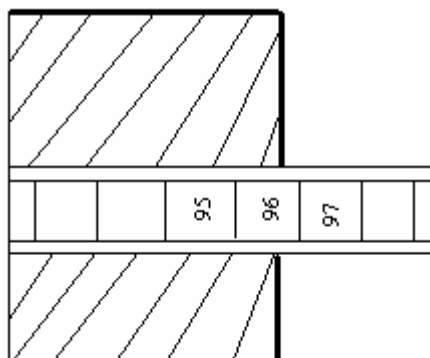


Рис. 1.2 Визначення абсолютної похибки

Відповідно до цієї нерівності довжину дошки можна прийняти рівною 95 см (з недоліками, рис. 1.2). Незалежно від того, до якої поділки ближче

лежить край дошки, похибка вимірювання не перевищує 1 см, що задовольняє основній умові: похибка не може бути більшою ціни поділки вимірювального приладу, крім деяких випадків (барометр-анероїд).

Якщо сантиметровий розподіл стрічки на око розділити навпіл і попередню нерівність записати у вигляді:

$$95,5\text{см} - 0,5\text{см} < x < 95,5\text{см} + 0,5\text{см}$$

$$x = 95,5 \pm 0,5\text{см},$$

то довжину дошки можна визначити точніше: 95,5 см з похибкою 0,5 см, де 95,5 см – наближене значення вимірюваної величини; 0,5 см – максимальна похибка, що допускається при її вимірюванні (рис.1.3).

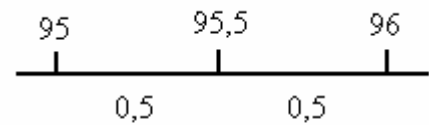


Рис. 1.3

За наближене значення вимірюваної величини доцільно брати те, що обчислюють як середнє арифметичне двох значень, у проміжку між якими знаходиться дійсне значення. Отже, наближене значення довжини дошки дорівнює:

$$\frac{95\tilde{n} + 96\tilde{n}}{2} = 95,5 \tilde{n}.$$

Число, що додають до наближеного значення або віднімають з нього, указує на максимальну похибку, яку можна допустити при вимірюванні розглянутої величини даною мірою (або приладом). Це число приймають за абсолютну похибку вимірювань. Абсолютна похибка дорівнює напіврізниці значень, між якими знаходиться дійсне значення.

Для попереднього прикладу абсолютна похибка вимірювання складає:

$$\frac{96\text{см} - 95\text{см}}{2} = 0,5 \text{ см}.$$

Таким чином, абсолютна похибка дорівнює половині ціни поділки за шкалою даного приладу, якщо вимірювання робилися однократно або якщо повторні вимірювання дали однакові результати:  $\Delta = \frac{c}{2}$ . Наприклад, якщо ціна найменшої поділки лінійки 1 мм, то абсолютна похибка при вимірюванні

дорівнює  $0,5 \text{ мм}$ ; якщо ціна поділки амперметра  $0,01 \text{ А}$ , то абсолютна похибка складає  $0,005 \text{ А}$ .

Якщо при вимірюванні довжини дошки кінець її співпадає точно на 95-й поділці, то все-таки не можна прийняти її довжину рівною  $95 \text{ см}$ . За абсолютну похибку прийнято брати також половину ціни поділки шкали приладу. Отже, у даному прикладі довжина дошки  $x = 95,0 \text{ см} \pm 0,5 \text{ см}$

**Відносною похибкою** називають відносне число, яке становить відношення абсолютної похибки вимірюваної величини до її середнього значення.

З останніх двох властивостей випадкових похибок впливає важливе положення теорії похибок: середнє арифметичне за результатами рівно точних вимірювань однієї і тієї ж величини є більш надійним або найбільш імовірним значенням вимірюваної величини, яку можна одержати із скінченої кількості рівно точних вимірів цієї величини.

Для того щоб говорити про якість вимірювання, знати величину абсолютної похибки недостатньо. А якщо взяти абсолютну похибку різнорідних величин, наприклад  $m = 25 \text{ г} \pm 1 \text{ г}$  і  $l = 30 \text{ см} \pm 1 \text{ см}$ , то шляхом їхнього порівняння, оцінити відносну якість цих величин узагалі неможливо.

Про якість вимірювань можна судити тільки на основі відносних похибок.

Наприклад, якщо при вимірюванні довжини стола рулеткою одержують результат  $120,0 \text{ см} \pm 0,5 \text{ см}$ , а вимірюючи довжину стрижня креслярською лінійкою, то відповідно значення його довжини дорівнює  $12,5 \text{ мм} \pm 0,5 \text{ мм}$ , а абсолютна похибка  $0,5 \text{ см}$ , допущена при вимірюванні стола, значно більша абсолютної похибки при вимірюванні стрижня  $0,5 \text{ мм}$ . Однак абсолютна похибка при зміні довжини стрижня складає  $4\%$  ( $\frac{0,5}{12,5} \cdot 100\% = 4\%$ ) вимірюваної величини, а при вимірюванні довжини стола лише  $0,4\%$  ( $\frac{0,5}{120,0} \cdot 100\% \approx 0,4\%$ ). Ці співвідношення є відносними похибками.

**Задача 3** Для визначення опору провідника виміряли силу струму і напругу. Вони рівні:  $I = 2,0 \text{ A}$ ;  $\Delta I = \pm 0,1 \text{ A}$ ;  $U = 4,5 \text{ B}$ ,  $\Delta U = \pm 0,2 \text{ B}$ . З'ясуйте, чи вірно підібрані вимірювальні величини.

**Розв'язок.** Обчислюємо відносні похибки вимірювань амперметром і вольтметром:  $\varepsilon = \frac{0,1 \text{ A}}{2,0 \text{ A}} = 0,05$ ,  $\varepsilon = \frac{0,2 \text{ B}}{4,5 \text{ B}} = 0,04$ .

Відносні похибки – одного розряду, отже, прилади підібрані вірно.

### 1.6.4.1 Похибки прямих вимірювань

Нехай, у результаті рівно точних вимірювань фізичної величини  $a$  одержано послідовність значень:  $a_1, a_2, \dots, a_n$ . Тоді середнє арифметичне значення цієї величини визначається за формулою  $\bar{a} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i$ . Абсолютні похибки окремих вимірів  $\Delta a_i$  дорівнюватимуть модулю різниці середнього значення  $\bar{a}$  і результатів окремих вимірів  $a_i$

$$\Delta a_1 = |\bar{a} - a_1|, \Delta a_2 = |\bar{a} - a_2|, \dots, \Delta a_n = |\bar{a} - a_n|. \quad (1)$$

Величину  $\bar{a} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i$  називають **середньою абсолютною похибкою вимірювання**. Отже, справжнє значення вимірюваної величини перебуває в межах:  $\bar{a} - \Delta a \leq a \leq \bar{a} + \Delta a$ . Остаточний результат вимірювання прийнято записувати так:  $a = \bar{a} \pm \Delta a$ .

Під час оцінювання середньої абсолютної похибки вимірюваної фізичної величини слід прийняти до уваги такі можливі випадки:

1 Якщо в результаті вимірювання одержані однакові значення вимірюваної величини або обчислена похибка менша від власної похибки вимірювального приладу, тоді за середню абсолютну похибку вимірюваної величини слід прийняти інструментальну похибку вимірювального приладу (номінальну похибку).

Це правило стосується також випадків, коли виконується одне вимірювання фізичної величини.

2 Похибки сталих величин прирівнюють до нуля. При використанні табличних значень фізичних величин, визначених з великою точністю, абсолютними похибками цих величин можна знехтувати, якщо інші величини вимірюються в процесі експерименту з меншою точністю.

Для повної характеристики точності вимірювання, крім середньої абсолютної похибки, вводиться відносна похибка  $\varepsilon$ :

$$\varepsilon = \frac{\overline{\Delta a}}{a}, \text{ або у відсотках: } \varepsilon = \frac{\overline{\Delta a}}{a} \cdot 100\% .$$

### 1.6.4.2 Похибки непрямих вимірювань

При непрямих вимірюваннях шукану фізичну величину визначають за результатами прямих вимірювань проміжних фізичних величин, функцією яких вона є. Тому похибки під час визначення значення цієї величини визначаються за величинами похибок безпосередньо вимірюваних величин.

Таблиця 1

Таблиця формул для знаходження абсолютних і відносних похибок

№ п/п	Алгебраїчний вираз	Границя абсолютної похибки	Границя відносної похибки
1	$A + b$	$\Delta a + \Delta b$	$\frac{\Delta a + \Delta b}{a + b}$
2	$a - b$	$\Delta a + \Delta b$	$\frac{\Delta a + \Delta b}{a - b}$
3	$C \cdot a$	$C \cdot \Delta a$	$\frac{\Delta a}{a}$
4	$\frac{a}{C}$	$\frac{\Delta a}{C}$	$\frac{\Delta a}{a}$
5	$A \cdot b$	$A\Delta b + b\Delta a$	$\frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b}$
6	$\frac{a}{b}$	$\frac{a\Delta b + b\Delta a}{b^2}$	$\frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b}$
7	$a^2$	$2a\Delta a$	$2 \frac{\Delta a}{a}$
8	$a^3$	$3a\Delta a$	$3 \frac{\Delta a}{a}$
9	$\sqrt{a}$	$\frac{\Delta a}{2\sqrt{a}}$	$\frac{1\sqrt{\Delta a}}{2a}$
10	$\sqrt[3]{a}$	$\frac{\Delta a}{3\sqrt[3]{a^2}}$	$\frac{1\Delta a}{3a}$

Нехай, для простоти, шукана величина  $C$  є функцією лише двох змінних  $a$  і  $b$ , вимірюваних безпосередньо (їх середні абсолютні похибки відповідно дорівнюють  $\overline{\Delta a}$  і  $\overline{\Delta b}$ ).

Середня абсолютна і відносна похибки величини  $C$  в залежності від вигляду функції  $C = f(a, b)$  обчислюються за відповідними правилами. Деякі формули для обчислювання похибок при непрямих вимірюваннях подано у таблиці 1.

#### **1.6.4.3 Типи похибок при прямих вимірюваннях. Класифікація похибок**

У процесі вимірювання фізичних величин значення результатів прямих вимірів можуть бути охарактеризовані такими похибками:

1 Похибки, пов'язані з недосконалими методами вимірювання, припущеннями і спрощеннями.

2 Інструментальні похибки, що виникають при виборі одиниці міри чи виготовленні вимірювального приладу.

3 Похибки, пов'язані з неправильною установкою приладів.

4 Похибки, що виникають внаслідок зовнішніх впливів на засоби вимірювань чи об'єкт вимірювання (температура середовища, поштовхи тощо).

5 Суб'єктивні похибки.

6 Похибки відліку.

Похибки вимірів в основному складаються з інструментальних похибок і похибок відліку. Похибка відліку, як правило, рівна половині ціни поділки приладу.

Якщо основна інструментальна похибка не відома, то можна використати допустиму похибку, яка вказується в паспорті чи описі приладу. Коли ж інструментальна похибка дуже мала по відношенню до похибки відліку, то її не враховують.

У процесі прямих вимірювань необхідно дотримуватись таких правил:

1 Похибка не може бути більшою ціни поділки вимірювального приладу.

2 За наближене значення вимірюваної величини доцільно брати те, яке розраховують як середнє арифметичне двох значень, в проміжку між якими знаходиться істинне значення.

3 Абсолютна похибка рівна піврізниці значень, між якими знаходиться істинне значення.

4 Виконуючи обчислення і вимірювання, користуються правилами дій над наближеними числами.

Такими правилами є такі, згідно яких: одержані числа для спрощення обчислень заокруглюють (заокруглюють з поправкою); наближені числа записують так, що лише одна з цифр є сумнівною (абсолютна похибка перевищує половину одиниці останнього розряду).

**Під час непрямих вимірювань:** при додаванні і відніманні наближених величин абсолютні похибки додаються; при множенні наближеної величини на ціле число абсолютна похибка збільшується в стільки ж разів; при діленні наближеної величини на ціле число абсолютна похибка зменшується в стільки ж разів; постійні величини і константи ( $\pi, \varepsilon_0, e, g$  і т.д.) беруть з такою похибкою, щоб число значущих цифр в них було на одиницю більше, ніж число значущих цифр у величинах, що вимірюються.

**Обробка результатів вимірювань фізичних величин здійснюється таким чином:**

1 Прямі вимірювання визначення  $\Delta a$  і  $\frac{\Delta a}{a}$  виконують методом середнього арифметичного.

2 Непрямі вимірювання розраховують методом границь та методом оцінки результатів (метод границь похибок).

### **1.6.5 Графічне зображення результатів експерименту**

Графічний метод дає можливість більш наочно подати результати експерименту – залежність функції  $f$  (величина, закономірність зміни якої визначається) від аргументу  $x$  (величина, від зміни якої залежить значення

функції), а також графічними методами визначити величину  $f$  для таких значень  $x$ , які експериментально не визначились, наприклад, для визначення  $x$ , проміжного між двома вимірами  $x_1$  та  $x_2$  (інтерполяція) або для значень  $x$  менших (або більших), ніж найменше (найбільше) з вимірюваних (екстраполяція). Звичайно, в останньому випадку має бути впевненість у тому, що характер залежності  $f(x)$  для інтервалів, де не виконувались вимірювання, мають такий же функціональний характер, як і в інтервалах, де вимірювання проводилися.

Для побудови графіків слід, насамперед, раціонально обрати масштаб, тобто так, щоб на графіку даного розміру (наприклад, аркуші міліметрового паперу розміром 10 x 20 см) розмістився увесь діапазон експериментальних значень фізичних величин, які відкладають уздовж координатних осей. Ціну поділки масштабу виражають, зазвичай, цілим числом, щоб фізичний зміст досліджуваного явища був встановлений достатньо чітко, експериментальна крива має бути не дуже крутою і не дуже пологою, для спрощення отримання відліку, і щоб, по можливості, була використана уся координатна площина тощо.

Вздовж координатних осей відкладаються значення вимірюваної фізичної величини, а біля позначення координатної вісі (яке обирають відповідно до загальноприйнятих позначень фізичних величин) вказують одиниці її вимірювання.

Для побудови графіків переважно користуються прямокутною системою координат із рівномірним масштабом. Іноді доцільно використати напівлогарифмічний масштаб для графічного зображення залежностей типу  $y = a \cdot e^{\pm kx}$  або логарифмічний – для залежності типу  $x^m \cdot y^n = const$ . У випадку, коли аргумент виражається в кутових одиницях, зручно використовувати полярну систему координат.

Звернемо увагу на те, що числа, одержані внаслідок вимірювання фізичних величин, є наближеними. Тому замість числа  $x$  треба було б писати  $x \pm \Delta x$ , а замість числа  $y$  - число  $y \pm \Delta y$ . Звідси випливає, що замість точок на

графіках треба було б зображати експериментальні дані маленькими прямокутниками або трикутниками з основами  $2 \cdot \Delta x$  і висотами  $2 \cdot \Delta y$ , всередині яких і перебувають справжні дані, одержані в результаті ідеального експерименту. Відповідно до цього можна було б провести дві граничні криві, між якими, очевидно, проходить крива, яка зображає справжній вигляд функції  $y = f(x)$ .

У роботах фізичного практикуму, зазвичай, обмежуються нанесенням точок і потім креслять криву так, щоб вона проходила найближче до експериментальних значень і в той же час не порушувала б загальної функціональної закономірності. Тобто залежності між різними фізичними величинами зображають плавними кривими.

Точки перегину, максимуму і мінімуму на експериментальних кривих відповідають якісним змінам у досліджуваних системах, наприклад, переходу системи до нового стану і т.д. У таких точках порушується рівномірність зміни всіх властивостей системи. В областях, близьких до цих сингулярних точок, слід проводити вимірювання більш ретельно.

Якщо окремі точки значно відхиляються від функціональної кривої, то це може свідчити або про великі похибки вимірювань або про явні промахи. Це в свою чергу, вказує на потребу підвищити в цих областях якість вимірювань.

Покажемо на прикладі експерименту з вивчення закону Бойля-Маріотта, як можна обробити результати спостережень, використовуючи графіки.

Здебільшого обробка результатів спільних вимірювань тиску й об'єму під час вивчення закону Бойля-Маріотта – це знаходження добутків тиску на об'єм для кожної серії і показу рівності їх [61]. Цим вивчення закону зводиться фактично до перевірки запропонованої учителем функціональної залежності  $pV = const$ . Щоб учні за результатами спільних вимірювань могли „самі” відшукати вигляд функціональної залежності, слід використати графічне зображення функціональної залежності. Результати спільних вимірювань обробляють у такій послідовності:

1 Спочатку пропонують учням за результатами спільних вимірювань  $p$  і  $V$ , записаних у таблиці 2, встановити функціональну залежність між  $p$  і  $V$ . Зрозуміло, що учні не зможуть розв'язати поставлене завдання, бо за таблицею це зробити важко.

2 Потім нагадують, що для наочного зображення функціональної залежності використовують графіки, і учні за результатами спільних вимірювань  $p$  і  $V$  будують графік залежності  $p$  від  $V$ . При побудові графіка учителю потрібно слідкувати, щоб був вдало вибраний масштаб. Графік має нагадувати гіперболу. А для цього треба, щоб в точці, яка відповідає середині графіка, був найменший радіус кривизни. Тому спочатку відшуковують „середину”  $p_1$  графіка. Якщо крайні точки графіка відповідають значенням тисків  $p_2$  і  $p_3$ , то точка, в якій тиск -  $p_1$ , знаходитиметься в середині графіка, коли  $\frac{p_3}{p_1} = \frac{p_1}{p_2}$ . Звідси  $p_1 = \sqrt{p_2 \cdot p_3}$ . Потім потрібно вибрати такий масштаб на осях координат, щоб відстань від „0” до позначки на шкалі  $0p$ , що відповідає тиску  $p_1$ , дорівнювала відстані від нуля до точки на шкалі  $0V$ , що відповідає об'єму, який займає газ при тиску  $p_1$ . Для значень, поданих у таблиці 2, „серединою” буде  $\sqrt{0,5 \cdot 1,5} \approx 0,9 \text{ кгс/см}^2$ .

На рис. 1.4 показано графік залежності  $p$  від  $V$ , побудований за результатами спільних вимірювань (табл. 2). Добре видно, що вигляд графіка залежить від вибору масштабу. Найбільш схожий на гіперболу графік 2, побудований з урахуванням зазначених закономірностей.

3 За графіком 2 знову пропонуємо учням знайти математичний вираз залежності  $p$  від  $V$ . Коли учні цього зробити не можуть, запитуємо їх: Чи може бути залежність  $p \sim V$ ?,  $p \sim 1/V$ ?,  $p \sim V^2$ ?,  $p \sim 1/V^2$ ? Як правило, вони вибирають залежність  $p \sim 1/V$ .

При такій обробці результатів вимірювань треба забезпечити достатній діапазон для зміни тиску, щоб графік залежності  $p$  від  $V$  був схожим на гіперболу, і щоб межі похибок вимірювань були такими, щоб через експериментальні точки не можна було провести прямої лінії.

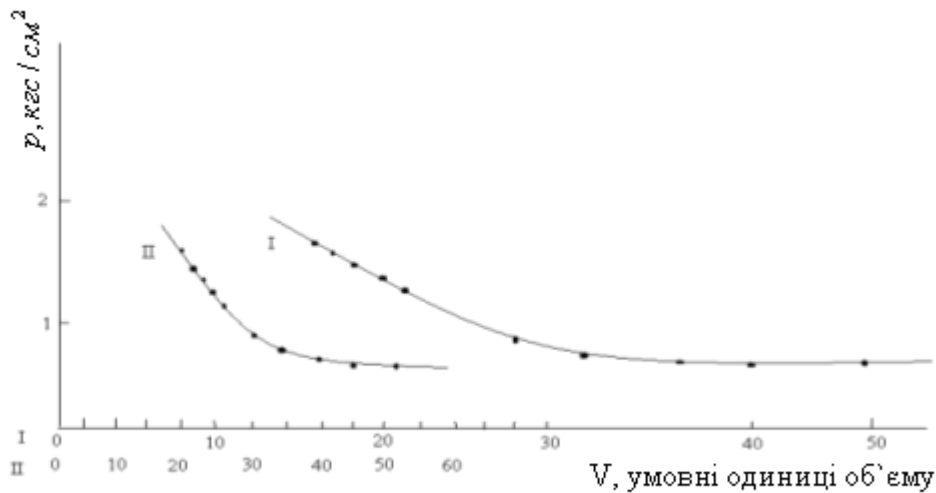


Рис.1.4 Графічна залежність  $p$  від  $V$

Таблиця 2

№ п/п	$V, м^3$	$p, кгс / см^2$	$\Delta p, кгс / см^2$	$\frac{1}{V} м^3$
1	22	1,10	0,07	0,0454
2	20	1,20	0,07	0,0500
3	18,5	1,30	0,07	0,0541
4	17	1,40	0,07	0,0589
5	16,2	1,50	0,07	0,0617
6	27	0,90	0,07	0,0371
7	30,5	0,80	0,07	0,0328
8	34,5	0,70	0,07	0,0290
9	40	0,60	0,07	0,0250
10	48	0,50	0,07	0,0208

4 Пропонуємо перевірити правильність знайденої залежності так: побудувати графік  $p$  від  $1/V$ . Якщо припущення правильне, то графіком має бути пряма лінія. Якщо дістанемо не пряму лінію, а наприклад, параболу, то, очевидно, маємо залежність виду  $p \sim (1/V)^2$ . Отже, за графіком залежності  $p$  від  $1/V$  можна перевірити висунуте припущення.

5 Один з учнів на дошці обчислює значення  $1/V$  за допомогою логарифмічної лінійки і записує результати до відповідної колонки таблиці (ці обчислення виконують усі учні), а другий за знайденими будує графік залежності  $p$  від  $1/V$ , який учні також креслять у своїх зошитах. Графік залежності  $p$  від  $1/V$ , побудований за результатами вимірювань, що міститься у табл.2., подано на рис.1.5.

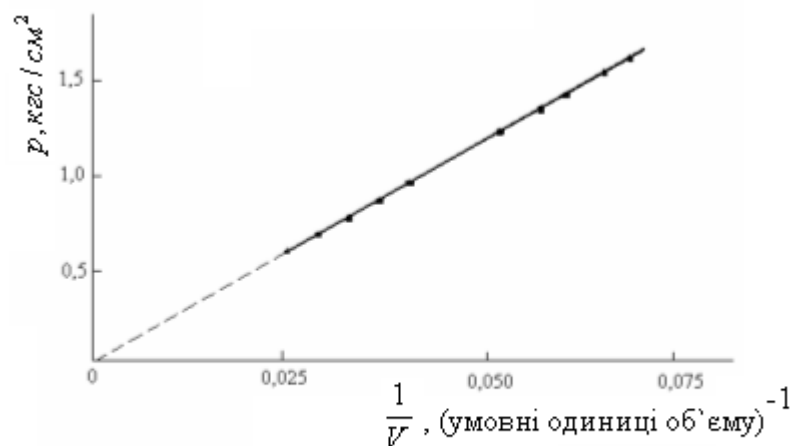


Рис.1.5 Графічна залежність  $p$  від  $1/V$

Аналізують графік і роблять висновок. Оскільки через експериментальні точки в межах похибок вимірювання можна провести пряму лінію, то  $p \sim V^{-1}$ , тобто  $pV = const$ .

### 1.6.6 Вказівки до робіт практикуму

Успіх оволодіння шкільним фізичним експериментом багато в чому визначається попередньою підготовкою до кожного практичного заняття.

При виконанні завдань у фізичному практикумі необхідно, насамперед, з'ясувати їхню мету, а потім продумати демонстрування, що відповідає цій меті.

Для цього в першу чергу треба добре знати вимоги програми і зміст теми згідно шкільного підручника. Крім того, необхідно мати на увазі, що ряд питань у шкільному підручнику висвітлений у методичному відношенні неповно, а деякі питання взагалі не розкриваються. Тому, щоб мати чітке уявлення про мету кожного експерименту, яка впливає до виконання роботи, слід вивчати цю тему не тільки за шкільним підручником, але й за підручниками, які розглядаються як альтернативні.

Для успішного виконання будь-якої практичної роботи відповідно до графіка учні повинні самостійно перед кожним заняттям вивчати наступні матеріали: вимоги програми до викладу теми; виклад теми в шкільному підручнику з фізики; виклад теми в альтернативних посібниках; додаткову

літературу стосовно фізичного експерименту, зазначену в інструкціях з окремих робіт; зміст роботи.

Опанування методики і техніки постановки навчального фізичного експерименту є однією з головних і складних завдань методичного практикуму. Ця складність обумовлена тим, що студенти (учні) в умовах лабораторії і великої кількості експериментів не мають можливості одночасно опанувати і методику проведення експерименту, і техніку його постановки. Тому в навчальній лабораторії кабінету методики фізики проводяться заняття двох типів: одні заняття слугують для освоєння техніки постановки навчального експерименту, заняття іншого типу - призначені для того, щоб студенти змогли набути навички з методики проведення дослідів.

Послідовність роботи на заняттях першого типу має такий вигляд:

1 Перед початком роботи перевірити комплект виставлених приладів, підсобних матеріалів та інструментів за списком устаткування, зазначеного в інструкціях.

2 Уважно прочитати завдання в інструкції і з'ясувати цільове призначення експерименту.

3 Ознайомитися за інструкцією із запропонованою методикою проведення експерименту, а в тих завданнях, де її немає, самим продумати її.

4 З'ясувати особливості техніки проведення експерименту, після чого приступити до виконання завдання: а) насамперед ознайомитися з пристроєм і конструктивними особливостями приладу або з пристроєм і технічними можливостями приладу для лабораторної роботи; б) зібрати установку для виконання досліду або лабораторної роботи; в) при проведенні спостереження чи досліду учень (студент) виконує експеримент, оцінює ефект, видимість, виразність і доступність досліду; необхідно продумати, як збільшити ефект досліду, що варто змінити, щоб підсилити видимість і виразність результатів навчального експерименту; г) замалювати установку і виокремити особливості методики і техніки постановки експерименту, умови одержання максимального ефекту і час, необхідний для проведення дослідів.

5 Відзначивши особливості приладів і методику виконання вимірювань та реєстрації показів, установку розібрати, прилади покласти на місце і приступити до наступного експерименту.

У тих випадках, коли експеримент вимагає для виявлення ефекту тривалого часу і не зв'язаний з великою кількістю приладів, а вимагає декілька вимірювань, доцільно підготувати кілька дослідів такого роду, виконуючи їх послідовно один за одним.

6 По закінченні роботи устаткування здати в повному порядку черговим лаборантам.

У письмових звітах учнів (студентів) про виконання роботи фізичного практикуму повинні бути зазначені: тема лабораторної роботи; методика і техніка проведення найбільш складних дослідів; креслення, схеми установок, таблиці з кількісними даними; висновки на поставлені запитання.

## **1.7 Система обладнання кабінету фізики сучасної школи**

Для забезпечення успішного перебігу навчально-виховного процесу з фізики вимагається досить різноманітне обладнання – від меблів, крейди і класної дошки до надто складних пристроїв, включаючи навчальні прилади, динамічні моделі, машини, ЕОМ та ін. Уся структура навчального обладнання може бути представлена у вигляді системи і базується на особливостях пізнавальної діяльності учнів, яка передбачає поступовий перехід від спостереження предметів і явищ, сприйняття їх зорових і звукових відображень, знакових і словесних описів до практичної роботи з предметами, відображеннями й описами, до формування уявлень та мисленого опрацювання їх змісту. Як правило, відбувається це шляхом аналізу й синтезу, абстракції й узагальнення, порівняння і протиставлення, що сприяє утворенню на цій основі понять, фіксування їх у пам'яті і застосування для пізнання нового і вирішення життєво вагомих завдань. Відповідно до особливостей пізнавальної діяльності

учнів можна виділити окремі групи навчального обладнання та інших засобів, необхідних для успішної організації процесу навчання фізики.

Генезис навчально-наочних посібників, навчального обладнання, матеріально-технічної бази дає підстави вважати, що до навчального обладнання з фізики належать:

- навчальні прилади: а) загального призначення, б) демонстраційні, відповідно до кожного розділу, в) лабораторні для фронтальних робіт (розрахунок один комплект на двох учнів) та для фізичного практикуму (по три комплекти кожного найменування);

- моделі демонстраційні;

- посуд і пристосування для виконання дослідів (демонстраційні та лабораторні, матеріали, інструменти та інше обладнання);

- посібники друковані: а) демонстраційні альбоми, портрети, б) таблиці, в) роздатковий матеріал, г) транспаранти;

- діапозитиви, діафільми, кінофрагменти, кінофільми;

- прикладні навчальні програми для ЕОМ – програмно-педагогічне забезпечення (ППЗ).

Зазначений перелік передбачає забезпечення навчальним обладнанням викладання шкільного курсу фізики у 7-9 та 10-11 класах за програмами, які діють ще й зараз. Але при викладанні фізики у новому змісті і сучасної навчальної програми для профільних класів для ЗНЗ передбачається збільшення кількості запропонованих експериментальних завдань і розширення переліку обов'язкових демонстраційних дослідів, що вимагає широкого використання дидактичних засобів (ДЗ) і навчального обладнання (НО) нового покоління і відповідно, широкого запровадження комп'ютерної техніки на уроках фізики та в позашкільних заняттях. За цих обставин слід наголосити, що наявність такої системи різних видів навчального обладнання ще не визначає ефективності його використання у навчальному процесі з фізики.

Для цієї мети необхідне спеціальне приміщення, оснащене відповідним устаткуванням, наочними посібниками, технічними засобами, в якому

проводиться весь комплекс навчально-виховного процесу з фізики, де проводяться уроки, позакласні й факультативні заняття, виховна робота з учнями, а також постійно підвищується професійна кваліфікація вчителів.

Важливість створення спеціальних фізичних кабінетів була визнана ще у зв'язку зі шкільною реформою в 1786 році, коли Комісією зі створення народних училищ у документі, що розкривав план будівництва приміщення для училищ (1783 р.), передбачалася обов'язкова кімната для книг та шкільних інструментів. Ще тоді фізичні кабінети використовувалися не лише для того, щоб навчити учнів пояснювати досліди, а й для їх виконання. Зокрема, цікавим є повідомлення про те, що у Київському головному народному училищі 8 червня 1794 року проводилися „відкриті випробування в предметах першого, другого і врешті третього і четвертого класів. Фізичні досліди, виконані учнями четвертого класу за допомогою повітряного насосу, викликали у глядачів надзвичайне задоволення” [16]. Пізніше в устаткуванні та забезпеченні кабінету фізики необхідним навчальним обладнанням велику роль відіграв Зразковий фізичний кабінет у Києві (1906 – 1920 рр.), статутом якого серед важливих методичних проблем передбачалося слугувати посередником між технічними фірмами та навчальними закладами з питань поширення найкращих приладів, а також „найкращим чином лагодити зіпсовані прилади у різних провінціальних навчальних закладах” [17].

Ці корисні починання пізніше продовжувалися О.К. Бабенком, А.П. Карловою, М.Й. Розенбергом, Б.Ю. Миргородським, Є.В. Коршаком та іншими методистами і фахівцями в галузі методики і техніки ШФЕ.

Сучасний кабінет фізики, як правило, складається з двох приміщень: класу-лабораторії для проведення занять з учнями та препаратурської, де зберігається основна частина демонстраційного обладнання та готуються досліди й ілюстративний матеріал до занять з фізики.

За сучасними вимогами в школах з великою кількістю учнів функціонують два фізичних кабінети: один – для учнів основної школи, другий – для учнів старших класів, а в школах з неповними двома паралелями класів

працює один кабінет фізики. Ці приміщення передбачаються ще при проектуванні будівництва школи, а вимоги до них описані у посібнику [36].

## **1.8 Педагогічні принципи функціонування шкільного кабінету фізики та системи ШФЕ**

Оснащення системою навчального обладнання фізичного кабінету та лабораторії фізики повинно здійснюватись, виходячи із *принципу його оптимізації*, що дозволяє вчителю найкращим чином реалізувати всі функції процесу навчання, при цьому дає можливість вчителю витратити мало зусиль, часу і мінімум засобів, а учням дозволяє засвоїти предметні знання, уміння і навички, набути високий рівень допрофесійної чи фахової підготовки, а також гармонійно розвиватися духовно і фізично, досягти високого рівня інтелектуального розвитку особистості.

Звернемо увагу на те, що оснащення та обладнання комплексного кабінету фізики має здійснюватися за такими загальними принципами [65]:

**1 Принцип відповідності нормам санітарно-гігієнічного режиму:** визначається склад і площа фізичного кабінету та окремих його кімнат, їх освітленість та повітряно-тепловий режим, регламентується використання певних груп лабораторних столів, стільців для забезпечення довгострокової працездатності учнів, нормального фізичного розвитку.

**2 Принцип відповідності вимогам раціональної організації праці:** означається набір меблів до кожного типу фізичного кабінету; комплект шаф для збереження приладів, таблиць, підручників, дидактичного матеріалу та навчального обладнання; демонстраційний стіл, універсальний візок, комплект засобів затемнення класу, класна дошка, стіл для персонального комп'ютера на робочому місці учня чи вчителя тощо.

**3 Принцип обладнання кабінету відповідно до вимог безпеки праці:** визначається допустиме значення напруги, роду електричного струму та комплекту електрообладнання, а також інші вимоги правил техніки безпеки.

4 **Принцип інтеграції засобів навчання**, виділяючи: а) інтеграцію засобів навчання на етапі їх розробки; б) внутрішньо-предметну інтеграцію за рахунок оптимального співвідношення демонстраційного і лабораторного обладнання та відмінної від уже відомої компоновки приладів у нових експериментальних установках; в) міжпредметну інтеграцію, яка передбачає запровадження загальних приладів і деталей, посуду та інструментів для забезпечення дисциплін природничо-математичного циклу або за рахунок використання обладнання з фізики на уроках біології, хімії, природознавства, а обладнання з біології – на уроках біології, хімії, природознавства і т. д., що дозволяє використання їх одразу під час вивчення декількох навчальних дисциплін. Це сприяє створенню сучасної матеріальної бази для забезпечення виконання вимог програм при мінімальних затратах коштів і приблизно на 35 % зменшеному переліку засобів навчання у шкільному кабінеті.

5 **Принцип підвищення коефіцієнту використання навчального обладнання**. Аналіз розвитку навчального обладнання з фізики свідчить про те, що останнім часом зростає кількість засобів навчання. З одного боку, це логічно, бо в програму з фізики вводяться нові поняття і навіть нові розділи, для вивчення яких не було матеріальної бази і відповідного експериментального забезпечення процесу навчання. З іншого боку, збільшення кількості навчального обладнання знижує коефіцієнт використання як окремого приладу, так і всієї їх сукупності. Така ситуація ускладнює розміщення обладнання, не сприяє виробленню в учителя стійких навичок у користуванні приладами, учні ж швидко їх забувають і не знають та не завжди можуть визначити сфери їхнього застосування.

Систему навчального обладнання можна вважати оптимальною, коли вона забезпечує наочністю всі теми і розділи курсу і дозволяє підвищити коефіцієнт використання всіх видів навчального обладнання, забезпечує розуміння і засвоєння навчального матеріалу всіма учнями на рівні їх навчальних можливостей кожного школяра, відкриває можливості для постановки нових демонстраційних і лабораторних дослідів; знижує загальну

вартість навчально-наочних посібників та не приводить до великої трати часу вчителем і учнями на опанування матеріально-технічним оснащенням кабінету.

Тому розробка навчальних фізичних приладів передбачає проектувати прилади як функціональні вузли, які за допомогою мінімуму елементів і модулів забезпечують максимум випадків їх використання (принцип мінімуму). Такий підхід до створення навчального обладнання для ШКФ вимагає враховувати наступні принципи: 1) *принцип кібернетики*, в якому різні компоненти і частини доцільно і плідно взаємодіють між собою при відповідному математичному їх описі; 2) *принцип узгодженості вихідних і вхідних характеристик* різних вузлів і приладів, бо це забезпечує технічну компоновку експериментальних установок; 3) *принцип створення приладів із оптимально підібраних і розрахованих функціональних вузлів*.

6 ***Принцип кількісних вимірювань*** у демонстраційному експерименті, який дозволяє оцінити досліджуване фізичне явище не лише якісно, але й дати йому кількісну оцінку. Така загальна тенденція простежується під час постановки демонстраційного експерименту з усіх розділів фізики.

7 ***Принцип скорочення невиробничих часових затрат***, який завдяки комплектній системі збереження, транспортування засобів навчання, централізованого електропостачання робочих місць учнів дозволяє скоротити затрати часу вчителя під час підготовки обладнання до уроку.

З наведених принципів до навчальних фізичних приладів ставляться такі основні вимоги: відповідність сучасному науковому і технічному рівню; бути простими за конструкцією, зручними і надійними в експлуатаванні; відповідати дидактичним і методичним завданням та вимогам ергономіки й естетики; відповідати всім вимогам техніки безпеки і гігієни праці.

Відповідно виділимо ***вимоги до демонстраційних приладів***:

- демонстраційні прилади слугують для постановки дослідів учителем; вони та установки на їх основі повинні забезпечити можливість чіткого їх спостереження з усіх місць класу;

- демонстраційні прилади повинні мати великі розміри, яскраве контрастне забарвлення деталей, що виділяють найважливіші частини приладу і складають предмет вивчення; за своєю конструкцією повинні дозволяти учням легко та доступно розуміти будову і принцип дії; другорядні деталі повинні бути малопомітними;

- демонстраційні вимірювальні прилади повинні мати шкалу, стрілки, покажчики, що добре видимі; одночасно слід враховувати, що надмірні розміри цих деталей ведуть до зменшення чутливості приладу; перспективним є використання цифрових покажчиків;

- демонстраційні прилади мають бути зручними у роботі під час підготовки та у ході відтворення дослідів; ці прилади повинні бути стійкими, надійними, мати запас міцності, допускати деяке перевантаження;

- прилади для діаскопічної проекції мають передбачати можливість демонстрування їх за допомогою сучасних проекційних апаратів: епіпроектора; графопроектора і т.п.

***Вимоги до приладів для фронтальних лабораторних занять*** передбачають, що ці прилади призначені для самостійних індивідуальних дослідів і спостережень учнів. Тому вони повинні бути невеликих розмірів, прості, міцні, зручні для роботи і збереження, надійні у використанні. Вимірювальні прилади можуть не мати позначення класу точності, але фактична їхня похибка має відповідати класу 2,5. Лабораторне обладнання для фронтальних занять забезпечує першу стадію формування в учнів практичних умінь у користуванні фізичними приладами та в експериментуванні. Їх кількість у кабінеті фізики має забезпечити роботу з одним комплектом не більше двох учнів.

***Вимоги до приладів фізичного практикуму.*** Ці прилади використовуються на більш високому рівні виконання учнями експериментальних завдань. Такого типу прилади більш досконалі, точніші і можуть бути складнішими, відповідаючи приладам, що запроваджуються у техніці. Більшість з них добираються саме на основі досить поширених

приладів у наукових і технічних лабораторіях чи на виробництві. Клас точності електровимірювальних приладів для фізичного практикуму може бути від 0,1 до 2,5.

Обладнання для виконання лабораторної роботи однією підгрупою комплектується для кожної роботи так, щоб всі прилади, деталі і пристосування могли бути вміщені в один лоток разом з переліком обладнання та 2-3 екземплярами інструкції для учнів.

Вимоги до *допоміжних приладів та пристосувань* випливають із того, що ці елементи установок не є об'єктами вивчення. До них відносяться струбцини, затискачі, штативи, екрани, підйомні столики, тримачі тощо. Тому основні вимоги до них – зручність у використанні і стійкість та надійність у роботі; вони мають бути малопомітними, а конструкція їх повинна бути простою і зрозумілою.

Важливими питаннями в обладнанні шкільного кабінету фізики є організація робочого місця вчителя, учнів та забезпечення комплектом обов'язкового переліку навчального обладнання.

*Робоче місце вчителя* передбачає створення всіх умов для швидкої і якісної підготовки вчителя до уроку і необхідної системи засобів навчання та ефективного проведення заняття. Тому воно вимагає виділення вчителю місця і в препараторській, і в класі-лабораторії. Робоче місце вчителя в класі – лабораторії складається із демонстраційного стола, робочого стола з пультом управління різними ТЗН, класної дошки, проекційного екрана та пульта керування електропостачанням в класі-лабораторії, зашторюванням вікон.

*Робочі місця учнів* мають сприяти плідній навчально-пошуковій і дослідницькій роботі, бо за своїми столами учні не лише слухають пояснення вчителя і спостерігають за його демонстраціями, розв'язують задачі, вивчають текст підручника і т. п., але й виконують самостійні досліди, лабораторні роботи і роботи фізичного практикуму. Тому учнівський стіл має площу для забезпечення робочих місць одночасно двох учнів. Для швидкого забезпечення учнівських робочих місць необхідними приладами і матеріалами під час

фронтальних дослідів і лабораторних робіт та фізичного практикуму все лабораторне обладнання концентрується в класі-лабораторії і зберігається в лабораторних шафах, розміщених у кінці класу. Лабораторне обладнання найкраще розміщувати в лотках різних розмірів у вигляді комплектів такої кількості, що дозволяє забезпечити одночасно роботу двох учнів. Обладнання для фізичного практикуму добирається з розрахунку, як правило, по три комплекти для однієї роботи.

*Препараторська* фізичного кабінету передбачає виконання вчителем всієї підготовчої роботи напередодні відповідних занять з фізики: підготовку демонстраційних і лабораторних дослідів, перевірку та випробування приладів, складання та перевірку установок, поточний ремонт приладів, перевірку ілюстрованого матеріалу і т.п. Тому тут організується місце, до складу якого входять робочий стіл для підготовки дослідів, стіл із спеціальними інструментами для виконання монтажних і ремонтних робіт, письмовий стіл вчителя, бібліотечка методичної літератури, підручників, збірників задач та іншого методичного забезпечення [16].

Комплект навчального обладнання шкільного кабінету фізики до недавнього часу регламентується Типовими переліками навчально-наочних посібників і навчального обладнання з фізики, затверджений наказом Міністерства освіти і науки України від 20.06.2002 р. № 367. Однак, такий перелік зараз уже не може повною мірою забезпечити різномірне і профільне вивчення фізики, бо програми (особливо програма поглибленого вивчення фізики за фізико-математичним профілем) суттєво розширили навчальний матеріал і, безперечно, розширилася роль експериментального методу фізики та його значення у навчанні фізики. Одночасно зазначимо, що комплект обладнання кабінету фізики це лише матеріально-технічна база, яка пов'язана з певними матеріальними цінностями, а комплект навчального обладнання та навчально-методичного забезпечення значною мірою розширює уявлення про оснащення кабінету фізики.

Тому завданням на сьогоднішній день є: а) вироблення педагогічних, технічних, технологічних, ергономічних та економічних вимог до розробки різних видів навчального обладнання, рекомендацій щодо промислового виробництва цього обладнання; б) урахування і відбір того навчального обладнання і його переліку, котрий забезпечить ефективне вивчення фізики за різними програмами; в) створення та апробація методичних посібників і рекомендацій нових дослідів і комплектів у процесі профільного навчання фізики.

### **1.9 Оптимізація процесу навчання та навчального експерименту з фізики в загальноосвітніх навчальних закладах**

Розвиток людства набуває дедалі динамічнішого характеру. Про це свідчить аналіз будь-якої сфери суспільного життя. Сучасне суспільство висуває нові вимоги перед освітою. Зміна ідей, знань, технологій відбувається швидше, ніж зміна людського покоління. Сучасна освіта в багатьох країнах світу спрямована на надання учням необхідних знань, вироблення умінь та навичок, засвоєння великої кількості фактичного матеріалу. Водночас сучасна система освіти недостатньо навчає цілеспрямованому прийняттю відповідальності за вибір шляху розвитку, прийняттю рішень, критичного мислення, умінням розв'язувати конфлікти, співпраці, умінням працювати в команді, використовувати інформаційні й комунікаційні технології. Відповідно, головним і основним компонентом сучасного навчального процесу є особистість, визначальною рисою якої є не енциклопедично розвинена пам'ять, а гнучкий розум, швидка реакція на все нове; особистість, яка володіє добрими навичками, творчими здібностями й розвиненими потребами для пізнання та самостійної дії, постійним прагненням учитися, спостерігати, досліджувати, самовдосконалюватися.

Одним із ефективних напрямків відновлення змісту сучасної освіти й узгодження його з актуальними потребами суспільства, інтеграцією в

міжнародний освітній простір є, на нашу думку, усвідомлення необхідності формування еволюційного соціального замовлення суспільства на інноваційну людину, здатну до творчого взаємоперетворення. І тут далеко не останню роль відіграє фізика. Саме вона створює знання про світ, накопичує навички, технології, розширює апарат пізнання, створює свою мову, за допомогою якої реалізує систему фізичної освіти, корисну для всіх. Нині діючими профільними програмами передбачено розвиток в учнів дослідницьких навичок, творчих здібностей та креативного стилю мислення. Зрозуміло, що для досягнення цієї мети недостатньо простого нагромадження знань про фізичні теорії, закони, певні факти і відомості. Тому технології та методики навчання фізики, які спонукають мисленнєву діяльність учнів домінувати над заучуванням і бездумним засвоєнням якнайбільшої кількості інформації, є на часі й потребують всебічного вивчення. Вказана проблема не є новою. Однак, пошуки можливих варіантів розв'язків цієї проблеми завжди були предметом досліджень психологів, педагогів і науковців. Розв'язання зазначеної проблеми неможливе без використання у педагогічному процесі принципу оптимізації навчання при вивченні фізики, зокрема оптики у загальноосвітніх навчальних закладах.

Багато педагогів минулого і сьогодення неодноразово висловлювали ідеї, пов'язані з пошуком таких можливих варіантів. А.С. Макаренко стверджував, що для виховання потрібно не багато часу, а розумне використання його. С.Т. Шацький вважав за необхідне, щоб робота була пророблена при порівняно мінімальній затраті сил і не за великий проміжок часу [2; 30].

В.А. Сухомлинський не користувався у своїх працях терміном „оптимізація”, але духом пошуку оптимального для кожної дитини варіанта навчання і виховання перейняті багато його здобутків. Наприклад, у книзі „100 порад учителеві” [82] звертається увага на такі розділи: „Як запобігти виснаженню нервових сил у процесі повсякденної діяльності”, „Запам'ятайте, що немає і не може бути абстрактного учня”, „Де брати час? Доба має тільки 24 години”, „Час вчителя і взаємозалежність етапів навчання”, „Знання – і ціль, і

засіб”, „Як розподілити працю школярів протягом року”, „Щоб не було перевантаження – необхідний вільний час”.

Під оптимізацією навчально-виховного процесу за Ю.К. Бабанським в сучасній школі розуміється вибір такої методики його проведення, що дозволяє одержати найкращі результати при мінімально необхідних затратах часу і зусиль вчителів та учнів [2].

Правильний науково-обґрунтований вибір технологій, методів і прийомів проведення уроків фізики визначає оптимізацію процесу навчання. Вона має йти по шляху вдосконалення змісту навчання, тобто приведення його у відповідність із потребами суспільства і можливостями учнів.

Проблема оптимізації процесу навчання фізики пов'язана з пошуком нового в теорії і в практиці навчання і це нове має знаходитися і бути тісно пов'язаним із вивченням фізики. Аналіз практичної діяльності вчителів дає підставити визначити труднощі, які виникають при розв'язанні цієї проблеми, що пов'язано, перш за все, з недостатньою обізнаністю педагогів із самою ідеєю оптимізацією, а також невмінням обирати засоби, які сприяють оптимальній роботі учнів та вчителів.

Оптимізація припускає найбільш ефективне функціонування педагогічного процесу з погляду заданих критеріїв на основі всебічного обліку закономірностей, принципів, сучасних форм і методів навчання і виховання, наявних умов, а також особливостей даного класу й окремих учнів.

Критеріями оптимізації виступають: 1) *максимально можливі результати у формуванні знань, умінь, навичок, тієї або іншої риси особистості, у підвищенні рівня вихованості; 2) мінімально необхідні витрати часу учнів і вчителів на досягнення визначених результатів; 3) мінімально необхідні витрати зусиль школярів і вчителів на досягнення визначених результатів за відведений час; 4) мінімальні в порівнянні з типовими витрати засобів на досягнення визначених результатів за відведений час.*

Про ефективність і якість процесу навчання можна судити за результатами успішності навчання школярів, а також за рівнем їхньої

вихованості і розвиненості, за ступенем відповідності результатів навчання вимогам усього комплексу цілей і задач сучасної школи, за ступенем відповідності цих результатів максимальним можливостям кожного школяра в даний період його розвитку. Роль оптимізації в навчальному процесі під час вивчення фізики у загальноосвітніх навчальних закладах різного типу та профілю наведено в таблиці 3.

*Таблиця 3*

*Роль оптимізації в навчальному процесі при вивченні фізики*

	1 процес	2 процес
	Планування й організація навчального процесу без врахування принципу оптимізації	Планування й організація навчання відповідно до принципу оптимізації
1	2	3
1	Планування в основному лише освітніх задач	Комплексне планування задач, утворення – інтелектуального, вольового й емоційного розвитку школярів.
2	Планування навчального матеріалу без цілеспрямованого виділення в ньому головного, істотного	Чітке виділення головного, істотного в змісті навчального матеріалу
3	Стандартний вибір послідовності основних етапів уроку (опитування, пояснення, вправи та ін.)	Усвідомлений вибір послідовності опитування, вивчення нового, вправи і ін.
4	Застосування методів і засобів навчання за сформованим у вчителя стереотипу, без наукового обґрунтування вибору	Вибір найкращого для даних умов сполучення методів, засобів навчання. Внесення необхідних корективів у методи навчання за розвитком уроку
5	Стандартний вибір, форми навчання. Відсутність диференційованого підходу до слабких і найбільш підготовлених учнів	Обґрунтований вибір форм навчання. Диференційований підхід до слабких і найбільш підготовлених учнів
6	Стандартність темпу навчання і розподіл між етапами уроку. Визначення обсягу домашнього завдання без врахування встановлених нормативів часу і без обговорення його з іншими вчителями	Обґрунтований вибір темпу навчання. Визначення обсягу домашнього завдання з урахуванням діючих нормативів. Координація обсягу домашніх завдань з іншими вчителями
7	Прийняття навчання тільки до наявних умов	Прийняття до покращення умов для ефективного навчання учнів
8	Аналіз результатів навчання в основному тільки в загальноосвітньому плані і без врахування затрат часу учнів	Аналіз результатів навчання одночасно в освітньому, виховному і розвиваючому планах. Забезпечення раціональності затрат часу учнів на домашню роботу.

Оптимальним слід вважати такий процес навчання, який відповідає одночасно наступним критеріям у процесі вивчення фізики:

а) зміст, структура і логіка функціонування процесу навчання забезпечують ефективно і якісно розв'язання задач виховання і загального розвитку школярів відповідно до вимог державних навчальних програм на рівні максимальних навчальних можливостей кожного школяра;

б) поставлені цілі досягаються без перевищення затрат часу, відведеного діючим навчальним планом для класних занять, а також без перевищення максимальних норм часу, встановлених шкільною і трудовою гігієною для домашніх занять учнів і вчителів.

Тому оптимальна організація навчального процесу в школі припускає: наявність у школі перспективного плану з урахуванням найважливіших напрямків розвитку й удосконалення та планування навчального процесу з попереднім аналізом підсумків попереднього року та виділенням головних завдань, що орієнтовані на усунення типових недоліків. Такий план має передбачати:

- створення в педагогічному колективі сприятливої морально-психологічної атмосфери для творчої діяльності вчителів;
- забезпечення необхідної навчально-матеріальної бази, упровадження кабінетної системи організації навчальної роботи в школі;
- дотримання шкільних гігієнічних нормативів, світлових, повітряних, температурного режимів і ін.;
- комплектування методичних об'єднань вчителів і планування їхньої роботи з обліком не тільки загальних завдань, але й особливостей конкретного складу вчителів;
- організація самоосвіти вчителів та залучення у курсову систему удосконалення вчителів; створення умов для регулярного відвідування занять, мотивації активного навчання;
- складання розкладу навчальних занять у школі з урахуванням психолого-педагогічних вимог до нього;

- упровадження раціональних форм календарно-тематичного і поурочного планування з урахуванням індивідуальних особливостей вчителів;
- попередній контроль за якістю уроків, аналіз взаємовідвідуваних уроків згідно до вимог оптимізації навчально-виховного процесу;
- координація обсягу домашніх завдань відповідно до нормативів для домашньої роботи;
- попередження перевантаження вчителів;
- пропаганда і поширення передового досвіду оптимальної організації навчально-виховного процесу.

### **1.10 Тенденції розвитку навчального експерименту з оптики**

Історико-генезисне вивчення проблеми становлення і вдосконалення навчального експерименту та аналіз науково-методичних досліджень і публікацій з методики вивчення оптики за профільними програмами у ЗНЗ, дозволяють встановити тенденції розвитку системи ШФЕ в сучасній загальноосвітній школі. До них відносяться:

*1 Постійне впровадження та скорочення строків запровадження у навчальному експерименті нових наукових досягнень.* Ця тенденція обумовлена зростаючими темпами розвитку фундаментальних і прикладних наукових досліджень, що веде скорочення часу між появою нових наукових ідей та їх практичною реалізацією. Тому, природним є відставання шкільного курсу фізики від науки фізики, а шкільного навчального експерименту й особливо з оптики від фізичного наукового експерименту, від досягнень науки і техніки у цій галузі. Однак таке відставання упродовж останніх десятиліть має тенденцію до скорочення. Свідченням цьому є приклади запровадження лазерів, голографії, рідких кристалів, комп'ютерної техніки й ЕОМ у процес навчання фізики та у ШФЕ.

Збагачення системи ШФЕ новими оптичними методами дослідження і сучасним обладнанням зумовлюється конкретними цілями навчання за

профільними програмами з фізики й особливо за програмою поглибленого вивчення фізики.

2 Зближення експериментального методу навчання із сучасними науковими методами дослідження. Виконання навчального експерименту з оптики передбачає наявність у вчителя та учнів експериментальних умінь і відповідної послідовності (див. рис. 1.6.).

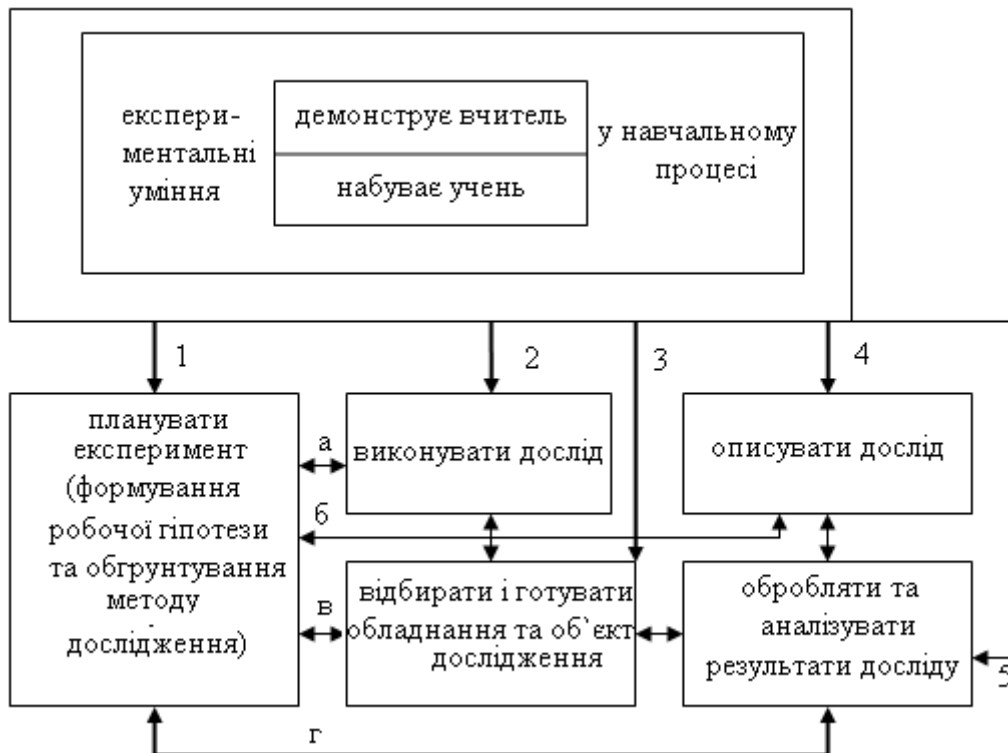


Рис.1.6 Експериментальні уміння, які набувають учні у процесі навчання фізики, та взаємозв'язки між ними

За цих обставин учні одержують інформацію як про вибраний метод експериментування, так і про використане до нього обладнання.

Проте, не всі методи наукових досліджень доступні для розуміння їх учнями, як і не завжди у навчанні доцільно використовувати усі наукові методи, прилади й установки, бо до них ставиться комплекс відповідних вимог: дидактичних, економічних, ергономічних, естетичних, вимог санітарії і техніки та ін., оскільки вони мають відповідати навчальному обладнанню.

Сучасне приладобудування дозволяє створити таке навчальне обладнання, яке зберігає основні риси наукових установок і знайомити учнів із

методами дослідження природних явищ і процесів відповідно до вимог профільних програм варіативного навчання фізики, й оптики зокрема.

*3 Посилення ролі демонстраційного експерименту в розкритті кількісних сторін оптичних явищ і закономірностей.* У старших класах навчання фізики пов'язане з розкриттям не тільки якісної сторони, а й з уведенням системи фізичних величин і встановленням функціональних зв'язків між ними. Такі досліди стали можливими з оптики, бо використання навчальної моделі лазера чи лазерного діода у вигляді джерела оптичного випромінювання дає можливість і в ході демонстрації, і під час розв'язування експериментальних задач враховувати оригінальні властивості пучка світла (когерентність, монохроматичність  $\lambda = const$ , поляризованість і вузьку спрямованість) і легко встановлювати співвідношення між конкретними параметрами або визначити їх. З цією метою запроваджуються демонстраційні досліди, які дозволяють вимірювати і кількісно оцінювати певні властивості об'єкта вивчення, встановлювати кількісні закономірності і співвідношення між фізичними величинами. Зазначені навчальні досліди сприяють активізації навчально-пізнавальної діяльності учнів на уроках, створенню активної робочої атмосфери на уроці, роблять учнів співучасниками експерименту.

*4 Широке запровадження електроніки у шкільний фізичний експеримент.* Квантова електроніка, яка виникла завдяки розвитку фізики, своїми найзагальнішими методами і засобами проникла в усі сфери діяльності людини. Доцільним є запровадження її в шкільний фізичний експеримент, що суттєво підвищує педагогічну ефективність фізичної освіти. Електронні прилади допомагають зрозуміти методи сучасного наукового дослідження, розвивають цікавість, допитливість і конструкторські здібності учнів.

Досить переконливим прикладом для вивчення оптики є використання навчального лазера ( $\lambda \approx 632,8 \text{ нм}$ ), або лазерного напівпровідникового діода, випромінювання якого має  $\lambda \approx 750 \text{ нм}$  та різних оптичних світлодіодів.

*5 Запровадження у навчальному експерименті електричних вимірювань неелектричних фізичних величин.*

Аналіз вимірювальних засобів світлової енергії свідчить, що найперспективнішими і найзручнішими є саме електричні вимірювання з широким запровадженням фотоелементів, датчиків світла, котрі у поєднанні із сучасною комп'ютерною технікою створюють ефективні комплекси для навчальних цілей, котрі дають результати у цифровому виразі у вигляді таблиць, а також у вигляді графіків, діаграм тощо.

Запровадження електричних вимірювань у систему ШФЕ з оптики сприяє підвищенню наукового рівня та спонукає до активної пізнавальної діяльності учнів, готує їх до практичної діяльності, здійснює зв'язок школи із життям, знайомить учнів із сутністю експериментальних методів дослідження в науці та посилює діяльнісний підхід у навчанні.

*6 Пріоритетність прямих вимірювань фізичних величин у навчальному експериментуванні з оптики.* У навчальному процесі і, відповідно у системі ШФЕ з оптики, запроваджуються різні методи вимірювань: прямі та методи порівняння. Але, саме прямі вимірювання мають перевагу, особливо під час встановлення зв'язків і залежностей між оптичними величинами, бо вони без зайвих ускладнень і розрахунків, які відвертають увагу учнів, дозволяють знаходити значення постійних фізичних величин та встановлювати співвідношення і взаємозв'язки між ними. У цьому достатньо перспективними є досліді з геометричної оптики чи з хвильової оптики на основі лазера.

*7 Широке запровадження різноманітних форм подачі результатів вимірювань: цифрових, графічних, знакових та ін.* Зараз значного поширення набувають цифрові вимірювальні прилади, що дозволяє швидко і точно реєструвати і контролювати велику кількість вимірюваних (включаючи і оптичних) параметрів, отриману інформацію передавати на відстані без втрат точності, виконувати обробку одержаних результатів за допомогою ЕОМ та комп'ютерної техніки.

Цифровий відлік має переваги і є суттєвим саме для навчального фізичного експерименту: а) відсутність суб'єктивних похибок під час демонстрацій у класі одночасно для 25-30 учнів; б) однозначність відліку, коли

спостереження одночасно ведуться з різних відстаней і під різними кутами; в) мала втомлюваність учнів; г) можливість автоматичного реєстрування результатів вимірювань і їх обробки.

8 *Зростання ролі моделей і моделювання як у навчальному процесі з фізики, так і в ШФЕ.* Метод моделювання посідає чільне місце у процесі навчання фізики, бо на етапі вивчення, вже починаючи з 7 класу, оптичних явищ і процесів, які перебувають у тісному взаємозв'язку, вчитель разом з учнями запроваджує різні методи і прийоми, під час яких абстрагує й узагальнює, міркуючи, передбачає і моделює, робить припущення і будує гіпотези.

У ШФЕ метод моделювання уособлюється, бо важливі наукові результати, що стали предметом вивчення у шкільному курсі фізики (зокрема, з квантової фізики, електроніки, ядерної фізики та ін.), не можуть бути показані у натуральному їх вигляді чи не вдається розкрити фізичну їх сутність, а без з'ясування низки таких питань учні не можуть зрозуміти навчальний матеріал. Тому ілюстрація моделей об'єкту вивчення чи окремих його властивостей із використанням різних засобів, включаючи і засоби ІКТ, є важливим напрямком удосконалення навчального експерименту, а значне зростання ролі моделей у системі навчального експерименту з оптики є однією із важливих сучасних тенденцій його розвитку.

9 *Ускладнення навчального обладнання.* Аналіз ШФЕ свідчить, що кожний наступний його етап тісно пов'язаний із розвитком фізичної галузі науки та її науковим експериментом, що приводить до збільшення кількості навчального обладнання та до зміни якісного рівня й ускладнення навчальних установок. Зазначене стає помітним у зв'язку із запровадженням електронних приладів та ознайомленням школярів із питаннями квантової електроніки і методами її дослідження. Ускладнення навчального обладнання має надалі прогресувати, хоча й не повинна допускати необґрунтованого подорожчання навчальних приладів.

Крім зазначених Б.Ю. Миргородським (1973 р.) тенденцій для сучасного етапу розвитку системи ШФЕ з оптики характерними є ще й такі:

10 *Комп'ютеризація шкільного фізичного експерименту*, що передбачає використання різних дидактичних функцій комп'ютерної техніки, телебачення та їх поєднання у вигляді замкнутої системи, спрямованої на підвищення інформативності й оперативності навчального експерименту та розв'язання проблем оптимізації навчального процесу, одночасно активізуючи діяльність учителя та учнів і поліаспектно розв'язуючи навчально виховні завдання, що поставлені перед сучасною загальноосвітньою школою різнопрофільними програмами.

11 *Постійна спрямованість учителя і учнів на виготовлення саморобного обладнання та засобів навчання*, що націлює вчителя на створення ефективних засобів навчання й одночасно сприяє формуванню творчого мислення учителя й учнів і підготовці їх до активної діяльності у навчально-виховному процесі з фізики.

12 *Постійне і систематичне запровадження у навчальний процес універсальних комплектів з оптики для розвитку системи навчального експерименту*. Формування дієвих знань, умінь і навичок, розвиток мислення, творчих здібностей, конструкторських нахилів учнів і знайомство школярів із сучасними науковими методами дослідження відбувається за умови систематичного і послідовного запровадження активних методів, до яких відноситься навчальний експеримент. Забезпечення методики і техніки ШФЕ й особливо з оптики поряд з іншим обладнанням включає осцилограф, універсальний спектральний прилад, джерело еталонного випромінювання різних елементів, навчальний лазер, прилад для голографічного запису окремих залежностей між фізичними параметрами, що розкривають основи спектрального аналізу, сутність голографічного, інтерференційного та інших наукових методів експериментальних досліджень.

Навчальне обладнання запроваджується у процесі вивчення оптики на основі неперервного ускладнення та розвитку навчальних дослідів, що

розвивають теоретичні знання та практичні вміння учнів і сприяють розумовому розвитку школярів, одночасно розширюють як обсяг, так і складність експериментальних досліджень, доводячи їх до вагомих науково-теоретичних узагальнень.

Тому доцільно сформулювати такі напрямки удосконалення методики і техніки ШФЕ з оптики [14]:

1 Система демонстрацій, спрямована на якісне вивчення фізичних явищ з оптики, що у навчальному процесі особливо корисно як на першому етапі вивчення курсу фізики в основній школі, так і з метою опанування різнопрофільним змістом курсу фізики в старших класах. Разом з тим, акцентуємо увагу вчителя на тому що, під час вивчення фізики в старших класах варто збільшити кількість демонстрацій, які дають змогу оцінити явища з кількісного боку. З цією метою слід розробляти нові досліди і створювати відповідне обладнання для відтворення оптичних явищ, ширше слід запроваджувати електричні вимірювання неелектричних параметрів, комп'ютерну техніку та телевізійні системи й універсальні комплекти.

2 Лабораторні роботи як фронтальні, так і фізичного практикуму повинні більшою мірою сприяти формуванню в учнів навичок вимірювання, ознайомленню з різними методами визначення фізичних величин та встановлення співвідношення між ними, лабораторний експеримент має сприяти розвитку фізичного мислення учнів, особливо спеціалізованих шкіл, де фізика посідає одне з провідних місць.

Доцільно посилити роль і кількість лабораторних робіт дослідницького характеру, практикувати різнорівневі роботи. Суттєво збільшуючи роль і кількість робіт фізичного практикуму, в спеціалізованих класах пропонувати досліди, які передбачали б вивчення основних фізичних законів і закономірностей при вивченні оптики на основі використання різних експериментальних методів дослідження, формулювати мету в кожній роботі практикуму так, щоб при однотипному обладнанні учні могли виконувати значно більшу кількість та різного рівня складності експериментальних

завдань. Фізичні практикуми варто спрямувати на вивчення фундаментальних фізичних дослідів.

3 Під час вивчення нового матеріалу з оптики, його закріплення й узагальнення важливе значення має оптимальне співвідношення пізнавальної діяльності учнів та різних видів навчального експерименту. Тому слід широко запроваджувати експериментальні задачі, які розроблені на основі демонстраційних і лабораторних дослідів.

Для курсу фізики спеціалізованих шкіл слід посилити роль конструкторських експериментальних задач. Проблемний характер і кінцевий результат їх розв'язку повинен бути пов'язаним із створенням нового обладнання, приладів, розглядом нових технологічних процесів.

4 Удосконалення ШФЕ нерозривно пов'язане з розробкою нового та поліпшенням існуючого навчального обладнання, й особливо з оптики, доводячи їх до створення комплектів. Ці комплекти повинні відтворювати серію різних видів та рівнів складності навчальні досліді з окремих тем незалежно від профілю навчання у школі. Відповідно, кожний комплект, відрізняючись простотою конструкцій, має дозволити виконати прості і складні фізичні експерименти у вигляді демонстрацій вчителя, а також змістовних різнорівневих лабораторних робіт, фізичного практикуму чи індивідуальних досліджень учнів. У кабінеті фізики має бути створене робоче місце учнів і вчителя, щоб без зайвих затрат зусиль і часу ефективно організовувати різні види навчальної діяльності учнів й ефективно реалізовувати нові ідеї у подальшому розвитку як НФЕ, так і методики навчання фізики в цілому.

5 Створені нові комплекти з оптики для навчальних цілей мають добре узгоджуватися з обладнанням робочого місця вчителя та учнів і передбачати різний перелік елементів, що сприятиме оптимізації навчально-виховного процесу з фізики і суттєво піднесе рівень навчальних досягнень учнів.

6 На сучасному етапі удосконалення фізичної освіти та системи ШФЕ навчальне обладнання кабінету фізики доцільно підтримувати на основі самостійного виготовлення приладів, установок і макетів. На цю проблему слід

спрямовувати роботу конференцій і семінарів та методичних об'єднань, які мають рекомендувати їм конкретні ефективні розробки, узагальнювати та популяризувати передовий педагогічний досвід.

Виходячи із зазначеного, сучасний стан системи ШФЕ з оптики і виявлені основні напрямки його розвитку дозволяють виокремити такі аспекти:

- у системі навчального фізичного експерименту з оптики серед основних складових слід виділити діяльність учителя, яка спрямована на підготовку і відтворення експериментальних досліджень оптичних явищ та їх застосування на практиці. Ця діяльність обумовлена рівнем кваліфікаційної підготовки вчителя, і здійснюється та реалізується відповідно до дидактичних принципів і цілей навчання, але вона залежить і від матеріального, і від методичного забезпечення процесу навчання за фізики;

- система ШФЕ з оптики вимагає удосконалення методики і техніки навчального фізичного експерименту в цілому, і не лише з позиції матеріального і методичного забезпечення відповідно до сучасних наукових досягнень в галузі оптики, а й з урахуванням сучасних вимог активізації навчально-пошукової діяльності учнів;

- демонстрування вчителем та самостійне виконання школярами навчальних дослідів з оптики ставить проблему створення нових джерел оптичного випромінювання (наприклад, світлодіодів, лазерів, комбінованих джерел тощо), які суттєво розширюють можливості усієї системи ШФЕ з оптики і дають можливість посилити дослідницькі методи вивчених оптичних явищ й одночасно активізують самостійну пізнавальну пошукову діяльність учнів;

- застосування комп'ютерної техніки під час вивчення оптики дає відмінні показники для розвитку системи ШФЕ. Використання ЕОМ у системі шкільного фізичного експерименту підвищує рівень наочності під час вивчення оптичних явищ та процесів; підвищується в учнів активна реакція до змісту навчального матеріалу з оптики, оскільки навчальний процес реалізується через самостійну роботу.

З метою подальшого вдосконалення навчально-виховного процесу з оптики в середній школі потрібно враховувати основні напрямки поліпшення системи шкільного фізичного експерименту, матеріально-технічної бази і створення навчального обладнання для кабінету фізики у середніх і вищих навчальних закладах.

## РОЗДІЛ 2

### СУЧАСНЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ОПТИКИ

#### 2.1 Концептуальні засади розвитку методики навчання оптики в сучасній середній школі

Подальше реформування і вдосконалення шкільної фізичної освіти в Україні тісно взаємопов'язане з вимогами підготовки випускника школи для активної самореалізації у різних сферах діяльності людини з урахуванням індивідуальних особливостей особистості, здібностей і можливостей, інтересів і планів на майбутнє кожного школяра. Відповідна процедурна сторона і модернізація навчально-виховного процесу базується на основі його гуманізації і ставить вимоги щодо посилення суб'єкт – суб'єктного підходу в його організації, що має підняти рівень і значущість пізнавальної діяльності учня, який у цьому процесі має проявляти себе одночасно і як його об'єкт, і як суб'єкт. Зазначені аспекти вимагають розробки нової методики навчання оптики, запровадження сучасних технологій і новітніх досягнень у психолого-педагогічному, методичному та матеріально-технічному забезпеченні навчально-виховного процесу з оптики у профільній школі.

Формування оптичних уявлень під час вивчення курсу фізики в середньому загальноосвітньому навчальному закладі (ЗНЗ) потребує створення відповідних умов, коли учням повідомляється посильний для засвоєння навчальний матеріал та запроваджуються адекватні методи, методичні прийоми й засоби навчання. Отже, для формування переконливих уявлень з основ оптики, навчальний матеріал якої складає предмет вивчення у сьомому й у випускному 11 класі, необхідно створити й відпрацювати відповідну методику навчання оптики, яка покращила б рівень знань та вмінь і стимулювала до активної пізнавально-пошукової та самостійної роботи учнів при вивченні фізики за профільними програмами.

Враховуючи результати аналізу праць Л.І. Анциферова [1], С.П. Величка [14; 15], С.М. Гайдука [24; 25], Ю.М. Галатюка [27], Л.Д. Костенко [43],

Д.Я. Костюкевича [44] Б.Ю. Миргодського [60], Е.П. Сірика [76], Н.Л. Сосницької [78] та інших методистів, вчителів-практиків, виокремимо основні *концептуальні засади розвитку методики навчання оптики* в сучасній середній школі для підвищення результативності самостійної навчально-пошукової діяльності учнів:

1 Навчальний матеріал з основ оптики, що містить у собі основні фізичні поняття, висхідні факти, принципи, моделі та наслідки, ґрунтується як на вже наявних у школярів знаннях з основ фізичної науки, так і становить зміст нового навчального матеріалу, який ще не пізнаний школярами, однак викликає у них підвищений інтерес. Тому під час розробки і подальшого вдосконалення методики навчання оптики слід враховувати, що згідно діючих програм [71; 72; 73] зазначений матеріал вивчається у 7 класі основної школи, де даються початкові уявлення і фізичні поняття, що розкривають основні оптичні явища, і завершується вивчення цього матеріалу у випускному 11 класі. Причому нові поняття і положення цього матеріалу є високою мірою абстрактними. Тому учням для їхнього розуміння та з'ясування сутності потрібно мати достатньо розвинуте абстрактне мислення. Для повного усвідомлення та опанування зазначеного матеріалу школярами вчитель широко має використовувати наочність, експеримент, засоби ІКТ, нове обладнання. За цих умов методика навчання оптики і створення методичного комплексу має забезпечувати правильне наукове тлумачення усіх понять, законів та елементів теорій, що описують оптичні явища з урахуванням можливостей подальшого їхнього розвитку, розширення та вдосконалення.

2 Піднесення експериментальної складової у вивченні оптичних явищ за рахунок збільшення кількості різних видів дослідів (кількісних і якісних) у фізичному експерименті.

3 Профільне вивчення курсу фізики в ЗНЗ різного типу і профілю одночасно передбачає, що пропонована система шкільного фізичного експерименту повинна мати особистісне спрямування з урахуванням індивідуальних особливостей, здібностей, нахилів кожного учня та відбивати

особливості і специфіку конкретного профілю навчання в школі. Виходячи з цієї вимоги, доцільно забезпечити варіативний підхід до вивчення оптики за рахунок розширення обсягу експериментальних завдань, фронтальних робіт, що виконуються учнями як обов'язкові на уроках фізики, а також запропонувати на сучасному обладнанні різнорівневі лабораторні роботи і дослідження, що найбільшою мірою задовольняють пізнавальні потреби учнів і відповідають їхнім здібностям і нахилам, а саме: детальніше ознайомлювати з явищами заломлення, інтерференції та поляризації світла.

4 Важливим аспектом у посиленні ролі самостійної пошуково-пізнавальної діяльності у системі ШФЕ з оптики є розробка навчальних експериментів, які передбачають поступове і постійне поглиблення вивчення фізичних явищ і процесів з оптики, розширення теоретичних знань та експериментальних умінь у використанні нового навчального обладнання та виконанні фізичних досліджень, широке запровадження лабораторних робіт і фізичного практикуму дослідницького характеру.

5 Успішне оволодіння учнями навчальним матеріалом передбачає добір системи навчальних вправ, завдань і задач, котрі ілюструють конкретні приклади застосування знань, умінь і навичок учнів з оптики; одночасно в цій підсистемі практичних вправ необхідно підібрати серію навчальних задач, спрямованих на систематичне повторення і закріплення основного змісту з оптики.

6 У сучасних умовах вдосконалення фізичної освіти процес ознайомлення школярів із основами оптики неможливий без широкого впровадження нових сучасних інноваційних технологій (СІТН) та використання засобів їх реалізації і комп'ютерної техніки; поряд із розробкою нових методичних рекомендацій і пропозицій з урахуванням останніх досягнень у галузі психологічних та педагогічних досліджень вагоме місце в процесі розкриття оптики мають посісти сучасні технічні засоби, зокрема й комп'ютерна техніка та ІКТ. З цією метою поряд із розробкою конкретних методичних пропозицій з оптики

необхідно відібрати та розробити нові педагогічні програмні засоби (ППЗ) для ефективного запровадження комп'ютерної техніки.

7 Враховуючи сучасні тенденції та основні напрямки вдосконалення навчально-виховного процесу, які відображені у працях [15; 16; 17; 20], створена методика навчання оптики в середній школі повинна бути спрямована не тільки на якісне, науково й методично обґрунтоване викладання змісту, що забезпечується навчальною діяльністю вчителя, а головним чином на активізацію самостійної навчально-пошукової діяльності учнів. Така методика повинна розвивати й стимулювати інтерес до пізнання і розуміння оптики, застосування їх у поясненні явищ та процесів мікросвіту й навколишнього світу в цілому і давати школярам дієву систему знань, умінь і навичок та формувати природничо-науковий світогляд.

8 „Технологічність” [16, с. 286] системи ШФЕ в методиці навчання оптики, передбачає активність і особисте засвоєння учнем шкільного курсу фізики, що з одного боку вимагає високого науково-методичного забезпечення і рівня викладання навчального матеріалу, а з іншого – реалізацію принципу навчання учнів старших класів на високому рівні складності. На думку О.І. Ляшенка, яку ми підтримуємо як у змістовому плані, так і в процесуальному аспекті, цей принцип „втілюється у вимогу посилення ролі теоретичного знання в навчанні фізиці в середній школі, надання йому пріоритетності у формуванні в учнів фізичних знань” [54, с. 120 - 121].

З урахуванням розглянутих концептуальних засад розвитку методики навчання оптики та результатів комплексного аналізу проблеми дослідження актуальними є наступні **напрямки удосконалення методики вивчення оптики:**

1 Під час вивчення оптики в основній і старшій школі доцільно збільшити кількість демонстрацій, що розкривають оптичні явища з кількісного боку. З цією метою слід розробити нові досліди і відповідне обладнання для їх відтворення, більше запроваджувати у демонстраційному експерименті ЕОМ,

комп'ютерну техніку, інформаційно-комунікаційні технології і засобів їх реалізації.

2 Фронтальні роботи і роботи фізичного практикуму з оптики, повинні сприяти формуванню в учнів навичок вимірювання, ознайомленню з різними методами визначення фізичних величин та встановлення співвідношення між ними; лабораторний експеримент має сприяти розвитку фізичного мислення учнів, особливо в навчальних закладах, де фізика є профільним предметом.

Зважаючи на особливості вивчення курсу фізики за профільними програмами, заслуговують на увагу посилення ролі і кількості лабораторних робіт дослідницького характеру, практикування різнорівневих лабораторних робіт. У спеціалізованих класах слід пропонувати та збільшувати кількість робіт фізичного практикуму, які передбачали б вивчення основних фізичних законів, закономірностей на основі використання різних експериментальних методів дослідження, формулювати мету в кожній роботі практикуму так, щоб при однотипному обладнанні учні могли виконувати більшу кількість різного рівня складності експериментальних завдань.

3 Під час вивчення нового матеріалу з оптики, а також у процесі його закріплення й узагальнення доцільно поєднувати пізнавальну діяльність учнів з різними видами навчального експерименту, підносячи роль саме самостійної роботи учнів. Відтак, варто широко запроваджувати експериментальні задачі, які розроблені на основі демонстраційних і лабораторних дослідів. Методика розробки та запровадження таких задач не повинна обмежуватися лише підтвердженням правильності теоретичних висновків, а й спрямовувати розумову діяльність учня в такій логічній послідовності, яка йде від теоретичних знань через методи дослідження і обладнання до кінцевих результатів чи навпаки.

Вивчення оптики у спеціалізованих школах має посилити роль конструкторських задач, бо тоді кінцевий результат їх розв'язку має бути пов'язаним із створенням, наприклад, нового обладнання, приладів чи розглядом нових технологічних процесів.

4 Удосконалення ШФЕ нерозривно пов'язане з розробкою нового та поліпшенням існуючого навчального обладнання. Зараз педагогічно цінною є розробка універсальних комплектів приладів та методики їх запровадження при вивченні оптики. Такі комплекти повинні відтворювати серію різних видів та рівнів складності навчальні досліди з оптики незалежно від профілю навчання.

5 Створені нові навчальні комплекти з оптики для навчальних цілей мають добре узгоджуватися з обладнанням робочого місця вчителя та учнів і передбачати різний перелік елементів, коли вони пропонуються для курсу фізики за профільними програмами.

6 Розвиток методики навчання оптики з урахуванням психологічних та індивідуальних особливостей учнів відбиває сучасні тенденції послідовного розвитку методики навчання фізики, як педагогічної науки у якій усі компоненти навчально-виховного процесу розглядаються у взаємозв'язку і взаємообумовлено.

7 Створення та запровадження інформаційно-комунікаційних технологій з оптики. Поряд з цим у навчальному процесі вагоме місце має відводитися розробці комп'ютерного навчального експерименту. Але у навчальному процесі та у відповідно створюваному комплекті навчального обладнання мають бути виділені орієнтири, що визначають співвідношення у запровадженні віртуального та реального навчального експерименту.

Виходячи із зазначеного, ми вважаємо, що методика навчання оптики, повинна узгоджуватися з використанням нового обладнання, технічними засобами навчання, відображати сучасний рівень наукових досягнень з оптики, враховувати індивідуальні особливості учнів для покращення знань, вмінь та навичок при виконанні різного рівня складності завдань з оптики в профільній школі і належним чином розв'язувати завдання формування і розвитку особистості кожного школяра.

## 2.2 Сучасне обладнання для вивчення оптики у загальноосвітніх навчальних закладах

За аналізом основних тенденцій розвитку системи ШФЕ, і відповідно до тих вимог, які характерні для сучасного етапу розбудови фізичної освіти, варті уваги спеціально створені комплекти, які добре узгоджуються з усім комплексом обладнання кабінету фізики та можуть бути використані для постановки демонстраційних дослідів вчителем, виконання учнями різнорівневих спостережень, лабораторних робіт та індивідуальних досліджень з оптики у вигляді фізичного практикуму, самостійних навчальних експериментів, дослідів у домашніх умовах, або для постанови і розв'язку змістовних експериментальних задач.

Заслуговує на увагу навчальний комплект вивчення оптики (КВО), що призначений для систематичного вивчення основних питань з оптики в загальноосвітніх школах, ліцеях, гімназіях, а також у вищих навчальних закладах.

*До комплекту КВО входять такі елементи:* випромінювач (1), джерело живлення (2), лінзи (3 – збиральна, 4 – розсіювальна), діафрагма (5), лімба (6), столик з координатною сіткою (7), екран, на якому нанесені по обидва боки вимірювальні шкали в горизонтальному і вертикальному напрямках (8), щілина (9), поляризаційний елемент (10), інтерференційний елемент (11), дві дифракційні ґратки (12, 13), призма дисперсійна „Флінт” та призма „Крон” (14, 17, 18), оптичний сегмент (15), вимірювальна стрічка (16) (рис. 2.1).

Основою комплекту для вивчення оптики КВО є лінзи великого діаметра (з фокусами + 60 та -60) (рис. 2.2) і випромінювач на світлодіодах. Усі деталі встановлені на стійках і підставках однакової висоти. Трикутна форма підставок дає можливість зменшувати відстань між оптичними компонентами. Оптичні осі лінз і випромінювача розташовані на однаковій висоті щодо поверхні учнівської парти.

Екраном слугує тонка металева пластинка, на білому тлі якої по обидва боки нанесені вимірювальні шкали в горизонтальному і вертикальному напрямках. Встановлюється екран на столі за допомогою металевого сегмента з прорізом, виконаного по товщині екрана. Сегмент служить підставкою, в її проріз вставляється екран, так само встановлюються на столі щілинна, діафрагма та інші елементи.

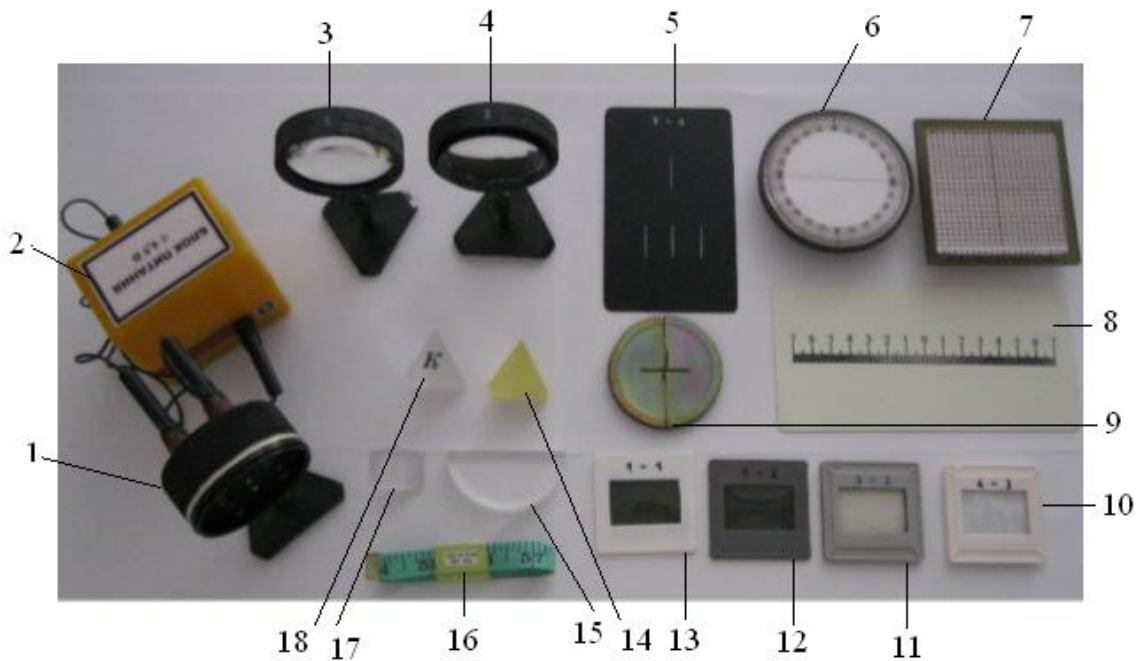


Рис.2.1 Комплект для вивчення геометричної оптики



Рис. 2.2 Набір лінз з комплекту КВО

За допомогою щілинної діафрагми виділяють один (або три) вузько спрямовані пучки світла від центрального світлодіода випромінювача.

При вимірюванні довжини світлової хвилі дифракційні ґратки кріпляться до щілинної діафрагми за допомогою стягуючої гумки. Прилад комплектується двома дифракційними ґратками різної просторової частоти. Вимірювання довжини світлової хвилі виконують за положеннями дифракційних максимумів 1-го, 2-го і т. д. порядку. Відстань між дифракційними ґратками та екраном визначається за допомогою вимірювальної стрічки. Так само вимірюються відстані між іншими оптичними компонентами. Для цього на бічній поверхні оправи кожної лінзи нанесений відліковий штрих, що збігається з її головною площиною. На випромінювачі відліковий штрих збігається з площиною світлодіодів.

Прилад укомплектований двома змінними столиками з лімбом і координатною сіткою (рис. 2.3). Встановлюють їх на підставці з дещо вигнутою стійкою. Змінні столики на тонкій стійці трохи нахилені і тим самим підвищується яскравість і видимість променів – траєкторії вузького пучка світла за щілинною діафрагмою.

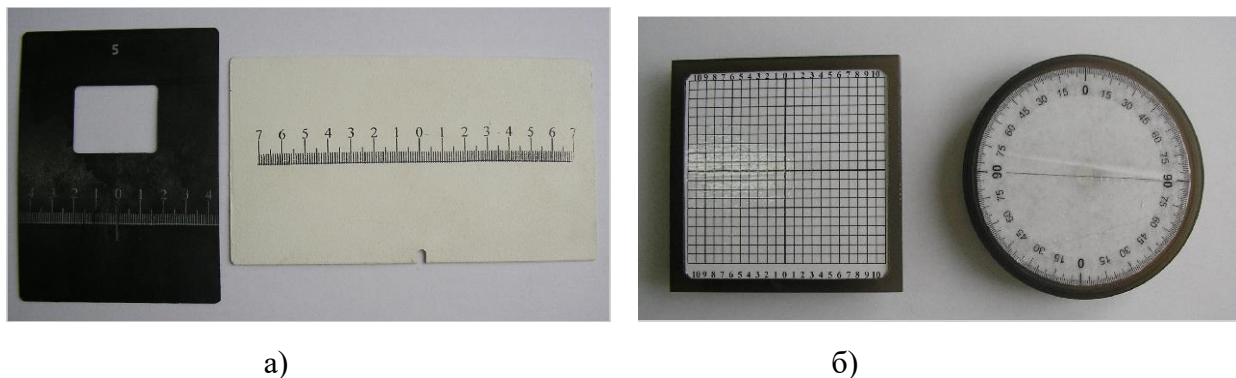


Рис.2.3 Набір екранів (а) та лімб (б) для вивчення законів відбивання та заломлення світла

Явище повного внутрішнього відбивання (ПВВ) спостерігають при обертанні столика з лімбом, на якому встановлений оптичний сегмент. По лімбу вимірюють кут ПВВ для оргскла. При цьому пучок світла заходить у

сегмент крізь циліндричну поверхню і при настанні явища ПВВ відбивається від плоскої поверхні до середини оргскла.

Дослід із спостереження ходу світлового пучка крізь плоскопаралельну пластинку (ППП) здійснюють при встановленому столику з координатною сіткою, за величиною кута відхилення світлового пучка від попереднього напрямку визначають показник заломлення кута оптичного середовища ППП.

Лабораторні роботи з геометричної оптики проводяться в режимі увімкненого випромінювача: світний „квадрат” з 4-х світлодіодів. За шкалою, нанесеною на екран, легко визначити збільшення лінзи, знаючи розмір сторони „квадрата” ( $B = 26 \text{ мм}$ ) і відносне розташування лінзи, екрана й об'єкта – „квадрата”, визначене за допомогою вимірювальної стрічки. При цьому точне фокусування на зображення об'єкта здійснюється за світлодіодами з матовими ковпачками. Порівнюючи місце розташування по-різному забарвлених світлодіодів на зображенні з об'єктом (асиметрія), визначають характер зображення (пряме, перевернене або дзеркальне).

Доцільність використання світлодіодів для навчальних цілей обумовлена низкою параметрів та специфічних характеристик, які є особливо важливими і значущими саме для процесу навчання, що дає підставу вважати ці джерела світла ефективними у вирішенні різних дидактичних завдань, а також з метою вдосконалення системи навчального фізичного експерименту з оптики.

Слід ознайомити учнів, які займаються у закладах з поглибленим вивченням фізики, з параметрами світлодіодів [20]:

1 Напівпровідникові світлодіоди випромінюють достатньо яскравий пучок світла, достатній для виконання різних видів навчального фізичного експерименту; при цьому яскравість свічення світлодіода достатня як для виконання учнями самостійних дослідів і спостережень під час фронтальних лабораторних робіт і фізичного практикуму, так і для виконання демонстраційних експериментів вчителем.

2 У ході виконання різних видів навчального експерименту світлодіоди забезпечують якісне спостереження специфічних особливостей картин і

результатів дослідів та можливість кількісної оцінки інтенсивності випромінювання світла за допомогою різних приймачів та реєструючих пристроїв.

3 Працюючи на напівпровідниковій основі, світлодіоди живляться від електричних джерел постійного струму напругою 1 – 4 В, що дає можливість рекомендувати їх учням для виконання самостійних експериментальних досліджень (фронтальних дослідів і спостережень, фізичного практикуму, дослідів у домашніх умовах).

4 Світлодіоди характеризуються досить великим терміном експлуатування, мають малі габарити і можуть легко транспортуватися і зберігатися у фізичному кабінеті та в лабораторіях.

5 Світлодіоди дають не монохроматичне випромінювання, але за умов виконання експериментальних досліджень для навчальних цілей, враховуючи вузьку смугу  $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$ , у якій випромінюється світлова енергія, з достатньо достовірними результатами можна одержувати кількісні співвідношення, залежності, значення фізичних величин, а також визначати низку фізичних параметрів та констант.

6 Світлодіоди як джерела світла є досить економічними і тому можуть широко застосовуватися в тих установках, де потрібна відповідно висока світлова віддача за умов малої напруги електричного живлення.

7 Для виконання лабораторних досліджень у фізичному практикумі у середній школі і вищому навчальному закладі з геометричної та хвильової оптики із застосуванням напівпровідникових діодів цікавими є пропозиції використання комбінованих джерел, наприклад, джерел світла, в центральній частині якого розміщені два світлодіоди різного свічення, що можуть вмикатися одночасно і по чергово (рис. 2.4).

Використання такого комбінованого джерела світла, наприклад, у дослідах з дифракційною ґраткою дає можливість одержувати числові конкретні і переконливі результати відмінності довжин хвиль для різних ділянок спектра і разом з цим дозволяє робити розрахунки довжин хвиль жовтого, голубого та

фіолетового світла, за заданими довжин хвиль випромінювання для червоного, синього та зеленого світлодіода:

- спектральний інтервал випромінювання синього світлодіода  $\Delta\lambda_c = \lambda_2 - \lambda_1$ ,  $450 \div 500$  нм;
- спектральний інтервал випромінювання зеленого світлодіода  $\Delta\lambda_3 = \lambda_2 - \lambda_1$ ,  $500 \div 550$  нм;
- спектральний інтервал випромінювання червоного світлодіода  $\Delta\lambda_4 = \lambda_2 - \lambda_1$ ,  $600 \div 650$  нм [20].



а)



б)

Рис. 2.4 а) - джерело світла, що демонструє центральне розташування світлодіода;  
б) джерело світла з комбінаційним розташуванням різних світло діодів

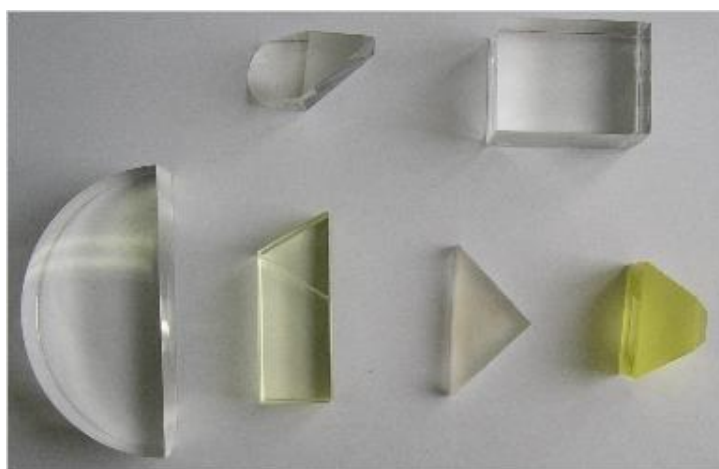


Рис. 2.5 Набір призм з комплекту КВО

Малі габаритні розміри світлодіодів і низька напруга живлення дозволяє створювати джерела світла на основі цілої комбінації світлодіодів з урахуванням як різного спектрального складу їхнього випромінювання, так і з різним просторовим розміщенням окремих світлодіодів в їхній комбінації.

Подібне джерело світла може стати досить ефективним в установках, наприклад, зібраних на основі комплекту КВО, за допомогою яких ведуться дослідження та вивчається якість обробки різних поверхонь, особливо лінз та призм, а також здійснюється перевірка законів геометричної оптики і приладів, що працюють на основі геометричної оптики (рис. 2.2 та рис. 2.5).

Комплект дозволяє зібрати найпростіші оптичні схеми: трубу Кеплера, трубу Галілея і схему, за якою працює мікроскоп. При цьому об'єктом для зорових труб може слугувати предмет, розташований на відстані більшій ніж 50 фокусних відстаней об'єктива ( $50 \times 120 \text{ мм} = 6000 \text{ мм}$ ). Об'єктивом зорової труби слугує довгофокусна лінза, а окуляром – короткофокусна, яка може бути збиральною лінзою (для труби Кеплера) і короткофокусна розсіювальна лінза (для труби Галілея). При цьому фокуси об'єктива й окуляра повинні співпадати в обох випадках. При дотриманні цієї умови і центруванні оптичних лінз на одній осі учень буде бачити чітке зображення об'єкта. При побудові схеми мікроскопа використовується випромінювач у режимі „світний квадрат”, розташований поблизу об'єктива.

За допомогою збиральних лінз, випромінювача й екрана вивчають дію лупи та її збільшення.

Основні технічні характеристики комплекту КВО подані в додатку 3.

Комплект для вивчення оптики КВО добре узгоджений із іншими комплектами, що створені у Науковому центрі розробки засобів навчання КДПУ ім. В. Винниченка, наприклад із наборами № 1, № 2, № 3, № 4, що входять до складу „Оптичної міні-лави” [64].

Навчальні досліди на основі нового комплекту пройшли апробацію у процесі диференційованого навчання шкільного курсу фізики за профільними програмами [73], програмами поглибленого вивчення фізики у загальноосвітніх

навчальних закладах м. Кіровограда та Кіровоградської області. Що мало на меті підвищення рівня виконання експериментальних завдань під час вивчення оптики.

Отже, при вивченні курсу фізики за варіативними програмами у середніх навчальних закладах різного типу та профілю навчальний комплект (КВО) можна застосовувати як у демонстраційному, так і в лабораторному експерименті, а також за допомогою даного комплекту досить легко виконувати навчальні дослідження, вивчати самостійно будову і принцип роботи оптичних приладів тощо.

## РОЗДІЛ 3

### НАВЧАЛЬНІ ДОСЛІДИ З ОПТИКИ ПРИ ВИКОРИСТАННІ НОВОГО ОБЛАДНАННЯ

#### 3.1 Демонстраційний експеримент

##### *Дослід 1* Прямолінійне поширення світла

**Обладнання:** світлодіоди, блок живлення, з'єднувальні провідники, настільний екран, штатив універсальний, диск картонний з підставкою.

У дослідженнях світлових явищ здавна використовувалося поняття променя, як такої лінії, вздовж якої поширюється світло. Промінь можна змодельовати, наприклад, за допомогою вузьких пучків світла, які одержуються за допомогою отворів у непрозорих екранах. Беззаперечним фактом є те, що в однорідному прозорому середовищі світло поширюється прямолінійно. Прямолінійність поширення світла підтверджується утворенням тіні рис.3.1



Рис. 3.1 Отримання тіні від диску за допомогою точкового джерела

На деякій відстані від освітлювача ставлять екран, а перед екраном розташовують картонний диск. Потім затемнюють клас і починають проводити дослід у такій послідовності. Вмикають джерело світла і спрямовують його пучок на екран та проєктують на нього тінь від картонного диску.

Показують, що при точковому джерелі внаслідок прямолінійного розповсюдження світла, форма тіні повторює форму диска. Встановлюють, що розміри тіні тим більші, чим ближче диск розташований до джерела світла, а

також виявляють, що тінь має різні межі, як далеко екран не стояв би біля диска.

Після цього демонструють учням отримання тіні і напівтіні. Якщо джерело світла взяти велике (увімкнувши периферійні світлодіоди), то на екрані навколо тіні утвориться ще й напівтінь. У цьому випадку джерело світла вже не можна вважати точковим, воно складається з безлічі точок, кожна з яких випромінює світло.

Після демонстрацій вчитель розповідає учням про сонячні та місячні затемнення.

## **Дослід 2 Модель ока**

**Обладнання:** модель ока, лінзи, колба з водою, оптична лава, джерело світла (світлодіод), конденсор.

Для людини найважливішим органом чуття є очі, які з фізичної точки зору є оптичними системами. За геометрією око майже кулясте і розміщене в орбіті у кістковому заглибленні черепа. Передня поверхня ока опукла, а задня – сплюснута (рис. 3.2).

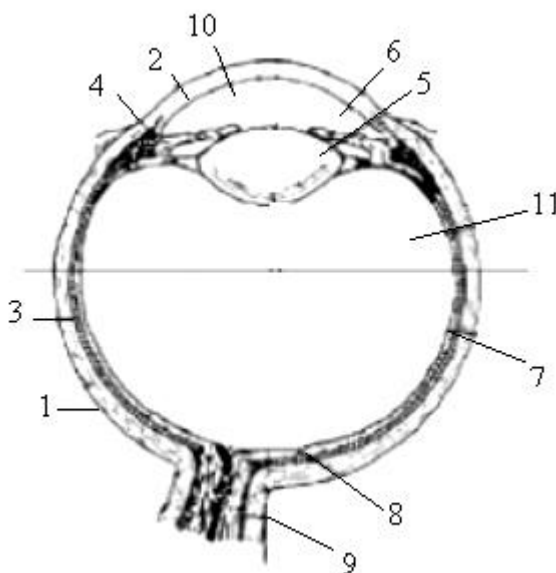


Рис. 3.2 Схематична будова людського ока: 1 – склера, 2 – рогівка, 3 – середній шар, 4 – війчасте тіло, 5 – кришталік, 6 – райдужна оболонка, 7 – сітківка, 8 – жовта пляма, 9 – зоровий нерв, 10 – передня камера, 11 – склоподібне тіло

Око людини складається з оболонки та внутрішньої частини – склоподібного тіла 11. Оболонка ока містить три шари – склеру 1, середній шар 2 і внутрішній шар (або сітківку) 7. У передній ділянці ока непрозора біла склера переходить у прозору опуклу оболонку – рогівку 2. **Рогівка** – це прозора, опукла, майже сферична оболонка, що має показник заломлення  $n \approx 1,38$ . Вона захищає око від зовнішніх пошкоджень. Середній шар 3 – це судинний тракт. Війчасте тіло 4 має м'яз, що регулює оптичну силу кришталика 5. Прозорий кришталик ока схожий на двовипуклу лінзу, радіус кривизни передньої поверхні якої менший, ніж радіус задньої. Кришталик містить волокнисті шари, показники заломлення яких різні (для зовнішнього та середнього шарів – відповідно 1,43 і 1,45, а для ядра – 1,46).

Пігменти в оболонці 6 визначають колір ока. Круглий отвір посередині оболонки називають **зіницею**. Вона формує діафрагму ока як оптичного пристрою, тобто обмежує освітленість ока (діаметр зіниці становить 2–8 мм, залежно від умов освітленості). Розміри зіниці змінюються через напруження або послаблення м'язових волокон, які містить райдужна оболонка.

**Сітківка** – це поверхня, на якій формується зменшене перевернуте зображення предметів. Відчуття ж прямого зображення та істинних розмірів предметів виникає завдяки функціям головного мозку людини. Будова сітківки ока вкрай складна. Вона містить десять різних шарів, один з яких сприймає світло та складається з особливих нервових елементів – колбочок і паличок. Довжини паличок і колбочок відповідно складають 0,07 мм і 0,04 мм, а їхня загальна кількість – відповідно 7 та 130 мільйонів. Потрапляючи на них, світло викликає подразнення, яке по зоровому нерву передається в головний мозок.

Жовта пляма містить переважно колбочки, а палички присутні лише на її периферії. Кількість колбочок на жовтій плямі дорівнює 14 тисяч. Колбочки і палички найгустіше розміщені на ділянці жовтої плями 8, розташованій посередині сітківки. Ця ділянка відповідає найкращому баченню, особливо якщо світло потрапляє на заглиблення посередині жовтої плями – центральну ямку. У місці входження зорового нерва 9 на сітківці відсутні світлочутливі

елементи. Це овальне за формою місце називають *сліпою плямою*. Між райдужною оболонкою та рогівкою розташована передня камера 10. Рідина, яку вона містить, має оптичні властивості, схожі до води. Це водяниста речовина. Нарешті, показник заломлення склоподібного тіла приблизно такий же, як і для водянистої речовини ( $n \approx 1,34$ ).

Світло, що потрапляє в око, заломлюється на передній поверхні ока, в рогівці, кришталіку і склоподібному тілі, завдяки чому на сітківці одержується дійсне, зменшене, перевернуте зображення розглядуваних предметів.

Світло, що утворює зображення, є подразником закінчення зорового нерва, що міститься в сітківці. Подразнення за допомогою нервових волокон передаються в мозок, і людина одержує зорове відчуття, бачить предмети. Мозок „перевертає” зображення, тому предмет сприймається як прямий.

Властивість ока пристосовувати до розглядання предметів, що перебувають на різних відстанях, називається *акомодацією*. Межі акомодациї простягаються від нескінченності до 12-15 см для нормального ока. Відстань найкращого бачення для нормального ока становить 25 см, при цьому око не напружується і не так швидко стомлюється.

Для демонстрації ходу світлового пучка в оці збирають установку (рис.3.3). На оптичній лаві розташовують джерело світла, лінзу на підставці та круглу колбу з водою на піднімальному столику. У

воду додаємо небагато зубного порошку або розчину флуоресцеїну, щоб добре було видно світловий пучок всередині колби.

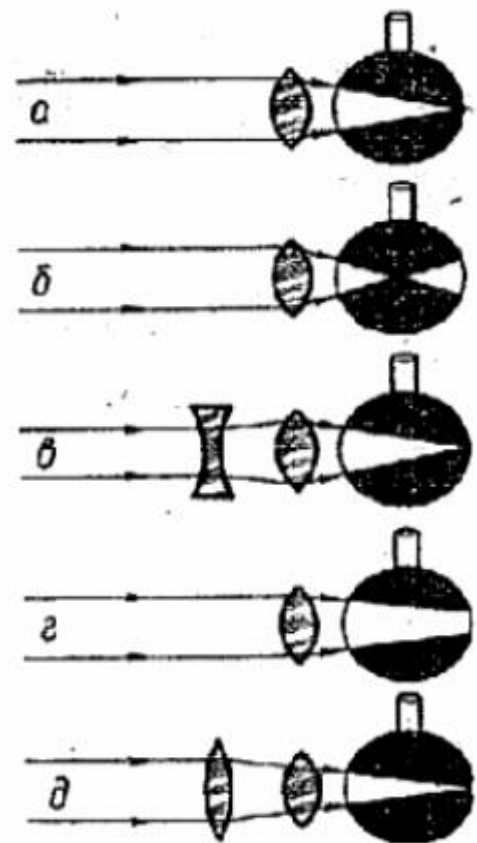


Рис.3.3 Демонстрація ходу світлового пучка в оці

Спочатку показують хід світлового пучка в нормальному, оці. Для цього лінзу, яка виконує роль кристалика, розташовуємо перед колбою так, щоб світловий пучок, сходився, на протилежній стінці колби, що виконує (моделює) роль сітківки ока (рис.3.3, а).

Потім показують хід світлового пучка в короткозорому оці. Перед колбою на тому ж місці розташовують лінзу із меншою фокусною відстанню. Звертають увагу учнів на те, що тепер світловий пучок фокусується усередині колби, а не на її поверхні (рис.3.3, б). Короткозорість ока виправляють за допомогою розсівної лінзи. Її розташовують спереду моделі ока і показують результати виправлення зору (рис. 3.3, в).

Далі звертають увагу на хід променів в далекозорому оці. Для цього перед колбою на тому ж місці розташовують довгофокусну лінзу, у результаті чого світловий пучок фокусується в повітрі за колбою (рис. 3.3, г). Далекозорість ока виправляють за допомогою лінзи, що збирає світло (рис. 3.3, е). З метою якісної демонстрації та переконливості фокусування пучки за межами „моделі ока” (колби) доцільно використати невеликий переносний екран, на якому зазначені ефекти досить добре фіксуються, коли цей екран наблизити до колби.

### ***Дослід 3 Збереження в оці світлового подразнення***

***Обладнання:*** джерело живлення, джерело світла, вирізане коло з картону, екран.

З цією метою демонструють такий дослід. За допомогою джерела світла проєктують на екран зображення. На шляху пучка світла, розташовують картонний диск із вирізом у вигляді сектора, що закріплений на осі відцентрової машини.

Приводять диск у повільне обертання і спостерігають на екрані мерехтіння зображення. Збільшують швидкість диска: частота мерехтінь спочатку зростає, а потім вони стають зовсім непомітними. Явище, що спостерігають, пояснюють тим, що враження, яке виникає в оці при

світловому подразненні, не зникає миттєво, коли пучок світла перекривається непрозорою частиною диска, а зберігається протягом деякого часу. Якщо перерви в подразненні впливають одна за одною через проміжки часу, протягом яких зберігається зорове враження, то вони не помічаються оком і створюється як неперервне, тобто тривале зорове враження у вигляді стабільного зображення.

Цей дослід корисно продовжити і показати залежність тривалості зорового сприйняття від кольору пучка, що викликає зорове подразнення. У рамку для діапозитивів вставляють два світлофільтри: зелений і синій. Спочатку проектують синій світлофільтр. Диск приводять в обертання з такою швидкістю, щоб мерехтіння синього світла на екрані стали непомітними.

Потім міняють синій світлофільтр на зелений. На екрані знову з'являються мерехтіння зеленого світла. Вони зникають тільки при збільшенні швидкості обертання диска.

Діапозитивну рамку із двома світлофільтрами можна встановити так, щоб одночасно проектувалися обидва світлофільтри у вигляді смужок, розділених темним проміжком. Тоді можна спостерігати на екрані відразу два кольори; при поступовому збільшенні швидкості обертання мерехтіння зникнуть спочатку в синій смужці, а потім в зеленій.

Дослідом показують, що тривалість зорового враження для синього світла більше, ніж для зеленого. Замість синього світлофільтра можна взяти червоний.

#### ***Дослід 4 Порівняння спектральної чутливості ока людини***

***Обладнання:*** світлодіоди, джерело живлення, дифракційні ґратки.

Під час виконання спостережень учнями з різних місць класу доцільно ввести такі застереження:

1 Використовують як джерело світла світлодіоди. Випромінювач розміщують так, щоб учні спостерігали його як точкове джерело світла.

2 Для виконання розрахунків визначення довжин світлових хвиль, що відповідають крайнім спостережуваним ділянкам неперервного спектра, завчасно виміряють рулеткою відстань від кожного робочого місця учнів до центра демонстраційного стола й записують ці значення та передбачають можливість вимірювання відстаней від джерела світла до крайніх спектральних ділянок, які спостерігаються в досліді кожним учнем.

3 Для виконання розрахунків під час фронтальних спостережень доцільно рекомендувати вивчати неперервний спектр за допомогою дифракційної ґратки. Скориставшись формулою  $m\lambda = a \sin \varphi$  (1), учні можуть визначити кут  $\varphi$ , під яким вони спостерігають крайні спектральні лінії у червоній та фіолетовій частині спектру, а згодом матимуть можливість визначити й спостережувані довжини хвиль.

4 Щоб фронтальне спостереження в класі дало позитивний педагогічний ефект, вчителю необхідно з'ясувати, які ґратки слід запропонувати для виконання дослідів учнями, робочі місця яких розташовані ближче до демонстраційного столу. Тому потрібно виходити із створення однакових умов для спостереження з усіх місць у класі. Тоді близько розташовані робочі місця учнів можна забезпечити ґратками з малою постійною  $d \approx 0,002$  мм (тобто 500 лін/мм), а віддалені – потребують ґраток з постійною  $d \approx 0,005$  (тобто біля 200 лін/мм).

Спостерігаючи через запропоновану дифракційну ґратку неперервний спектр, кожний з учнів встановлює крайні ділянки спектра, які він бачить у червоній і фіолетовій частині, й на основі використання демонстраційного метра зліва і справа від джерела записує значення відстані  $h$ , на якій він бачить ці крайні лінії.

На підставі даних про відстань від робочого місця до центра демонстраційного столу, де розміщене джерело живлення (ці дані завчасно вимірює учитель і дає їх у вигляді готових результатів, звертають увагу на те, що ці результати є сталими і можуть використовуватись не тільки під час цього дослідів, а й у інших подібних фронтальних лабораторних роботах),

учень обчислює кут дифракції, під яким він спостерігає спектральну лінію або ділянку:

$$\varphi = \arcsin \frac{h^2}{\sqrt{l^2 + h^2}}, \quad (2)$$

а потім за формулою (1) визначає довжини світлових хвиль, яку він спостерігає.

За одержаними результатами і внаслідок порівняння отриманих кожним учнем результатів роблять висновки про суб'єктивність спектральної чутливості ока людини.

### **Дослід 5 Визначення спектральної чутливості ока**

**Обладнання:** дифракційні ґратки, лінійка, джерело живлення та джерело випромінювання.

Рекомендації з попереднього дослідження в домашніх умовах підвищують активність та пізнавально-пошукову діяльність учнів з експериментування та використання набутих знань для вивчення чутливості ока членів сім'ї. За допомогою дифракційної ґратки, лінійки та джерела світла учні в домашніх умовах визначають спектральну чутливість ока кожного члена сім'ї та можуть зробити висновки, як залежить чутливість ока від віку та стану здоров'я членів родини.

Звертають увагу учнів і на те, що спостерігаються і такі недоліки ока, як короткозорість і далекозорість. Чітке зображення розглядуваних предметів повинно одержуватись на сітківці ока. Але за різних причин оптична система ока може дещо змінитися – зменшується або збільшується її фокусна відстань, що й призводить до виникнення короткозорості й далекозорості.

### **Дослід 6 Явище веселки**

**Обладнання:** світлодіод, блок живлення, щілина, об'єктив (збиральна лінза), скляна призма, предметний столик (екран з сіткою), білий екран.

Розміщують на демонстраційному столику світлодіод, блок живлення, екран з сіткою, скляну призму, предметний столик. Білий екран встановлюють ближче до середини столу. Вмикають живлення світлодіоду, переміщуючи лінзу – об’єктив, досягають чіткого зображення щілини на екрані, тобто яскравості веселки. Для розширення спектру, екран розташовують під певним кутом до напрямку падаючого на нього світла, бажано, щоб робоча поверхня була повернута до класу.

### ***Дослід 7 Сприймання кольору оком***

***Обладнання:*** два світлодіоди, блок живлення, екран.

Поруч розміщують два світлодіоди і налаштовують дві плями, які однакові за розмірами та освітленістю. З одного світлодіода направляють жовте світло, а з іншого – фіолетове. Зводять обидва світлові потоки в одну точку екрана і тоді помічають, що дія цих пучків на око викликає відчуття зеленого кольору.

Роблять висновки, що світло, яке падало на екран, не є монохроматичним, оскільки в даному випадку зорова оцінка не дає можливості зробити висновок про його частоту чи довжину хвилі.

Отже, не завжди можна зробити висновок про частоту чи довжину хвилі світла по їхньому візуальному сприйняттю (кольору).

### ***Дослід 8 Утворення зображень за допомогою збиральної лінзи***

***Обладнання:*** лінзи з комплекту „КВО”, джерело світла, екран настільний, метр демонстраційний.

Джерело світла, лінзу на підставці й екран розташовують на демонстраційному столі. Лінзу встановлюють від джерела освітлення на такій відстані, щоб за нею вийшов розбіжний пучок світла.

За допомогою демонстраційного метра вимірюють відстань між лінзою і джерелом світла, тобто головну фокусну відстань лінзи. Після цього демонструють наступні види зображень:

1 Джерело світла відсувають на можливо більшу відстань від лінзи. Пересуваючи екран, отримують зменшене, обернене зображення. Здалеку воно здається світною цяткою. За допомогою демонстраційного метра вимірюють відстань від лінзи до зображення. Визначають, що воно розташоване майже в головній фокальній площині лінзи.

2 Джерело світла наближають до лінзи на відстань, небагато більшу подвійної фокусної відстані. Для одержання чіткого зображення екран приходиться набагато відсунути від лінзи. Зображення виходить як і раніше дійсним, оберненим і зменшеним. Незважаючи на значне наближення предмета, його зображення майже не віддалилось від лінзи і розташоване між головним і подвійним фокусами.

3 Джерело світла встановлюють на подвійній фокусній відстані від лінзи. Відсуваючи ще далі екран, одержують дійсне, обернене зображення, рівне по величині предметові. Знову вимірюють відстань до зображення і переконуються, що воно рівне подвійній фокусній відстані лінзи.

4 Джерело світла розташовують від лінзи на відстань більшу фокусної, але меншу подвійної фокусної відстані. Домагаються чіткого дійсного зображення на екрані. Воно виходить оберненим, збільшеним і розташованим за подвійною фокусною відстанню. Показують, що, чим ближче джерело світла розташоване до головного фокуса, тим зображення більше і знаходиться далі від лінзи. При дуже великих розмірах, зображення його проєктують на стіну або проєкційний екран.

5 Джерело світла встановлюють у головному фокусі лінзи. Переміщуючи екран, переконуються в тому, що дійсне зображення не виходить ні при якій відстані: світло, після лінзи розповсюджується паралельним пучком. Щоб виявити пучок, треба задимити повітря або розташувати екран у пучку так, щоб пучок „сковзав” по екрану.

б Нарешті, джерело світла розташовують перед лінзою на відстані, меншій фокусної відстані. Показують, що в цьому випадку отримати дійсне зображення неможливо, бо після лінзи пучок стає паралельним.

Кожен окремо розглянутий дослід рекомендуємо супроводжувати побудовою відповідного зображення на класній дошці.

### **Дослід 9 Хід променів у лінзах**

**Обладнання:** комплект КВО.

**Промені, що проходять через оптичний центр** На направляючій у рейтерах закріплюють джерело світла, збиральну лінзу та прямокутний екран (рис.3.4, а). Через оптичний центр лінзи спрямовують три промені: середній (у напрямі головної оптичної вісі) і два найближчі до нього, бічні. Спостерігають, що пучки проходять крізь лінзу без заломлення. І учням пояснюють, що точка лінзи, крізь яку проходять пучки без заломлення, називається оптичним центром лінзи. Вводять поняття про головну і бічні оптичні осі лінзи. Середній промінь напрямлений по головній осі, а бічні – обабіч осі лінзи.

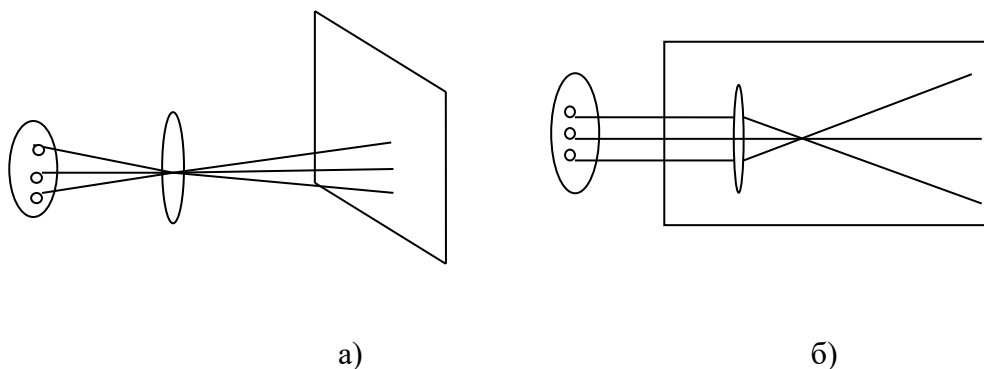


Рис.3.4 : а – вузькі пучки, що проходять через оптичний центр збиральної лінзи, не заломлюються, б – заломлення збиральною лінзою променів, паралельних головній оптичній осі лінзи

Для того щоб ввести поняття про головний фокус збиральної лінзи, спрямовують на неї три пучки освітлювача: середній по головній оптичній вісі і два найближчі до нього бічні паралельно середньому (рис. 3.4, б). Демонструють, що пучки, заломившись, перетинаються в одній точці, яка лежить на головній оптичній осі, дають означення головного фокуса лінзи.

Пояснюють учням, що таке фокусна відстань лінзи, і вимірюють її лінійкою. Звертають увагу учнів на те, що фокусна відстань дорівнює подвоєній відстані між сусідніми поділками, нанесеними на верхній край екрана.

Закріплюють на рейтері збиральну лінзу з меншим радіусом кривизни і показують, що вона більше заломлює пучки. Вимірюють фокусну відстань лінзи і виявляють, що вона дорівнює відстані між сусідніми поділками екрана.

Роблять висновок, що різні лінзи можуть мати різні фокусні відстані, причому фокусна відстань лінзи залежить від показника заломлення речовини лінзи і від величини радіусів кривизни поверхонь лінзи.

Доцільно показати дослід, коли трохи повернути освітлювач, щоб середній пучок був напрямлений уздовж бічної оптичної вісі, тоді паралельні йому бічні пучки, заломившись у лінзі, проходять через точку бічної оптичної вісі, яку називають **бічним фокусом лінзи** (рис. 3.5, а).

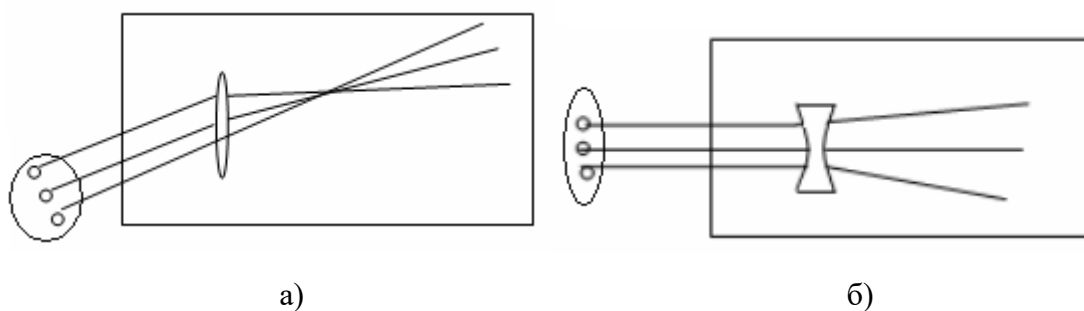


Рис. 3.5 : а – заломлення збиральною лінзою променів, паралельних бічній осі лінзи; б – заломлення розсіювальною лінзою променів, паралельних головній оптичній вісі лінзи

Далі вводять поняття про фокальну площину і пояснюють, що вона є геометричним місцем усіх фокусів лінзи. Таким чином, вводиться поняття про оптичний центр, оптичні осі і уявний фокус (рис. 3.5, б) розсіювальної лінзи.

Учням показують, що пучки, які виходять з головного фокуса збиральної лінзи, після заломлення в лінзі виходять паралельним пучком. Це демонструють, спрямувавши середній пучок освітлювача вздовж головної оптичної осі лінзи, а бічні так, щоб вони перетнули його в якійсь точці. Якщо помістити лінзу від точки перетину пучків на фокусній відстані, показують, що вузькі пучки виходять з лінзи паралельним пучком (рис. 3.5, а).

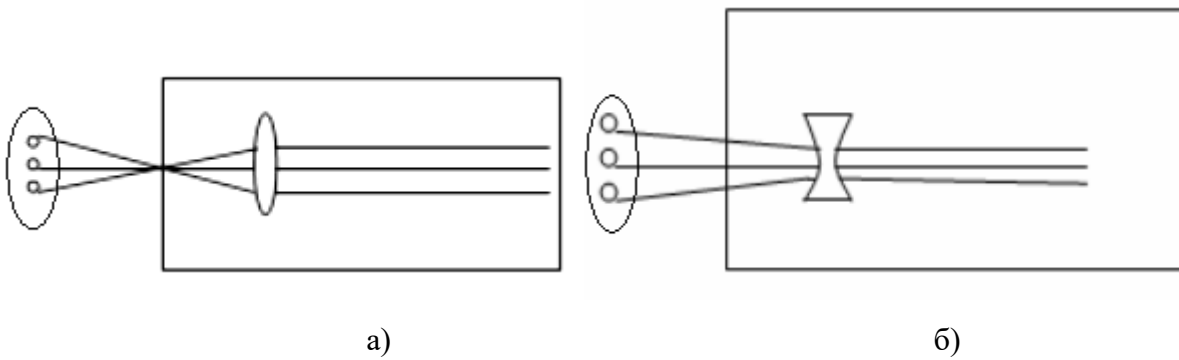


Рис. 3.6 : а – заломлення збиральною лінзою променів, що виходить з головного фокуса лінзи; б – заломлення розсіювальною лінзою променів, напрямлених на її уявний фокус

На кінець показують, що пучки, які падають на розсіювальну лінзу в напрямі її уявного фокуса, виходять з лінзи паралельним пучком (рис. 3.6, б).

**Дослід 10 Утворення зображення світної точки збиральною лінзою**

**Обладнання:** комплект для вивчення оптики.

Демонстрування ходу променів крізь лінзу, яким пояснюється утворення зображення світної точки, розпочинають з такого досліду. Закріплюють на направляючій в рейтерах збиральну лінзу, освітлювач та екран. З освітлювача спрямовують на лінзу два промені – середній і один бічний. Звертають увагу учнів на те, що середній промінь потрібно щоб перетнувся з бічним (рис.3.7).

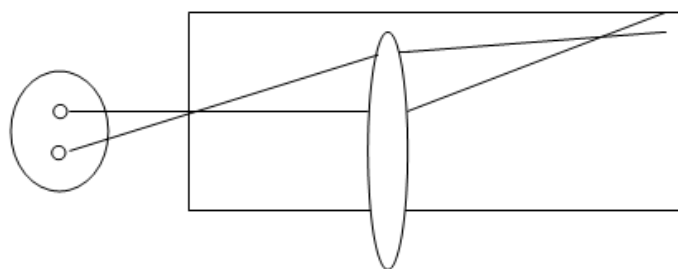


Рис. 3.7 Заломлення збиральною лінзою променів, що вийшли із світної точки, перетинаються, утворюючи дійсне зображення цієї точки

Вузькі пучки, які падають на лінзу, виходять з цієї точки їх перетину. Заломившись у лінзі, пучки перетинаються в певній точці, що є зображенням світної точки, з якої вони вийшли. Відзначають, що це зображення є дійсним, бо

заломлені лінзою пучки дійсно перетинаються в знайдений точці і зображення точки можна спостерігати на екрані.

Наближають лінзу до світної точки і демонструють, що заломлені лінзою пучки світної точки стають паралельними. У цьому випадку дійсне зображення світної точки не утворюється, але якщо спостерігач дивитиметься крізь лінзу, то побачить уявне зображення точки, з якої вони вийшли. Це зображення існує лише в оці і на екрані утворене бути не може, через що його називають **уявним**.

Після цих дослідів доцільно пояснити учням, що для знаходження **зображення світної точки** в лінзі **досить побудувати два заломлені** нею центральні **промені**, бо всі інші заломлені промені, що вийшли з розглядуваної точки, пройдуть після заломлення через знайдену точку їх перетину двох променів. Але, очевидно те, що цими променями можуть бути:

1) промінь, що проходить через оптичний центр лінзи. Цей промінь не заломлюється.

2) промінь, що падає на лінзу паралельно будь-якій її оптичній осі. Після заломлення в лінзі цей промінь проходить через фокус згаданої осі. Промінь, паралельний головній оптичній осі лінзи, заломившись, проходить через головний фокус.

3) промінь, що проходить через головний фокус лінзи. Цей промінь після заломлення в лінзі виходить з неї в напрямі, паралельному головній оптичній вісі.

Щоб знайти зображення світної точки, досить побудувати будь-які два з цих променів і продовжити їх до дійсного або уявного перетину.

Після цього для кращого розуміння побудови зображення світної точки потрібно розглянути такі випадки:

- 1 Точка розташована на нескінченно великій відстані від лінзи.
- 2 Точка розташована від лінзи на великій відстані, більшій за подвійну фокусну.
- 3 Точка розташована від лінзи на фокусній відстані.

4 Точка розташована між фокусом і подвійним фокусом лінзи.

5 Точка розташована від лінзи на відстані, меншій за фокусну.

Хід променів у кожному випадку потрібно демонструвати, використовуючи вузькі пучки, що проходять крізь збиральну лінзу.

Якщо точка міститься на нескінченній відстані від лінзи, то вузькі пучки, що виходять з неї, можна вважати паралельними, а тому зображення цієї точки міститься у фокусі на оптичній осі, що паралельна цим пучкам. Зазначений ефект показують учням, спрямувавши на лінзу три пучки – середній і два найближчі до нього бічні. Заломившись у лінзі, вузькі пучки перетинаються у фокусі лінзи, що лежать на бічній оптичній осі, паралельній пучкам. Знайдена точка перетину і є зображенням нескінченно віддаленої точки, з якої вийшли ці пучки (рис. 3.8).

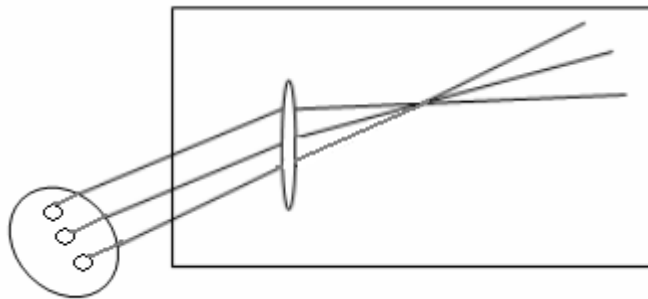


Рис. 3.8 Заломлення збиральною лінзою променів, паралельних бічній осі лінзи

Якщо світна точка міститься в одному з фокусів лінзи, то промені, що вийшли з неї, заломившись, виходять з лінзи пучком, паралельним оптичній вісі, з якої вони вийшли (рис. 3.9), а тому зображення розглядуваної точки міститься від лінзи на нескінченно великій відстані, тобто практично зображення цієї точки не існує.

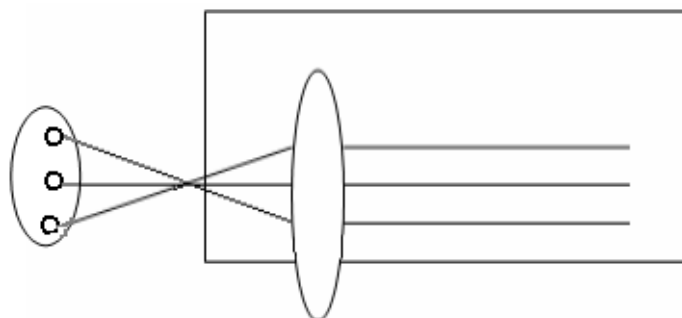


Рис. 3.9 Заломлення збиральною лінзою променів, що виходять з її бічного фокуса

На рис. 3.10 показано хід променів, які виходять з точки, що міститься між фокусом і подвійним фокусом. Зображення світної точки міститься від лінзи, як це видно з рисунка, на відстані, більшій за подвійну фокусну, і є дійсним.

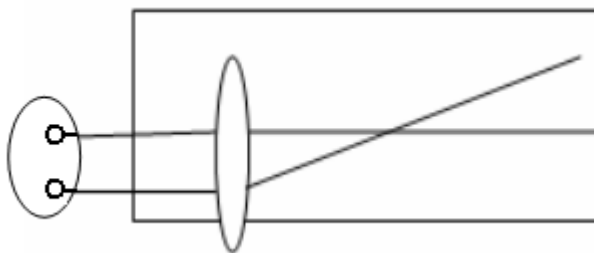


Рис. 3.10 Хід променів, що пояснює утворення збиральною лінзою зображення світної точки, розміщеної від лінзи на відстані, більшій за подвійну фокусну

На рис. 3.11. зображено хід променів, які виходять з точки, що міститься між фокусом і подвійним фокусом. Зображення світної точки міститься від лінзи, як видно з рисунка, на відстані, більшій за подвійну фокусну, і є дійсним.

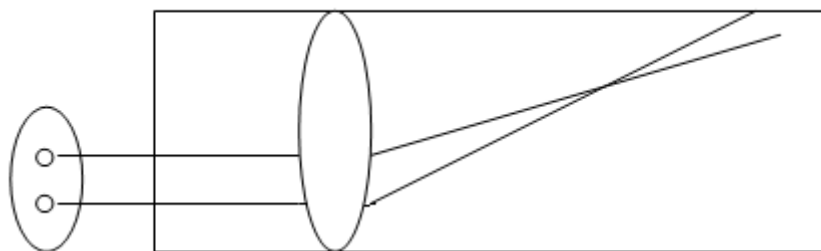


Рис. 3.11 Хід променів, що пояснює утворення збиральною лінзою зображення світної точки, розміщеної між фокусом і подвійним фокусом лінзи

На рис. 3.12. показано хід променів, які виходять з точки, розміщеної від лінзи на відстані, меншій від фокусної.

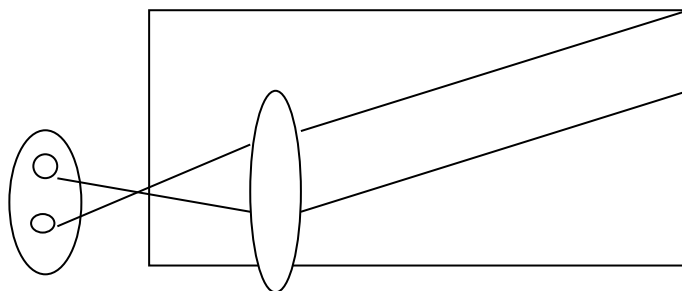


Рис. 3.12 Хід променів, що пояснює утворення збиральною лінзою зображення світної точки, розміщеної від лінзи на відстані, меншій за фокусну

Як ми бачимо з рисунка, промені виходять з лінзи паралельними, тому зображення точки є уявним і міститься в точці перетину продовжень променів, які вийшли з лінзи.

Доцільно розглянути і пояснити учням, що вивчають поглиблено фізику, утворення зображення предмета в збиральній лінзі та розсіювальній лінзі.

### **Дослід 11 Утворення зображення предмета в збиральній лінзі**

**Обладнання:** комплект для вивчення оптики.

Для побудови ходу променів, що пояснює утворення зображення предмета в збиральній лінзі, будуюмо зображення двох крайніх точок предмета, користуючись правилами побудови.

Хід променів доцільно розглянути у таких чотирьох випадках, коли 1) предмет розташований за подвійним фокусом збиральної лінзи; 2) предмет розташований у подвійному фокусі збиральної лінзи; 3) предмет розташований між подвійним фокусом та фокусом збиральної лінзи; 4) предмет розташований між фокусом та оптичним центром збиральної лінзи.

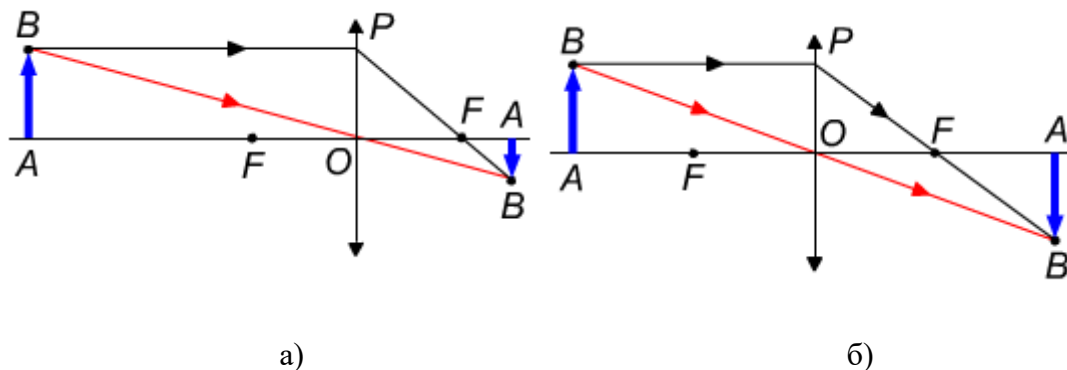


Рис. 3.13 : а – побудова зображення предмета розташованого за подвійним фокусом збиральної лінзи; б – побудова зображення предмета у подвійному фокусі збиральної лінзи

Для демонстрування на рейтері направляючої основи кріплять джерело світла, збиральну лінзу та прямокутний екран. Спрямовують на лінзу вузькі пучки від освітлювача. З досліду роблять висновок, що зображення предмета є дійсним, зменшеним і оберненим, якщо предмет міститься від лінзи на відстані, більшій від подвійної фокусної; дійсним, збільшеним і перевернутим, якщо

предмет міститься між подвійним фокусом і фокусом; не існує, якщо предмет міститься на відстані, яка дорівнює фокусній; уявним, збільшеним і прямим, якщо предмет міститься від лінзи на відстані, меншій від фокусної (рис.3.13).

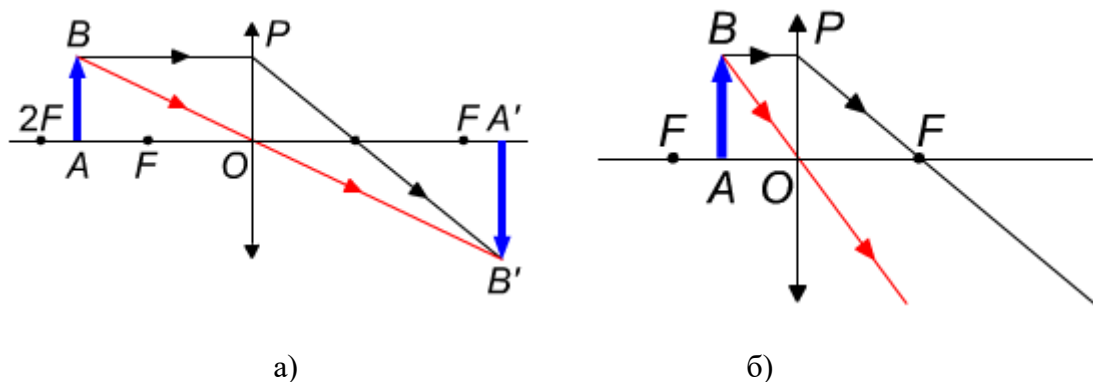


Рис. 3.14 : а – побудова зображення предмета між подвійним фокусом та фокусом збиральної лінзи; б – побудова зображення предмета між фокусом та оптичним центром збиральної лінзи

### **Дослід 12 Утворення зображення предмета в розсіювальній лінзі**

**Обладнання:** комплект для вивчення оптики.

На напрямляючій із комплекту КВО закріплюють прямокутний екран, розсіювальну лінзу та джерело світла. На лінзу спрямовуємо пучки за допомогою світлофільтрів. Вузькі пучки спрямовують на лінзу так, щоб кожна їхня пара перетнулася перед лінзою, причому один з пучків кожної пари спрямовують паралельно головній оптичній осі лінзи, а другий – через її оптичний центр (рис.3.15).

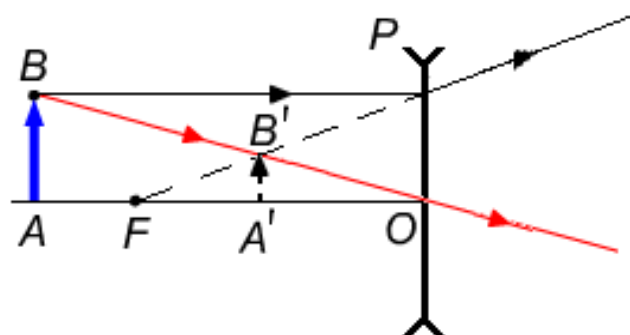


Рис. 3.15 Хід променів, що пояснює утворення уявного зображення розсіювальною лінзою

Пучки кожної пари виходять з лінзи паралельними і зображення світних точок, з яких вони вийшли, – уявні, а тому містяться в точках перетину продовжень заломлених лінзою променів кожної пари пучків. Вважаючи точки виходу кожної пари пучків крайніми точками предмета, роблять висновок, що зображення предмета уявне, зменшене і пряме.

**Після проведеної демонстрації доцільно виконати наступні завдання:**

1 Побудуйте зображення предмета АВ, використовуючи рис. 3.16. За допомогою яких приладів одержуються такі зображення?

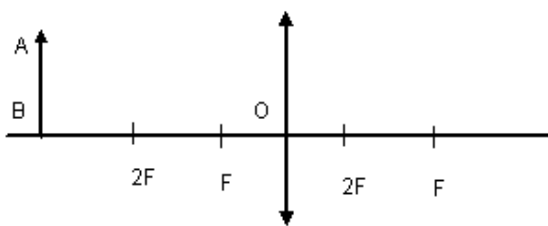


Рис.3.16

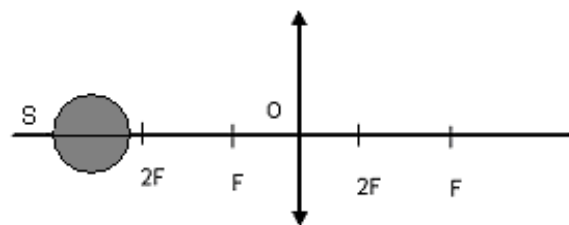


Рис.3.17

2 За рис. 3.17. знайдіть побудовою зображення світної точки S.

3 За рис. 3.18 – 3.20 знайдіть побудовою положення оптичного центра збиральної лінзи та її головних фокусів.

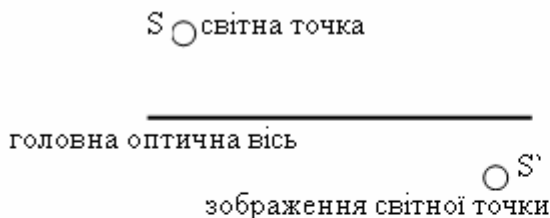


Рис. 3.18

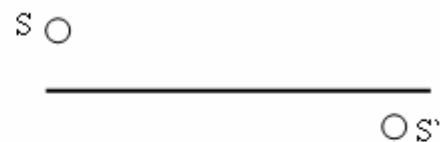


Рис. 3.19



Рис. 3.20

### Дослід 13 Властивості тонких лінз та їх систем

**Обладнання:** джерело випромінювання, екран переносний, набір лінз.

1 Три паралельні промені від світлодіода спрямовують на прямокутний екран. Ставлять по черзі збиральну і розсіювальну лінзу та спостерігають їх дію

на паралельний пучок. Дослід пропонують зробити учням з одним кольором світла та з різними кольорами світлодіодів. Після цього доцільно розрахувати фокусну відстань для різних кольорів світла (рис. 3.21).

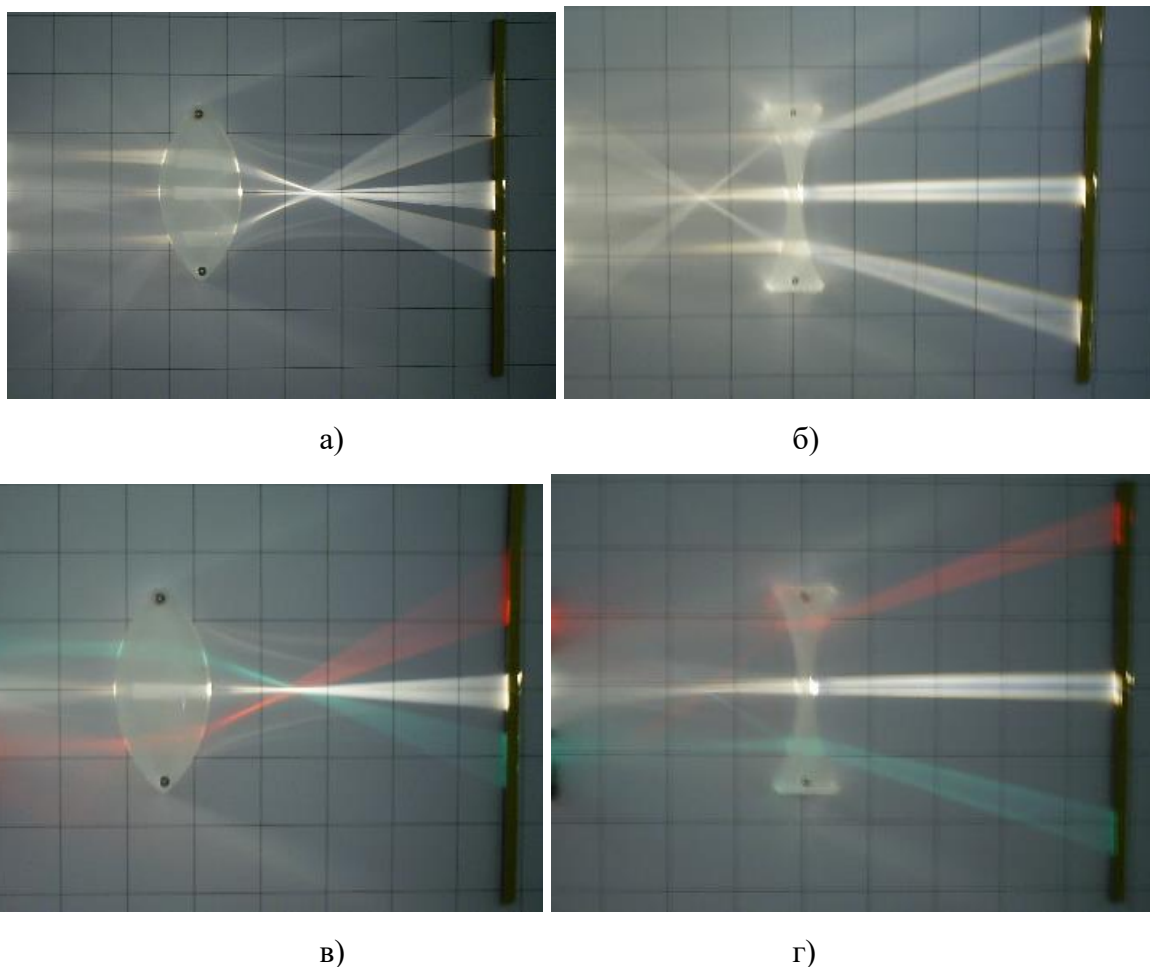


Рис.3.21 Утворення зображення за допомогою збиральної (а, в) та розсіювальної лінз (б, в)

2 Можна продемонструвати учням і дослід з наливними лінзами. Для демонстрування впливу середовища на властивості лінзи на шляху трьох паралельних променів ставлять акваріум з водою, до якої доливають невелику кількість флуоресцентного розчину. Промені, що проходять через акваріум, тепер добре помітні. В акваріум з водою розміщують спочатку збиральну, а потім розсіювальну наливні лінзи, наповнені водою. Після цього повторюють дослід з такими самими лінзами, не налитими водою. Таким чином встановлюють різну дію лінз, залежно від їх кривизни, речовини, з якої вони виготовлені, та в якому середовищі розміщені.

## **Дослід 14 Відбивання світла**

**Обладнання:** джерело світла, плоске дзеркало, шматок скла, нікелева пластинка або шматок білої жерсті, білого картону або паперу, кювета з водою, фанерна пластинка з приклеєними до неї пластиліном кусочками дзеркала.

Вивчення явища відбивання світла доцільно починати з демонстрування відбивання світла від різних гладеньких і шорховатих поверхонь.

Джерело світла та джерело живлення ставлять на демонстраційний стіл до учнів так, щоб світло падало на розміщену за столом класну дошку. Поміщаючи в пучок світла почергово дзеркало, скло чи нікелеву металеву пластинку і спрямовуючи відбитий від них пучок світла на стелю, демонструють дзеркальне (напрявлене) відбивання.

Повертаючи відбивну поверхню і змінюючи цим кут падіння пучка, демонструють зміну напрямку відбитого пучка. Пояснюють, що відбивання світла від гладенької поверхні відбуваються у певному напрямі, який залежить від кута падіння на поверхню. Таке відбивання є дзеркальним.

Корисно також показати відбивання світла від поверхні води, наливої в кювету. Для цього кювету з водою ставлять на демонстраційний стіл і, трохи нахиливши джерело світла, спрямовують на поверхню води світловий пучок .

Дифузне відбивання демонструємо, поміщаючи в пучок світла шматок білого картону або паперу. Спостерігають відбивання світла в усіх напрямках, внаслідок чого приміщення, на яке падає розсіяне картоном світло, освітлюється яскравіше.

Пояснення дифузного відбивання буде зрозумілішим, якщо показати учням відбивання світла від багатьох маленьких шматочків дзеркала, прикріплених на шматочок фанери пластиліном так, щоб вони були розміщені під різними кутами до поверхні фанери.

## **Дослід 15 Закони відбивання світла**

**Обладнання:** півциліндр з оптичним лімбом з комплекту КВО, джерело живлення та джерело світла.

Дослід потрібно демонструвати в напівзатемненому приміщенні з тим, щоб учні добре бачили як світловий пучок, так і перпендикуляр до поверхні півциліндра, що розташований на поверхні лімба.

Щоб показати рівність кутів падіння і відбивання вузького світлового пучка, на оптичному лімбі закріплюють півциліндр, так щоб його площина була перпендикулярна до проведеної на поверхні лімбу вертикальної прямої (рис. 3.22).



Рис. 3.22 Зображення рівності кутів падіння та відбивання

Повертаючи джерело живлення відносно тримача, домагаються, щоб промінь падав під деяким кутом у точку, з якої до поверхні циліндра проведено перпендикуляр. Вводять поняття про кути падіння і відбивання і звертають увагу учнів на рівність цих кутів.

Обережно повертаючи лімб з півциліндром навколо джерела світла, демонструють, що при зміні кута падіння променя змінюється і кут відбивання, але рівність цих кутів увесь час зберігається. Нарешті показують, що коли промінь падає перпендикулярно до поверхні півциліндра, то падаючий і відбитий промені зливаються.

Отже, роблять висновок, що для кута падіння, який дорівнює нулю, кут відбивання також дорівнює нулю та формулюють закон відбивання світла: ***падаючий і відбитий промені, а також перпендикуляр до відбиваючої поверхні, поставлений у точку падіння променя, лежать в одній площині.***

Якщо в досліді вимірювати кути падіння й кути відбивання за різних їхніх значень, то можна зробити висновок, який і є другим законом відбивання: **кут відбивання дорівнює куту падіння**.

Із законів відбивання випливає дуже важливе твердження: промінь падаючий і промінь відбитий можуть мінятися місцями. Якщо падаючий промінь пустити у напрямку  $BO$  (рис. 3.23), то відбитий промінь піде у напрямку  $OA$ .

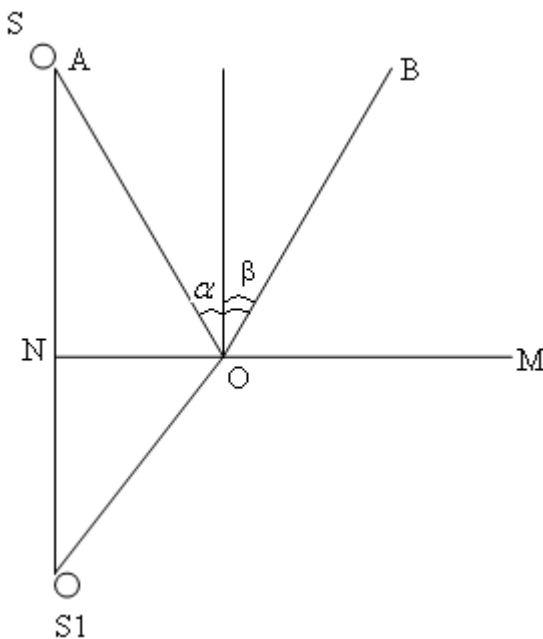


Рис. 3.23 Закон відбивання світла

Після сформульованих законів відбивання, доцільно для узагальнення знань розв'язати з учнями наступне завдання: *кут падіння променя на плоске дзеркало становить  $45^\circ$ . Накресліть відбитий промінь, а також покажіть падаючий і відбитий промені для кута падіння  $60^\circ$ .*

### **Дослід 16 Заломлення світла**

**Обладнання:** півциліндр з лімбом з комплекту КВО, джерело світла, джерело живлення, з'єднувальні провідники.

Заломлення світла при переході з повітря в скло демонструють так. На оптичному лімбі закріплюють скляний півциліндр, повернувши його плоску

бічну грань до освітлювача, причому матова основа півциліндра повинна бути повернута до поверхні шайби.

На бічну плоску грань півциліндра спрямовують два промені. Промені повинні попасти в центр основи півциліндра, причому середній промінь треба спрямовувати перпендикулярно до плоскої бічної його грані. Спостерігають, що промінь, перпендикулярний до бічної грані, проходить крізь неї без заломлення, а другий промінь, що падає на бічну грань під кутом, відмінним від нуля, на межі двох середовищ – повітря і скло – заломлюється, наближаючись до перпендикуляра. Вводять поняття про кут заломлення і пояснюють учням, як вимірювати цей кут, користуючись поділками, нанесеними на лімб. Відмічають, що при переході світлового пучка з повітря в скло кут заломлення менший від кута падіння (рис.3.24).



Рис. 3.24 Явище заломлення світла

Доцільно показати учням дослід на заломлення світла на межі повітря – вода.

### ***Дослід 17 Заломлення світла на межі повітря-вода***

**Обладнання:** прямокутна скляна посудина, прямокутний шматок скла для накривання посудини, вода, флуоресцеїн, джерело світла з комплекту КВО, універсальний штатив, цигарка, сірники, ящик-підставка.

Акваріум наповнюють наполовину водним розчином флуоресцеїну або розчинити невеликий шматок хвойної таблетки для ванн, чи влити трохи

молока, одеколону. Повітря над розчином в акваріумі задимлюємо і накриваємо акваріум шматком скла.

Середній промінь джерела світла (світлодіода) крізь скло, що закриває акваріум, спрямовують під деяким кутом на поверхню води і спостерігають кут заломлення його на межі повітря-вода. Звертають увагу учнів на те, що кут заломлення менший від кута падіння, отже вода є середовищем оптично густішим, ніж повітря.

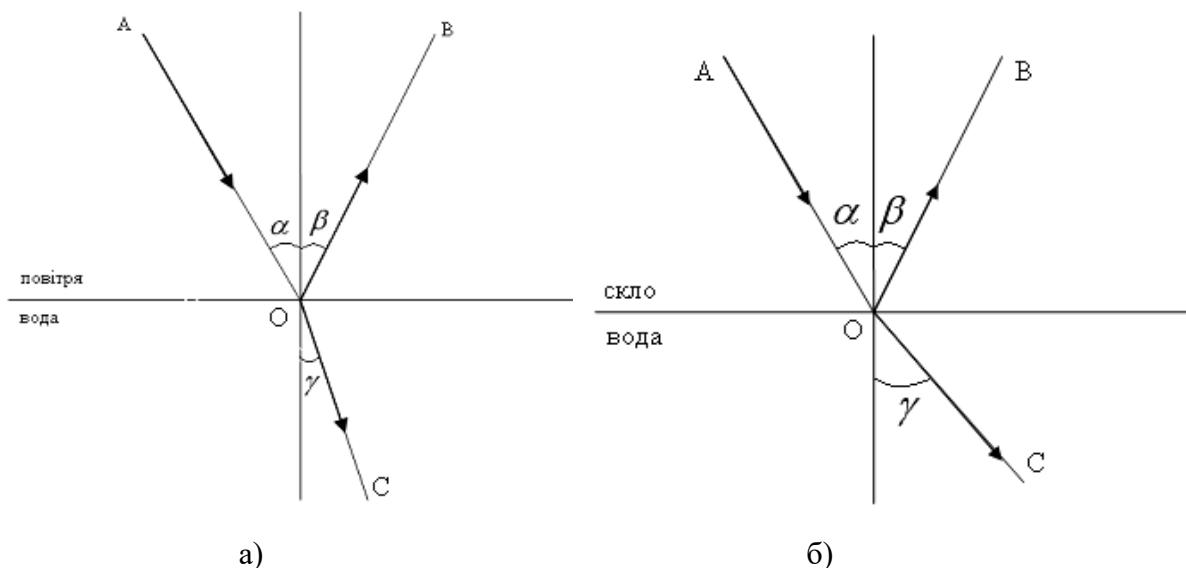


Рис. 3.25 : а – заломлення світла на поверхні розділу двох середовищ, швидкість поширення в яких різна ( $v_1 > v_2$ ); б – заломлення світла на поверхні розділу двох середовищ, швидкість поширення в яких різна ( $v_1 < v_2$ ).

Після демонстрації доцільно сформулювати закони заломлення світла:

1) падаючий і заломлений промені, а також перпендикуляр до поверхні розділу середовищ, опущений у точку падіння променя, лежать в одній площині;

2) відношення синуса кута падіння до синуса кута заломлення для двох даних середовищ є величиною сталою, що залежить лише від оптичних властивостей цих середовищ; **це відносний показник заломлення другого середовища відносно першого:**

$$n_{2,1} = \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{v_1}{v_2} \quad (1)$$

Відносний показник заломлення може бути як більшим, так і меншим від одиниці:  $n_{2,1} > 1$  (рис.3.25,а),  $n_{2,1} < 1$  (рис.3.25,б).

Якщо у випадку  $n_{2,1} > 1$  першим середовищем є вакуум (або повітря), то  $n_{2,1} = n$ . Цей показник називають **абсолютним показником заломлення** для другого середовища:

$$n_2 = \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{c}{v_2} \quad (2)$$

Абсолютний показник заломлення завжди більший від одиниці. Бачимо, що  $n_{2,1} = \frac{v_1}{v_2} = n$ , де  $n_1$  і  $n_2$  - абсолютні показники заломлення першого і другого середовищ.

### **Дослід 18 Будова та дія оптичних приладів**

**Обладнання:** фотоапарат, лупа, мікроскоп, проекційний апарат, моделі телескопів.

Як відомо існує чимало оптичних приладів: фотоапарат, лупа, мікроскоп, телескопи, які мають свої переваги та недоліки.

Вашій увазі пропонуються досліди, що розкривають принцип дії фотоапарата та проекційного апарата, мікроскопа та телескопа.

Перед тим, як ознайомити учнів з принципом дії фотоапарата, доцільно ознайомити їх з історією виникнення даного приладу.

Першим апаратом, за допомогою якого одержували зображення різних предметів, була камера-обскура (темна камера). За допомогою камер-обскура проводили астрономічні спостереження, виконували малюнки. Пізніше в камерах почали застосовувати збиральні лінзи, що дало можливість використовувати їх як фотографічні апарати.

Відкриття фотографії пов'язують з іменами трьох винахідників: Жозефа Нісефора Ньєпса, Луї Жака Манде Дагера та Вільяма Генрі Фокса Талбота. Н. Ньєпс народився у Франції. Разом із старшим братом Клодом розробив голографію. У цьому процесі зображення, що утворювалось за допомогою

камери-обскури, фіксувалось на мідних посріблених пластинках, покритих шаром асфальту, розчинених в лавандовій олії.

Л. Дагер народився у Франції. З 1829 р. він співпрацював з Н. Ньєпсом над удосконаленням голографії. Найважливішим досягненням Л. Дагера стало відкриття світлочутливості йодистого срібла і властивості пари ртуті проявляти приховане зображення на йодисто срібній пластинці. Такий спосіб фотографування назвали *дагеротипією*.

В. Таболту, вихідцеві з англійської сім'ї, вдалося здійснити двоступеневий негативно-позитивний процес, що дало можливість розмножувати знімки у будь-якій кількості.

Сьогодні переважну більшість фотознімків виготовляють за допомогою спеціальних приладів – фотоапаратів, збільшувачів тощо. Тому доцільно на досліді пояснити учням принцип дії фотоапарата.

### ***Дослід 18.1* Принцип дії фотоапарата**

**Обладнання:** фотоапарат, лінза двоопукла на підставці з комплекту „КВО”, джерело світла, екран напівпрозорий, негатив, лист картону з круглим отвором діаметром 30—40 мм.

За демонстраційний стіл саджають учня і освітлюють його обличчя світлом. Перед ним встановлюють на столі збиральну лінзу на підставці і напівпрозорий екран, що виконує роль матового скла у фотоапараті.

Лінзу повертають так; щоб її оптична вісь була спрямована на „фотографуючий” об'єкт. Пересувають лінзу до екрана та домагаються чіткого дійсного і зворотного зображення обличчя.

Лінзу закривають листом картону з круглим отвором, що виконує роль діафрагми. Спостерігають зменшення освітленості і збільшення глибини різкості зображення. Закриваючи і відкриваючи лінзу листом картону, демонструють експозицію при фотографуванні.

Після цього, учнів знайомлять із пристроєм найпростішого фотоапарата (рис.3.26), зіставляючи принцип його дії з тільки що розглянутою установкою.



Рис. 3.26 Будова фотоапарата

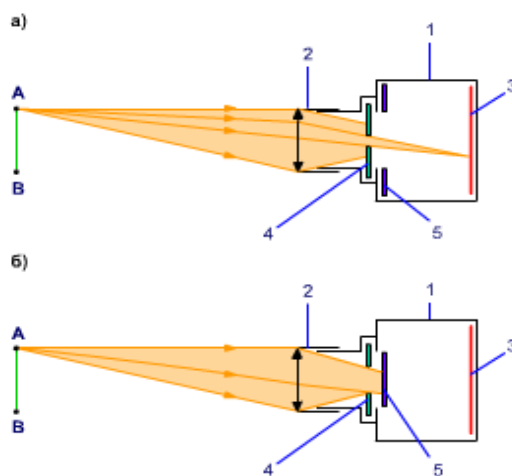


Рис. 3.27 Принцип дії фотоапарата

Фотографічний апарат складається з : 1 – світлонепроникної камери, 2 – об'єктива, 3 – діафрагми, 4 – кнопки спускового механізму, 5- механізму встановлення різкості зображення на фотоплівці, 6 – витримки.

Принцип дії фотоапарата: зображення в фотоапараті 1 тіла  $AB$  попадає крізь об'єктив 2, діафрагму 4, і при відкритому затворі 5 попадає на світлочутливу фотоплівку 3 ( рис. 3.27,а). Після цього затвор закривається (рис. 3.27,б).

### **Дослід 18.2 Пристрій і дія проекційного ліхтаря**

Проекційний апарат, наприклад ФОС-67, встановлюють на демонстраційному столі і показують його основні частини (рис. 3.28): корпус освітлювача із джерелом світла 3 і рефлектором 2, конденсор 4 розбірний на стійці і рейтері, рамка - для установки діапозитивів 5, об'єктив 6, закріплений за допомогою ширми на стрижні і рейтері. Показують можливості переміщення всіх деталей уздовж лави, що складається з двох направляючих труб і висувних

стрижнів. Основну увагу приділяють оптичній частині, схему якої попередньо накреслено на класній дошці.

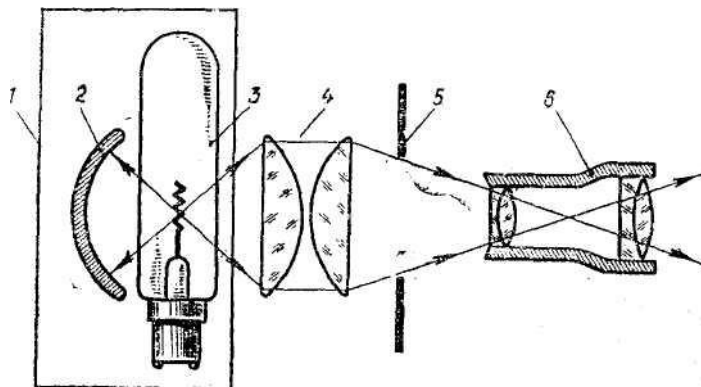


Рис. 3.28 Схема оптичної частини проєкційного апарата: 1 — корпус освітлювача; 2 — рефлектор; 3 — лампа; 4 — конденсор; 5 — рамка з діапозитивом; 6 — об'єктив

Об'єктив апарата складається з двох лінз, завдяки чому він значною мірою позбавлений тих недоліків, що властиві окремим лінзам. Конденсор зібраний із двох плоско-опуклих короткофокусних лінз, обернених сферичними поверхнями одна до одної. При такому розташуванні лінз втрати світла на зображенні найменші. Рефлектор у виді увігнутого короткофокусного дзеркала дозволяє краще використовувати світло проєкційної лампи: її нитка розташована в центрі кривизни дзеркала. Затемнюємо клас і показуємо дію апарата.

Вмикають освітлювач і, пересуваючи об'єктив, домагаються чіткого зображення діапозитива на екрані. Звертають увагу на положення діапозитива: щоб одержати пряме і збільшене зображення, діапозитив встановлюють у переверненому стані між головним фокусом і подвійною фокусною відстанню об'єктива.

Змінюють відстань від діапозитива до екрана. Пересунувши об'єктив, знову одержують різке зображення. Спостерігають зміну величини і яскравості зображення.

Щоб підкреслити роль конденсора, його виймають з апарату і спостерігають різке зменшення яскравості зображення і нерівномірну його

освітленість. Знову вставляють конденсор і отримують нормальне зображення.

Після цього учнів знайомлять із зовнішнім виглядом епідіаскопа та пояснюють його пристрій.

### **Дослід 18.3 Використання лупи**

**Обладнання:** короткофокусна збиральна лінза.

**Луна** – це короткофокусна збиральна лінза (рис.3.29). У разі необхідності під час розглядання яких-небудь дрібних предметів чи їхніх деталей доводиться їх наближати до ока, щоб зображення на сітківці ставало все більшим. Це вимагає значного напруження ока при акомодациї, а при малих відстанях взагалі стає неможливою. Тому у таких випадках перед оком розміщують короткофокусну збиральну лінзу, тобто лупу.

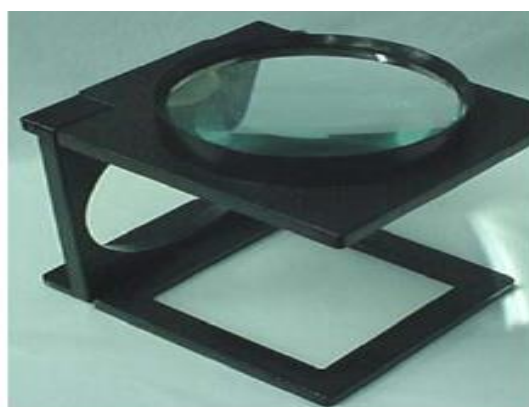


Рис.3.29 Різновиди луп

Оскільки лупу розміщують близько до ока, а предмет – близько до головного фокуса лінзи, то збільшення лупи наближено дорівнює відношенню відстані найкращого бачення (25 см) до фокусної відстані лупи. Якщо взяти лінзу з фокусною відстанню 2,5 см то збільшення буде приблизно у 10 разів. Лупи можуть складатися і із кількох лінз, щоб запобігти оптичним недолікам.

**Завдання 1** Знайдіть удома збиральні лінзи, які можна використати як лупи і визначте для кожного випадку їх збільшення.

**Завдання 2** Визначте акомодацию ока.

З цією метою пишуть на білому папері літери. На іншому папері роблять отвори через які, щоб було видно на відстані 10-15 см від очей літери та столі на якому лежить даний папір. Далі читають на листку через отвір у папері одним оком, закриваючи при цьому інше. Потрібно визначити, якими здаються літери на папері і чому так відбувається. Відповідно роблять висновок.

### **Дослід 18.4 Використання мікроскопів**

**Обладнання:** мікроскоп.

При потребі розглядати предмети із значним збільшенням використовують оптичні мікроскопи. Оптична схема найпростішого мікроскопа складається з короткофокусного об'єктива та окуляра.

Предмет, що розглядають, розміщують так, щоб він був від об'єктива на відстані дещо більшій від фокусної відстані об'єктива. При цьому об'єктив дає зображення предмета за подвійною фокусною відстанню. Це зображення, яке розглядають за допомогою окуляра, буде дійсним, оберненим і збільшеним (рис.3.30).

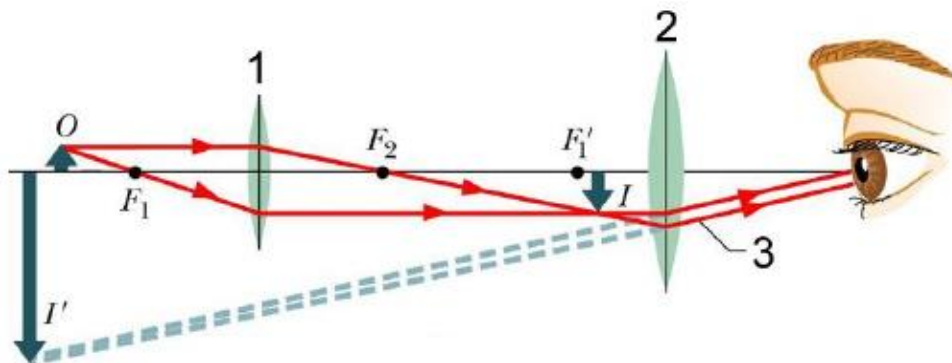


Рис. 3.30 Хід променів у мікроскопі: 1 – об'єктив, 2 – окуляр, 3 – промені, що будують зображення, I – перше зображення, I' – кінцеве зображення

Звертають увагу учнів на те, що збільшення мікроскопа залежить від властивостей об'єктива й окуляра та від розташування предмета. Але для даного об'єктива ця відстань змінюється в незначних межах. Збільшення окуляра визначається, як для лупи при відстані найкращого бачення 25 см.

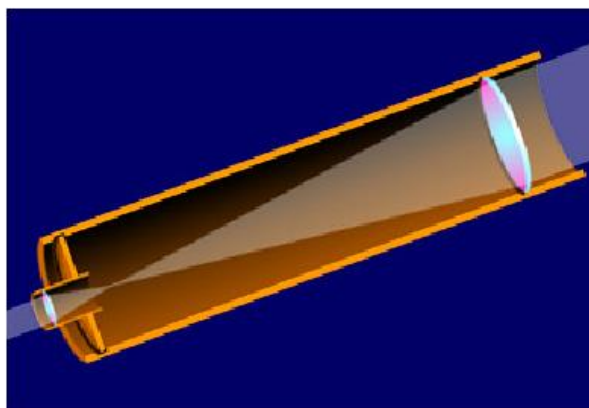
Після відповідних теоретичних відомостей щодо будови, принципу дії мікроскопа, його винайдення доцільно для активізації та стимулювання пізнавальної діяльності учнів розв'язати наступні завдання:

**Завдання 1** Розгляньте мікроскоп, що є у вас дома чи у фізичному кабінеті школи. За позначками на об'єктиві чи на окулярі визначте збільшення. Якщо об'єтивів чи окулярів у ньому декілька, то визначте збільшення для можливих комбінацій.

**Завдання 2** Накресліть схему оптичної системи мікроскопа, що знаходиться у фізичному кабінеті школи.

### 18.5 Принцип дії та будова телескопів

Є два основні типи телескопів: телескопи-рефлектори (рис.3.31) (на основі лінз) і телескопи – рефрактори (на основі дзеркал) (рис.3.32).



а – загальний вигляд телескопа-рефрактора      б – схема телескопа-рефрактора

Рис. 3.31

Телескоп Кеплера складається з двох збиральних лінз. У такому телескопі об'єктив має велику фокусну відстань  $f_0$ , а окуляр – малу  $f_e$ . Оскільки космічні тіла перебувають на дуже великих відстанях від нас, то промені від них ідуть паралельним пучком і збираються об'єктивом практично у фокальній площині, де одержується дійсне, обернене і зменшене зображення розглядуваного об'єкта. Це зображення розглядається через окуляр як через звичайну лупу, тобто бачимо розглядуваний об'єкт під більшим кутом.

**Кутове збільшення телескопа** – це відношенню фокусних відстаней  $(\frac{f_o}{f_e})$  об'єктива й окуляра.



а – загальний вигляд телескопа-рефлектора



б – схема телескопа-рефлектора

Рис. 3.32

Зображення в телескопі Кеплера перевернуте. Щоб зробити його прямим, можна скористатись збиральною лінзою, але при цьому труба телескопа значно здовжується, що не завжди зручно.

Пряме зображення можна отримати за допомогою телескопа Галілея. На відміну від телескопа Кеплера в цьому телескопі окуляром є розсіювальна лінза, а труба коротша. Об'єктивом в обох телескопах є довгофокусна лінза.

Об'єktiv давав би перевернуте зображення у фокальній площині, але світло розсіюється окуляром, збільшуючи при цьому кут зору. Окуляр розміщено так, що відстань  $O_e I$  дорівнює  $f_o - f_e$ , а кутове збільшення, як і в попередньому випадку –  $\frac{f_o}{f_e}$ .

У телескопі Кеплера зображення обернене. Оригінальний метод обертання зображення і скорочення довжини в телескопі Кеплера реалізовано в призматичному біноклі, де між довгофокусним об'єктивом і короткофокусним окуляром розташовано дві прямокутні призми. Це дало можливість бачити в такому біноклі прямі зображення предметів.

Телескоп – рефлектор системи Ньютона складається з великого увігнутого (збирального) дзеркала-об'єктива 1, плоского дзеркала невеликих розмірів 2, що повертає світлові промені до окуляра 3. Лінза окуляра має можливість спостерігати зображення у плоскому дзеркалі. Увігнуте дзеркало тут великих розмірів, щоб якомога більше світла надходило для одержання кращого зображення.

Телескоп – рефлектор складається з: 1 – відбивального сферичного або параболічного дзеркала, 2 – плоского відхиляючого дзеркала, 3 – окуляра, для ведення візуальних спостережень (рис. 3.32).

### **Дослід 19 Інтерференція від тонких плівок**

**Обладнання:** джерело випромінювання, піпетка, фотопластинка.

Пучок випромінювання світлодіода розширюють за допомогою лінзи і направляють на скляну пластинку, яка закріплена в лапці штатива. Відстань від окуляра до джерела випромінювання становить 10 см. Скляну пластинку ставимо під кутом  $45^{\circ}$  до напрямку поширення пучка. На її поверхню піпеткою виливають 4 краплини спирту.

У процесі розтікання та випаровування спирту на екрані спостерігають інтерференційну картину. Вона являє собою систему інтерференційних смуг, які рухаються в міру висихання спирту, змінюючи свою форму. Картину спостерігають протягом 20-45 секунд.

### **Дослід 20 Інтерференція від мильної плівки**

**Обладнання:** мильний розчин, джерело випромінювання, дротяний каркас, екран, лінза.

Розбавляють мильний розчин (розчин шампуні) в пропорції: три частини шампуні і одна води. Дротяний каркас виготовляють з мідної дротини, у формі

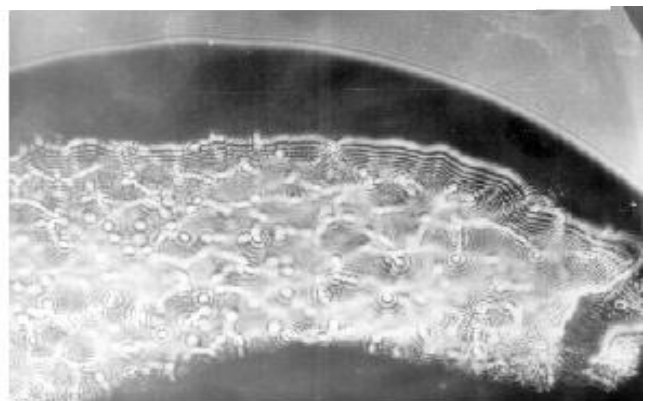


Рис. 3.33 Інтерференція від мильної плівки

рівностороннього трикутника – з'єднання провідників пропадають. Закріплюють каркас в лапці фізичного штатива. Після цього підводять під нього посудину з розчином шампуні. Піднімають посудину, занурюючи каркас в розчин, і опускають на стіл.

Пучок джерела світла (світлодіода) розширюють лінзою з набору КВО. Під кутом  $100^{\circ}$ – $120^{\circ}$  до площини мильної плівки, яка затягнула каркас, спрямовують пучок джерела випромінювання. У відбитому світлі за допомогою лінзи проєктують інтерференційну картину на екран (рис.3.33). Дослід наочно показує високу когерентність випромінювання світлодіодів.

### **Дослід 21 Одержання інтерференційних смуг**

**Обладнання:** дві скляні пластинки, дротяна рамка, мильна вода, збиральна лінза і екран з комплекту „КВО”.

Протирають скляні пластинки, складають їх разом і стискають пальцями. Розглядають пластинки у відбитому світлі на темному фоні.

Пластинки розміщують так, щоб на поверхні скла не виникали яскраві відблиски від вікон чи білих стін. Звертають увагу, що в окремих місцях дотику пластинок виникає інтерференційна картина у вигляді яскравих кільцеподібних або неправильної форми смуг. Змінюють стискання пластин і розглядають зміну форми й розміщення інтерференційних смуг.

Опускають дротяну рамку в мильну воду, а потім витягнувши її, домагаються утворення мильної плівки. Спрямувавши на плівку за допомогою лінзи світло, спостерігають виникнення на екрані інтерференційної картини у відбитому світлі у вигляді кольорових горизонтальних смуг (рис. 3.34).

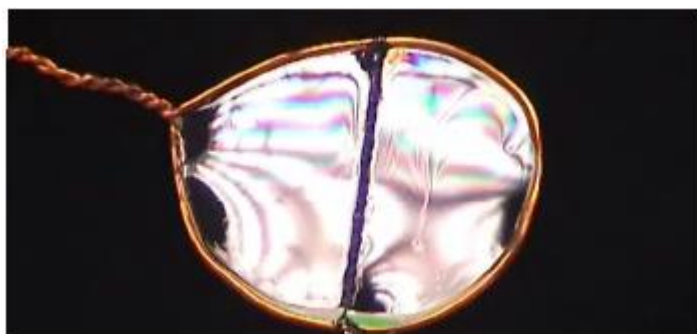


Рис. 3.34 Одержання інтерференційних смуг

## **Дослід 22 Інтерференційні досліди з використанням лазера**

**Обладнання:** джерело випромінювання (навчальна модель лазера), металева пластинка з набору вивчення поляризації світла, щілина, лінза, екран, діелектричне дзеркало, подвійна щілина Юнга, біпризма Френеля.

### **Завдання 1 Інтерференція від діелектричного дзеркала**

На направляючій кріплять джерело випромінювання. Лінзу ставлять на відстані 10-15 см від джерела випромінювання. Розширений пучок направляють на діелектричне дзеркало. Відбиті від зовнішньої поверхні пучка інтерферують. Картину спостерігають на екрані, що знаходиться на відстані 1-1,5 м (рис. 3.35).

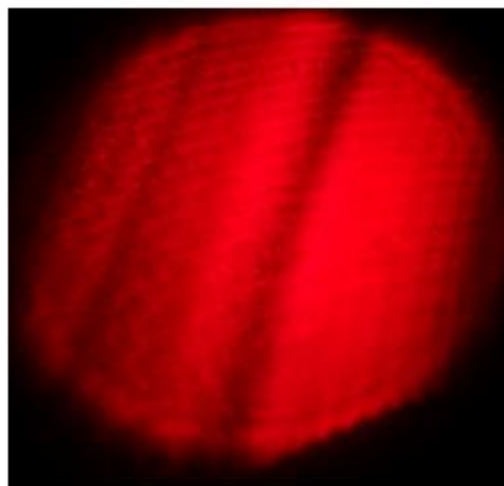


Рис. 3.35 Інтерференція від діелектричного дзеркала

### **Завдання 2. Інтерференція від металевої поверхні**

Розширений лінзою пучок джерела випромінювання направляють на металеву пластинку. Відстань від пластинки до лінзи 15 см (можна використовувати окуляр від мікроскопа). На екрані, що розташований на відстані 1-1,5 м від окуляра, спостерігають інтерференційну картину, рис. 3.36.

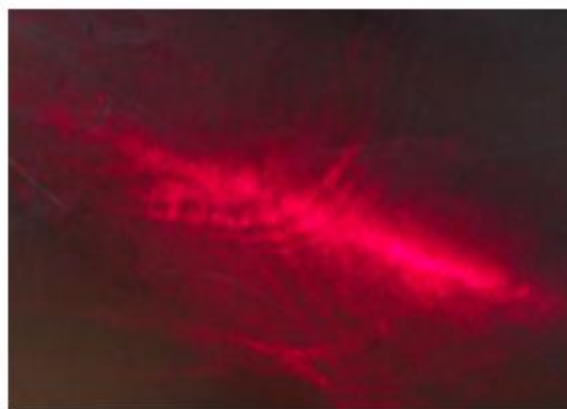


Рис. 3.36 Інтерференція від металевої поверхні

### **Завдання 3 Інтерференція від подвійної щілини Юнга**

На напрямляючій кріплять джерело випромінювання на основі світло діодів та подвійну щілину Юнга з комплекту „КВО”. На

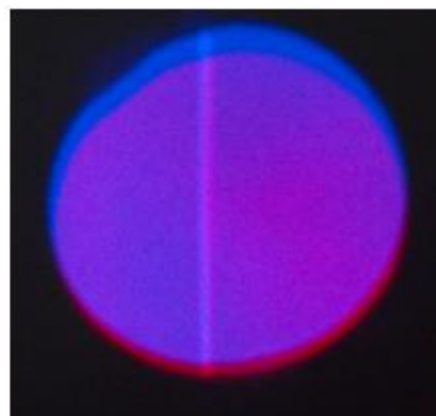


Рис. 3.37

екрані спостерігають картину, яка зображена на рис. 3.37.

#### **Завдання 4 Інтерференція від біпризми Френеля**

На напрямлюючій крапимо джерело випромінювання, щілину, біпризму Френеля та матовий екран. Змінюючи взаємне положення щілини і біпризми, а також ширину щілини, добиваємось чіткої інтерференційної картини на екрані, рис. 3.38. Для розширення смуг інтерференції, на шляху пучків, що виходять з біпризми, ставимо лінзу.



Рис.3.38

#### **Дослід 23 Кільця Ньютона**

**Обладнання:** джерело випромінювання, окуляр від мікроскопа чи лінза, пристрій для демонстрації кілець Ньютона, екран, поворотне дзеркало із зовнішнім покриттям, об'єктив.

Демонстрацію кілець Ньютона можна проводити в прохідному та відбитому пучках. Спеціальний пристрій „кільця Ньютона” входить в набір з інтерференції та дифракції світла. Він складається з плоско-опуклої та скляної пластинки. Це дає змогу при їх накладанні мати між ними тонкий повітряний проміжок, який викликає інтерференцію у вигляді кілець.

Пристрій для демонстрації кілець Ньютона візуально регульовальними гвинтами налаштовують так, щоб інтерференційна картина знаходилась в його центрі і мала систему концентричних кіл.

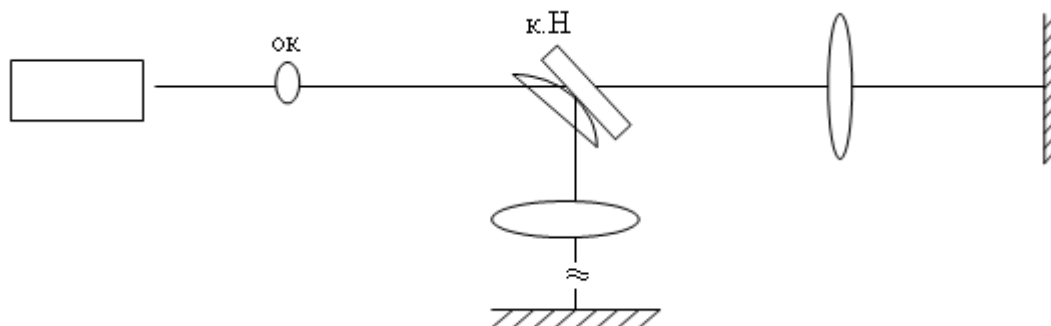


Рис. 3.39 Схема установки для демонстрації кілець Ньютона

На відстані 10 см від джерела випромінювання (рис.3.39), розміщують окуляр 15х від мікроскопа (Ок). В ширмі зі стержнем на відстані 15-20 см від окуляра кріплять пристрій (к.Н) для демонстрації кільця Ньютона. Вмикають джерело випромінювання. Пристрій повертають, щоб його площина в пучку складала  $45^\circ$ . Екран ставлять на відстані 70 – 115 см. Спостерігають інтерференційні кільця в прохідному та відбитому світлі.

### **Дослід 24 Демонстрація смуг Ллойда**

**Обладнання:** джерело випромінювання (світлодіод), дзеркало Ллойда, лінза, окуляр від мікроскопа, екран.

У досліді Ллойда інтерферують два пучки світла: один відбитий під кутом близьким до  $90^\circ$  від дзеркала із зовнішнім покриттям, а інший, що іде прямо від джерела випромінювання. На відстані 10-15 см від джерела випромінювання на столик із стержнем поміщають дзеркало Ллойда. Підбирають висоту столика такою, щоб частина пучка ковзала по поверхні дзеркала, а частина проходила прямо на екран. Якщо кут ковзання і кут між падаючим на дзеркало пучком і площиною дзеркала великий, то на екрані спостерігають дві горизонтальні червоні плями. Підкладають під одну із сторін дзеркала смужки картону та зменшують кут ковзання пучка, що накладаються. У момент накладання цих пучків на екрані бачимо систему червоних і темних горизонтальних інтерференційних смуг.

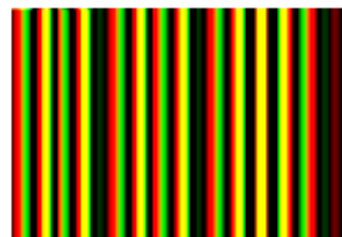


Рис.3.40

### **Дослід 25 Дифракція від отвору з використанням світлодіодів**

**Обладнання:** світлодіоди, джерело живлення, екрани з круглими отворами, екран, лінза.

Виготовляють екрани з круглими отворами, а в шматках чорного паперу розмірами 5х5 см роблять гострою голкою 4-6 отворів різного діаметра від 0,5 – до 2 мм. Одержаний пристрій кріплять в ширмі диску на

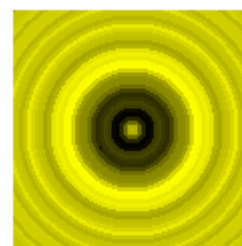


Рис. 3.41 Дифракція від отвору

стержні. Направляють пучок світлодіода на даний екран. Відповідно вузький пучок світлодіода розширюють лінзою №1 і спрямовують його почергово на отвори. Змінюючи відстань між пристроєм з отворами та лінзою №1 спостерігають дифракційну картину. В центрі маємо темну цятку (або світлу), навколо якої спостерігають концентричні світлі та темні кола (рис. 3.41).

### **Дослід 26 Дифракція від кульки**

**Обладнання:** світлодіоди, джерело живлення, лінза, фізичний штатив, скляна пластинка з кульками, екран.

На скляну пластинку наклеюють кульку діаметром 2-5 мм таким чином, щоб клей не виходив за межі кульки. Пучок світла від світлодіодів розширюють лінзою, яку розміщують на відстані 5-10 см. Скляну пластинку з кульками кріплять в ширмі зі стержнем у фізичному штативі. Потім кульку вміщують в поле світла від світлодіодів. На екрані в центрі геометричної тіні спостерігають світлу пляму. На тіні кульки та навколо неї помічають концентричні *дифракційні* смуги (рис. 3.42). Картину можна збільшити за допомогою лінзи. Для цього її розташовують між скляною пластинкою та екраном.

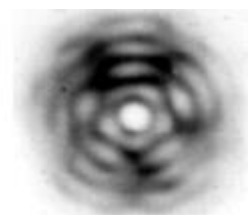


Рис. 3.42

### **Дослід 27 Дифракція від двох кульок**

**Обладнання:** джерело випромінювання, джерело живлення, екран, скляна пластинка з двома кульками, лінза № 1, фізичний штатив.

Цей дослід дає можливість активізувати пізнавальну діяльність учнів.

На скляну пластинку розмірами 5x5 см в центрі приклеюють дві кульки діаметром 2-4 мм. Пластинку кріплять в ширмі на стержні в фізичному штативі. Світловий пучок розширюють лінзою № 1. Відстань від лінзи до джерела випромінювання складає 5-10 см. Кульки на

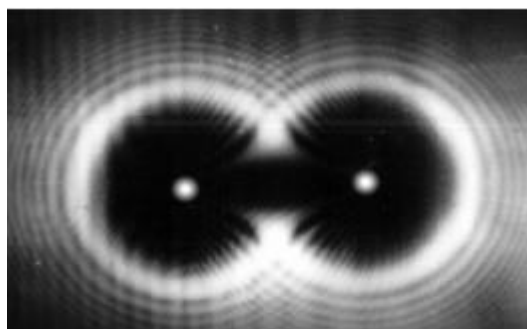


Рис.3.43

пластинці вносять в світловий пучок. На екрані спостерігають чітку дифракційну картину. В центрі геометричної тіні кульок маємо світлі плями. Дотикаючи кульки створюють клин, від якої отримується цікава картина. Навколо кульок проглядаються світлі та темні дифракційні смуги. В ділянці перекривання хвиль вони накладаються (рис. 3.43).

### **Дослід 28 Дифракція від краплини води**

**Обладнання:** джерело випромінювання, джерело живлення, лінза, екран, фізичний штатив, крапельна воронка.

У фізичному штативі закріплюють крапельну воронку. Лазерний пучок розширюють лінзою. Краном воронки регулюють повільне збільшення та відривання краплини. На відстані 15-20 см від лінзи розташовують воронку так, щоб кінець трубки крана „дотикався” до світлового пучка. На екрані спостерігають динамічну картину дифракції світла від краплини води, що відкривається. В центрі краплини добре видно світлу пляму. Поверхня краплини і її продовження покриті густими темними і світлими смугами, а навколо краплини спостерігають систему дифракційних темних і світлих смуг, що огинають краплину (рис. 3.44).

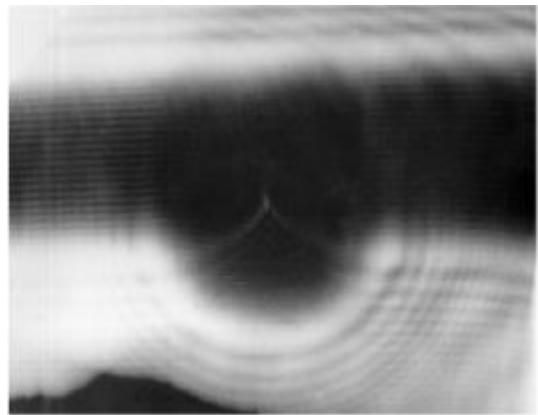


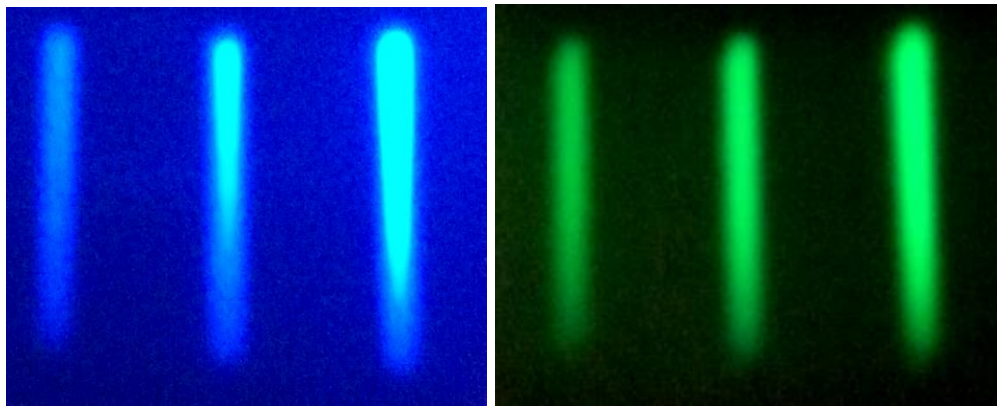
Рис.3.44

### **Дослід 29 Дифракція світла від щілини**

**Обладнання:** джерело випромінювання, направляюча, екран, щілина.

Під час демонстрації в установці на одному краю направляючої фіксують джерело випромінювання, а на протилежному краю розміщують демонстраційний екран. На певній відстані від екрану вставляють щілину.

Вмикають джерело світла (світлодіод) і пучок спрямовують так, щоб він пройшов через щілину. На екрані спостерігають систему дифракційних смуг (рис. 3.45).



а)

б)

Рис.3.45 Дифракція світла від щілин: а) при освітленні синім світлодіодом; б) при освітленні зеленим світлодіодом

### **Дослід 30 Дифракція світла від дифракційної ґратки**

**Обладнання:** лінійка, екран, рейтер, напрямляюча, дифракційна ґратка, джерело випромінювання.

Під час демонстрації в установці на одному краю напрямляючої фіксують джерело випромінювання, а на протилежному краю розміщують демонстраційний екран. На певній відстані від екрану у рейтер вставляють дифракційну ґратку. На екрані спостерігають низку дифракційних максимумів (рис. 3.46).



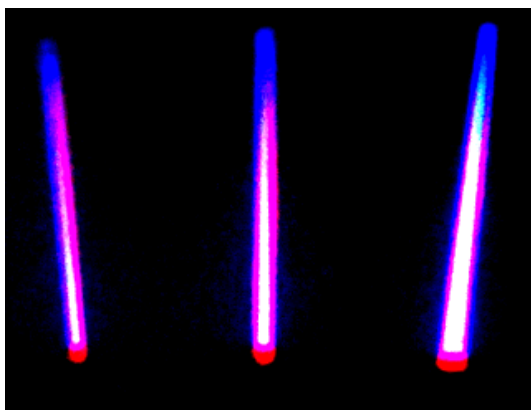
Рис. 3.46 Дифракція світла від дифракційної ґратки

### **Дослід 31 Спостереження дифракції світла від різних елементів**

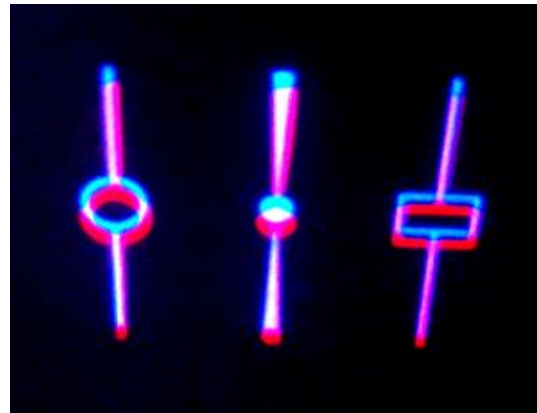
**Обладнання:** джерело випромінювання (світлодіод), дифракційні елементи з комплекту КВО, екран, напрямляюча.

Під час демонстрації в установці на одному краю напрямляючої фіксують джерело випромінювання, а на протилежному краю розміщують

демонстраційний екран. На певній відстані від екрану у рейтер вставляють по черзі дифракційні елементи, які описані в посібнику [64]. На екрані спостерігають явище дифракції (рис. 3.47).



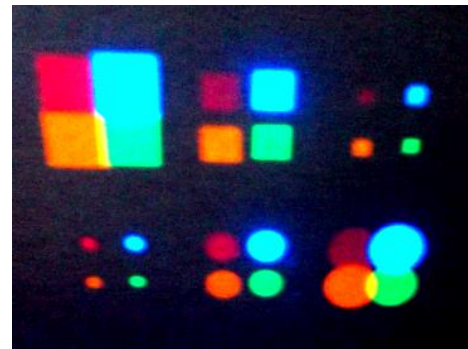
а)



б)



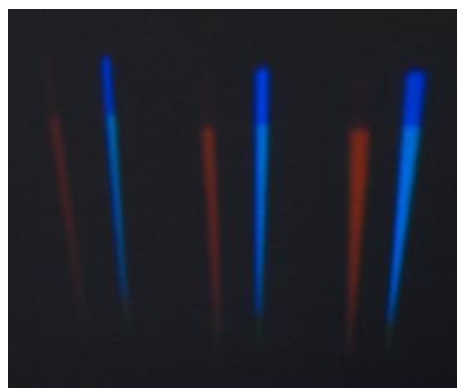
в)



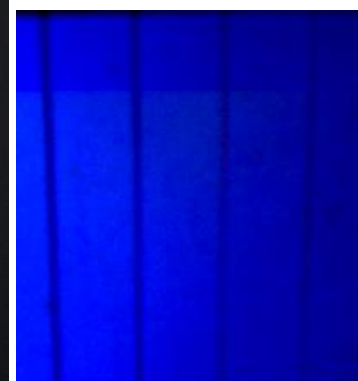
г)



д)



е)



є)

Рис. 3.47 Спостереження дифракції світла від дифракційних елементів: а) від клиноподібних щілин; б) від різних за формою елементів; в) від циліндричної лінзи; г) від квадратних та круглих форм фігур; д) від однієї щілини; е) від трьох щілин; є) від чотирьох щілин

### Дослід 32 Поляризація світла поляроїдами

**Обладнання:** джерело світла, два поляроїда з набору КВО для поляризації світла, екран, направляюча.

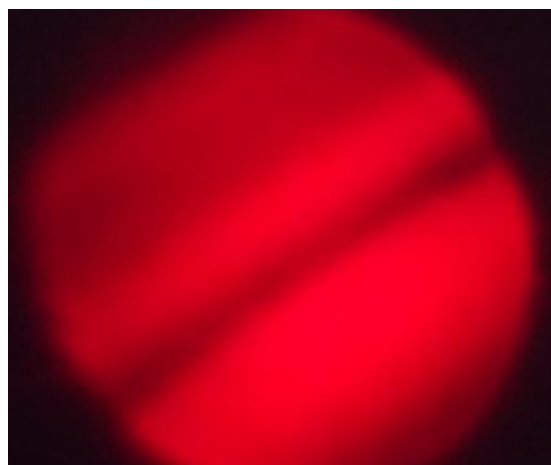
На демонстраційному столі на направляючій закріплюють джерело світла, один поляроїд з комплекту „КВО” для поляризації світла та екран (рис. 3.48). Вмикають джерело світла і проєктують освітлену частину поляроїда на екран у вигляді досить яскравого круга.

На поляроїдах нанесена шкала для вимірювання кутів їх повороту та помічені стрілки. Помічену стрілку повертаємо спочатку на  $90^\circ$ , потім на  $180^\circ$ ,  $270^\circ$  і  $360^\circ$ .

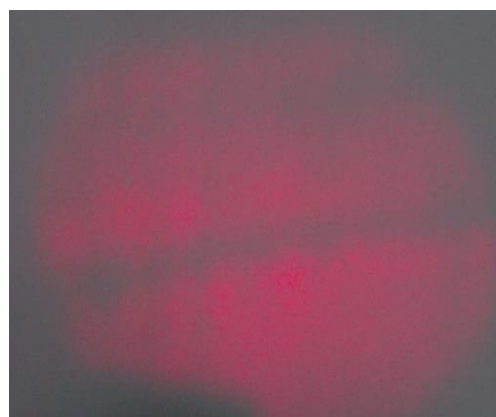
Звертають увагу учнів, що при цьому ніяких змін на екрані не відбувається. Дослід повторюють, але з другим поляроїдом.



Рис.3.48



а) збільшення освітленості



б) зменшення освітленості (гасіння)

Рис.3.49 Показ поляризації світла при використанні двох поляроїдів

Далі збирають установку з двома поляроїдами, коли стрілки-показчики лежать в одній площині. За допомогою об'єктива знову проєктують на екран ту частину пучка світла, яка пройшла через другий поляроїд і повільно повертають його на  $90^\circ$  відносно першого. Учні зауважують поступове зменшення освітленості круга на екрані до максимального гасіння.

Подальші повороти на  $180^\circ$ ,  $270^\circ$  і  $360^\circ$  приводять відповідно до просвітління, гасіння і знову до просвітління круга на екрані. З досліду учні легко можуть дійти висновку про перпендикулярність коливань у світловому пучку стосовно напрямку його поширення і легко роблять припущення, що перший поляроїд слугує у досліді поляризатором, а другий — аналізатором. Повторюють останній дослід, помінявши місцями поляроїди та переконуються в тому, що кожний з поляроїдів може слугувати як поляризатором, так і аналізатором.

### **Дослід 33 Поляризаційна дія целофану**

**Обладнання:** направляюча, джерело оптичного випромінювання, два поляроїди, шматки целофану.

На одному краю направляючої кріплять джерело випромінювання, яке приєднують до джерела живлення. На другому кінці направляючої ставлять екран, поляризатори і добиваються чіткого зображення світної плями.

Вирізають декілька шматочків целофану, різної товщини. Вносять целофанову плівку в світловий потік поблизу першого поляризатора. На екрані ніяких змін не виявлено. Це свідчить, що целофан не має якихось виражених оптичних властивостей або оптичних осей. Їх можна створити штучно. Для цього розтягують кусок целофану під кутом  $45^\circ$  до осей поляризаторів. Система пропускає частину світла. На екрані спостерігають різнокольорову картину. Поступово збільшують силу натягу целофанової смужки. Спочатку бачать появу темно-червоного кольору, яке поступово переходить в синє, потім голубе, жовте (рис. 3.50).

До даного досліду доцільно розглянути творчі завдання:

1 Повертають поляризатор так, щоб світло не проходило через систему. Вносять в світловий потік целофанову смужку під кутом  $45^\circ$  до площини поляризації першого поляризатора і поступово розтягують целофан. На екрані спостерігають світло різного кольору.

2 Розташовують площини поляризації поляризаторів під кутом  $45^\circ$  одна відносно іншої. На екрані бачать дещо затемнене світне поле. Вносять в нього целофанову плівку. Ніяких змін не виявляють. Коли розтягують плівку, то на екрані спостерігають зміну кольорів зображень. Роблять висновок, що за таких умов плівка дає найкращий ефект.

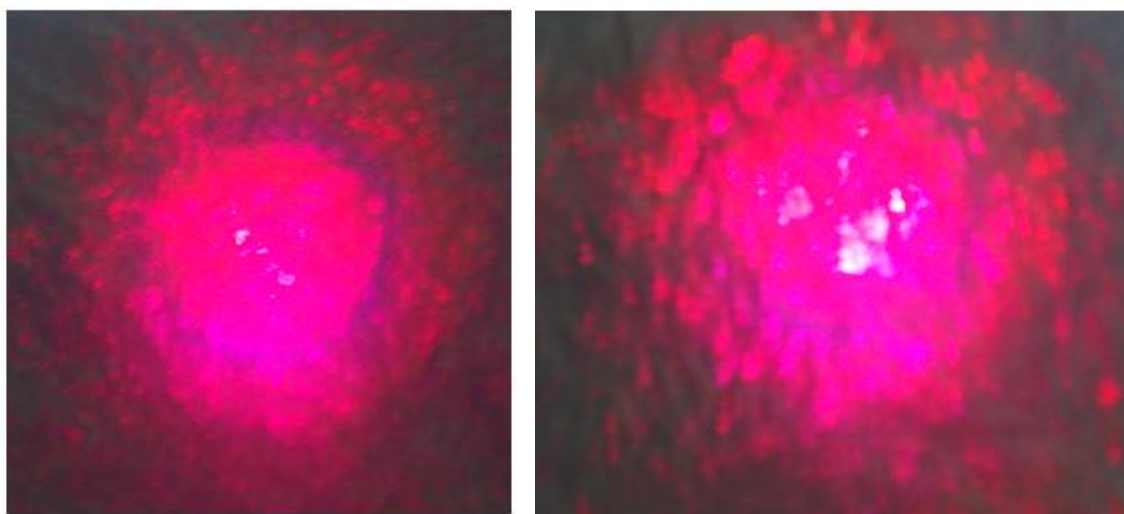


Рис. 3.50 Поляризація целофану

3 Площини поляризації орієнтують взаємно перпендикулярно. На екран світло не проходить. Вносять в світловий потік целофанову смужку під кутом  $45^\circ$  до площини поляризації першого поляризатора. Поступово розтягують смужку. На екрані спостерігають зміну кольорової картини.

4 Орієнтують площини поляризації паралельно або перпендикулярно. Вибирають прозору пластикову коробку і вносять її в світловий потік поблизу першого поляризатора. Виявляють місця деформації пластика через зміну освітленості екрана.

5 Обирають певну орієнтацію площин поляризації поляризаторів. Почергово в світловий потік вносять капронову кришку, скляний стакан, слюду та досліджують обрані предмети на деформацію.

### Дослід 34 Поляризація світла при заломленні

**Обладнання:** джерело світла, пластинки в оправі, поляроїд, екран, направляюча.

Світло, що падає на скляну пластинку під кутом повної поляризації ( $\alpha = 57^\circ$ ), 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 і заломлений.

Однак при заломленні завжди поляризується лише незначна частина світла, тому показати це явище в демонстраційному досліді важко. Але ступінь поляризації можна значно збільшити, якщо багаторазово повторити явище заломлення, тобто пропустити світло через складені разом декілька скляних пластинок. У такій стопці з 15—20 пластинок кожне нове заломлення збільшує поляризацію і її можна наочно ілюструвати за допомогою поляроїда.

Для демонстрації досліду збирають установку, яка складається з направляючої, пластинок в оправі (стопа Столетова), джерела світла та поляроїда (рис. 3.51). Перед освітлювачем розташовують за допомогою рейтерів стопку пластинок. За стопкою встановлюють поляроїд. Повільно обертають поляроїд навколо головної оптичної осі (роблять повний оборот) і виявляють, що освітленість плями на екрані поступово змінюється: за один оборот світло двічі з'являється і двічі гасне. Таким чином, стопка складених разом пластинок є типовим поляризатором і має такі ж властивості, як і поляроїдна плівка. Очевидно, стопа може слугувати й аналізатором, якщо її помістити перед поляроїдом і повільно, обертати в диску-ширмі.



Рис. 3.51

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

### **Дослід 35 Обертання площини поляризації світла розчином цукру**

**Обладнання:** джерело світла, два поляроїда, кювета для проектування, насичений розчин цукру, екран, направляюча.

Збирають установку за рис. 3.52 і проектують результат дії поляроїда на екран. Потім поляроїди схрещують, щоб на екрані вийшло затемнене поле. Звертають увагу, учнів на майже прямий кут, утворений у цьому випадку стрілками, укріпленими на дисках-ширмах. Між поляроїдами встановлюють на піднімальному столику кювету, наливають у неї 40—50-% розчин цукру до рівня, що поділяв би видиме поле навпіл, і додатково фокусують зображення на екрані. При цьому спостерігають на екрані добре помітне просвітління однієї половини в порівнянні з іншою. Спостерігають, що розчин цукру змінив площину поляризації частини світла, що пройшла поляризатор, тому частина пучка світла із загального потоку стала проходити аналізатор і доходити до екрану. Щоб відновити колишню картину — одержати потім точне значення кута, яке залежить від показника заломлення; звичайно застосовують скло



Рис. 3.52

з коефіцієнтом заломлення  $n = 1,5$ . Повертають один з поляроїдів і виявляють, що кут між ними став помітно меншим прямого.

Не змінюючи установки (поле на екрані затемнене), підливають у кювету насичений розчин цукру і знову спостерігають просвітління. Переконаються в тому, що для одержання затемнення приходиться ще більше повертати аналізатор, зменшуючи кут між поляроїдами.

У такий спосіб експериментально встановлюють залежність між концентрацією розчину і кутом повороту аналізатора. Інакше кажучи, розкривають принцип дії розповсюдженого в науці і техніці приладу — сахариметра.

При введенні розчину цукру між поляроїдами на екрані утвориться не тільки просвітління, але і деяке слабке фарбування. При повороті аналізатора фарбування дещо змінюється. Щоб уникнути цього явища і відновити потемніння, рекомендують дослід проводити в монохроматичному світлі, поставивши на шляху пучка світла світлофільтр. Краще інших підходить жовтий або світло-рожевий світлофільтр.

### ***Дослід 36 Дослідження штучної анізотропії в оптичних деталях***

***Обладнання:*** комплект „КВО”.

Механічні деформації прозорих тіл створюють оптичну анізотропію, внаслідок чого тіла набувають властивостей подвійного променезаломлення. Так, шматок скла, встановлений між двома схрещеними поляроїдами і стиснутий в якому-небудь напрямі, утворює інтерференційну картину. Для демонстрування даного явища в наборі комплекту „КВО” для поляризації є тіло з органічного скла.

У ході демонстрування тіло з органічного скла у вертикальному положенні підкладають під гвинт преса, доводять гвинт до стискання з тілом, щоб воно не випало з преса, і закріплюють стержень в рейтері. На направляючій в іншому кінці встановлюють джерело світла та два поляроїди, які є схрещеними, тобто встановлюють поляроїди „на темряву”. Між поляроїдами

встановлюють стиснене органічне скло. Звертають увагу учнів на те, що гвинт не тисне на тіло, тому на ньому не повинно бути жодних натягів. Після цього створюють у тілі натяги, стискаючи його гвинтом, і спостерігають інтерференційну картину, що утворюється вздовж контура зображення тіла.

Учня можна показати штучну анізотропію і при використанні органічного скла з двома металевими рукоятками. З преса описаного досліду виймають тіло з органічного скла і вигвинчують гвинт, а в петлях преса закріплюють модель балки. Послідовність виконання досліду така сама, як і попереднього. При стисканні великим і вказівним пальцями металевих рукояток у середній частині світлого контура зображення балки утворюється поздовжня темна смуга.

### **Дослід 37 Вивчення особливостей відбивання світла від діелектричного дзеркала при падінні під кутом Брюстера**

**Обладнання:** об'єктив, чорне діелектричне дзеркало, направляюча, конденсор, діафрагма, екран.

Чорне дзеркало  $D_3$  закріплюють в рейтері під кутом  $33^\circ$  до оптичної вісі джерела світла. Між дзеркалом і конденсором  $K$  встановлюють найбільшу ширму з діафрагмами  $D$ . За допомогою об'єктива  $O$ , встановленого на підставці на столі, на екрані  $E$  утворюють світле зображення діафрагми. Після цього між чорним дзеркалом, яке є поляризатором, і об'єктивом встановлюють поляроїд  $P$ , який правитиме за аналізатор. Обертаючи аналізатор навколо осі світлового пучка, спостерігають зміну яскравості світлової плями на екрані (рис. 3.53).

Коли поляризатори схрещені, то зображення на екрані гасне. У цьому положенні змінюють нахил чорного дзеркала так, щоб кут падіння був більший (або менший) від кута повної поляризації (кута Брюстера), і спостерігають, що світлова пляма стає яскравішою (при підготовці досліду встановлення дзеркала під кутом Брюстера уточнюють за максимальним гасінням світлої плями).

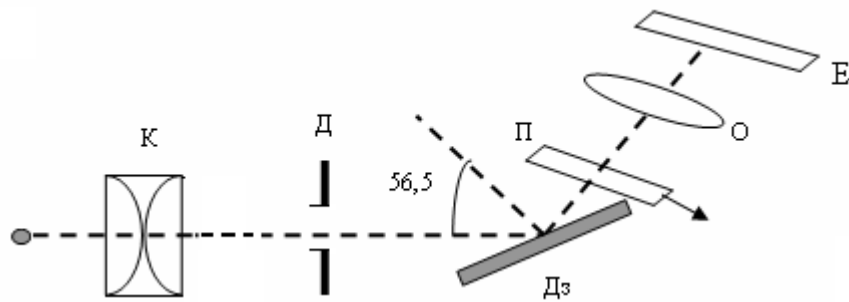


Рис. 3.53 Схема установки для демонстрації поляризації світла при відбиванні: К – конденсор, Д – діафрагма, Дз – чорне дзеркало, П – Поляроїд, О – об'єктив, Е – екран

Замість чорного дзеркала можна також встановити і звичайне та показати, що як би ми не повертали дзеркало, яскравість плями на екрані не змінюється.

### **Дослід 38 Фотоефект на пристрої з цинковою пластинкою**

**Обладнання:** освітлювач ультрафіолетовий, електрометр, цинкова пластинка, палички з ебоніту із скла для електризації, хутро, шкіра, штатив універсальний, шматок картону.

Цинкову пластинку зачищають з одного боку до блиску і встановлюють вертикально на стрижні електрометра. На відстані приблизно 50 см від електрометра розміщують у штативі освітлювач і вмикають його в мережу. Пластинку повертають зачищеним боком до лампи і заряджають негативно від ебонітової палички.

Як тільки стрілка електрометра встановиться й учні переконаються, що заряд на пластинці добре зберігається, швидко відсувають убік ширму і спостерігають поступову втрату цинковою пластинкою негативного заряду.

Звертають увагу учнів на те, що розряд електрометра починається відразу ж після освітлення пластинки і швидко припиняється, якщо світло лампи знову закрити ширмою. Після цього цинкову пластинку заряджають позитивно від скляної палички. Знак заряду перевіряють за допомогою зарядженої ебонітової палички: наближення її до пластинки зменшує кут відхилення стрілки електрометра. Потім ширму знову відсувають убік і переконуються, що стрілка електрометра залишається нерухомою навіть при інтенсивному освітленні.

Світло не може вибити з цинку позитивні заряди; електрони ж з позитивної пластини вибиваються, але вони тут же утримуються електричним полем позитивного заряду.

Далі освітлюють незаряджену пластинку. Розпочатий на ній у перший момент фотоефект незабаром припиняється, бо, втративши частину електронів, пластинка виявляється зарядженою позитивно.

Якщо до цинкової пластинки поступово наближати позитивно заряджену скляну паличку, стрілка електрометра усе більше падає до нульової поділки шкали і не повертається до нього після видалення палички. Дослідження показують, що заряд, який залишився на пластинці, є позитивним. Це означає, що цинк під дією падаючого на нього освітлення втрачав електрони. Процес цей продовжується увесь час, оскільки електричне поле позитивно зарядженої палички допомогло видалити з пластинки негативний заряд. Це і привело до нагромадження на електрометрі значного за величиною позитивного заряду, що стає помітним і виявляється.

Цей дослід переконує учнів в тому, що причиною відходу зарядів з цинкової пластини є світло і що під дією квантів світла з цинкової пластинки вибиваються тільки негативні заряди – електрони.

### **Дослід 39 Одержання лінійчастого спектру**

**Обладнання:** скляна пластинка, люмінесцентна лампа, генератор „Спектр”, джерело живлення, набір спектральних трубок з воднем та гелієм, свічка з сірниками, штатив універсальний з муфтою і лапкою, електрична лампочка на підставці, з’єднувальні провідники.

Для спостереження лінійчастого спектра вставляють трубку з воднем у тримач генератора „Спектр”. Розглядають лінійчастий спектр випромінювання гелію. Результати спостережень заносять до зошита. Повторюють спостереження з трубкою, яка наповнена неоном. Спостережуваний спектр замальовують в зошит.

Розглядають через пластинку спектр люмінесцентної лампочки. Отримані результати замальовують до зошита.

Крім лінійчастого спектра учням доцільно показати і утворення суцільного спектра. Це дає змогу порівняти відмінності між спектрами.

Розташовують пластинку горизонтально перед оком та крізь грані, які утворюють кут  $45^\circ$ , отримують спектр. Виділяють основні кольори отриманого суцільного спектру і записують у послідовності.

Повторюють дослід для призми, що утворена гранями, які розташовані під кутом  $60^\circ$ . Записують, як змінюється ширина спектра. Розглядають через пластинку спектр від полум'я свічки. Роблять висновки.

Після проведеної демонстрації доцільно дати відповідь на запитання:

1) В якому агрегатному стані речовина дає суцільний спектр?

а) твердому; б) рідкому; в) газоподібному.

2) В якому агрегатному стані речовина має лінійчастий спектр?

а) твердому; б) рідкому; г) газоподібному при низькому тиску.

3) Чи співпадають частоти лінійчастих спектрів випромінювання та поглинання?

а) Так; б) Ні.

4) Які характеристики світла змінюються при переході з одного середовища в інше?

а) Частота; б) Довжина хвилі; в) Швидкість.

#### **Дослід 40 Дисперсія світла при його проходженні через тригранну призму**

**Обладнання:** джерело світла з комплекту КВО, конденсор, розсувна щілина, об'єктив, столик, три рейтери, призма тригранна „Флінт” з комплекту КВО, екрани настільні (2шт).

Для утворення призматичного спектра і дослідів із спектрами можна використовувати різні призми, що їх випускає промисловість. Найбільш поширеними є звичайні тригранні призми з флінтгласу і кронгласу. Призма з

флінтгласу при однакових інших умовах дає ширший (більш розтягнутий) спектр, ніж призма з кронгласу. Значно яскравіший, чіткіший і ширший суцільний спектр дає призма прямого зору (призма Амічі), що складається зі склеєних канадським бальзамом двох призм з кронгласу і однієї з флінтгласу (або трьох з крону і двох з флінту).

З методичних міркувань даний дослід краще продемонструвати з тригранною призмою.

Неперервний спектр демонструють так. Перед конденсором універсального проєкційного ліхтаря встановлюють ширму з розсувною щілиною  $Щ$ . Обертаючи кільце, на якому закріплено щілину, її встановлюють вертикально, розсувають на  $1,5 - 2$  мм і відсувають від конденсора  $K$  на таку відстань, щоб збіжний пучок світла симетрично освітлював усю її площину (рис.3.54). У другому рейтері закріплюють лінзу. Пересуваючи лінзу уздовж направляючої, утворюють чітке зображення щілини на допоміжному настільному екрані  $E_1$ , установленому в напрямі оптичної осі джерела світла на відстані  $1,5-2$  м від лінзи.

Другий екран  $E$  на такій самій відстані від лінзи встановлюють під деяким кутом до оптичної осі джерела світла, щоб на ньому було видно спектр. Перед лінзою на направляючій встановлюють тригранну призму  $П$  так, щоб пучок світла падав на її грань під кутом близько  $40^\circ$ , а основою вона була повернута в той бік, куди переставили екран. Після цього призму треба встановити в положення кута найменшого відхилення.

Для цього її обертають навколо вертикальної осі доти, поки кут між заломленими пучками і оптичною віссю джерела світла не стане найменшим – це оптимальні умови спостереження спектра за допомогою цієї призми. При обертанні призми в одному напрямі спектр на екрані переміщується в протилежний бік. Положення призми фіксують у момент, який відповідає куту найменшого відхилення. При збільшенні ширини щілини спектр розтягується, але чіткість його зменшується.

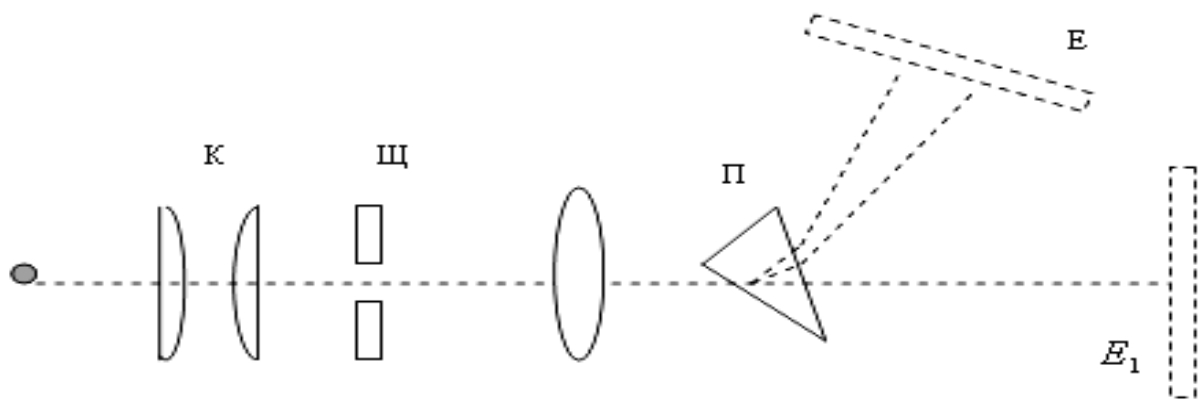


Рис. 3.54 Схеми установки для демонстрації призми спектра

Щоб перевірити фокусування спектра на екрані, грань призми повертають так, щоб за допомогою відбитого від неї пучка світла з об'єктива на екрані було видно зображення щілини; якщо воно не чітке, то положення лінзи уточнюють і призму знову встановлюють у положення кута найменшого відхилення. У такому випадку можна обмежитись одним екраном.

Потрібно звернути увагу учнів на кількість основних кольорів і порядок їх розміщення. Спостерігають, що в призмі найбільше заломлюються фіолетова частина спектра, а найменше – червона його ділянка.

### 3.1 Фронтальні лабораторні роботи

#### 1 Залежність освітленості від відстані до джерела світла

**Обладнання:** джерело світла (світлодіод), саморобна двохметрова лінійка, три екрани з квадратними отворами 10x20 см, 20x20 см, 30x30 см.

#### *Хід роботи*

- 1 Схеми установки для проведення досліду показана на рис. 3.55.
- 2 Перед виконанням роботи учні виготовляють екрани з отворами і встановлюють, що площі отворів відносяться як 1:4: 9. На відстані 40-50 см від нитки лампочки розміщують екран з отвором 10x10 перпендикулярно центральному променеві, що виходить з отвору в корпусі освітлювача.

3 За першим екраном паралельно йому встановлюють екран з отвором  $20 \times 20$  см і переміщують його доти, поки світловий потік, що пройшов через перший отвір, не буде цілком проходити через отвір у другому екрані.

4 За другим екраном розміщують третій. Його розташовують на такій відстані, щоб світловий потік, що пройшов через отвори в першому і другому екранах, цілком проходив через отвір у третьому екрані.

5 Розміщують послідовно за кожним екраном лист білого паперу, можна на око порівняти освітленості на різних відстанях від джерела світла.

6 Після цього переходять до підрахунку стосовно першого, другого і третього екранів. Їх знаходять, застосовуючи відоме співвідношення  $E = \frac{\Phi}{S}$ , де  $E$  – освітленість,  $\Phi$  – світловий потік,  $S$  – площа, на яку падає світловий потік. Оскільки світловий потік через всі отвори однаковий, а площі отворів відносяться як 1:4:9, то й відношення  $E_1 : E_2 : E_3 = 1 : \frac{1}{4} : \frac{1}{9}$ .

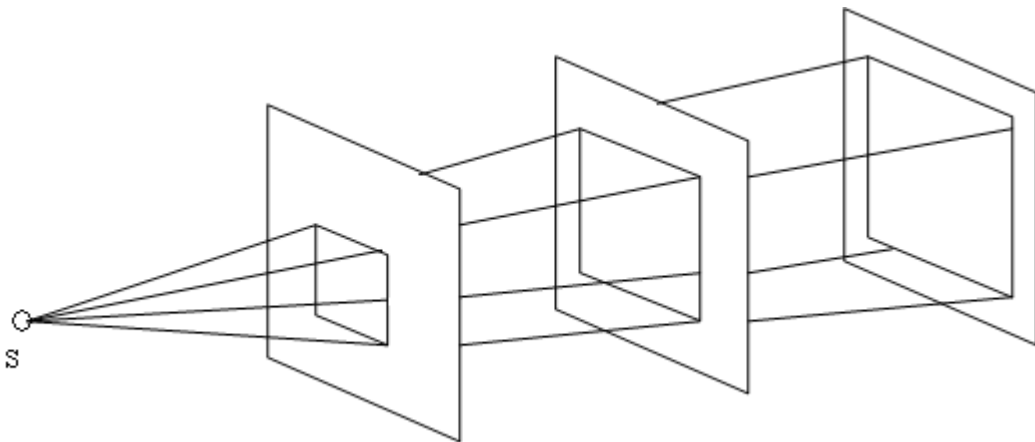


Рис. 3.55 Схема для з'ясування залежності освітленості від відстані до джерела світла

7 По шкалі знаходять відстані  $r_1, r_2$  й  $r_3$  екранів від джерела світла, а потім відношення обернених квадратів цих величин:  $\frac{1}{r_1^2} : \frac{1}{r_2^2} : \frac{1}{r_3^2}$ .

8 Формулюють висновок про результати виконання роботи.

## 2 Залежність освітленості від кута падіння світла

**Обладнання:** джерело світла (світлодіод), джерело живлення, екран у вигляді двогранного кута.

### *Хід роботи*

1 На столі під кутом  $15^{\circ} - 20^{\circ}$  до краю столу встановлюють джерело світла.

2 Перед джерелом світла ставлять білий екран у вигляді двогранного кута (рис. 3.56). Початковий кут між гранями -  $180^{\circ}$ . Грані освітлюються від джерела пучком, що падає приблизно перпендикулярно до їхньої поверхні. Освітленість обох граней однакова.

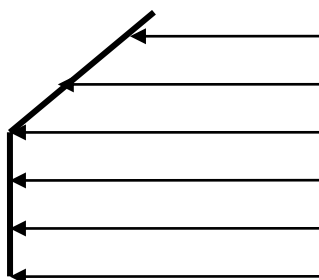


Рис. 3.56 Схема для з'ясування демонстрації залежності освітленості від кута падіння пучка світла

3 Поступово повертають одну з граней, збільшуючи тим самим кут падіння. Порівнюють при цьому освітленість рухомої грані в міру збільшення кута падіння світла.

**Висновок:** будучи максимальною при нормальному падінні світла (кут падіння дорівнює  $0^{\circ}$ ), освітленість поверхні грані знижується при збільшенні кута падіння і стає мінімальною при ковзному падінні пучка (кут падіння у цьому випадку близький до  $90^{\circ}$ ).

### **3 Порівняння сили світла двох джерел за допомогою фотометра**

**Обладнання:** фотометр Річчі, універсальний штатив, джерело світла (світлодіод), джерело живлення, лінійка.

### *Хід роботи*

1 Фотометр (рис. 3.57) являє собою призму, грані якої освітлюються двома джерелами світла. Обидві грані покриті білою фарбою і повинні бути однаково нахилені до лінії, що з'єднує джерела.

2 Джерела світла закріплюють у штативах і поміщають по обидва боки від призми. Пересуваючи одне із джерел світла, домагаються однакової освітленості граней призми.

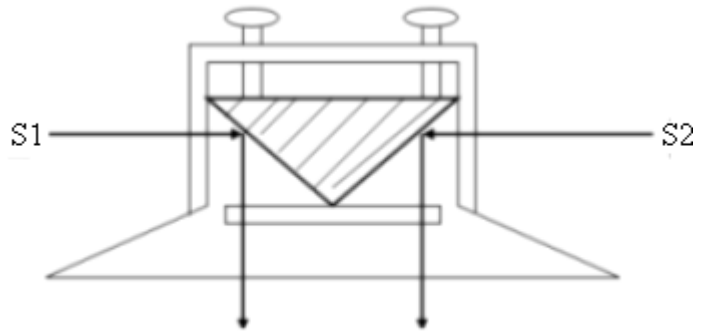


Рис.3.57 Схема пристрою фотометра Річчі

3 Вимірюють лінійкою відстані від джерел світла до

вертикального ребра призми, за формулою  $\frac{I_2}{I_1} = \frac{R_2^2}{R_1^2}$  порівнюють силу світла двох джерел.

4 Формулюють висновок.

#### 4 Незалежність світлових потоків один від одного

**Обладнання:** аркуш паперу, тонко заструганий олівець, лінійка.

##### *Хід роботи*

1 Кладуть на стіл аркуш паперу і відмічають на ньому дві точки на відстані 6-11 см одна від одної. Ці точки позначають, як джерела світла  $S_1$  і  $S_2$ .

2 Від кожної точки (джерела світла) тонко заструганим олівцем креслять на папері під лінійку 5 см напрямлену пряму лінію так, щоб вони сходилися, але не перетиналися. Ці лінії позначатимуть світлові промені.

3 Почергово дивляться під невеликим кутом до площини аркуша на кожен промінь у напрямку його поширення до ока та відмічають на папері на його шляху кілька точок (3-5). Для цього спочатку ставлять точку ближче до ока, наступні точки розміщують у напрямку від ока до накресленого променя (рис. 3.58).

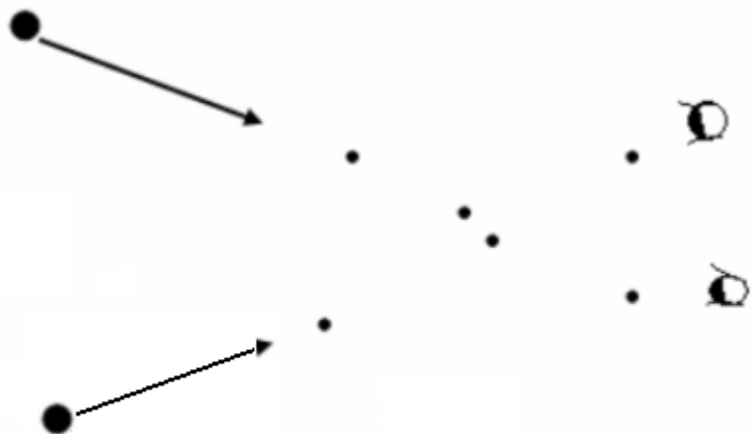


Рис.3.58

4 Під лінійку продовжують кожен промінь до найдальшої (крайньої) точки на його шляху поширення. Переконаймося, що обидва промені перетнуться лише в одній точці.

5 Виконують пп. 2- 4 для інших напрямків поширення вузьких світлових пучків та порівнюють отримані результати.

6 На якому законі ґрунтується проведене спостереження?

7 Формулюють висновок.

## **5 Дослідження явища заломлення світла рідиною**

**Обладнання:** прозора прямокутна посудина з тонкими стінками, склянка з рідиною (вода, спирт, олія, гас), аркуш паперу, тонко заструганий олівець, транспортир, лінійка.

### ***Хід роботи***

1 Кладуть на стіл папір і ставлять в його центрі прямокутну посудину. Наливають в неї рідину. Окреслюють на папері тонко заструганим олівцем контур двох протилежних граней посудини.

2 Перед однією з відмічених граней посудини креслять під лінійку тонко заструганим олівцем лінію під деяким гострим кутом до обраної грані. Ця лінія позначатиме падаючий промінь.

3 Дивляться під невеликим кутом до площини аркуша паперу на падаючий промінь крізь протилежну грань посудини з рідиною. Розміщують ребро лінійки так, щоб воно було на одній прямій з уявним зображенням у рідині накресленої лінії (падаючого променя), проводять олівцем відповідну лінію.

4 Знімають посудину з рідиною з аркуша паперу і під лінійку докреслюють лінії-промені до ліній, які позначають грані посудини. Креслять шлях променя в рідині, тобто між лініями-гранями. (Товщиною стінок нехтуємо). Відмічають напрямки падаючих та заломлених променів. Що відбулося з падаючим променем? Чи змінився напрямок падаючого променя після виходу з рідини? Вказують точки заломлення променя.

5 Будують перпендикуляри до ліній-граней (до площини поділу двох середовищ) в точках входу падаючого променя в рідину та виходу з неї. Як змінюється напрямок променя на межі поділу двох середовищ?

6 Позначають кути падіння  $\alpha_1, \alpha_2$  та заломлення  $\gamma_1, \gamma_2$  променів. За допомогою транспортиру виміряють ці кути та порівнюють. В якому випадку кут заломлення менший кута падіння, а в якому більший?

7 Виконують дослід кілька разів для інших рідин на других аркушах паперу. Порівнюють отримані результати.

8 Виконують дослід кілька разів для інших кутів падіння променя та порівнюють отримані результати.

9 Формулюють висновок: що відбувається з променем при проходженні через прозоре однорідне середовище, обмежене паралельними площинами? Як впливає речовина на відхилення променя?

## **6 Дослідження явища заломлення світла прозорою пластинкою**

**Обладнання:** прозора прямокутна плоскопаралельна пластинка, аркуш паперу, тонко заструганий олівець, транспортер, лінійка.

### ***Хід роботи***

1 Кладуть на стіл аркуш паперу і ставлять в його центрі плоско паралельну пластинку. Креслять на папері тонко заструганим олівцем контур двох протилежних граней пластинки.

2 Перед однією з відмічених граней пластинки креслять лінію під лінійку тонко заструганим олівцем під деяким гострим кутом до обраної грані. Ця лінія позначатиме падаючий промінь.

3 Дивляться під невеликим кутом до площини аркуша паперу на падаючий промінь крізь протилежну грань пластинки. Розміщують ребро лінійки так, щоб воно було на одній прямій з уявним зображенням у пластинці накресленої лінії (падаючого променя), проводять відповідну лінію.

4 Знімають пластинку з аркуша паперу і під лінійку докреслюють лінії-промені до ліній, що позначають грані пластинки. Креслять промінь всередині

пластинки, тобто між лініями-гранями. Відмічають напрямки падаючих та заломлених променів. Що відбулося з падаючим променем? Чи змінився напрямок падаючого променя після виходу з пластинки? Вказують точки заломлення променя.

5 Будують перпендикуляри до ліній-граней (до площини поділу двох середовищ) в точках входу падаючого променя в рідину та виходу з неї. Як змінюється напрямок променя на межі поділу двох середовищ?

6 Позначають кути падіння  $\alpha_1, \alpha_2$  та заломлення  $\gamma_1, \gamma_2$  променів. За допомогою транспортира вимірюють ці кути та порівнюють їх. В якому випадку кут заломлення менший кута падіння, а в якому більший?

7 Виконують дослід декілька разів для інших кутів падіння променя та порівнюють отримані результати.

8 Виконують дослід декілька разів для інших речовин та порівнюють отримані результати.

9 Формулюють висновок: що відбувається з променем при проходженні через прозоре однорідне середовище, обмежене паралельними площинами? Як впливає речовина на відхилення променя?

## **7 Дослідження залежності кількості зображень від кута між дзеркалами**

**Обладнання:** два плоских дзеркала на підставках, аркуш паперу, тонко заструганий олівець, транспортир, лінійка.

### ***Хід роботи***

1 Кладуть на стіл аркуш паперу і тонко заструганим олівцем креслять на ньому пряму лінію.

2 Користуючись транспортиром та лінійкою, креслять другу лінію під кутом  $45^\circ$  до першої лінії.

3 Розміщуючи на папері плоскі дзеркала так, щоб їхні дзеркальні грані збіглися з відміченими лініями.

4 Відмічають на папері між дзеркалами точку та підраховують кількість її зображень. Як розміщені зображення точки відносно вершини кута між дзеркалами?

5 Виконують пп. 2-4 для інших кутів між дзеркалами ( $60^\circ, 90^\circ$ ) та встановлюють залежність кількості зображень точки від кута між дзеркалами.

6 Знімають дзеркала і, користуючись лінійкою та транспортиром, виконують побудову зображень точки для одного із спостережуваних кутів між дзеркалами ( $45^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ ).

7 Формулюють висновок.

## 8 Одержання зображень у сферичних дзеркалах

**Обладнання:** увігнуте дзеркало з радіусом кривизни  $R=40$  см, джерело світла (світлодіод), лінзотримач, універсальний штатив, невеликий білий екран, регулятор напруги.

### *Хід роботи*

1 При проведенні досліду дзеркало встановлюють так, щоб його головна оптична вісь складала з однією стороною столу кут  $20-30^\circ$ .

2 Джерело світла закріплюють так, щоб його площина була перпендикулярна головній оптичній вісі дзеркала.

3 При одержанні збільшеного зображення джерело світла розміщують на відстані 25 см від дзеркала. Переміщаючи екран, на відстані 1 м одержують на екрані виразне зображення (рис. 3.59).

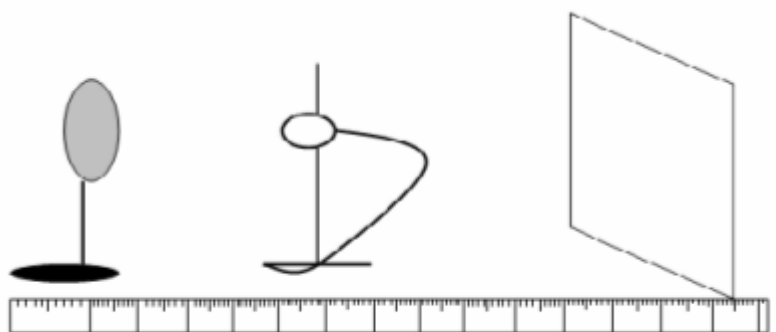


Рис. 3.59 Отримання зображення у сферичному дзеркалі

4 Віддаляють джерело світла від дзеркала, розміри зображення будуть зменшуватись. Це дає можливість підрахувати фокусну відстань дзеркала ( $2F=40$  см).

5 Звертають увагу учнів на той факт, що у всіх випадках утвориться перевернуте зображення від джерела світла.

6 При одержанні збільшеного зображення задають учням питання: що відбудеться з зображенням, якщо половину або велику частину дзеркала закрити непрозорим екраном?

7 Виконавши роботу, формулюють висновок, що у створенні зображення беруть участь усі промені, що попадають від предмета на дзеркало, а не тільки ті, котрі зображують на кресленнях при побудові зображень.

## **9 Одержання дійсних зображень за допомогою лінзи**

**Обладнання:** стрічка вимірювальна, лінза двоопукла довгофокусна, дзеркало увігнуте з наклеєною літерою, сітка міліметрова на склі, жолоб.

### ***Хід роботи***

1 Робота починається з визначення головної фокусної відстані лінзи найпростішим способом. Для цього одержують на матовому склі за допомогою лінзи дійсне зображення якого-небудь віддаленого предмета і вимірюють відстань між лінзою і матовим склом. Цю відстань можна вважати приблизно рівною головній фокусній відстані лінзи.

2 Потім беруть увігнуте дзеркало з вирізаною з білого паперу і наклеєною на його тильній стороні літерою *Б*. Встановлюють цей об'єкт уздовж жолоба на подвійній фокусній відстані від лінзи, розташованій приблизно на середині столу так, щоб літера була добре освітлена світлом від вікон.

3 По іншу сторону лінзи ставлять міліметрову сітку. Методом паралаксу сполучають її із зображенням літери.

4 Потім тією ж міліметровою сіткою вимірюють ширину і висоту самої літери, а за допомогою вимірювальної стрічки – відстань від зображення до лінзи.

5 Після виконання роботи роблять висновок: зображення предмета, встановленого на подвійній фокусній відстані від лінзи, що збирає, виявляється

зворотним, рівним і знаходиться також на подвійній фокусній відстані по іншу сторону лінзи.

6 Після цього літеру дещо присувають до лінзи і знову за допомогою міліметрової сітки знаходять її зображення.

7 Вимірюючи ширину або висоту літери і її зображень, а також відповідні відстані, формулюють другий висновок: лінійні розміри предмета і його зображень відносяться як відстані від лінзи до предмета і його зображення.

## **10 Визначення місця зображення предмета методом паралакса**

**Обладнання:** лінза двовипукла довгофокусна, матове скло, сітка міліметрова на склі, дзеркало, увігнуте з наклеєною буквою, жолоб.

### ***Хід роботи***

У цій роботі учні повинні навчитися відшуковувати місце, де утворяться дійсні зображення предмета, не використовуючи екран, а користуючись способом паралакса.

Цей спосіб заслуговує на особливу увагу, оскільки він виявляється єдиним можливим способом для визначення місця дійсного зображення в незатемненому приміщенні, коли предмет не тільки не є джерелом світла, але і сам недостатньо добре освітлений. Крім того, варто мати на увазі, що в більшості випадків дійсні зображення в оптичних приладах розглядаються без матового скла або екрана (телескоп, мікроскоп, видошукач фотоапарата, стереотруба, прицільні пристосування, спектроскоп і т.п.).

1 При спостереженні одним оком двох по-різному віддалених від ока предметів відбувається удаваний зсув (паралакс) цих двох предметів відносно один до одного, якщо дещо зміщувати око в сторони, вгору або вниз.

2 Щоб змінити спосіб паралакса, встановлюють уздовж жолоба збиральну лінзу і матове скло. Об'єктом для одержання зображення може слугувати літера *Б*, вирізана з білого паперу і наклеєна на тильну сторону увігнутого дзеркала.

3 Увігнуте дзеркало ставлять по іншу сторону лінзи, обернувши його літерою збоку лінзи. Переміщаючи матове скло, отримують на ньому чітке зменшене зображення літери. Щоб зображення здавалося досить яскравим, око треба розташовувати на головній оптичній осі лінзи.

4 Зміщують матове скло убік так, щоб на ньому залишилася половина зображення літери. При цьому учні бачать, що інша половина зображення не зникла, а залишилася на тому ж місці немов би висить у повітрі.

5 Забравши матове скло, ставлять на його місце скло з міліметровою сіткою. Переконаємося, що тепер зображення можна побачити тільки в тому випадку, якщо око розташувати на головній оптичній вісі за сіткою. Зображення видне тільки на тлі лінзи, і при переміщенні ока спостерігача воно не зміщується щодо сітки – ознака того, що сітка і зображення літери точно збігаються.

6 Відсувають сітку далі від лінзи і злегка переміщують око вгору або вниз, вправо або вліво. Тепер сітка і зображення зміщуються відносно один одного.

7 Знову домагаються такого положення сітки, коли паралакс не спостерігається, - це надає право вважати, що місце зображення знову знайдено точно.

8 Формулюють висновок.

Важливо пам'ятати, що лінза дає невелике перекручування внаслідок того, що зображення виходить не на площині, а на деякій кривій поверхні. Це змушує знаходити місце не всього зображення, а якої-небудь його частини, зручніше за все середньої. Таким чином, застосовуючи спосіб паралакса, треба стежити за серединою зображення, допускаючи невеликі зміщення ока вгору, вниз або в сторони.

*Якщо взаємного переміщення не відбувається, виходить, обидва предмети знаходяться на рівних відстанях; якщо предмети зміщуються, то далі знаходиться той предмет, що зміщується щодо іншого в ту ж сторону, що й око.*

## **11 Дослідження залежності ширини тіні від відстаней до екрану та джерела світла**

**Обладнання:** непрозорий брусок розміром 3x4x5 см, екран, міліметрова стрічка або лінійка, джерело світла (світлодіод), джерело живлення.

### ***Хід роботи***

- 1 Кладуть на стіл джерело світла, екран та брусок.
- 2 Вмикають джерело світла (світлодіод) та направляють його на брусок. Відповідно спостерігається на екрані тінь від бруска.
- 3 Вимірюють ширину тіні та відстань від екрану до грані бруска ближчої до джерела світла  $S$ . Дані вимірювань записують до таблиці.
- 4 Виконують експеримент декілька разів, змінюючи положення джерела світла  $S$  (наближаючи до бруска чи віддаляючи від нього).
- 5 Будують графік залежності ширини тіні від відстані бруска до екрану.
- 6 Формулюють висновок.

## **12 Визначення показника заломлення рідини через відхилення променя у призмі**

**Обладнання:** джерело світла (світлодіод), джерело живлення, прозорі (скляні) тонкостінні посудини у формі тригранних призм із заломлювальними кутами  $60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$  (рівностороння, прямокутна рівнобедрена та прямокутна з кутами  $60^\circ, 30^\circ$ ), склянки з рідинами (вода, спирт, олія, гас).

### ***Хід роботи***

- 1 Ставлять джерело світла, джерело живлення, одну з наявних призм посудин.
- 2 Наливають в посудину рідину. Вмикають джерело світла, яке направлене в дану посудину. Змінюють кут падаючого променя до тих пір, поки дальній край зображення падаючого променя, рухаючись в один бік, дійде до крайнього положення і розпочне рухатись в протилежний бік. Фіксують ці положення (воно відповідає найменшому відхиленню пучка).

3 Звертають увагу на те як веде себе промінь всередині рідини при найменшому відхиленні. Чи симетричні падаючий та вихідний промені відносно відповідних граней призми?

4 Визначають кути падіння:  $\alpha_1, \alpha_2$  та заломлення  $\gamma_1, \gamma_2$ . Чи однакові кути входу променя в призму – посудину та виходу з неї?

5 Позначають заломлювальний кут призми – посудини  $\varphi$  (кут навпроти основи призми) та вимірюють його.

6 Вимірюють кут найменшого відхилення  $\delta_m^0$  та записують його значення у таблицю 4.

Таблиця 12.1

№ п/п досліду	Назва рідини у досліді	Заломлювальний кут призми, $\varphi^0$	Кут найменшого відхилення, $\delta_m^0$	Показник заломлення
1				
2				
3				

7 Обчислюють показник заломлення рідини за формулою:

$$n = \frac{\sin\left(\frac{\varphi + \delta_m}{2}\right)}{\sin \varphi/2}, \quad (1)$$

де  $\varphi$  - заломлювальний кут призми,  $\delta_m$  - кут найменшого відхилення променя призмою. Записують дані обчислень до таблиці.

8 Виконують дослід декілька раз, наповнюючи призму іншою рідиною.

9 Виконують дослід для призми з іншим заломлювальним кутом. Порівнюють отримані результати.

10 Формулюють висновок.

### 13 Збирання моделі труби Кеплера

**Обладнання:** дзеркало увігнуте з наклеєною літерою, лінза двоопукла довгофокусна, лінза двоопукла короткофокусна, сітка міліметрова на склі; жолоб.

### *Хід роботи*

1 Поблизу одного кінця столу встановлюють увігнуте дзеркало з літерою *B* з білого паперу, наклеєною на зворотному боці (літера має бути добре освітленою світлом з вікон класу).

2 На більшій відстані від літери встановлюють довгофокусну лінзу і відшукують дійсне, зменшене і обернене зображення літери за допомогою сітки за методом паралакса.

3 Потім ставлять за сіткою, близько до неї, короткофокусну лінзу. Спостерігаючи крізь цю лінзу, як через лупу, на сітку, відсувають поступово лінзу доти, поки сітка, а з нею і зображення літери не стануть чіткими.

4 Забирають сітку і, переміщаючи око уздовж головної оптичної вісі, дослідним шляхом знаходять найвигідніше положення для ока, коли поле зору буде найбільшим.

5 Якщо дивитися двома очима: одним крізь лінзу, а іншим - повз неї безпосередньо на літеру, то можна порівнювати величину літери з її зображенням і орієнтовно визначити отримане збільшення.

6 Формулюють висновок.

## **14 Збирання моделі мікроскопа**

**Обладнання:** дзеркало увігнуте з наклеєною літерою, лінза двоопукла довгофокусна, лінза двоопукла короткофокусна, сітка міліметрова на склі, жолоб.

### *Хід роботи*

1 Об'єктивом у моделі мікроскопа слугує короткофокусна лінза, а окуляром – довгофокусна; головна фокусна відстань обох лінз повинна бути відома учням перед роботою.

2 Встановлюють вздовж жолоба об'єктив, біля добре освітленої літери на відстані, небагато більшій фокусної відстані, щоб одержати її дійсне, збільшене, перевернуте зображення. Це зображення відшукують за

допомогою сітки методом паралакса і розглядають потім через окуляр, як через лупу.

3 Чим ближче знаходиться літера до головного фокуса об'єктива, тим більше буде збільшення.

4 Формулюють висновок.

## **15 Збирання моделі труби Галілея**

**Обладнання:** лінза двовипукла довгофокусна, лінза.

### ***Хід роботи***

Труба Галілея відрізняється від ряду інших оптичних інструментів тим, що проміжного дійсного зображення розглянутого предмета в ній немає, бо пучки променів, які сходяться, що йдуть з об'єктива, до свого перетину зустрічають розсіювальну лінзу, яка слугує окуляром.

Таким чином, труба Галілея відразу дає уявне і пряме зображення, що робить її значно коротшою труби Кеплера.

Для одержання моделі труби Галілея немає потреби збирати установку на столі. Досить взяти в руки складені разом розсіювальну і довгофокусну збиральну лінзи і, приставивши розсіювальну лінзу до ока, поступово відсувати лінзу, що збирає, уздовж оптичної осі, поки предмет, на який спрямована оптична вісь системи лінз, не стане чітким.

## **16 Спостереження явища інтерференції світла**

**Обладнання:** пластинки скляні – 2 шт.

### ***Хід роботи***

1 Скляні пластинки від старих відмитих негативів, розмірами 4,5 см × 6 см начисто натирають чистою хусткою та складають разом, стискаючи пальцями.

2 Поверхні пластинок не можуть бути зовсім рівними; тому стикаються вони тільки в декількох місцях. Навколо цих місць утворюються найтонші повітряні клини різної форми, що дають картину інтерференції.

3 Якщо розглядати пластинки у відбитому світлі на темному фоні і повертати їх так, щоб на поверхні скла утворювалися не занадто яскраві відблиски від вікон або від білих стін, то в деяких місцях спостерігаються яскраві райдужні кільцеподібні або замкнуті смуги неправильної форми.

4 Розташування і форма смуг міняється, якщо змінити натиск. На це варто звернути увагу учнів і спробувати спостерігати картину інтерференції в прохідному світлі.

5 Формулюють висновок.

### 17 Синтез білого світла за допомогою збиральної лінзи

**Обладнання:** джерело світла (світлодіод), призма (флінт або крон), лінзи з різних наборів з фокусними відстанями в 7,5 і 23 см, екран.

#### *Хід роботи*

1 У цьому досліді світлодіод встановлюють під кутом у  $30^\circ$  до довгого краю столу.

2 На лаві на відстані 5 см від освітлювача розміщують конденсор. Перед ним на відстані 6 см встановлюють розсувну щілину. Її зображення проєктують на переносний настільний екран за допомогою об'єктива, встановленого від щілини на відстані близько 10 см.

3 Перед об'єктивом на столику зі стрижнем розміщують тригранну призму з флінта (крон), розташували її ребра вертикально.

4 На екрані спостерігають спектр, що простягнувся в горизонтальному напрямку.

5 Перед призмою на відстані 8 см від неї на шляху виходу з неї пучка світла встановлюють лінзу з  $F=7,5$  см (рис. 3.60). На екрані замість спектра

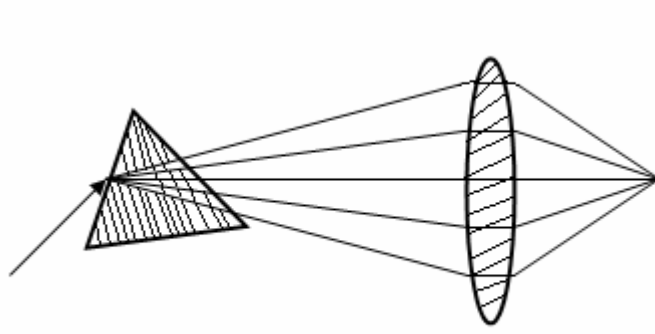


Рис. 3.60 Синтез білого світла за допомогою збиральної лінзи

тепер спостерігається біла вузька вертикальна смужка, що одержується у результаті додавання всіх кольорових ділянок спектра.

6 Такий результат отримується, якщо лінзу з  $F=7,5$  см замінити лінзою з  $F= 23$  см з набору лінз і дзеркал і встановити останню на відстані 30 см від призми.

7 Формулюють висновок.

## 18 Визначення радіуса малих частинок

**Обладнання:** світлодіод, направляюча, лінза, скляна пластинка з частинками лікоподію (спор плауна), екран, вимірювальна лінійка.

### *Хід роботи*

1 Складають схему установки для визначення розмірів частинок лікоподію, яку подано на рис. 3.61. Оскільки під час виконання лабораторної роботи немає потреби утворювати картину дуже великих розмірів, то відстані між лінзою і пластинкою з частинками лікоподію значно зменшують.

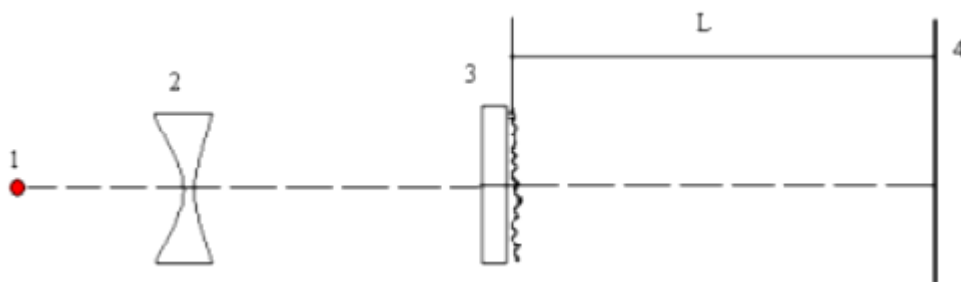


Рис. 3.61: 1 – світлодіод, 2 – лінза, 3 – скляна пластинка з лікоподієм, 4 – екран

2 Екран при цьому закріплюють на краю направляючої і на ньому спостерігають систему концентричних темних і світлих кілець.

3 Для темних кілець кутові радіуси визначають із співвідношень:

$$\sin \alpha_1 = 0,61 \frac{\lambda}{r}; \quad \sin \alpha_3 = 1,11 \frac{\lambda}{r}; \quad \sin \alpha_5 = 1,62 \frac{\lambda}{r}, \quad (1)$$

де  $r$  - радіус частинок лікоподію, що спричиняють дифракцію монохроматичного випромінювання з довжиною хвилі  $\lambda$ . Для світлих кілець кутові радіуси визначаються з таких співвідношень:

$$\sin \alpha_2 = 0,82 \frac{\lambda}{r}; \quad \sin \alpha_4 = 1,34 \frac{\lambda}{r}. \quad (2)$$

4 Щоб знайти радіус частинок, потрібно дослідним шляхом визначити значення кутів  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$ . Для цього вимірюють на екрані  $D$  відповідного світлового або темного кільця і відстань  $L$  від скляної пластинки з частинками лікоподію до екрана і використовують формулу:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{D}{2L}. \quad (3)$$

5 За знайденими результати визначають розміри частинок лікоподію і аналізують результати лабораторної роботи.

6 Формулюють висновок.

### 3.3 Роботи фізичного практикуму

#### 1 Визначення показника заломлення скла за допомогою плоско-паралельної пластинки або призми

**Мета:** визначити показник заломлення скла.

**Обладнання:** джерело випромінювання, плоско-паралельна пластинка, що відбиває екран, позитивна лінза, блок призм, візуалізаційний об'єм.

#### *Короткі теоретичні відомості*

Хід променів крізь плоско-паралельну пластинку показаний на рис. 3.62.

Будемо вважати, що пластинка знаходиться в однорідному середовищі ( $n_1 = n_3$ ). З закону заломлення світла для першої грані випливає:  $\frac{\sin i_1}{\sin \hat{i}_1} = \frac{n_2}{n_1}$ , на

другій грані  $\frac{\sin \hat{i}_2}{\sin i_2} = \frac{n_3}{n_2}$ . Помножимо одне рівняння на інше і отримаємо

$$\frac{\sin i_1 \cdot \sin \hat{i}_2}{\sin i_2 \cdot \sin \hat{i}_1} = \frac{n_3}{n_2} = 1 \quad (1)$$

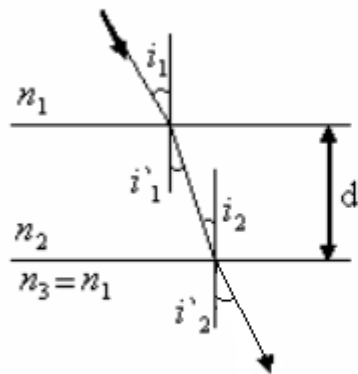


Рис. 3.62 Хід променя через тригранну плоскопаралельну пластинку

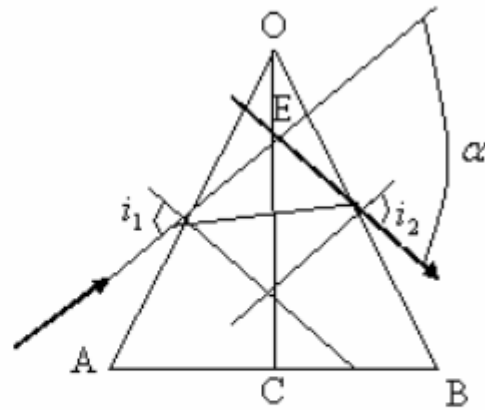


Рис. 3.63 Хід променя через призму

Оскільки  $i_2 = i_1$  (пластинка плоскопаралельна), то  $i_2 = i_1$ . Плоскопаралельна пластинка в ізотропному середовищі зміщує світловий пучок паралельно, не змінюючи напрямку його поширення. Величина зсуву тим менше, чим менше товщина пластинки і залежить від кута падіння і показника заломлення.

В оптичних приладах часто знаходять застосування тригранних призм, виготовлених зі скла. На рис. 3.63 зображений перетин призми площиною, перпендикулярної до бічних ребер. Промінь світла, що проходить крізь призму, двічі заломлюється на її гранях  $OA$  й  $OB$ . Кут  $\theta$  між гранями називається **заломлюючим кутом призми**.

Якщо призма виготовлена з матеріалу, показник заломлення якого більший показника заломлення навколишнього середовища, то призма відхиляє промінь до своєї основи. Кут  $\alpha$  називається **кутом відхилення**. При зміні кута падіння від  $0$  (перпендикулярне падіння) до  $90^\circ$  (ковзне падіння). Кут відхилення спочатку зменшується, а потім знову зростає, досягаючи мінімального значення при симетричному ході променя. Симетричним є такий хід променя, при якому всередині призми промінь проходить перпендикулярно бісектрисі  $OC$  заломлюючого кута і кут виходу променя дорівнює куту падіння тобто  $i_2 = i_1$ .

Мінімальне значення кута відхилення спостерігають при повороті призми навколо вертикальної осі, що проходить через її середину. При цьому кут падіння буде постійно зростати, а відхилений призмою промінь буде зміщуватися на екрані спочатку в одну сторону, потім зупиниться і почне зміщуватися у зворотному напрямку. Якщо вимірити кут мінімального відхилення  $\alpha_m$  і заломлюючий кут  $\theta$  призми, то можна визначити показник заломлення речовини, з якого виготовлена призма:

$$n = \frac{\sin((\alpha_m + \theta)/2)}{\sin(\alpha_m/2)} \quad (2)$$

Тригранна призма широко використовується в спектральних приладах, призначених для розкладання світла на монохроматичні складові. Дійсно, якщо вузький падаючий пучок світла має монохроматичні складові, то показник заломлення речовини призми для кожної з них на межі розділу має кут заломлення, який різний за значеннями і пучок розкладається на монохроматичні складові. На іншій межі кут між монохроматичними складовими ще збільшиться у зміні свого напрямку і таким чином світло розкладеться в спектр.

### *Хід роботи*

#### **Завдання 1 Спостереження заломлення світла в плоско-паралельній пластинці**

- 1 Встановлюють джерело випромінювання на столі. Направляють пучок світла до екрана.
- 2 Встановлюють в нерозширений пучок збиральну лінзу на підставці.
- 3 У сформований збиральною лінзою паралельний пучок світла вводять плоско-паралельну пластинку, закріплену на підставці.
- 4 Розміщують схему під візуалізаційний об'єм, попередньо створивши затемненість.
- 5 Формулюють висновки та записують їх до зошита.

*Проведене спостереження дало такі результати:*

Спостерігають паралельний зсув заломлених променів щодо променів, що пройшли повз пластинку. При нахилі плоскопаралельної пластинки зсув променів збільшується. При падінні світлових променів по нормалі до плоскопаралельної пластинки відбувається паралельний зсув щодо первісного напрямку поширення. При збільшенні кута нахилу плоскопаралельної пластинки щодо пучка променів відхилення збільшується (рис. 3.63).

**Завдання 2 Визначити показник заломлення світла при використанні призми**

1 Встановлюють та вмикають джерело випромінювання на столі.

2 Встановлюють призму на направляючій біля випромінювача. Вводять в світлодіодний пучок призми з різними кутами при вершині, на екрані спостерігають за зміною напрямку світлового пучка.

3 Проводячи необхідні вимірювання, обчислюють кут відхилення виготовлених з однакового матеріалу призм із кутами при вершині  $5^{\circ}, 10^{\circ}, 20^{\circ}$  (скло ДО8) за формулою (2).

4 Дані заносять до таблиці 1.1 та формулюють висновок.

*Таблиця 1.1*

№ з/п	$\alpha$	$\theta$	$n$	$\Delta n$
1.				
2.				
3.				

*Проведене спостереження дало такі результати:* при демонстрації явища заломлення на призмах спостерігають зростання кута відхилення зі збільшенням кута падіння пучка на бічну сторону призми. Порівняти кути відхилення для призм з однаковим кутом при вершині  $20^{\circ}$ , по виготовлених з різного оптичного матеріалу (скло ДО8 і скло ТФ<sub>1</sub>). На підставі результатів виконання завдання визначили показник заломлення скла ДО8  $n = 1,5143$ .

**Висновки до завдання 2:** Велике значення кута при вершині призми обумовлює збільшення кута відхилення. Для невеликих значень кута при вершині ( $5^{\circ}, 10^{\circ}$ ) і для малих кутів падіння, призму можна розглядати як клин, для якого справедлива формула:

$$\sigma = \theta(n-1), \quad (3)$$

$n$  – показник заломлення скла ДО8  $n = 1,5143$  при  $\lambda = 632,8$  нм,  $\theta$  - кут при вершині призми.

### **Контрольні запитання**

- 1 Дайте визначення заломлюючого кута призми.
- 2 За яких умов спостерігають мінімальне значення кута відхилення?
- 3 Як проходить промінь через плоско-паралельну пластинку та призму?
- 4 Сформулюйте закон заломлення світла.
- 5 За якою формулою обчислюється показник заломлення призми.

### **2 Визначення фокусної відстані збиральної лінзи**

**Мета роботи:** сформувати в учнів основні поняття про лінзу, її різновиди та навчити визначати фокусні відстані збірної лінзи; розвиток активності, уважності та цілеспрямованості при виконанні поставлених завдань.

**Обладнання:** комплект для вивчення оптики.

### **Короткі теоретичні відомості**

У формулі тонкої лінзи

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}, \quad (1)$$

де  $a$  – віддаль від оптичного центра лінзи до предмету,  $b$  - віддаль від оптичного центра лінзи до зображення предмета,  $F$  – головна фокусна віддаль лінзи.  $\frac{1}{F} = D$  - оптична сила лінзи або  $\frac{1}{F} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$ , де  $R_1$  і  $R_2$  - радіуси сферичних поверхонь лінзи,  $n$  – показник заломлення речовини, з якої виготовлено лінзу.

Величини  $a$  і  $b$  в формулі (1) можна поміняти місцями, при цьому формула не змінює свого вигляду. Це означає, що коли на місце чіткого зображення предмета поставити сам предмет, то його зображення буде в тому місці, де раніше стояв предмет. Віддалі  $a$  і  $b$  є самоспряжені.

Головну фокусну віддаль збиральної лінзи визначають такими методами:

1) вимірюванням віддалей лінзи до предмета і від лінзи до його зображення; 2) за переміщенням лінзи (метод Бесселя); 3) визначенням величини предмета і величини його зображення та віддалі зображень від лінзи; 4) за допомогою зорової труби; 5) безпосереднім вимірюванням віддалі між лінзою і зображенням, якого-небудь досить віддаленого предмета; 6) визначенням віддалі від лінзи до її спряжених фокусів.

Для виконання роботи шкільного фізичного практикуму прийнятними є всі методи, якими забезпечується диференційований підхід до організації навчання, а також умови розвитку творчих здібностей учнів.

1 Коли  $a$  і  $b$  відомі, то фокусну віддаль лінзи визначають за формулою

$$F = \frac{ab}{b+a} \quad (2)$$

2 Коли предмет розмістити від екрана на віддалі, більшій ніж  $4F$ , то помістивши лінзу  $L$  між предметом і екраном, можна знайти такі два положення лінзи, при одному з яких зображення на екрані буде збільшене, а при другому – зменшене. Віддаль  $D$  між предметом і екраном визначають як сума  $a + b = D$ , а віддаль між першим та другим положеннями лінзи дорівнює  $x = b - a$ . Віддалі  $a$  і  $b$  самоспряжені, тому  $a = b$ ,  $a = \frac{D-x}{2}$ ,  $b = \frac{D+x}{2}$ . Підставляючи величини  $a$  і  $b$ , одержуємо:

$$F = \frac{D^2 - x^2}{4D} \quad (3)$$

**Метод Бесселя** – найбільш точний, бо в формулу входить лише віддаль від предмета до екрана і величина зміщення лінзи. Ці величини можна виміряти з більшою точністю, ніж віддаль від предмета до лінзи і від лінзи до зображення.

3 Якщо виміряти лінійну величину предмета  $l$  і зображення  $l'$  та віддаль від лінзи до зображення, то матимемо  $\frac{l}{l'} = \frac{a}{b}$ , звідки  $a = \frac{l}{l'}b$ . Підставивши вираз у формулу лінзи, дістанемо

$$F = b \frac{l}{l+l'} \quad (4)$$

Але, в даній лабораторній роботі ми використаємо комплект КВО основою якого являється лінзи великого діаметра і випромінювач на світлодіодах. Всі вони встановлені на стійках і підставках одної висоти. У КВО екраном слугує тонка металева пластина на білому фоні якої з обох сторін нанесені вимірювальні шкали в горизонтальному і вертикальному напрямі.

### Хід роботи

- 1 За допомогою збиральної лінзи на екрані отримують зображення квадрата, що утворено чотирма світлодіодами, які світяться (рис. 3.64).
- 2 Будують одне із зображень.
- 3 Вимірюють відстань від лінзи до екрана ( $d$ ) і від лінзи до квадрата ( $f$ ).
- 4 Результати вимірювань записують до таблиці.
- 5 Пересуваючи „квадрат” і екран отримують зображення різних розмірів.
- 6 Обчислюють фокусну відстань і оптичну силу збиральної лінзи.



Рис. 3.64 Утворення зображення світного квадрата за допомогою світло діода

- 7 Заносять дані до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

№ п/п	$d, м$	$f, м$	$F, м$	$D, дптр$

8 Обчислюють відносну та абсолютну похибки.

9 Формулюють висновки.

### **Контрольні запитання**

1 Дайте визначення лінзи?

2 Які види лінз існують?

3 Як обчислюють абсолютну та відносну похибки при визначенні головної фокусної відстані?

4 В чому полягає метод Бесселя?

5 Яка формула тонкої лінзи?

### **3 Визначення головної фокусної відстані розсіювальної лінзи**

**Мета роботи:** сформувати в учнів основні поняття про лінзу, її різновиди та навчити визначати фокусну відстань розсіювальної лінзи; розвиток активності, уважності та цілеспрямованості при виконанні поставлених завдань.

**Обладнання:** комплект для вивчення оптики.

### **Короткі теоретичні відомості**

У формулі тонкої лінзи

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

де  $d$  – віддаль від оптичного центра лінзи до предмета,  $f$  - віддаль від оптичного центра лінзи до зображення,  $F$  – головна фокусна віддаль розсіювальної лінзи.

Одним із методів вимірювання фокусної віддалі розсіювальної лінзи є використання збиральної лінзи (метод вимірювання віддалі предмета та його зображення від лінзи).

Промені від джерела  $A$  фокусуються збиральною лінзою  $L_1$  в точці  $B$ . Між лінзою  $L_1$  і точкою  $B$  розміщують розсіювальну лінзу  $L_2$  на віддалі, меншій, ніж її фокусна віддаль. Внаслідок розсіювання лінзою  $L_2$  фокус збиральної лінзи переміститься в точку  $C$ . Оптичні промені мають властивість оборотності в

оптичних системах, тому точку  $C$  можна розглядати як джерело світла, а точку  $B$  – як його уявне зображення (рис. 3.65).

З формули розсіювальної лінзи матимемо

$$F = \frac{d \cdot f}{f - d} \quad (2)$$

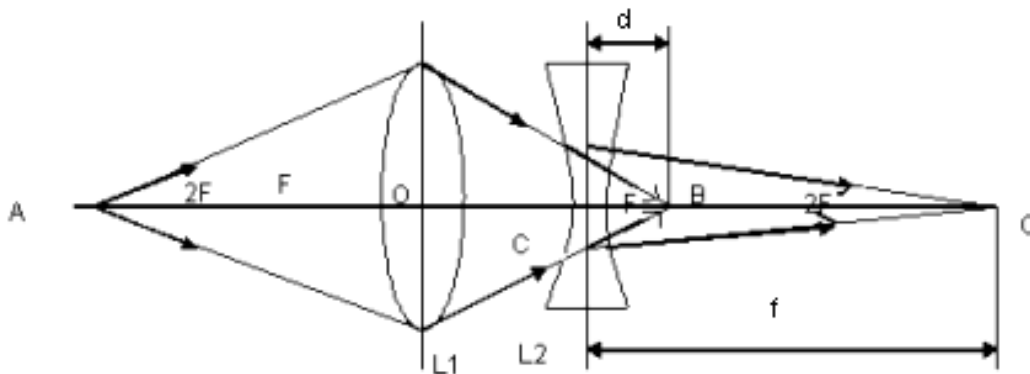


Рис. 3.65 Утворення зображення розсіювальною лінзою

Так само, як і в попередній роботі, ми будемо використовувати нове обладнання, що входить до комплекту КВО.

### *Хід роботи*

- 1 Отримують чітке зображення „квадрата” і вимірюють відстань  $d$ .
- 2 Забирають розсіювальну лінзу. Зображення на екрані зникає.
- 3 Пересуваючи світловий „квадрат” до збиральної лінзи, щоб на екрані знову з’явилося чітке зображення різнокольорових діодів.
- 4 Вимірюють відстань  $f$ .
- 5 Обчислюють фокусну відстань та оптичну силу розсіювальної лінзи.
- 6 Заносять дані до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

№ п/п	$d, м$	$f, м$	$F, м$	$D, дптр$

- 7 Повторюють дослід декілька разів.
- 8 Обчислюють похибки вимірювань.
- 9 Оформляють звіт учня та формулюють висновки.

### ***Контрольні запитання***

- 1 У чому відмінність дії (чи будови) розсіювальної лінзи від збиральної?
- 2 Дайте визначення оптичної, головної та бічної вісей?
- 3 Що можна визначити за формулою лінзи?
- 4 Чи може одна й та сама лінза діяти як збиральна і розсіювальна?
- 5 Які властивості лінзи? Дайте визначення фокальних площин та головної фокусної відстані?

### **4 Визначення роздільної здатності ока**

**Мета:** визначити роздільну здатність ока та ознайомитися з будовою, властивостями ока.

**Обладнання:** аркуш білого паперу, аркуш міліметрового паперу, голка, екран, лінійка, екран.

### ***Короткі теоретичні відомості***

**Примітка.** *Роздільною здатністю ока* називають найменший кут, під яким видно роздільно два об'єкти, що розміщені поряд один біля одного.

Найдосконалішим було визнано схематичне око, запропоноване шведом А. Гульштрандом, який за цю розробку і участь у створенні офтальмологічних приладів був удостоєний у 1911 р. Нобелівської премії. Саме модель А. Гульштранда було покладено в основу низки фізіологічних концепцій. Однак при цьому чомусь нікого не турбувало те, що схематичне око мало ідеальну оптику, яка навряд чи можлива в реальній живій системі. Більше того, існувала думка, що тільки ідеальна оптична система здатна відтворити всі дивовижні можливості людського ока.

Серед феноменів, пов'язаних з функціонуванням ока, виявилось чимало таких, які неможливо пояснити навіть сьогодні. Скажімо, чому нормою вважається гострота зору, яка відповідає одиниці? Або яка глибина різкості ока як оптичного приладу? В жодному підручнику ви не знайдете відповіді. Чи візьмемо **акомодацію** — здатність ока чітко бачити предмети на різній відстані. Відомо, що в людському оці існує лише один інструмент акомодатії —

кришталік. Але відомо, що іноді його доводиться видаляти (приміром, в ході операції з приводу катаракти), і, здавалося б, людина після цього не повинна бачити на різній відстані. Однак вона бачить, хоча й у дещо менших межах. Чому?

Ще одна загадка пов'язана з рогівкою. Ця передня частина оболонки ока є живою тканиною. Якщо вимірювати її приладами, з'ясуємо, що вона крива, астигматична. Причому астигматизм у неї великий — від 0,25 до 1 діоптрії, а зір, тим часом, може бути цілком нормальним. Чому? За однією з гіпотез, кривизна кришталіка спрямована у протилежний, ніж у рогівки, бік, і завдяки цьому відбувається корекція. З практики відомо, що їхні кривизни, навпаки, накладаються одна на одну.

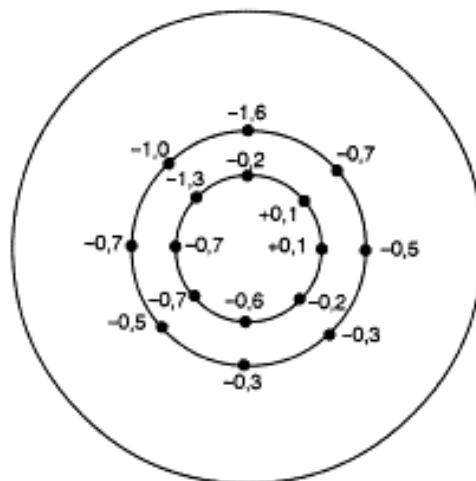


Рис. 3.66 Рефракція нормального ока в оптичних зонах діаметром 3 і 5 мм: значення зі знаком «-» показують ступені короткозорості, зі знаком «+» — далекозорості

Розглянемо рефракцію ока за допомогою схеми (рис. 3.66). Позначимо колами зону зіниць, а цифрами — рефракцію в окремих точках зіниці. Якщо відштовхуватися від старих уявлень, то в ідеальному оці в усіх точках мали б бути нулі, а у короткозорому — однакові значення короткозорості.

Але в нормальному живому оці, як бачимо на рисунку, є зони і короткозорості, і далекозорості, і нульової рефракції, причому «ножиці» рефракції перевищують півтори діоптрії.

Найважливішим наслідком такої неоднорідності є формування заднього фокуса. Згідно з моделлю схематичного ока заломлені промені перетинаються у точковому фокусі (рис. 3.67, а). Що ж до живого ока, то, як з'ясувалося, в ньому промені після заломлення сходяться не у точці, а в досить широкій зоні (рис. 3.67, б). Отже, тут на сітківці не може бути чіткого зображення. Однак міра його розмитості буває різною. Однак поступово стало ясно, що відкриття ролі фізіологічних аберацій дає змогу пояснити чимало не розкритих для офтальмології ситуацій. Розглянемо деякі з них:

**1 Роздільна здатність ока.** Дослідники давно вже шукають відповідь на запитання: який чинник визначає нормальну гостроту зору — 1,0 (60" у кутовому виразі)? Щоправда, варто уточнити, що середня норма гостроти зору не 1,0, а 1,4 (43"). Свого часу Г. Гельмгольц висунув гіпотезу, що лімітуючим чинником роздільної здатності ока є

діаметр поперечника колбочок сітківки. Підставою для такого припущення був певний збіг кутових розмірів поперечника колбочок і гостроти зору в кутовому виразі. Однак згодом ця гіпотеза була повністю спростована. Тим часом наші дослідження довели, що існує

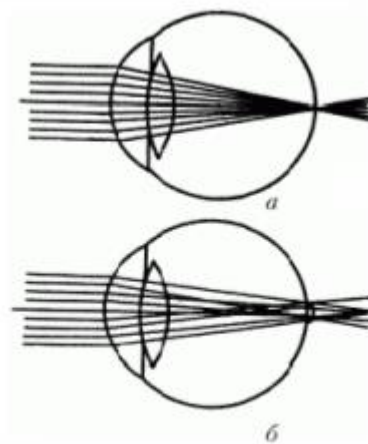


Рис. 3.67 Хід променів: а - у схематичному оці, б - у живому оці

кореляція між нормальними ступенями гостроти зору (від 1,0 до 2,0) і вираженістю оптичних аберацій (рис. 3.68). Інакше, якщо в оці великі фізіологічні аберації, то зір відповідає нижній межі норми (1,0). Чим менші аберації, тим кращий зір. Втім, маємо усвідомлювати, що навіть у тому разі, коли гострота зору дорівнює 2,0, в оці все одно існують аберації.

Отже, нам вдалося довести, що найважливішим чинником, від якого залежить роздільна здатність ока, є якість його оптичної системи.

**2 Проблема наднормального зору.** Переривчаста лінія на рис. 3.68 показано, як може підвищитися гострота зору, якщо внаслідок зменшення

(коригування) оптичних аберацій оптика живого ока була доведена до рівня досконалості ідеального схематичного ока Гульштранда. Виявляється, можна досягти показника зору 3,0 і теоретично навіть значно більшого — аж до 8,0.

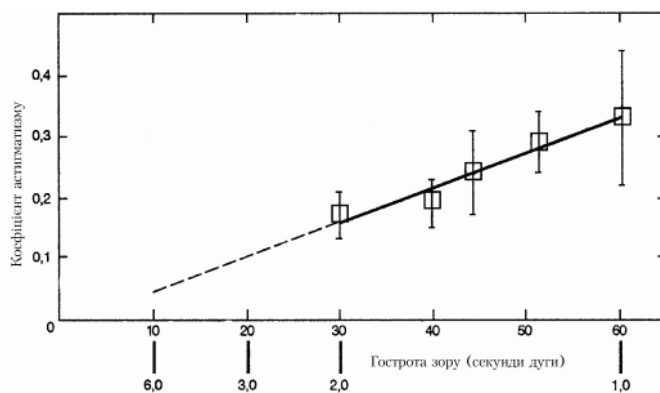


Рис. 3.68 Залежність між ступенем фізіологічних аберацій та гостротою зору

**3 Глибина фокуса ока.** Будь-який рукотворний оптичний прилад має глибину різкості. Скажімо, фотографи добре знають: чим вужча діафрагма, тим більша глибина різкості, тобто глибина фокуса. Згідно з теорією у схематичному оці глибини фокуса бути не може. Проте дослідження довели, що в живому оці вона існує. Умови для неї створює формування не точкового, а широкого фокуса (рис.3.67, б). Якщо діаметр зіниці дорівнює 3 мм, то глибина фокуса становить 0,9 діоптрії, а коли зіниця має 1 мм у діаметрі або коли людина мружить, то глибина досягає 2,2 діоптрії. Саме ці закономірності пояснюють здатність ока бачити чітко на різні відстані без справжньої акомодациї.

### Хід роботи

1 Для визначення роздільної здатності ока необхідно мати об'єкт спостереження. В ролі такого об'єкта беруть аркуш білого паперу з двома точками на відстані  $d = 1\text{мм}$  одна від одної (рис. 3.69) чи лінійку з міліметровими

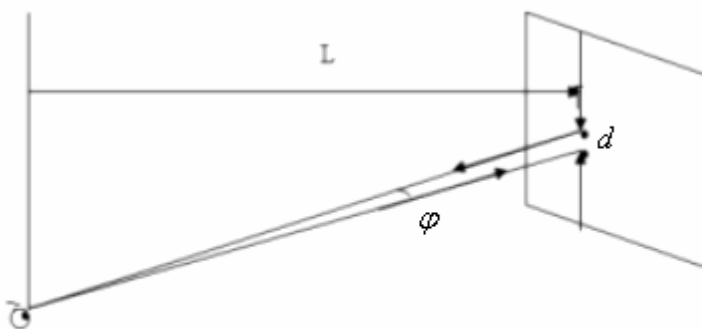


Рис.3.69 Схема для визначення роздільної здатності ока

поділками. Закріплюють цей аркуш (лінійку) вертикально.

2 Виміряють максимальну відстань  $l$  з якої ще можна розрізнити ці точки.

3 Роздільна здатність ока визначається за формулою

$$\varphi = \frac{d}{l} \text{ (рад)} \approx \frac{d}{l} \cdot 3420^\circ \quad (1)$$

4 Для дослідження залежності роздільної здатності ока від діаметра отвору через який розглядається об'єкт, у смужці міліметрового паперу голкою проколюють отвори діаметром 0,5 мм, 1 мм, 1,5 мм. Визначають роздільну здатність ока при спостереженні об'єкта через ці отвори за формулою (1).

5 Переконаються, що при зменшенні діаметра отвору зменшується й відстань  $l$ , тобто збільшується кут  $\varphi$ .

6 За результатами дослідження будують графік залежності роздільної здатності ока від діаметра отвору в екрані.

7 Формулюють висновки.

### ***Контрольні запитання***

- 1 Яка будова ока?
- 2 Дайте визначення аберації, рефракції та роздільної здатності ока?
- 3 За якою формулою обчислюється роздільна здатність ока?
- 4 Чи є глибина фокуса в живому оці?

## **5 Вимірювання показника заломлення скла за допомогою мікроскопа**

**Мета:** ознайомитися з методом вимірювання показника заломлення скла за допомогою мікроскопа. Набути навичок роботи з мікроскопом.

**Обладнання:** мікроскоп з мікрометричним гвинтом, три скляні пластинки різної товщини з того самого скла із мітками на обох поверхнях, мікрометр.

### ***Короткі теоретичні відомості***

**Абсолютним показником заломлення**  $n$  даного середовища називається відношення синуса кута падіння  $\alpha$  променя, що йде з вакууму, до синуса кута заломлення  $\beta$  в цьому середовищі, тобто

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

У цій роботі показник заломлення скла визначається за допомогою мікроскопа. Щоб пояснити суть методу, розглянемо хід променів від фіксованої точки, наприклад точки  $O$ , розташованої на протилежному боці пластинки щодо спостерігача. Промені світла  $OB$  та  $OC$  (рис. 3.70) на межі скла й повітря заломлюються і йдуть у напрямках  $BE$  і  $CD$ .

Продовження променів  $BE$  та  $CD$  перетинаються в точці  $O'$ . У цій же точці перетинаються продовження заломлених променів, що виходять з точки  $O$  в усіх напрямках. Отже, спостерігачеві здається, що промені виходять не з точки  $O$  - її уявного зображення. Як показано на рис. 3.70,

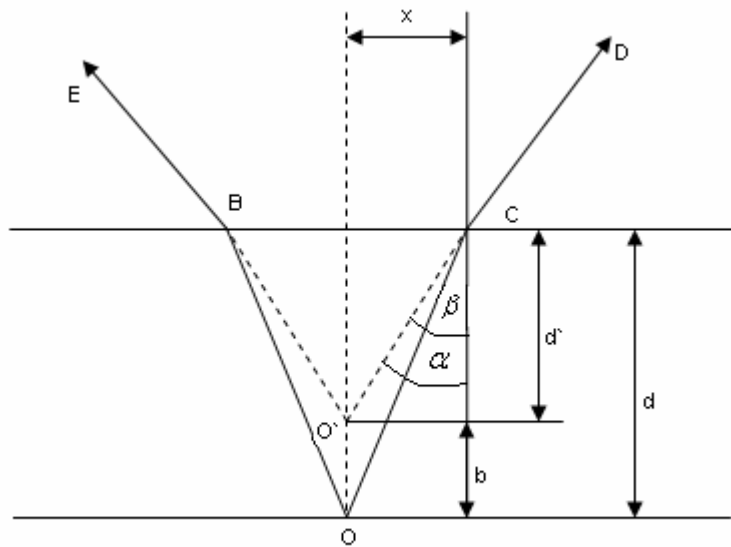


Рис. 3.70

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{x}{d}, \quad (2)$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{x}{d-b} \quad (3)$$

Поділивши (3) на (2), матимемо:  $\frac{\sin \alpha \cos \beta}{\cos \alpha \sin \beta} = \frac{d}{d-b}$ , звідки

$$\frac{d}{d'} = \sqrt{n^2 \cdot \frac{1 - \sin^2 \beta}{1 - \sin^2 \alpha}} = \sqrt{\frac{n^2 - \sin^2 \alpha}{1 - \sin^2 \alpha}} \quad (4),$$

де  $d'$  - уявна товщина пластинки, яку вимірювань за допомогою мікроскопа.

У разі спостереження по нормалі до граней пластинки кути  $\alpha$  та  $\beta$  будуть малими, тобто

$$n = \frac{d}{d'} \quad (5).$$

Отже, для визначення показника заломлення скла потрібно виміряти дійсну і уявну товщину пластинки.

На практиці для вимірювання показника заломлення використовують спеціальні прилади – рефрактометри, які дають змогу виміряти показник заломлення з похибкою  $\approx 0,001\%$ .

### *Хід роботи*

1 Визначають і записують характеристики мікрометра.

2 Визначають ціну однієї поділки диску мікрометричного гвинта мікроскопа. (На диску гвинта вказано, що 1 поділка = 0,002 мм).

3 Кладуть скляну пластинку на предметний столик, наводять мікроскоп на чітке зображення якої-небудь точки на верхньому боці пластинки і відлічують номер мітки диска мікрометричного гвинта  $K_1$ , що стоїть проти покажчика.

4 Потім мікрометричним гвинтом переміщують тубус мікроскопа вниз, у положення при якому видно чітке зображення точки на нижній поверхні пластинки.

5 Рахують повне число обертів мікрометричного гвинта  $m$ .

6 Записують номер мітки  $K_2$  диска мікрометричного гвинта, що стоїть проти покажчика в цьому положенні.

7 Наводять три-чотири рази мікроскоп на верхню і нижню точки на склі, визначаючи при цьому  $K_1$  і  $K_2$ . Результати вимірювань записують у таблицю 5.1.

*Таблиця 5.1*

№ з/п	Дійсна товщина пластинки		Крок гвинта, мм	Перший відлік $K_1$	Другий відлік $K_2$	Число повних обертів $m$	Уявна товщина пластинки		Показник заломлення пластинки	
	$d$ , мм	$\Delta d$ , мм					$d^*$ , мм	$\Delta d^*$ , мм	$n$	$\Delta n$
1			0,1							
2										
3										
Сер. значення										

8 Виміряють мікрометром 3-4 рази товщину пластинки в тому місці, де виміряли її уявну товщину. Результати вимірювань записують у таблицю 5.1.

9 Визначають уявну товщину пластинки за формулою

$$d' = (d - b) = [50m + (K_2 - K_1)]0,002 \quad (6)$$

10 Обчислюють похибку вимірювання уявної товщини пластинки (інструментальною похибкою мікрометричного гвинта мікроскопа знехтувати).

11 Визначають показник заломлення скла пластинок, запропонованих у роботі за формулою (5).

12 Обчислюють похибки вимірювань.

13 Формулюють висновки.

*Примітка.* Якщо в мікроскопі немає мікрометричного гвинта, то потрібно прикріпити до нього індикатор годинникового типу, за допомогою якого й виміряти уявну товщину пластинки. Мікрометр при цьому не потрібний.

### **Контрольні запитання**

1 Що називається абсолютним показником заломлення?

2 Як впливає товщина пластинки на точність вимірювання показника заломлення?

3 Чим відрізняється абсолютний показник заломлення від відносного?

4 Який фізичний зміст показника заломлення?

## **6 Спостереження інтерференції за допомогою біпризми Френеля**

**Мета:** спостереження інтерференції за допомогою біпризми Френеля та визначення відстані між уявними джерелами світла.

**Обладнання:** лінзи, поляризатор, біпризма Френеля, відбиваючий екран, дзеркало, підставки, джерело випромінювання, штангенциркуль, лінійка.

### **Короткі теоретичні відомості**

**Інтерференцією світла** називається явище посилення або послаблення інтенсивності світла при накладанні когерентних хвиль у деяких точках простору.

Розглянемо результати перетину двох світлових хвиль з векторами  $\vec{E}_1$  і  $\vec{E}_2$ . У деякій точці простору, де результуючий вектор дорівнює

$$\vec{E}_i = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 \quad (1)$$

Оскільки всі фотоприймачі реагують на інтенсивність світла, то у рівнянні (1) перейдемо до інтенсивності

$$E_i^2 = [\vec{E}_1 + \vec{E}_2]^2 = E_1^2 + E_2^2 + 2[\vec{E}_1 \cdot \vec{E}_2], \quad (2)$$

де  $\vec{E}_1^2, \vec{E}_2^2$  - інтенсивність першої і другої хвиль; відповідно  $[\vec{E}_1 \cdot \vec{E}_2]$  - інтерференційний вираз.

Доцільно розглянути два випадки. Нехай  $[\vec{E}_1 \cdot \vec{E}_2] = 0$ , тоді  $\vec{A}_i^2 \neq \vec{A}_1^2 + \vec{A}_2^2$ . При цьому ми маємо окремий випадок, коли результуюча інтенсивність буде дорівнює сумі інтенсивностей двох хвиль. Якщо  $\vec{E}_1^2 \cdot \vec{E}_2^2 \neq 0$ , тоді  $\vec{A}_i^2 = \vec{A}_1^2 + \vec{A}_2^2$ , тобто в загальному випадку результуюча інтенсивність буде залежати від величини інтерференційного виразу.

На практиці усі фотоприймачі є інтерференційними приладами. Тому інтерференційний вираз за час спостереження не змінився. У протилежному випадку буде спостерігатися середня за час спостереження інтенсивність. Для того, щоб величина інтерференційного виразу не змінилася з часом, необхідно виконати дві умови.

Запишемо вираз для коливання світлової хвилі в загальному виді:

$$\begin{aligned} E_1 &= A_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_1) \\ E_2 &= A_2 \sin(\omega_2 t + \varphi_2) \end{aligned} \quad (3)$$

де  $A_1, A_2$  - амплітуди коливань,  $\omega_1, \omega_2$  - частоти коливань,  $\varphi_1, \varphi_2$  - фази коливань першої і другої хвиль.

Їхня результуюча інтенсивність при інтерференції буде дорівнювати:

$$E_i^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos[(\omega_1 - \omega_2)t + (\varphi_1 + \varphi_2)], \quad (4)$$

де  $\omega_1 - \omega_2$  - різниця частот,  $\varphi_1 - \varphi_2$  - різниця фаз.

Згідно (4) для спостереження інтерференції світла необхідно, щоб частоти обох хвиль були рівними між собою  $\omega_1 = \omega_2$ . Другою умовою є сталість різниці фаз  $\varphi_1 - \varphi_2$  за час спостереження.

Світлові хвилі, що мають у своєму спектрі тільки одну частоту коливань, називаються *монохроматичними*. Якщо різниця фаз  $\varphi_1 - \varphi_2$  для двох хвиль з однаковими частотами в будь-якій точці їхнього перетинання не змінюється, то такі хвилі називаються *когерентними*. У цьому випадку величина результуючої інтенсивності у будь-якої точки їхнього перетинання залишається постійною величиною в будь-який момент часу.

Нехай ми маємо монохроматичні і когерентні хвилі від джерел світла  $S_1$  і  $S_2$  (рис. 3.71). Запишемо різницю фаз для деякої точки  $M$

$$\varphi_1 - \varphi_2 = 2\pi(r_1 - r_2) / \lambda, \quad (5)$$

де  $r_1$  і  $r_2$  відстань від точки  $M$  до джерела  $S_1$  і  $S_2$ ,  $\lambda$  - довжина хвилі.

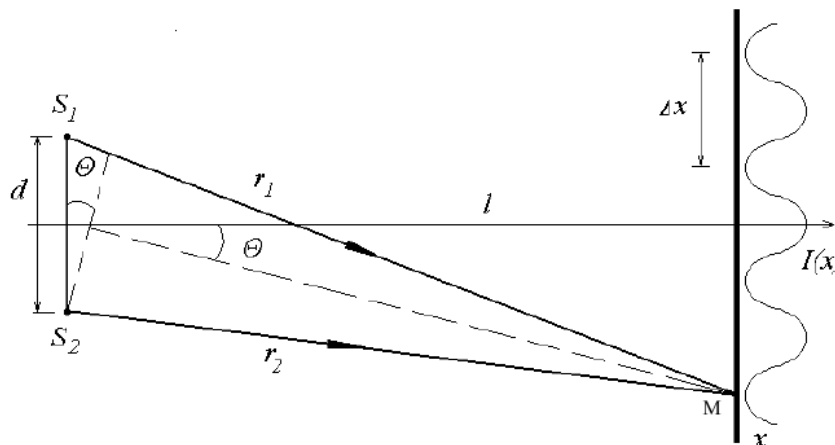


Рис. 3.71 Інтерференція хвиль від двох когерентних точкових джерел

Якщо відстань між джерелами  $d$ , а інтерференційна картина спостерігається на відстані  $L \gg d$ , то для точкових джерел інтенсивність цих хвиль у центрі екрана майже однакова ( $A_1 \approx A_2$ ), тоді вираз для результуючої інтенсивності можна спростити:

$$E_i^2 \approx 2A^2 \{1 + \cos[2\pi(r_1 - r_2) / \lambda]\} \quad (6)$$

У точках, для яких  $\varphi_1 - \varphi_2 = 2\pi m$ , максимумами результуючої інтенсивності визначаються за формулою  $E_i^2 = 4A^2$ . При  $\varphi_1 - \varphi_2 = (2m - 1)\pi$ , інтенсивність

дорівнює нулю. Оскільки величина  $\varphi_1 - \varphi_2$  у місці області перетину змінюється безперервно, то на екрані спостерігається періодична картина зміни інтенсивності від максимуму до нуля. Цей розподіл інтенсивності в площині перетину називається **інтерференційною картиною**.

Відстань між двома сусідніми максимумами або мінімумами інтерференційної картини називається **періодом**. З виразу (6) випливає, що для двох сусідніх максимумів різниця фаз повинна бути  $2\pi(r_1 - r_2) = 2m\lambda$  і виразивши  $(r_1 - r_2)$  через відстань між джерелами світла  $d$  і кутом  $\Theta$  (рис. 3.71), одержимо для періоду інтерференційної картини

$$\Delta x = \frac{L\lambda}{d}, \quad (7)$$

де  $L$  – відстань від джерел світла до екрана.

### Хід роботи

#### Завдання 1 Спостереження інтерференції на біпризмі Френеля

1 Збирають оптичну схему (рис.3.72). Затемнюють аудиторію та вмикають джерело випромінювання.

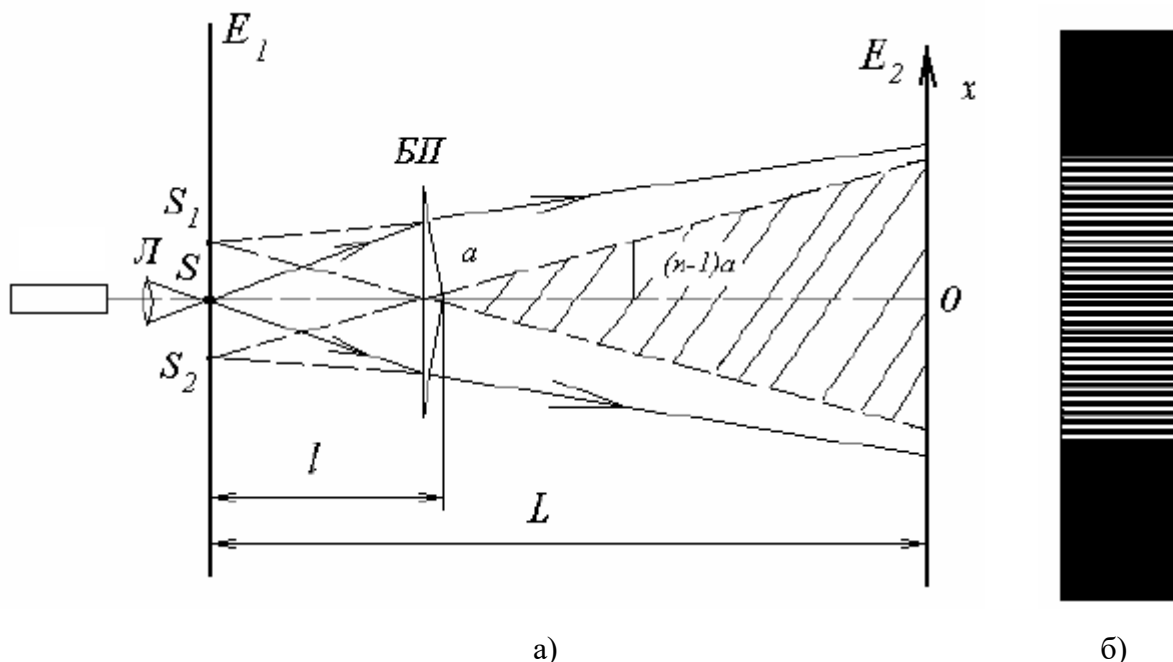


Рис. 3.72 Схема демонстрації інтерференції світла за допомогою біпризми Френеля (а) та вигляд інтерференційної картини (б)

2 За допомогою блоку лінз розширюють пучок світла до необхідних розмірів та вводять в пучок світла біпризму, закріплену вертикально на підставці.

3 На екрані у ділянці перетину пучків спостерігають інтерференційну картину. Повертають біпризму на кут  $90^\circ$  стосовно осі пучка і спостерігають за змінами інтерференційної картини. Щоб створилася велика за розмірами інтерференційна картина, необхідно збільшити відстань від біпризми до екрана. Замальовують результати інтерференційної картини у зошиті та формулюють відповідні висновки.

4 Для ускладнення схеми виконання лабораторної роботи в розширений пучок вводять поляризатор. Обертаючи поляризатор, спостерігають за видимістю інтерференційної картини.

*Проведене спостереження дало такі результати:* за допомогою біпризми під час заломлення світла на кожній з її половинок падаючий пучок розділяється на два пучки – і в такий спосіб створюються два уявних і когерентних джерела світла  $S_1$  і  $S_2$ . В області перетину цих пучків створюється інтерференційна картина. Поворот біпризми навколо осі падаючого пучка приводить до зміни положення уявних джерел у просторі.

Видимість інтерференційної картини залежить від напрямку площини поляризації інтерферуючих пучків. При перекритті однієї з половинок біпризми проявляється можливість утворення лише одного з уявних джерел, при цьому інтерференційна картина зникає.

### **Завдання 2 Визначення відстані між уявними джерелами світла у біпризмі**

1 Збирають оптичну схему (рис. 3.72) та вмикають джерело випромінювання.

2 Вводять в пучок світла лінзу і встановлюють екран з малим отвором.

3 При одержанні інтерференційної картини за допомогою лінійки виміряють відстань між екраном і гранню тупого кута біпризми 1, а також відстань  $L$  між двома екранами.

4 За допомогою штангенциркуля виміряють відстань  $X$  між декількома інтерференційними смугами  $N$  у центрі інтерференційної картини і знаходять середнє значення ширини смуги  $\overline{\Delta X} = \frac{X}{N}$ .

5 Використовуючи вираз для ширини інтерференційної смуги (7), обчислюють відстань між уявними джерелами світла

$$d = \frac{L\lambda}{\Delta X}, \quad (8)$$

де  $\lambda_{\text{син}} = 450 \text{ нм}$  та  $\lambda_{\text{чер}} = 600 \text{ нм}$ .

6 Формулюють висновок.

### ***Контрольні запитання***

1 Дайте визначення інтерференції світла?

2 В якому випадку результуюча інтенсивність буде залежати від величини інтерференційного виразу?

3 Дайте визначення монохроматичних хвиль та періоду інтерференційної картини?

4 Як змінюється величина  $\varphi_1 - \varphi_2$  у місці утворення інтерференційної картини? Що ви спостерігаєте в цьому випадку?

### **7 Спостереження інтерференційних смуг рівної товщини**

**Мета:** спостереження інтерференційних смуг рівної товщини та рівного нахилу.

**Обладнання:** джерело випромінювання, блок лінз, плоско-паралельна пластинка, об'єктив, екран з малим отвором, пластинка з матовою поверхнею, що відбиває екран, підставки.

### ***Короткі теоретичні відомості***

При використанні точкових джерел інтерференційна картина від плоско-паралельної пластинки спостерігається в будь-якій точці перетину відбитих пучків, тобто вона не локалізована в просторі.

На практиці переважно мають справу з протяжними джерелами світла. При цьому чітка інтерференційна картина від пластинки буде спостерігатися тільки в ділянці її зовнішньої поверхні або у нескінченності. Смуги, локалізовані на поверхні пластинки, можна спостерігати неозброєним оком або ж за допомогою об'єктива. Зображення поверхні зі смугами можна перенести на екран.

Положення максимумів і мінімумів у такій інтерференційній картині відповідають місцям пластинки з однаковою товщиною (рис. 3.73). Така інтерференційна картина називається **інтерференцією зі смугами рівної товщини**. Другий вид інтерференційної картини можна спостерігати у фокальній площині об'єктива, тобто в нескінченності (рис. 3.74). Така інтерференційна картина називається **інтерференцією зі смугами рівного нахилу**.

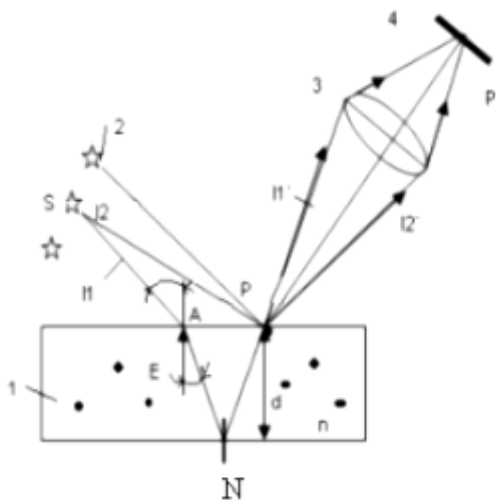


Рис. 3.73 Схеми спостереження інтерференційної картини із смугами рівної товщини

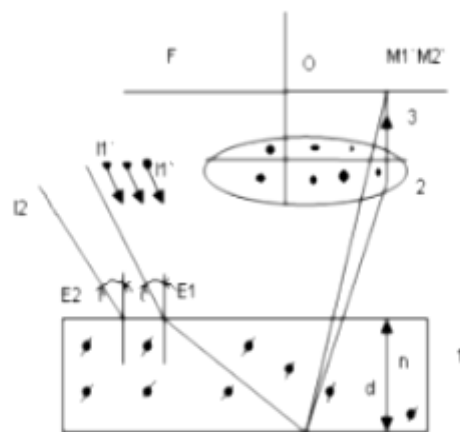


Рис. 3.74 Схеми спостереження інтерференційної картини із смугами рівного нахилу

### Хід роботи

1 Збирають оптичну схему на рис. 3.75 (а): *ПП* – плоскопаралельна пластинка; *Л* – лінза;  $E_1$  - екран з отвором,  $E_2$  - екран. Вмикають джерело випромінювання та затемнюють аудиторію.

2 Вводять в пучок світла негативну лінзу (-11). Поблизу лінзи встановлюють матовий екран з малим отвором так, щоб світловий пучок проходив через центр отвору.

3 На відстані 40-60 см встановлюють в паралельний пучок плоско-паралельну пластинку перпендикулярно до осі падаючого пучка. Відбите плоско-паралельною пластинкою світло направляють на екран. Нахилиючи й обертаючи пластинку, знаходять таке її положення, коли навколо отвору в екрані створюється інтерференційна картина з кільцевими смугами. Змінюючи відстань пластинки від екрана, спостерігають за зміною інтерференційної картини.

4 Замальовують зображену інтерференційну картину у зошит.

5 Змінюють схему спостереження. Встановлюють плоско-паралельну пластинку під кутом до осі падаючого пучка. У відбитий пластинкою пучок світла встановлюють екран. На екрані спостерігається інтерференційна картина. Замальовують інтерференційну картину у зошит.

6 Змінюючи відстань екрана від пластинки і повертаючи пластинку на різні кути до осі падаючого пучка, спостерігають за зміною інтерференційної картини. Замальовують результати зображень інтерференційних картин.

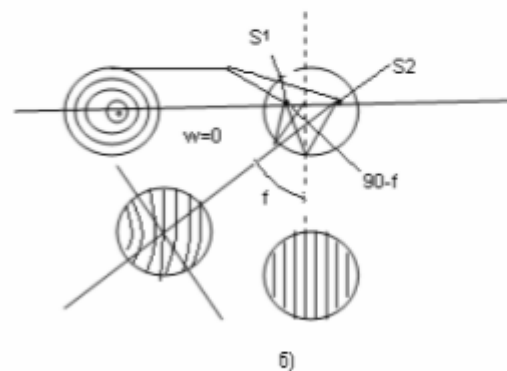
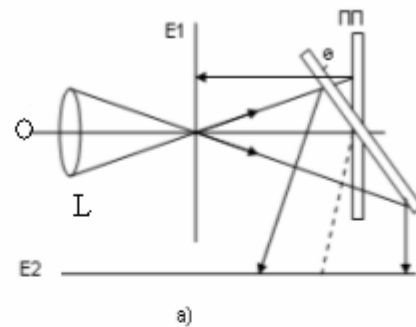


Рис. 3.75 Схема демонстрації інтерференції світла в плоскопаралельних пластинках (а) і вигляд інтерференційної картини при зміні її положення (б)

*Проведене спостереження дає такі результати:* вигляд інтерференційної картини від плоско-паралельної пластинки і точкового джерела залежить від положення пластинки й екрана. Для пластинки, розташованої перпендикулярно до осі падаючого пучка, інтерференційна картина

являє собою кільцеві смуги, розташовані симетрично осі падаючого пучка. Для пластинки, поверненої на деякий кут щодо осі падаючого пучка, інтерференційна картина являє собою деяку частину кільцевих смуг. При цьому

інтерференційна картина спостерігається на екрані при будь-якій відстані його від пластинки (рис. 3.75,б).

### **Контрольні запитання**

1 Чи в будь-якій точці перетину відбитих пучків спостерігається інтерференційна картина від плоско-паралельної пластинки?

2 Яку інтерференцію світла називають із смугами рівної товщини та із смугами рівного нахилу?

3 В яких випадках буде спостерігатися чітка інтерференційна картина?

### **8 Визначення показника заломлення скла за допомогою подвійної щілини Юнга**

**Мета:** визначити показник заломлення скла за допомогою подвійної щілини Юнга.

**Обладнання:** джерело світла (світлодіод), подвійна щілина Юнга, лінза, скляна пластинка зі скошеними гранями, екран з вузькою щілиною.

### **Короткі теоретичні відомості**

Якщо на подвійну щілину Юнга, яка системою двох близько розміщених одна біля одної вузьких щілин, падає світлова хвиля, довжина якої у повітрі

$\lambda_1 = \frac{v_1}{\nu}$ , то після проходження щілини хвиля потрапляє в інше середовище, у

якому її довжина зміниться і визначається із виразу:  $\lambda_2 = \frac{v_2}{\nu}$ , де  $\nu$  - частота

світлової хвилі є постійною величиною і не залежить від середовища, а  $v_1$  і  $v_2$  -

відповідно швидкість поширення світлової хвилі в одному і другому

середовищі. Оскільки  $\nu = const$ , то легко одержати співвідношення  $\frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$ .

Виходячи з означення відносного показника середовища, можемо

записати, що  $n = \frac{v_1}{v_2}$  або  $n_{21} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$ . Тоді для визначення відносного показника

заломлення середовища недостатньо визначити довжину світлової хвилі у повітрі і в середовищі.

Оскільки інтерференційні смуги розглядаються за допомогою лінзи, яка їх збільшує, на відстані  $S$  між поділками з одного боку буде укладатися одна кількість  $K_1$  інтерференційних смуг, а з другого боку буде друга їх кількість  $K_2$ . Довжина світлової хвилі для повітря із цих спостережень буде визначатися:  $\lambda_1 = \Gamma \frac{S}{K_1}$ , а для скла матиме вираз:  $\lambda_2 = \Gamma \frac{S}{K_2}$ , де  $\Gamma$  - коефіцієнт збільшення лінзи,  $S$  – ширина між поділками на смужці паперу, які для обох сукупностей інтерференційних смуг будуть однаковими.

Тому відносний показник заломлення буде  $n = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{K_2}{K_1}$ , де  $K_1$  і  $K_2$  - кількість інтерференційних смуг, які утворюються у повітрі і в склі й укладаються в одному і тому ж проміжку.

### *Хід роботи*

1 Для спостереження інтерференційної картини за допомогою подвійної щілини Юнга збирають установку, яка складається з джерела світла (світлодіод), екрана з вузькою щілиною, подвійної щілини Юнга, лінзи, скляної пластинки (рис. 3.76).

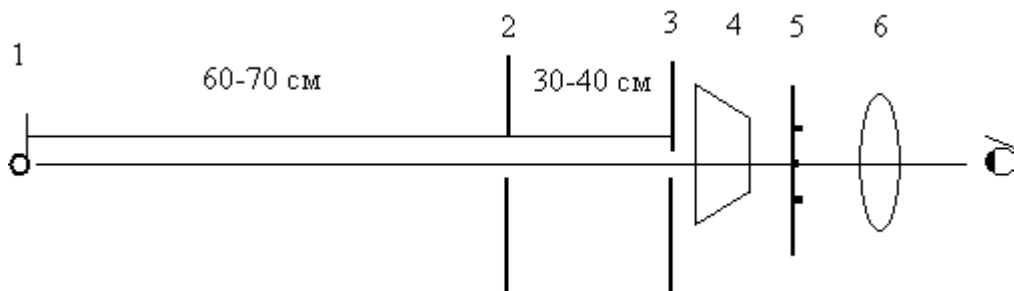


Рис.3.76 Схема установки для визначення показника заломлення інтерференційним методом: 1 – джерело живлення (світлодіод), 2 - екран з круглим отвором, 3- подвійна щілина Юнга, 4 - скляна пластинка зі скошеними гранями, 5 – смужка паперу із двома нанесеними поділками, 6 – лінза

2 Щоб спостерігати інтерференційну картину в різних середовищах, за подвійною щілиною Юнга по чергово розміщують спершу одне середовище, а потім інше, не змінюючи жодного іншого параметру установки і залишаючи

незмінними умови спостереження інтерференції, фіксують ті зміни, які при цьому відбудуться в спостережуваній інтерференційній картині.

*Примітка:* проблема спрощується, коли ми врахуємо, що одним із середовищ є повітря, для якого відомий відносний показник заломлення ( $n_{\text{пов}} = 1$ ).

3 Під час роботи фіксують інтерференційну картину, яка спостерігається у повітрі, і картину, яка утворюється в скляній пластинці, що вноситься між лінзою і подвійною щілиною на такій відстані, що лінза дозволяє спостерігати інтерференцію світлових хвиль саме у склі.

4 Для спрощення умов спостереження інтерференції світла беруть скляну пластинку зі скошеними гранями, розміщують її вертикально так, щоб вона частково перетинала подвійну щілину Юнга.

5 Лінзу зміщують (вліво-вправо і вперед-назад) до тих пір, доки у полі зору не з'явиться дві системи чітких інтерференційних смуг, одна з яких характерна для повітря, а друга для скла.

6 Розміщують за скляною пластинкою на межі пластинка - повітря вузьку смужку паперу, із двома нанесеними близько одна біля одної поділками. Обидві системи інтерференційних смуг можна розглядати на фоні цих поділок: одна система інтерференційних смуг, що утворилася у склі, наприклад, буде зліва від смужки, а друга система інтерференційних смуг, утворених у повітрі, спостерігатиметься справа.

7 Обчислюють показник заломлення скла.

8 Визначають абсолютну та відносну похибки.

9 Формулюють висновок.

Як приклад, наводимо результати, що одержані учнями:  $K_1 = 6$ ;  $K_2 = 9$ ;  $\Delta K_1 = \Delta K_2 = 0,5$ . Визначення абсолютної та відносної похибки дає:

$$n = \frac{K_2}{K_1} = \frac{9}{6} = 1,5; \quad \Delta n = \frac{K_1 \Delta K_2 + K_2 \Delta K_1}{K_1^2} = \frac{6 \cdot 0,5 + 9 \cdot 0,5}{6^2} = 0,2;$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta n}{n} = \frac{\Delta K_1}{K_1} + \frac{\Delta K_2}{K_2} = \frac{0,5}{6} + \frac{0,5}{9} = 0,13.$$

**Кінцевий результат:**  $n = 1,5 \pm 0,2$ ;  $\varepsilon = 13\%$ .

## Контрольні запитання

- 1 За якою формулою в даній лабораторній роботі обчислити показник заломлення скла?
- 2 Дайте визначення довжини хвилі?
- 3 Дайте визначення інтерференції світла?
- 4 Як обчислювати абсолютну та відносну похибку?

## 9 Визначення показника заломлення скла за допомогою біпризми Френеля

**Мета роботи:** використовуючи закономірності інтерференції світла, визначати показник заломлення скла біпризми Френеля”.

**Обладнання:** джерело світла, розсіювальна лінза, біпризма Френеля з комплекту „КВО”, екран, метрова стрічка, міліметрова лінійка.

### Короткі теоретичні відомості

Метод одержання інтерференції світла за допомогою біпризми Френеля оснований на створенні когерентних джерел, шляхом поділу світлового фронту хвилі. Хід променів і одержання когерентних джерел світла у біпризмі Френеля має вигляд, зображений на рис. 3.77.

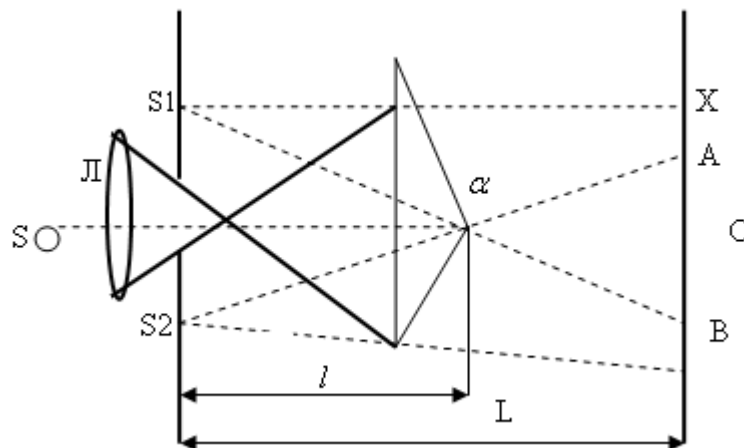


Рис.3.77 Схема створення інтерференції світла за допомогою біпризми Френеля:  $l$  – відстань між джерелом світла і біпризмою;  $L$  – відстань між уявними джерелами світла та екраном;  $d$  – відстань між двома уявними джерелами  $S_1$  та  $S_2$

Промені від дійсного джерела світла  $S$  падаючи на біпризму, частково заломлюються і також частково відбиваються, а на їх перетині утворюються уявні когерентні джерела світла  $S_1$  і  $S_2$ .

Оскільки інтерференція світла виникає внаслідок накладання когерентних світлових хвиль від двох когерентних джерел світла, то формули будуть аналогічними формулам для досліду зі щілинами Юнга. Тому довжина хвилі буде розраховуватись за формулою

$$\lambda = \frac{\Delta X d}{L}, \quad (1)$$

де  $\Delta X$  - ширина інтерференційної смуги.

Користуючись рис. 3.77., можна зробити перетворення формули (1) і в результаті одержати

$$\lambda = \frac{\Delta X}{L} l(n-1)\alpha \quad (2)$$

де  $n$  – показник заломлення лінзи,  $\alpha$  - заломлюючий кут лінзи.

З формули (2) випливає, що показник заломлення скла буде розраховуватись за формулою:

$$n = 1 + \frac{L\lambda}{2l\Delta X\alpha} \quad (3)$$

Для цього знаючи  $\alpha$  та  $\lambda$ , необхідно виміряти  $L$ ,  $l$ ,  $\Delta X$ .

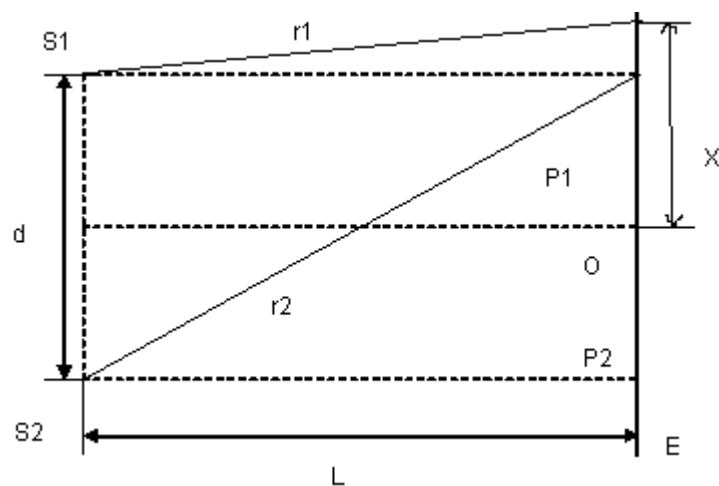


Рис.3.78 Схема накладання двох світлових хвиль від двох когерентних джерел світла

### Хід роботи

1 Складають установку для спостереження інтерференції світла від біпризми Френеля за схемою (рис. 3.79).

2 За допомогою параболічної лінзи розширюють пучок лазерного випромінювання і спрямовують його на біпризму Френеля.

3 Розміщують екран за біпризмою Френеля на вказаній відстані і отримують чітке зображення інтерференційної картини.

4 Метровою стрічкою виміряють відстань між розсіювальною лінзою і екраном –  $L$ .

5 Метровою стрічкою вимірюємо відстань від параболічної лінзи до біпризми –  $l$ .

6 Метровою лінійкою виміряють ширину інтерференційної смуги -  $\Delta X$ , що є відстанню між двома сусідніми мінімумами. Але для більш точного розрахунку краще вимірювати загальну ширину кількох смуг і поділити на їх кількість.

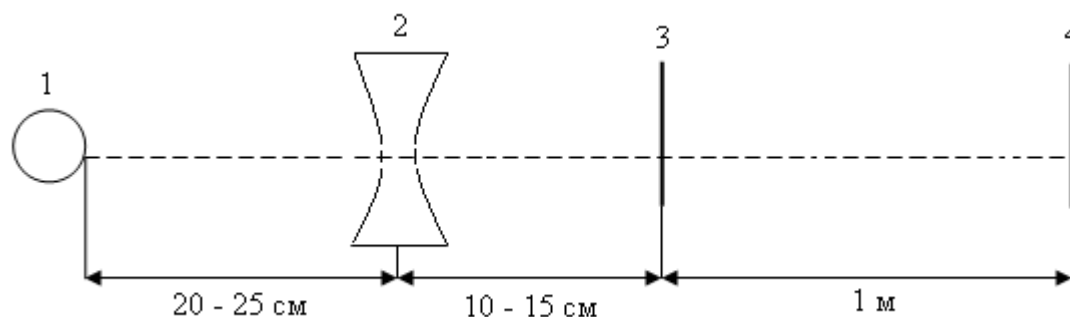


Рис. 3.79 Схема установки для спостереження інтерференції світла за допомогою біпризми Френеля: 1- джерело світла; 2 – розсіювальна параболічна лінза; 3- біпризма Френеля; 4 – екран

7 Записують значення кута  $\alpha$  для біпризми Френеля, за паспортними даними приладу КВО.

**Примітка:** біпризма Френеля з комплекту приладу „КВО” являє собою набір двох біпризм з кутами заломлення  $10^\circ$  і  $20^\circ$ . Біпризма з кутом  $10^\circ$

розміщена у верхній частині, а з  $20^\circ$  - знизу пластини-кріплення біпризм, якщо вона знаходиться у вертикальному положенні.

8 Знаючи довжину хвилі джерела випромінювання, можна визначати показник заломлення скла за формулою

$$n = 1 + \frac{L\lambda}{2l\Delta X\alpha} \quad (4)$$

9 Повторюють вимірювання, ще декілька разів, виконавши умови пунктів 3-7 для різних значень відстані між параболічною лінзою і біпризмою, або відстані між лінзою і екраном.

10 Розраховують середнє значення  $n$ .

11 Дані та розрахунки записують в таблицю 9.1.

*Таблиця 9.1*

№ з/п	$l, м$	$L, м$	$\Delta X, м$	$\alpha$	$n$	$\Delta n$	$\varepsilon, \%$
Сер. значення							

12 Обчислюють абсолютну та відносну похибки вимірювань.

13 Формулюють висновки.

### ***Контрольні запитання***

1 Дайте визначення інтерференції світла?

2 Для чого використовується біпризма Френеля?

3 З яких елементів складається установка для спостереження інтерференції світла від біпризми Френеля?

4 Запишіть робочу формулу знаходження показника заломлення скла.

### **10 Визначення періоду дифракційної ґратки**

**Мета роботи:** використовуючи закономірності дифракції світла на ґратці, визначити період її дифракційного елемента.

**Обладнання:** джерело світла, діафрагма, дифракційна ґратка, екран, метрова стрічка, лінійка, підставки.

### Короткі теоретичні відомості

Спостереження дифракції від однієї щілини ускладнюється тим, що крізь вузьку щілину проникає дуже мало світла. Щоб дістати яскравішу дифракційну картину, слід пропускати світло крізь кілька паралельних вузьких щілин. У цьому випадку відбуватиметься інтерференція пучків хвиль, які йдуть від усіх щілин, і найбільша освітленість утворюватиметься в тих місцях екрана, куди від усіх щілин проходитимуть хвилі з однаковою фазою. При великій кількості освітлених щілин на екрані видно яскраві і вузькі світлі лінії на темному фоні. Чим більша кількість щілин і чим густіше вони розташовані, тим яскравіші і вузьчі місця на екрані, в яких хвилі накладаються з однаковими фазами. Це покладено в основу будови дифракційних решіток.

Дифракційна решітка є сукупністю багатьох дуже вузьких щілин, розділених непрозорими проміжками. Решітки виготовляються у вигляді пластинок з прозорої твердої речовини, на поверхні яких алмазним різцем наносяться штрихи, паралельні один одному. Там, де пройшов різець, утворюється жорстка поверхня, яка розсіює пучок хвиль, а проміжки між штрихами залишаються прозорими, тобто відіграють роль щілин.

Нехай на решітку падає паралельний пучок монохроматичного світла (рис. 3.80). Всі щілини решітки випромінюють вторинні хвилі з однаковою фазою. Кожна вторинна хвиля поширюється у всіх напрямках, однак можна виділити один певний напрямок, який характеризується кутом  $\theta$ . Поставивши за дифракційною решіткою лінзу, можна їх фокусувати. У фокальній площині цієї лінзи зберуться всі промені, які йдуть паралельно її оптичній осі, тобто накладаються вторинні хвилі, які виходять з щілин решітки.

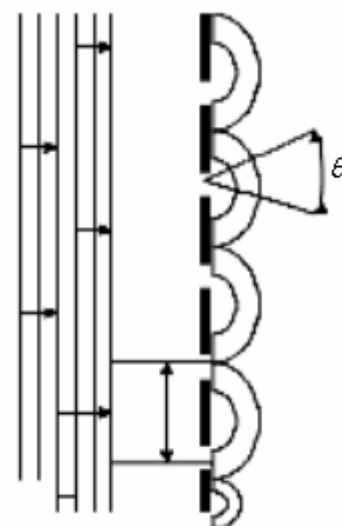


Рис. 3.80

Розглянемо, яким буде результат накладання вторинних хвиль, що виходять від щілин дифракційної решітки. Нехай  $a$  – ширина щілини,  $b$  – ширина непрозорої для світла ділянки між двома щілинами. Величину  $d = a + b$

називають *періодом або сталою решітки*. Оскільки всі щілини містяться одна від одної на однаковій відстані, то різниці ходу променів, які йдуть від двох сусідніх щілин, для даного кута  $\theta$  однакові для всієї дифракційної решітки і дорівнюють (рис. 3.81):

$$\Delta l = d \sin \theta . \quad (1)$$

Отже, різниця ходу залежить від кута. Зі зміною кута  $\theta$  різниця ходу змінюється і відповідно до зміни різниці ходу змінюється і результат накладання вторинних хвиль, які йдуть від щілин дифракційної решітки. В напрямках, де різниця ходу двох променів містить ціле число довжин хвиль, спостерігатимуться максимуми освітленості, тому що в цьому випадку всі вторинні хвилі, накладаючись, підсилюють одна одну. Таким чином, умова спостереження дифракційного максимуму запишеться:

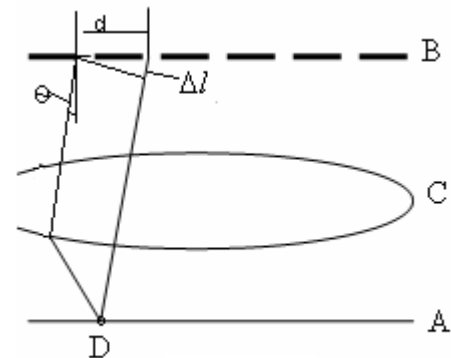


Рис.3.81

$$d \sin \theta = m \lambda , \quad (2)$$

де  $m$  – ціле число.

У тих напрямках, в яких різниця ходу між пучками, що виходять із сусідніх щілин решітки, містить непарне число півхвиль, спостерігатимуться мінімуми, тобто умова спостереження дифракційного мінімуму запишеться:

$$d \sin \theta = (2m + 1) \frac{\lambda}{2} \quad (3).$$

Вторинні хвилі, які поширюються в цих напрямках, гаситимуть одна одну.

Оскільки положення максимумів і мінімумів залежить від довжини хвилі, то дифракційна решітка розкладає біле світло в спектр.

За допомогою дифракційних решіток дуже точно досліджують спектральний склад світла, тобто визначають частоти або довжини хвиль.

### *Хід роботи*

1 Збирають установку.

2 Для виконання роботи необхідно використати світловий пучок безпосередньо від джерела світла (світлодіод). Джерело світла зорієнтовують так, щоб пучок світла був спрямований у бік від спостерігачів.

3 Вмикають джерело світла та джерело живлення. Безпосередньо за джерелом світла вводять в пучок обмежуючу діафрагму діаметром  $1,2 - 1,5$  мм для „очищення” його від розсіяного світла.

4 У напрямі поширення пучка світла встановлюють екран. Вводять в пучок світлу дифракційну ґратку перпендикулярно до вісі падаючого пучка. При цьому відбите від поверхні ґратки світло має спрямуватися назад в отвір обмежуючої діафрагми.

5 Розташовують екран перпендикулярно до вісі центрального пучка дифракційної картини.

6 Виміряють відстані від дифракційної ґратки до положень дифракційних порядків однакових номерів справа та зліва від центрального пучка на екрані й вирівняти їх.

7 Виміряють відстань  $L$  від дифракційної ґратки до екрана та відстані  $X_i$  на екрані між двома будь-якими дифракційними порядками однакових номерів ( $\pm 1, \pm 2, \pm 3$  і т. і.).

8 За результатами вимірювання обчислюють значення кута дифракції пучка, який поширюється у напрямі дифракційного порядку:

$$\operatorname{tg} \theta_1 = \frac{X_1}{2L}; \quad \theta = \operatorname{arctg} \left( \frac{X_1}{2L} \right) \quad (1)$$

9 Підставляють у вираз (1) значення кута, довжини хвилі випромінювання ( $\lambda_{\text{син}} = 450$  нм або  $\lambda_{\text{чер}} = 600$  нм), номер порядку дифракції та знаходять період дифракційної структури ґратки за формулою

$$d = \frac{m\lambda}{\sin \theta_1}. \quad (2)$$

10 Порівнюють одержане значення періоду ґратки з її паспортними даними.

11 Формулюють висновок.

### **Контрольні запитання**

- 1 Як дістати яскраву дифракційну картину?
- 2 Дайте визначення дифракції світла та дифракційної решітки.
- 3 Запишіть умову дифракційних максимумів та мінімумів.
- 4 Дайте визначення періоду дифракційної решітки.
- 5 За якою формулою обчислюється різниця ходу пучків хвиль від щілин?

### **11 Спостереження дифракційної картини від щілини**

**Мета роботи:** з'ясувати сутність явища дифракції світла, використовуючи закономірності дифракції світла на вузькій щілині, а також визначити її ширину.

**Обладнання:** джерело світла (світлодіод), лінза параболічна розсіювальна, щілини прями з комплекту „КВО”, лінійка міліметрова, метрова стрічка.

### **Короткі теоретичні відомості**

Дифракція світла поряд з інтерференцією є наслідком прояву хвильових властивостей світла. **Дифракцією** називається сукупність явищ, які спостерігаються під час поширення світла в середовищах з різними неоднорідностями і полягають у відхиленні світла від закону прямолінійного поширення світла.

Для забезпечення дифракції світлових хвиль, внаслідок їх дуже малої довжини, потрібні спеціальні умови: розміри перешкод повинні бути співрозмірними з довжиною хвилі, або необхідна значна відстань для спостереження дифракції.

Розрізняють два види дифракції:

1 Дифракція Френеля – дифракція в збіжних пучках, тобто дифракція на незначних відстанях від перешкод.

2 Дифракція Фраунгофера – дифракція в паралельних пучках, тобто дифракція на значних відстанях від перешкод.

Для спостереження дифракції Фраунгофера необхідна збиральна лінза. Однак лінзою може бути кристалик ока. Для спостереження дифракції Френеля лінза не потрібна. Дифракція Фраунгофера спостерігається у фокальній площині лінзи, а дифракція Френеля – на екрані, розташованому за перешкодою в тій області простору, в якій спостерігається перетин дифрагуючих пучків. До дифракції Френеля відносять дифракцію на круглому отворі, на круглому непрозорому екрані, на краю екрана. До дифракції Фраунгофера відносять дифракцію від щілини, від круглого отвору, прямокутного отвору та дифракцію від дифракційної ґратки.

Поведінку світла за перешкодами можна пояснити якісно за допомогою відомого принципу Гюйгенса-Френеля.

1 Вторинні хвилі світла є когерентними.

2 Інтенсивність світла у будь-якій точці простору визначається за результатом інтерференції вторинних хвиль.

3 Інтенсивність вторинних хвиль пропорційна площі, з якої вони випромінюються.

4 Із збільшенням кута між нормаллю до елемента випромінюючої площини та напрямом на точку спостереження інтенсивність хвилі зменшується.

О. Френель розробив наближений метод розрахунку дифракційної картини, яка ґрунтується на принципі поділу фронту хвилі на зони, що й отримали назву зон Френеля.

Розглянемо дифракцію Фраунгофера від однієї щілини шириною  $a$  (рис. 3.82). Нехай на вузьку щілину шириною  $a$  падає паралельний пучок монохроматичного світла, перпендикулярний площині щілини.

За щілиною пучок буде розповсюджуватись не тільки прямолінійно, а й внаслідок явища дифракції буде під різними кутами заходити в область геометричної тіні. Максимальне значення цього кута, тобто кута дифракції, буде залежати від відстані від екрану зі щілиною до джерела світла.

Оскільки дифракція Фраунгофера – це дифракція на значних відстанях, то для того, щоб дифракційна картина була наближеною, потрібно поставити збиральну лінзу  $L$ , у фокальній площині якої розміщують екран  $E$ .

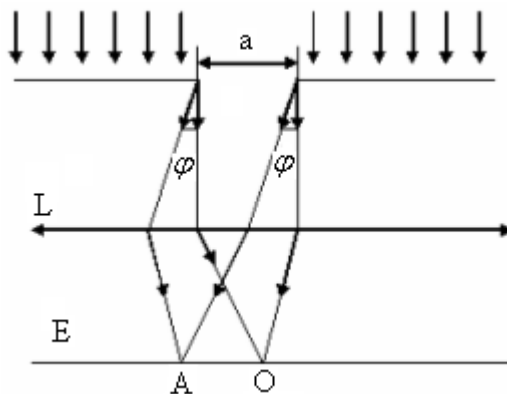


Рис. 3.82 Схема утворення дифракційної картини на вузькій щілині:  $L$ - збиральна лінза

Дифрагуючи під кутом  $\varphi$ , пучки збираються лінзою в точці  $A$ , інтерферують і, залежно від різниці ходу між окремими хвилями, взаємно підсилюються або послаблюються.

Умовно розіб'ємо фронт хвилі, що падає на щілину, на вузькі смужки так, що йдуть у заданому напрямку  $\varphi$ , дорівнюватиме  $\frac{\lambda}{2}$ , де  $\lambda$  - довжина падаючої світлової хвилі. Окремі елементи поверхні фронту хвилі, які задовольняють такій умові називаються зонами Френеля. Різниця ходу між дифрагуючими хвилями визначається кількістю зон Френеля на отворі щілини.

Хвилі, які йдуть від двох сусідніх зон, створюють коливання в точці  $A$  в протилежних фазах і гасять одна одну.

Припустимо, що на щілині укладається  $\kappa$  зон Френеля. Тоді різниця ходу між першою та  $\kappa$ -ю зонами:

$$\Delta = \kappa \frac{\lambda}{2} \quad (1)$$

Якщо  $\kappa$  - парне число, тобто  $\kappa = 2m$ , то світло гаситься, якщо  $\kappa$  - непарне число, тобто  $\kappa = 2m + 1$ , то світлові хвилі підсилюють одна одну.

Різниця ходу двох таких хвиль буде:

$$\Delta = a + \sin \varphi \quad (2)$$

Із рівностей (1) та (2) отримаємо:

$$\kappa \frac{\lambda}{2} = a \sin \varphi \quad (3)$$

Переписавши умову (3) для мінімумів, тобто коли  $\kappa=2m$ , отримаємо:

$$m\lambda = a \sin \varphi, \quad (4)$$

де  $\varphi$  - кути, під якими спостерігаються мінімуми  $m$ -х порядків, де  $m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \pm n$ .

Визначити ширину щілини  $a$  можна за формулою

$$a = \frac{m\lambda}{\sin \varphi} \quad (5)$$

Оскільки кути дифракції дуже малі, то з певною похибкою можна записати, що

$$\sin \varphi_{1\min} = \operatorname{tg} \varphi_{1\min}, \quad (6)$$

де  $\varphi_{1\min}$  - кут, під яким спостерігається перший мінімум.

Тепер розглянемо принцип знаходження потрібного кута  $\varphi_{1\min}$  за схемою утворення мінімумів при дифракції світла на вузькій щілині (рис. 3.82)

З рис. 3.83 видно, що

$$\operatorname{tg} \varphi_{1\min} = \frac{X}{L} \quad (7)$$

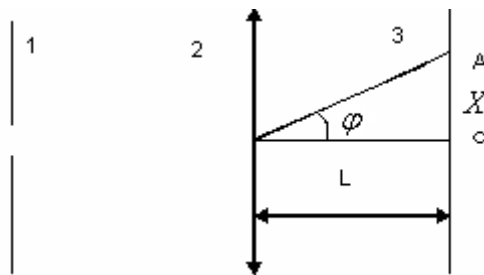


Рис.3.83 Схема визначення кута, що відповідає напрямку на перший мінімум при дифракції на щілині: 1- щілина; 2- збиральна лінза; 3 – екран; L – відстань між лінзою та екраном; X – відстані між першим мінімумом

Оскільки дифракційна картина є симетричною відносно центрального максимуму, то будемо брати з формули (7) не відстань до першого мінімуму, а половину відстані між мінімумами перших порядків, тобто

$$\operatorname{tg} \varphi_{1\min} = \frac{r_1}{2L}, \quad (8)$$

де  $r_1$  - відстань між мінімумами першого порядку, що знаходяться зліва і справа від нульового (центрального) максимуму.

Врахувавши формули (8),(6) і те, що  $m = 1$ , формулу (5) перепишемо у вигляді

$$a = \frac{2\lambda L}{r_1}. \quad (9)$$

За формулою (9) будемо розраховувати ширину вузької щілини –  $a$ , знаючи, що довжина хвилі лазерного випромінювання  $\lambda = 632,8 \text{ нм}$ .

### *Хід роботи*

1 Складають установку для спостереження дифракції світла на вузькій щілині за схемою, зображеною на рис. 3.84. Лінзу і щілини, направляючи з комплексу „КВО” закріплюють на підставках приладу.

2 Зорієнтовують світловий пучок розсіювальними лінзами (наприклад з оптичною силою, рівною  $D = -25 \text{ дптр}$ ) і спрямовують на одну щілину із системи щілин.

3 Метровою стрічкою виміряють відстань між лінзою та екраном –  $L$ .

4 За формулою (9) розраховують ширину щілини, врахувавши  $\lambda = 632,8 \text{ нм}$ .

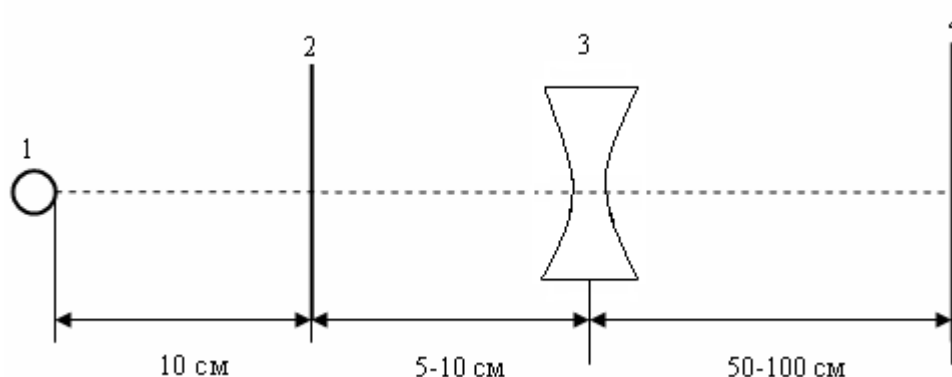


Рис. 3.84 Схема установки для спостереження дифракції світла на вузькій щілині: 1- джерело світла, 2 – щілина, 3 – лінза сферична, 4 – екран

5 Виконують пункти 3-5 декілька разів для різних значень  $L$ , тобто змінюючи відстань між збиральною лінзою і екраном, отримують ще декілька значень  $a$ . Дані заносять в таблицю 11.1.

*Таблиця 11.1*

№ з\п	$L, м$	$\lambda, нм$	$r_1, м$	$a, м$	$\Delta a$	$\varepsilon, \%$
1.		632,8				
2.						
3.						
<i>Сер. значення</i>						

6 Обчислюють абсолютну та відносну похибки вимірювань та записують результат у вигляді:  $a = a_c \pm \Delta a_c$ .

7 Порівнюють отриманий результат з паспортними даними даної щілини.

8 Формулюють висновок.

### ***Контрольні запитання***

1 Дайте визначення дифракції світла?

2 Які види дифракції Ви знаєте?

3 Сформулюйте принцип Гюйгенса-Френеля?

4 Запишіть для даної лабораторної роботи робочу формулу розрахунку ширини щілини.

## **12 Визначення довжини світлової хвилі за допомогою дифракційної ґратки**

**Мета роботи:** сформувати в учнів основні поняття про дифракцію, навчити учнів визначати довжину світлової хвилі за допомогою дифракційної ґратки; розвиток мислення та самостійності при виконанні поставлених завдань.

**Обладнання:** джерело світла (світлодіод), дифракційна ґратки, лінійка з тримачем дифракційної ґратки, екран із вертикальною щілиною і шкалою, комплект КВО.

### Короткі теоретичні відомості

Явище інтерференції дає змогу з великою точністю визначити довжину світлової хвилі. З цією метою найзручніше використовувати інтерференцію світлових пучків, які утворюються після проходження світла крізь дифракційну ґратку. Світлові пучки, що пройшли крізь ґратку, збираються збирною лінзою в різних точках екрана фокальної площини й інтерферують (рис. 3.85).

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

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

$$k\lambda = d \sin \varphi, \text{ звідки}$$
$$\lambda = \frac{d \sin \varphi}{k} \quad (1)$$

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

Літера  $k$  – у формулі відповідає порядку лінії при підрахунку інтерференційних смуг від центральної смуги. Коефіцієнт може мати лише цілі значення:  $k = 0; 1; 2; \dots$

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

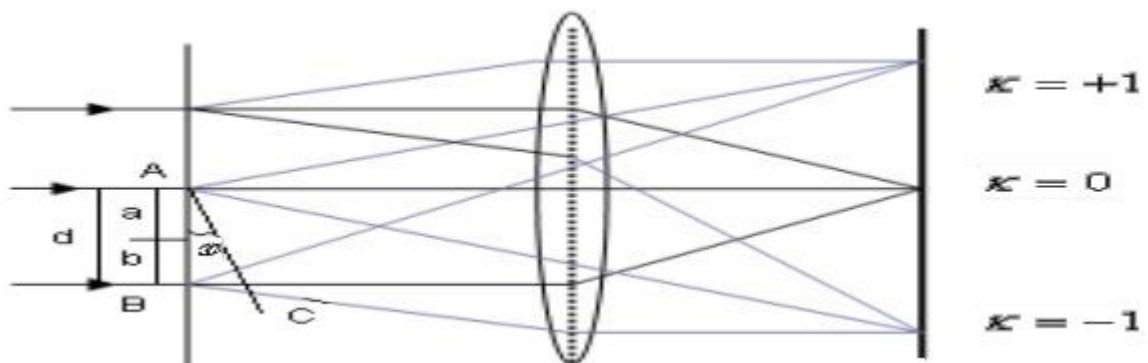


Рис.3.85 Схематичний показ дифракційних спектрів

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

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

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

Пристрій для визначення довжини хвилі складається з лінійки закріпленої на штативі. Екран з поділками і щілиною змонтований на лінійці так, що забезпечує зручне переміщення його вздовж лінійки. Роль лінзи при спостереженні інтерференційної картини відіграє кришталик ока.

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

Отже, робочою формулою для розрахунків буде:

$$\lambda = \frac{dh}{kl} \quad (2)$$

### *Хід роботи*

1 Ознайомлюються з установкою (рис. 3.86). Визначають сталу дифракційної ґратки.

2 Вставляють дифракційну ґратку в рамку і спрямовують лінійку на джерело світла.

3 Спостерігаючи щілину крізь дифракційну ґратку, обирають таке положення приладу, за якого інтерференційна картина буде найяскравішою.

4 Виміряють  $l$  і  $h$  для червоного кольору в спектрах першого і другого порядків. Результати записують у таблицю 12.1.

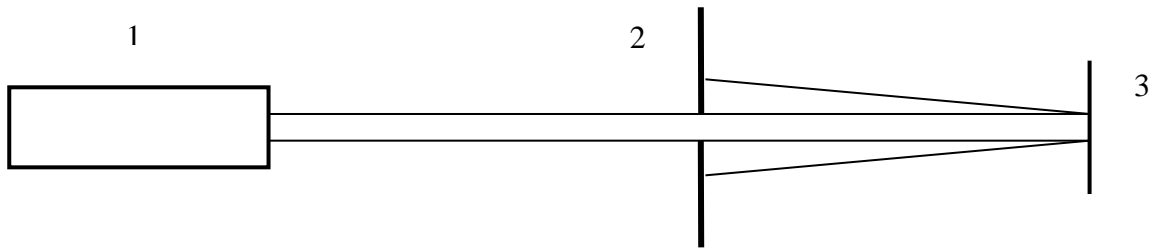


Рис. 3.86 Установка для спостереження дифракції: 1 – лазер, 2 – екран з вертикальною щілиною та поділками, 3 – дифракційна ґратки

5 Переміщують екран вздовж лінійки і повторюють вимірювання, описані в п. 4.

6 Вимірювання описані в пп. 4 і 5, виконують для смуги синього кольору.

7 Розраховують довжину хвилі світла за результатами всіх вимірювань.

8 Знаходять середнє значення довжин синього і червоного кольору.

Таблиця 12.1

Колір смуг	$h$ зліва, м	$h$ справа, м	$h$ серед, м	$l$ , м	$d$ , м	$\lambda$ , нм
фіолетовий						
Синій						
Блакитий						
Зелений						
Жовтий						
Оранжевий						
Червоний						

9 Результати вимірювань і розрахунків записують у таблицю.

10 Визначають довжину хвилі світла, що випромінюється діодами, якими укомплектовано дану лабораторну роботу.

### Контрольні запитання

- 1 Що таке дифракційна ґратка і яке її призначення?
- 2 Як розподіляється енергія у дифракційному спектрі?
- 3 Чим відрізняється інтенсивність дифракційних спектрів для звичайної і голографічної ґраток?

### 13 Визначення концентрації розчину цукру

**Мета:** ознайомити учнів з явищем поляризації та визначити концентрацію розчину цукру.

**Обладнання:** джерело випромінювання (лазер), поляризатор, аналізатор, що відбиває екран, кювета з водою, підставки під екран.

#### ***Короткі теоретичні відомості***

Поляризоване світло можна одержати двома способами. Лінійно поляризоване світло можна виділити з випромінювання звичайних джерел за допомогою поляризаційних пристроїв. Виділене лінійно поляризоване світло можна перетворити у світло будь-якої поляризації, пропускаючи його крізь оптично анізотропний кристал.

Другим способом одержання поляризованого світла є використання джерела випромінювання, в нашому випадку світлодіоди з поляризаційними пристроями. Оптичні пристрої, які використовуються для одержання поляризованого світла, називаються ***поляризаторами***. Одночасно вони можуть призначатися для аналізу поляризованого світла і тоді вони називаються ***аналізаторами***.

Для виготовлення поляризаційних пристроїв використовують оптично анізотропні і дихроїчні матеріали, а також фізичні явища, у результаті яких змінюється характер поляризації світла, наприклад, відбивання. Найпоширенішими поляризованими пристроями являються поляризовані призми. Виготовляються вони з ісландського шпату, кристалічного кварцу, а також з штучних кристалів *KDP*, *ADP*.

Поляризаційні призми складаються з двох або трьох призм із визначеною орієнтацією головних оптичних властивостей у них. Призми склеюються гіпотенузними гранями і створюють поляризаційний пристрій. Основні типи таких поляризаторів наведені на рис. 3.87.

Призми Ніколя, Франка-Ріттера, Глана-Томпсона називаються однопроменевими. В них крізь призму проходить світло тільки однієї

поляризації. Світло ортогональної поляризації повністю відбивається гіпотенузною гранню призми і відхиляється убік.

Призми Волостона, Рошона і Синармона є двопроменевими. Вони пропускають обидва пучки світла. При цьому один з пучків або одночасно обоє відхиляються на різні кути від осі призми. Цим досягається їхній просторовий поділ.

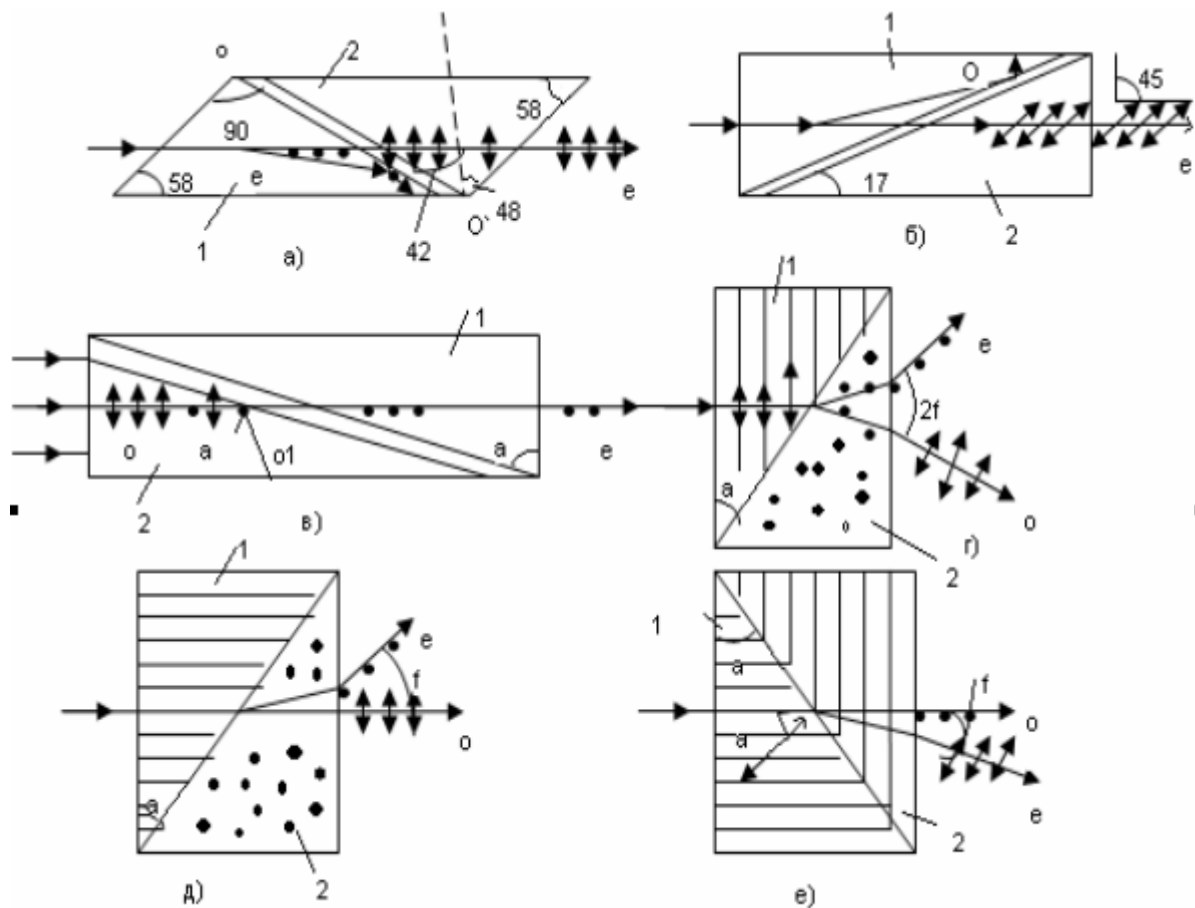


Рис. 3.87 Види поляризаційних призм: а) Ніколя, б) Франка-Рітера, в) Глана-Томпсона, г) Волостона, д) Рошона, е) Сенармона

Значне поширення в оптичних приладах через свою дешевизну набули дихроїчні поляризатори. Їхня дія заснована на явищі анізотропного поглинання. У таких поляризаторах світло з визначеним напрямком поляризації поглинається значно сильніше, ніж з ортогональними. У результаті цього крізь поляризатор проходить світло тільки однієї поляризації. До таких матеріалів відноситься турмалін.

З дихроїчних матеріалів використовуються дихроїчні плівкові матеріали – поляроїди. Вони являють собою полімерну плівку з дихроїчною речовиною.

Такими дихроїчними речовинами є гепатит, йодно-полівінілова і йодно-полівініленова смоли та деякі барвники.

Для одержання поляризаційного світла може використовуватись явище відбивання світла. Найвідомішим поляризатором такого типу є ромб Френзеля. Крім цього в поляризаційних пристроях можуть використовуватися поляризаційні властивості дифракції й інтерференції.

При проходженні поляризованого світла крізь деякі речовини і розчини спостерігається явище обертання площини поляризації. Цю здатність речовин і розчинів називають *оптичною активністю*. Оптична активність властива природним речовинам: кристалічному кварцові, цукру, камфорі, нікотину. В оптично неактивних речовинах оптичну активність можна створити штучно.

Здатність речовин і розчинів обертати площину поляризації обумовлена асиметрією молекул або асиметрією їхнього розташування в кристалічних ґратках. Величина повороту не залежить від напрямку поляризації падаючого світла, а визначається тільки властивостями самої речовини, напрямок обертання залежить від напрямку падаючого світла на оптично активну речовину. Так, якщо після проходження крізь оптично активну речовину поляризоване світло змусити повторно пройти в зворотному напрямку, той первісний напрямок поляризації відновлюється. Тому для визначення напрямку повороту площини поляризації речовиною приймають напрямок, що бачить спостерігач, що дивиться назустріч світловому пучкові. Більшість оптично активних речовин мають дві модифікації з протилежними напрямками обертання площини поляризації.

Експериментально визначено, що величина кута повороту площини поляризації оптично активною твердою речовиною описується виразом

$$\varphi = \alpha(\lambda T)d \quad (1),$$

а з розчинами

$$\varphi = [\alpha(\lambda T)]d \cdot c \quad (2),$$

де  $\alpha(\lambda T)$  - питомий коефіцієнт повороту для твердих тіл;  $[\alpha(\lambda T)]$  - постійна повороту для розчинів;  $d$  – товщина шару речовини;  $c$  – концентрація

речовини в розчині. Величина питомого коефіцієнта і постійної повороту поляризації залежить від довжини світла  $\lambda$  і температури речовини  $T$ .

Оптична активність може бути ініційована штучно, наприклад, за допомогою магнітного поля (ефект Фарадея). У випадку штучно ініційованої оптичної активності, на відміну від природної, напрямок обертання площини поляризації задається напрямком магнітного поля. Для пучка світла, при його повторному проходженні середовища зі штучною оптичною активністю у зворотному напрямку, кут повороту площини поляризації збільшується в два рази.

### *Хід роботи*

1 Збирають оптичну схему установки (рис. у досліді 35). Блок випромінювача встановлюють уздовж столу так, щоб світловий пучок був спрямований убік від спостережень. На вісь блоку випромінювача встановлюють блок лінз. Затемнюють аудиторію.

2 Вмикають освітлювач (лазер) та розширюють пучок світла до необхідних розмірів. На краю столу в напрямку пучка світла встановлюють екран під кутом  $45^{\circ} - 60^{\circ}$ .

3 Встановлюють в розширеному пучку світла поляризатор і аналізатор у „схрещеному” положенні. Вводять між ними кювету з чистою водою. При цьому система поляризатор-аналізатор – „не просвітлюється”.

4 Розчиняють у воді першу порцію цукру. Система поляризатор-аналізатор „просвітлюється”. Обертанням аналізатора виставляють систему поляризатор-аналізатор у „схрещене” положення. Записують кут повороту аналізатора.

5 Розчиняють у воді другу порцію цукру. Система поляризатор-аналізатор знову „просвітлюється”. Обертанням аналізатора знову виставляють систему поляризатор-аналізатор у „схрещене” положення. Записують кут повороту аналізатора.

6 Повторяють дослід 3-4 рази, обчислюючи концентрацію цукру в розчині за формулою (2).

7 Дані заносять у таблицю 13.1.

8 Змінюють оптичну схему. Замінюють аналізатор дзеркалом. Повертають дзеркалом пучок світла, що пройшов через кювету з розчином цукру назад.

*Таблиця 13.1*

№ з/п	Кут повороту аналізатора	Кут повороту поляризатора	Концентрація розчину речовини
Сер. значення			

9 Фіксують величину інтенсивності світла, що пройшло через поляризатор у зворотному напрямку.

10 Формулюють висновок.

*Проведене спостереження дає такі результати:* Після розчинення кожної нової порції цукру для установки системи поляризатор-аналізатор у „схрещене” положення аналізатор необхідно обертати в одну сторону. Зі збільшенням концентрації цукру в розчині величина кута повороту аналізатора зростає. Величина кута повороту площини поляризації розчину цукру пропорційна концентрації цукру в розчині. Поляризатор пропускає повторно пройдений через кювету світло майже без зміни його інтенсивності. При повторному проходженні світла через кювету в зворотному напрямку, напрямок площини поляризації цілком відновлюється.

### ***Контрольні запитання***

1 Дайте визначення поляризації світла, аналізаторів та поляризаторів.

2 Які поляризаційні пристрої називають орієнтованими, а які схрещеними?

3 Назвіть приклади однопроменевих і двопроменевих призм.

4 Дайте визначення оптичної активності. Яким речовинам вона властива?

5 За якою формулою обчислюється кут повороту площини поляризації для оптично активної твердої речовини та розчинів?

### 3.4 Використання сучасних технологій у вивченні оптичних явищ

Сучасний інформаційний розвиток суспільства ставить вимоги до шкільного навчально-виховного процесу, які вимагають широке використання сучасних інформаційних технологій у всіх аспектах навчання і виховання підростаючого покоління.

Інформаційні технології знаходять своє застосування в різних предметних галузях на всіх вікових рівнях, допомагаючи кращому засвоєнню навчальних дисциплін. Інформаційні технології якісно збагачують зміст навчання за рахунок можливості застосовувати у навчальному процесі нові джерела інформації, насамперед мультимедійні, інтерактивні електронні підручники, високоякісні аудіо і відео матеріали, електронні енциклопедії, довідково інформаційні системи, матеріали періодичних і науково-популярних видань, мови програмування. Це підвищує вплив на формування пізнавального інтересу учнів таких чинників, як новизна навчального матеріалу, його зв'язок з історією науки і сучасністю, роль у практичній діяльності людини.

Слід звернути увагу на те, що у підлітковому віці повністю розкривається така характерна риса дитини, як схильність до експериментування та дослідження. Підліткам притаманне прагнення все самостійно перевірити, особисто переконатися в істинності тих тверджень. Учні підліткового віку відчують велике емоційне задоволення від дослідницької діяльності. Їм подобається робити самостійні відкриття. Саме інформаційні технології і привносять у навчальний процес такий засіб вивчення і дослідження явищ і процесів з оптики, як комп'ютерне моделювання. Інструментом комп'ютерного моделювання є програмні предметні середовища, які пропонують потужні засоби реалізації широкого класу моделей тієї чи іншої предметної галузі.

Під час дослідницької діяльності з використанням комп'ютерних навчальних середовищ учні навчаються здійснювати спостереження, проводити вимірювання, нагромаджувати, опрацьовувати й аналізувати дані, оформляти й презентувати здобуті результати. У процесі такої діяльності за комп'ютером

учень активно оперує набутими знаннями, вміннями і навичками, здійснює пошукову діяльність і здобуває нові знання в результаті самостійного аналізу фактів, узагальнень та висновків. Все це підносить школяра на новий рівень пізнання, сприяє його самостійності і чинить великий позитивний вплив на формування його пізнавального інтересу.

Тому, за доцільно використовувати для підготовки до демонстраційних дослідів, лабораторних робіт та фізичних практикумів програми перегляду змісту робіт та виконання, що зацікавлює учнів та стимулює їх до кращої підготовки до занять з фізики. Дана програма представляє собою презентацію Microsoft PowerPoint.

Демонстраційний експеримент дозволяє ознайомити учнів з підготовкою учнів до даного дослідів та відповідно з деякими результатами виконаних досліджень з оптики.

Запропонований лабораторний комплекс робіт при вивченні оптичних явищ на основі даної презентації представлений п'ятьма роботами, які дозволяють повноцінно підготуватися до роботи, мати уяву про розрахункові дані та вірного оформлення звітності.

При переході до демонстраційних чи лабораторних робіт з'являється вікно, в якому містяться назва роботи, короткі теоретичні відомості та хід роботи (рис. 3.88).

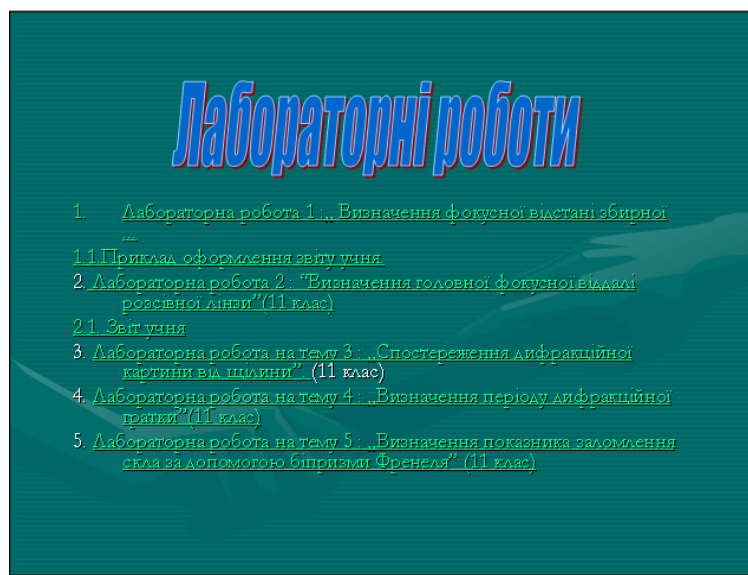


Рис. 3.88 Перелік лабораторних робіт

При ознайомленні учнів з роботою, вони за допомогою гіперпосилань, які відмічені підкресленою лінією, можуть перейти до іншої роботи та відповідно опрацювати її.

Крім представленої презентації для демонстраційного експерименту та лабораторних робіт розроблений урок „Оптичні прилади”, який дозволяє активізувати пізнавальну діяльність учнів при вивченні теми з розділу оптики.

Для закріплення матеріалу при вивченні оптики доцільно використовувати мови програмування для розв’язку завдань, побудови графіків та діаграм. Так ми пропонуємо використовувати мову програмування Pascal, яка дозволить розвивати в учнів логіку, уявлення та мислення при обробці відповідних даних, побудову графіків та малюнків.

Крім цього, нами розроблена **контрольна тестова програма для перевірки знань учнів з оптики** (рис. 3.89), що дозволяє створювати тести будь-якої тематики, що володіє наступними можливостями: відсутність обмежень на число питань усередині тесту, підтримка до 255 варіантів відповідей; чотири різних типи підтримуваних питань у

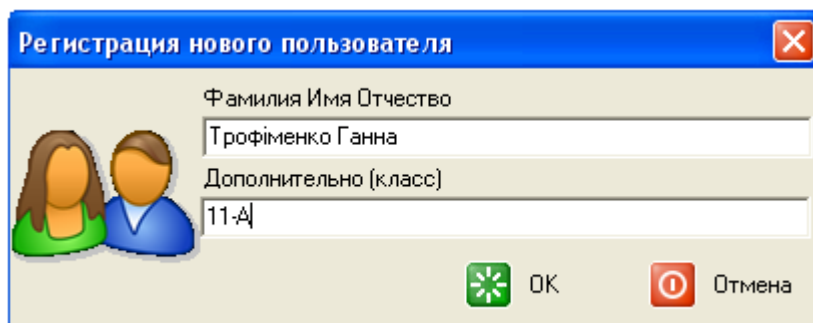


Рис.3.89

тесті: 1) питання з вибором одного з запропонованих варіантів; 2) питання з вибором декількох варіантів з числа представлених; 3) питання з розміщенням варіантів у потрібній послідовності; 4) питання з уведенням потрібної відповіді з клавіатури; індивідуальне настроювання пріоритетів для кожного питання і варіанта відповіді (пріоритет визначає нарахування балів); 5) можливість застосування до кожного з питань індивідуальних тимчасових обмежень, а також глобальних обмежень на весь тест; 6) можливість індивідуального настроювання кожного тесту по окремоті або застосування глобальних настроювань до всіх тестів у програмі; 7) захист файлу з тестом паролем (файл тесту шифрується відповідно до введеного ключового слова, таким чином не

можна довідатися його вміст, не підібравши пароль); 8) застосування механізму стиску інформації усередині файлу тесту для більш компактного збереження (є настроювання рівня стиску від 0 до 9); 9) можливість вставляти в питання й у варіанти відповідей, малюнки (bmp, jpg, wmf), звуки (wav, midi, mp3), відео (avi, mpeg), формули Microsoft Equation, а також будь-яку OLE- графікові (діаграми Microsoft Excel, будь-який уривок документа Microsoft Word і ін.); 10) підтримка експорту тесту в текстовий файл або файл електронних таблиць Microsoft Excel для зручності виправлення; 11) відредагований документ можна потім імпортувати назад; 12) можливість створення тестів, що самовиконуються, тобто генерування EXE-файлів, здатних запускатися самостійно на комп'ютерах без установлення комп'ютерно-тестової програми; 13) найдокладніша статистика (із указівкою заданих питань і відповідей користувача) з підтримкою сортування по кожному з параметрів, експортом у текстові файли і файли електронних таблиць Microsoft Excel, а також убудованим механізмом печатки, що набудовується; 14) можливість проведення тестування по мережі (TCP/IP); сервер мережного тестування надає адміністраторові докладну наочну інформацію про підключені до нього клієнтах.

### **Складові програми:**

**Редактор тестів** - це "головна" програма комплексу тестування. Саме в ній створюються і редагуються всі тести. Крім того, в ній здійснюється настроювання всіх параметрів системи тестування.

**Локальне тестування** - програма для проведення тестування на Вашому комп'ютері без використання мережі. Програма статистики дозволяє адміністраторові і користувачам переглядати результати всіх проведених тестів. Адміністратор може також видаляти пункти зі статистики або очищати її цілком. Статистика представлена двома полями: основне (верхнє) - тут дані відображені у вигляді таблиці з записами по кожному тесту; додаткове (унизу) - відображає докладну інформацію про виділений запис.

**Статистика** - дозволяє переглядати, редагувати, роздруковувати статистику всіх проведених тестів на комп'ютері.

**Сервер мережного тестування** - запуск цієї програми дасть можливість користувачам інших комп'ютерів, підключених в одну мережу, тестуватися, одержуючи питання з Вашого комп'ютера і видаючи назад результат.

**Клієнт мережного тестування** - програма для зв'язку з приділеним сервером мережного тестування.

**Реєстрація** - якщо Вам сподобалася програма і Ви хочете підтримати її подальший розвиток. Застосування тестової програми полегшить роботу вчителя, для перевірки знань учнів не тільки з оптики, а й інших розділів фізики. Своєю легкістю та доступністю допомагає вчителю змінювати тематику питань та їх складність, кількість, а учням допомагає розвивати свої знання, вміння аналізувати інформацію та оцінювати свій рівень досягнень.

Комп'ютеризація як сучасна тенденція розвитку експериментальних методів вивчення оточуючого середовища дозволяє розширити інформативні можливості навчального фізичного експерименту у відтворенні через відповідні моделі певні явища і процеси, котрі у звичайних умовах неможливо виконати. Крім того, комп'ютер дозволяє індивідуалізувати навчальний процес. Однак, робота з комп'ютером не може замінити роботу з фізичними приладами та матеріальними моделями. Мета комп'ютерного моделювання полягає в тому, щоб доповнити ту інформацію, яку учні одержують з підручників під час уроку, в ході інших фізичних дослідів або для формування взаємозв'язків, розкриття механізму процесів і явищ [31; 32].

Отже, у ході виконання індивідуальних дослідів, лабораторних робіт та фізичного практикуму використання комп'ютерів перетворює пізнавальний об'єкт чи процес згідно з певною програмою в самостійне дослідження, яке учень виконує творчо, що дозволяє розширити свій кругозір та зацікавленість до фізики.

Велику роль у формуванні пізнавального інтересу школяра відіграє вчитель, який своїми знаннями, своєю майстерністю здатний пробудити в учнів

прагнення, бажання досягнути нове, невідоме, відчути радість від знань і від самого процесу пізнання. Вчитель готує підґрунтя та виховує пізнавальний інтерес, створює позитивне емоційне ставлення учнів до своєї особистості, до своєї діяльності, до об'єктів пізнавальної діяльності. Він висвітлює значущість свого предмету, розкриває зміст і мету предметної діяльності, підводить школярів до розуміння перспектив власного зростання у процесі оволодіння предметом.

Тому, на наш погляд, доцільність застосування інформаційних технологій при викладанні фізики в середніх закладах зумовлена: економією навчального часу за рахунок автоматизації операцій обчислювального характеру; підвищенням наочності матеріалу та полегшенням його сприйняття завдяки компактному і чіткому поданню навчальної інформації; розширення та поглиблення змісту навчання з дисциплін, що вивчаються за рахунок організації експериментально-дослідницької діяльності учнів; здійсненням оперативного контролю за результативністю навчання.

## ПІСЛЯМОВА

У сучасних умовах подальшого вдосконалення фізичної освіти проблема ознайомлення школярів з оптичними явищами набуває нових аспектів, що пов'язані з необхідністю пропозицій і виконання учнями диференційованих завдань, які є різними за обсягом та глибиною розгляду навчального матеріалу, запровадженням у навчальний процес доцільних методів, прийомів, підходів та засобів навчання, які відповідають інтересам, здібностям, можливостям учнів, що обумовлені програмами профільного навчання фізики.

При цьому шкільний курс фізики, а також система навчального експерименту й обладнання для його відтворення в шкільних умовах, що відбиває основи фізичних знань з оптики, завжди відстають від рівня наукових фізичних знань про навколишній світ та про наукові експериментальні методи, що застосовуються для дослідження в сучасній науковій галузі. Проте, розвиток навчального експерименту та обладнання з фізики є природним, закономірним процесом. Він відбиває рівень пізнання людиною навколишнього середовища на даному етапі та сутність фізичних уявлень про наукову картину світу. Водночас важливим аспектом для реалізації цього напрямку є розробка навчальних експериментів, які передбачають на основі самостійної пізнавальної діяльності учнів поступово й постійно поглиблювати вивчення фізичних явищ з оптики, розширювати теоретичні знання та експериментальні вміння учнів у використанні навчального обладнання та використанні фізичних досліджень, широко запроваджувати лабораторні роботи і фізичні практикуми дослідницького характеру, демонстраційні досліди, що передбачають вивчення конкретних фізичних величин, встановлення співвідношень між ними, перевірку основних фізичних законів, закономірностей та наслідків, що впливають із фундаментальних фізичних теорій.

Досвід свідчить, що проблема формування у старшокласників загальноосвітніх навчальних закладів правильних наукових уявлень з оптики може бути практично реалізованою за умов створення дидактичної системи, яка спрямована не лише на якісне, науково й методично обґрунтоване викладання

змісту навчального матеріалу з оптики, а відповідно на забезпечення самостійної пізнавально-пошукової діяльності учнів.

Ефективною дидактичною системою для формування у школярів різних середніх навчальних закладів знань з оптики є:

1) модернізований навчальний фізичний експеримент з оптики на основі сучасного обладнання [20; 47; 48; 49; 51], (демонстрації і досліди вчителя, самостійні фронтальні спостереження й лабораторні роботи та роботи фізичного практикуму), що передбачає суттєву активізацію пошуково-пізнавальної діяльності учнів у процесі навчання;

2) завдання різних рівнів складності з оптики, згідно програм профільного навчання фізики й особливо для класів з поглибленим вивченням фізики;

3) комп'ютерна програма для підготовки учнів до демонстрацій та лабораторних робіт з оптики „Лабораторні роботи та демонстрації з використанням сучасного обладнання у вигляді КВО, використання програми Microsoft PowerPoint для підготовки матеріалу до уроку „Оптичні прилади”, Excel для побудови графіків, діаграм та обчислень, Pascal для розрахунків додаткових завдань диференційованого характеру, комп'ютерна тестова програма [50], яка може бути ефективною як під час вивчення нового матеріалу з оптики, так і в позаурочний час при оцінюванні знань учнів з оптики.

## ДОДАТКИ

### ДОДАТОК 1

#### Використання лазера у процесі вивчення оптики в школі

Одним з напрямків запровадження лазера у навчанні в школі був пов'язаний з ілюстраціями оптичного квантового генератора для демонстрування основних його елементів та вивчення його будови і роботи як приладу квантової електроніки, що вивчається у ШКФ; другий напрямок зводиться до демонстрування основних властивостей лазерного випромінювання, а відтак вирішує проблеми ефективного виконання навчальних дослідів, у яких ці властивості відігравали суттєву роль; третій напрямок стосується показу різних приладів практичного застосування ОКГ у різних галузях науки й техніки.

Тому, за цих обставин кожний напрямок характеризується своїм змістом і специфічними особливостями реалізації.

Перший напрямок, пов'язаний з розкриттям та з'ясуванням фізичних основ роботи ОКГ, передбачає практичне вивчення змісту курсу фізики у випускному класі [16] чи ознайомлення школярів на факультативних заняттях. Важливим з'ясуванням для одинадцятикласників є сутність випромінювання квантовою системою, яке було вперше встановлено у 1917 році А. Ейнштейном. Як зазначається в названому джерелі, ймовірність вимушеного випромінювання зростає, коли частота електромагнітного поля збігається з власною частотою випромінювання збудженого атома. За цих умов вимушене випромінювання тотожне первинному падаючому на речовину, тобто збігається за частотою, напрямом поширення і поляризацією та когерентне у всьому об'ємі речовини.

Таким чином внаслідок взаємодії збудженого атома, готового випромінювати фотон  $h\nu = E_2 - E_1$ , з фотоном  $h\nu$ , що пролітає через речовину, одержуються два зовсім однакові за енергією і напрямом руху фотони-близнята. „В результаті виникає результуюча хвиля з амплітудою, більшою ніж

у падаючої. Особливістю індукованого випромінювання є те, що воно є монохроматичне і когерентне. Саме ця властивість індукованого випромінювання лежить в основі будови лазерів” [65].

Важливим елементом для ознайомлення школярів з фізичними основами роботи ОКГ є з’ясування сутності таких понять: інверсія залежності енергетичних рівнів у квантовій системі; методів збудження квантових систем (методів накачування); оптичне опромінення, підвищення температури, бомбардування швидкими частинками; резонатор та його будова, принцип дії та інше.

Робочим елементом сучасних лазерів можуть бути різні речовини у твердому, рідкому та газоподібному стані, а також напівпровідники. Однак за цих обставин слід враховувати те, що у ШКФ у вже названому посібнику для 11 класу описаний саме рубіновий лазер, тоді коли для навчальних цілей вибрана цілей вибрана модель газового гелій-неонового лазера. Відтак, детальніше ознайомлення і вивчення сутності роботи ОКГ доцільно віднести до науково-методичних проблем, котрі мають бути вирішені засобами фізичного експерименту та додатковою інформацією для самостійного опрацювання старшокласниками. Така інформація міститься у посібнику „Лазер у шкільному курсі фізики” [18].

Другий і третій напрямки досить інтенсивного запровадження лазера у навчанні фізики тісно пов’язані з тими властивостями і відповідно можливостями лазерного випромінювання, котрі є визначальними у значному подальшому розвитку навчального фізичного експерименту з різних розділів курсу фізики, де необхідні когерентні, монохроматичні, поляризовані та вузько спрямовані пучки світла, і поряд з цим значною мірою поліпшують методiku і технологію виконання демонстраційних дослідів та системи лабораторних робіт з геометричної та хвильової оптики. Дуже важливим за цих обставин є те, що як джерело оригінального випромінювання навчальний лазер є основою створення системи нових експериментальних досліджень, значною мірою

розвиває усю роботу у комплексі з фізики як під час вивчення матеріалу на уроках, так і в позаурочний час.

Лазер повинен відповідати технічно-педагогічним вимогам, які ставляться до шкільного обладнання, і насамперед вимогам техніки безпеки під час роботи з ним.

Найчутливішим до дії лазерного випромінювання є око людини. У результаті проведених досліджень було встановлено, що при освітлені ока гелій-неоновим лазером неперервної дії потужністю 5 мВт негативних змін в оці не спостерігається після експозиції протягом однієї години. Порогові рівні опромінювання ока світлом від природних джерел і від лазерного випромінювання неперервної дії характеризують дуже малі значення.

*Педагогічні вимоги до навчального лазера.* Максимальна потужність випромінювання лазера не повинна перевищувати  $4 \div 5$  мВт; бажано під час дослідів не збільшувати її більше, ніж у 3 рази. Лазер для навчальних цілей повинен мати одноблочну конструкцію, бути зручним для транспортування і зберігання, повинен мати прозору кришку, що легко знімається, його вузли повинні бути виготовлені так, щоб їх можна було демонструвати. Налагодження дзеркал та юстирування резонатора повинні бути безпечними, виконуватись швидко і зручно, без застосування допоміжних пристроїв та інструментів; бажано, щоб юстирування резонатора можна було виконати безпосередньо на уроці в присутності учнів.

Навчальний лазер повинен повністю відповідати вимогам техніки безпеки, його блок живлення має бути закритим, струмопровідні ділянки повинні мати високостійку ізоляцію, заземлення корпусу, запобіжники і спеціальні сигнальні лампочки, тумблер повинен бути подвійної дії.

До комплекту навчального лазера повинні входити пристрої та деталі, що доповнюють типове обладнання шкільного фізичного кабінету і дають змогу значно розширити перелік і підвищити якість демонстраційних дослідів на основі ОКГ. Шкільний лазер повинен відповідати сучасному технічному рівню

навчального обладнання, бути гарним з естетичного боку і доступним для придбання кожної середньої школи щодо вартості.

Зараз наведемо перелік газових лазерів, які переважно відповідають переліченим вище вимогам. До таких ОКГ належать вітчизняні гелій-неонові лазери ЛГ – 209, ЛГ – 55, ЛГ – 56, ЛГН – 109, ЛДИ – 67, модель навчального лазера ЛГ – 200 та ін.

Із вітчизняних лазерів, що випускає промисловість для навчальних цілей, найбільше відповідає вимогам, що ставляться до шкільного обладнання, „Лазер газовий навчальний ЛГ-209”. Це одно блочний гелій-неоновий лазер неперервної дії, що дає випромінювання із 100 %-ю поляризацією, довжиною хвилі 632,8 нм. Потужність його випромінювання не менше, ніж 1,5 мВт і може змінюватись у 2÷3 рази. Розбіжність лазерного пучка, виміряна на рівні 0,5 потужності випромінювання, становить 0,0029 радіана. Лазер ЛГ-209 живиться від мережі змінного струму напругою  $220 \pm 10\%$ . Він використовується для демонстрування основних властивостей лазерного випромінювання і різних фізичних явищ з геометричної і хвильової оптики в загальноосвітніх школах, вузах та інших навчальних закладах.

Основними частинами шкільного ОКГ ЛГ – 209 є активний елемент, оптичний резонатор і джерело живлення.

Конструкція шкільного лазера ЛГ – 209 та розміщення основних його елементів і деталей описані в посібнику „Лазер у шкільному курсі фізики” [18; 30].

## ДОДАТОК 2

*Перелік експериментальних завдань, що виконуються на базі комплекту вивчення оптики КВО*

Демонстраційні дослід:

*Таблиця 2.1*

<b>№ п\п</b>	<b>Назва дослід</b>	<b>Розділ, тема, клас</b>
1	Демонстрування веселки	Починаємо вивчати фізику – 7 кл.
2	Прямолінійне поширення світла	-//-
3	Відбивання світла	-//-
4	Закони відбивання світла	-//-
5	Зображення у плоскому дзеркалі	-//-
6	Заломлення світла	-//-
7	Хід променів у лінзах	-//-
8	Утворення зображень за допомогою лінзи	-//-
9	Модель ока	-//-
10	Будова та дія оптичних приладів	-//-
11	Світловод	Хвильова і квантова оптика -11 кл.
12	Одержання інтерференційних смуг	-//-
13	Дифракція світла від вузької щілини та дифракційної ґратки	-//-
14	Дисперсія світла при його проходженні через тригранну призму	-//-
15	Фотоефект на цинковій пластинці	-//-
16	Люмінесценція	-//-

Фронтальні лабораторні роботи:

*Таблиця 2.2*

<b>№ п\п</b>	<b>Назва лабораторної роботи</b>	<b>Розділ, тема, клас</b>
1	Утворення кольорової гама світла	Світлові явища – 7 кл.
2	Вивчення законів відбивання світла за допомогою плоского дзеркала	-//-
3	Визначення фокусної відстані та оптичної сили тонкої лінзи	-//-
4	Складання найпростішого оптичного приладу	-//-
5	Спостереження інтерференції та дифракції світла	Хвильова і квантова оптика -11 кл.

Лабораторні роботи згідно програм для фізико-математичного профілю

Таблиця 2.3

№ п\п	Назва лабораторної роботи	Вид експерименту, клас
1	Визначення довжини світлової хвилі за спостереженням дифракції від щілини	П-11 кл.
2	Визначення показника заломлення скла за допомогою плоско паралельної пластинки або призми	П-11 кл.
3	Визначення роздільної здатності ока	Д, П-11 кл.
4	Спостереження лінійчастого спектра	Д, П-11 кл.
5	Визначення фокусної відстані розсівної лінзи	Д, П-11 кл.
6	Визначення періоду дифракційної ґратки	Д, П-11 кл.
7	Спостереження дифракційної картини від щілин і об'єктів різної форми	Д, П-11 кл.
8	Спостереження інтерференції на біпризмі Френеля	Д, П-11 кл.
9	Спостереження інтерференційних смуг рівної товщини	Д, П-11 кл.
10	Одержання лінійно-поляризованого випромінювання	Д-11 кл.
11	Визначення концентрації розчину цукру	П-11 кл.
12	Вивчення особливостей відбивання світла від скла при падінні під кутом Брюстера	Д – 11 кл.
13	Дослідження штучної анізотропії в оптичних деталях	Д – 11 кл.
14	Спостереження кольорів в поляризованому світлі	Д – 11 кл.

### ДОДАТОК 3

**Основні технічні характеристики комплексу для вивчення оптики:**

напруга живлення світлових діодів, <i>V</i>	4,5
розмір сторін квадрата, утвореного 4-ма світлодіодами, <i>мм</i>	26X26
фокусна відстань позитивної лінзи, <i>мм</i>	+120
фокусна відстань позитивної лінзи, <i>мм</i>	+60
фокусна відстань негативної лінзи, <i>мм</i>	-60
світловий діаметр позитивної лінзи, <i>мм</i>	50
світловий діаметр негативної лінзи, <i>мм</i>	48
ціна розподілу лімба столика, градус	1
ціна розподілу координатної сітки столика, <i>мм</i>	3
ширина щілинної діафрагми, <i>мм</i>	1
ціна розподілу шкали екрана, <i>мм</i>	1
просторова частота дифракційних ґраток, <i>мм<sup>-1</sup></i>	500
просторова частота дифракційних ґраток, <i>мм<sup>-1</sup></i>	300
показник заломлення К8 (ППП)	1,5183
показник заломлення оргскла	1,4920

## ДОДАТОК 4

### Приклади оформлення звітів та результатів вимірювань до робіт фізичного практикуму

#### Д. 4.1 Тема: „Визначення фокусної відстані збиральної лінзи”

**Мета роботи:** сформувати в учнів основні поняття про лінзу, її різновиди та навчити визначати фокусні відстані збиральної лінзи; розвиток активності, уважності та цілеспрямованості при виконанні поставлених завдань.

**Обладнання:** комплект „КВО”.

#### Хід роботи

- 1 За допомогою збиральної лінзи 9-2 отримую чітке зображення світного „квадрата” від комбінованого джерела.
- 2 Побудувати одне із зображень і виявити вплив різних параметрів на зображення.
- 3 Будує одне із зображень.

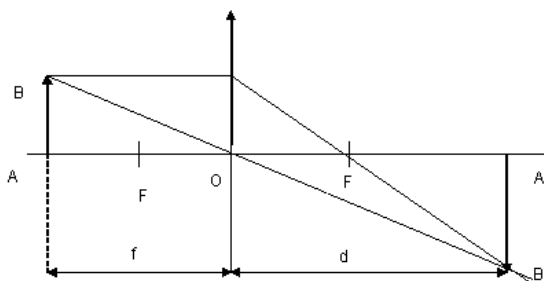


Рис. 4.1 Зображення предмета за допомогою збиральної лінзи

- 4 Виміряю відстань від лінзи до екрану  $d$  та відстань від предмету до лінзи  $f$ .
- 5 Результати вимірювань записую до таблиці 4.1. Розраховую дані і отримані результати записую у цю ж таблицю 4.1.

$$F = \frac{f \cdot d}{f + d} = \frac{0,19 \cdot 0,31}{0,19 + 0,31} = \frac{0,05}{0,50} = 0,10 \text{ (м)}; D = \frac{l}{F} = \frac{l}{0,10} = 10 \text{ (днтр)}$$

Визначення похибок:

$$E_3 = \frac{\Delta d}{d} + \frac{\Delta f}{f} = \frac{0,005}{0,17} + \frac{0,005}{0,44} = 0,02 + 0,01 = 0,03 \cdot 100\% = 3\% ;$$

Таблиця для лінзи 4.1

№ п/п	$d, м$	$f, м$	$F, м$	$D, днтр$
1	0,19	0,31	0,10	10
2	0,17	0,443	0,11	9,09
3	0,15	0,567	0,11	9,09
Сер.	0,17	0,44	0,10	9,39

$$\Delta F_3 = F \cdot E = 0,03 \cdot 0,10 = 0,003(м)$$

$$F_3 = (0,10 \pm 0,003) (м) \text{ при } E = 3\%$$

Такі ж дослідження виконую з лінзою 9-1 із комплекту КВО та записую результати до таблиці 4.2.

$$F = \frac{f \cdot d}{f + d} = \frac{0,22 \cdot 0,4}{0,22 + 0,4} = \frac{0,08}{0,62} = 0,12 (м); D = \frac{1}{F} = \frac{1}{0,12} = 8,33 (днтр)$$

Визначаю похибки:

$$E_3 = \frac{\Delta d}{d} + \frac{\Delta f}{f} = \frac{0,005}{0,21} + \frac{0,005}{0,47} = 0,02 + 0,01 = 0,03 \cdot 100\% = 3\% ;$$

$$\Delta E_3 = F \cdot E = 0,03 \cdot 0,13 = 0,0039$$

$$F_3 = (0,13 \pm 0,0039) (м) \text{ при } E = 3\%$$

Таблиця результатів для лінзи 4.2

№ п/п	$d, м$	$f, м$	$F, м$	$D, днтр$
1	0,22	0,4	0,12	8,33
2	0,215	0,46	0,13	7,69
3	0,2	0,57	0,14	7,14
Сер.	0,21	0,47	0,13	7,72

$$F = \frac{f \cdot d}{f + d} = \frac{0,22 \cdot 0,4}{0,22 + 0,4} = \frac{0,08}{0,62} = 0,12 (м)$$

$$D = \frac{1}{F} = \frac{1}{0,12} = 8,33 (днтр)$$

Визначаю похибки:

$$E_3 = \frac{\Delta d}{d} + \frac{\Delta f}{f} = \frac{0,005}{0,21} + \frac{0,005}{0,47} = 0,02 + 0,01 = 0,03 \cdot 100\% = 3\%$$

$$\Delta E_3 = F \cdot E = 0,03 \cdot 0,13 = 0,0039$$

$$F_3 = (0,13 \pm 0,0039) \text{ (м)} \text{ при } E = 3\%$$

**Висновок:** ми отримали різні зображення предметів і експериментально визначили фокусну відстань збиральної лінзи, яка має такі значення для лінзи 9-2:  $F_3 = (0,10 \pm 0,003) \text{ (м)}$  при  $E = 3\%$  та для лінзи 9-1  $F_3 = (0,13 \pm 0,0039) \text{ (м)}$  при  $E = 3\%$ .

#### Д. 4.2 Тема: "Визначення фокусної відстані розсіювальної лінзи"

**Мета роботи:** сформувати в учнів основні поняття про лінзу, її різновиди та навчити визначати фокусну відстань розсіювальної лінзи; розвиток активності, уважності та цілеспрямованості при виконанні поставлених завдань.

**Обладнання:** комплект для вивчення оптики.

#### Хід роботи

1 Використовуємо для дослідження розсіювальну лінзу і намагаємось отримати зображення квадрата.

2 Для отримання  $F$  розсіювальної лінзи (9-3) використовуємо непрямий спосіб.

3 Забираємо розсіювальну лінзу.

4 Підсовуємо квадрат до збиральної лінзи так, щоб на екрані знову з'явилося зображення.

5 Вимірюємо відстань  $f$  від місця, де була розсіювальна лінза до теперішнього положення „квадрата”. Результати записуємо до таблиці 4.3.

Таблиця 4.3

№ п/п	$d, \text{ м}$	$f, \text{ м}$	$F, \text{ м}$	$D, \text{ дптр}$
1	0,078	0,038	0,025	38
2	0,085	0,045	0,027	37
Сер.	0,081	0,041	0,026	37,5

6 Повторюю дослід ще раз.

7 Визначаю  $F$  та  $D$ .

8 Обчислюю похибки вимірювань.

$$F = \frac{f \cdot d}{f + d} = \frac{0,078 \cdot 0,038}{0,078 + 0,038} = 0,025 \text{ (м)}$$

$$D = \frac{1}{F} = \frac{1}{0,025} = 38 \text{ (дптр)}$$

Визначаю похибки:

$$E_p = \frac{\Delta d}{d} + \frac{\Delta f}{f} = \frac{0,005}{0,078} + \frac{0,005}{0,038} = 0,06 + 0,013 = 0,07 \cdot 100\% = 7\%$$

$$\Delta E_s = F \cdot E = 0,026 \cdot 0,07 = 0,0018$$

$$F_s = (0,026 \pm 0,0018) \text{ (м) при } E = 7\%$$

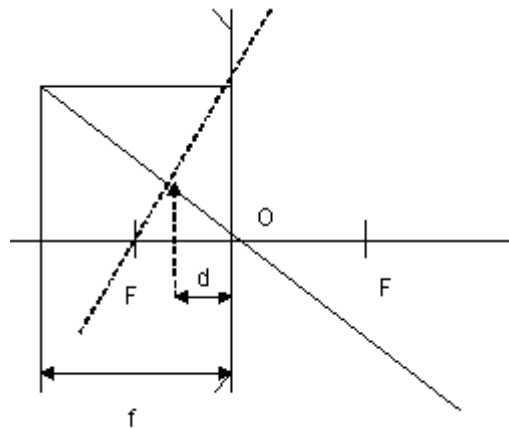


Рис.4.2 Зображення предмета за допомогою розсіювальної лінзи

**Висновок:** Навчилися отримувати різні зображення за допомогою розсіювальної лінзи та визначати головну фокусну віддаль та силу розсіювальної лінзи за допомогою нового комплексу „КВО”. Фокусна відстань розсіювальної лінзи має такі значення:  $F_s = (0,026 \pm 0,0018) \text{ (м) при } E = 7\%$ .

#### Додаток 4.3 Тема: „Визначення показника заломлення скла за допомогою біпризми Френеля”

Для прикладу наводимо результати для біпризми Френеля з заломлюючим кутом  $\alpha = 20^\circ$  в таблиці 4.4.

Для того, щоб розрахувати відносну похибку, потрібно зробити такі розрахунки:

$$n_c = \frac{n_1 + n_2 + n_3}{3} = 1,36,$$

$$\Delta n_1 = |n_c - n_1| = 0,001 ,$$

$$\Delta n_2 = |n_c - n_2| = 0,001 ,$$

$$\Delta n_3 = |n_c - n_3| = 0,001 ,$$

$$\Delta n_c = \frac{\Delta n_1 + \Delta n_2 + \Delta n_3}{3} = 0,001 .$$

Таблиця 4.4

№	$\alpha$	$L, м$	$l, \times 10^{-2} м$	$\Delta X, \times 10^{-3} м$	$\lambda, \times 10^{-9} м$	$n$	$n_c$	$\varepsilon, \%$
1	20	1,65	13	3,31	632,8	1,36	1,36	1
2	20	1,22	13	2,4	632,8	1,34		
3	20	1	13	2	632,8	1,36		

Відносна похибка становить:

$$\varepsilon = \frac{\Delta n_c}{n_c} 100\% = 1\%$$

**Остаточний результат:**  $n = 1,36 \pm 0,01$  *при*  $\varepsilon = 1\%$  .

**Висновок:** визначення показника заломлення середовища, з якого виготовлена біпризма Френеля, має такий результат  $n = 1,36 \pm 0,01$  при відносній похибці  $\varepsilon = 1\%$  .

## ДОДАТОК 5

# ВИКОРИСТАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА УРОКАХ ФІЗИКИ

1 Показ деяких елементів програми «Оптичні прилади» з використанням програма Microsoft PowerPoint у процесі навчання фізики

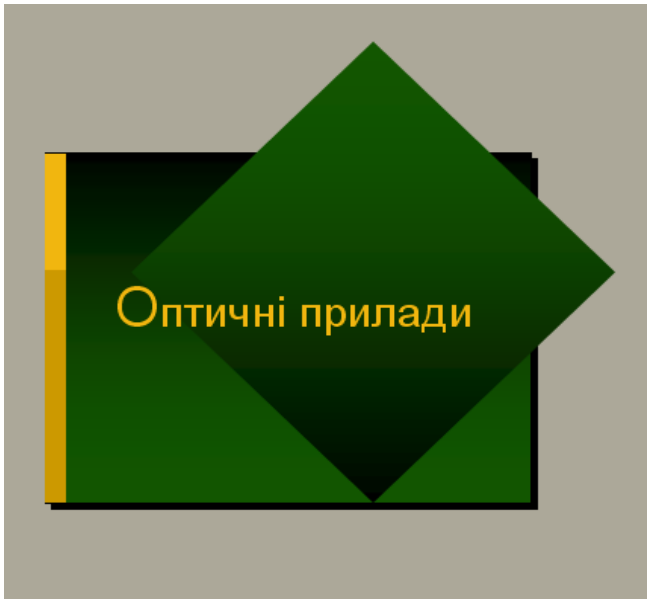


Рис. 5.1.1

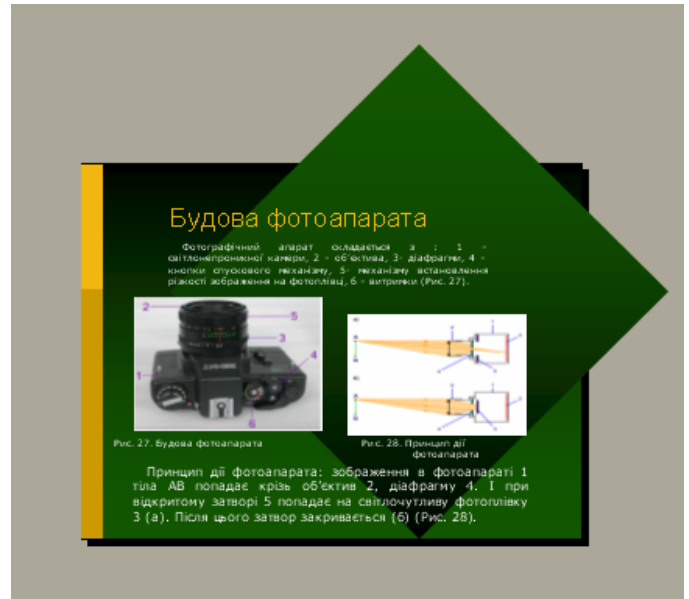


Рис. 5.1.2



Рис. 5.1.3

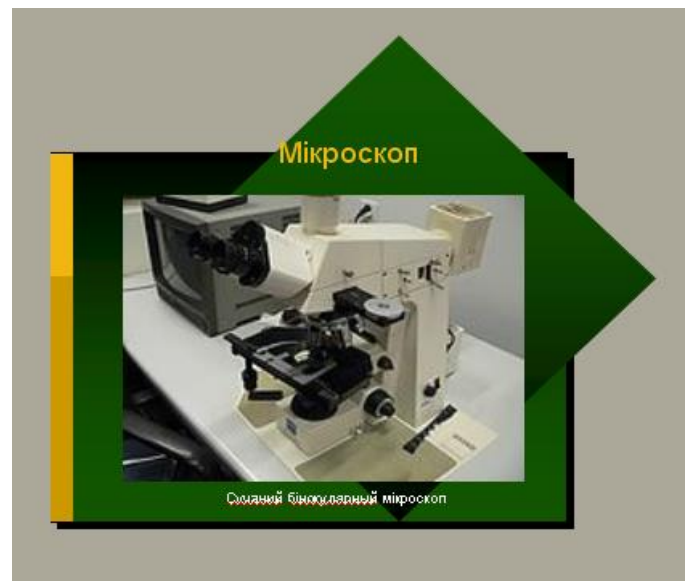


Рис. 5.1.4

Застосування програми Microsoft PowerPoint допомагає вчителю зацікавити учнів, відповідно, фізичними явищами, процесами, специфікою та самої програми, яка допомагає встановлювати графіки, малюнки, кліпи, розрахунки, що потрібні для перегляду. За допомогою даної програми не тільки активізується діяльність учнів на уроці, але й формується бачення фізики як прогресивної, цікавої науки. Тому вашій увазі представлені фрагменти уроку „Оптичні прилади”, а також перегляд комплексу лабораторних робіт та демонстраційних дослідів з новим комплектом „КВО”.

## 1 Лабораторні роботи та демонстраційні дослідів з використанням нового комплекту „КВО”



Рис. 5.2.1

# Демонстраційні досліді

1. Демонстраційний дослід 1: „Поляризація світла поляроїдами” (11 клас)
2. Демонстраційний дослід 2: „Поляризація світла при заломленні” (11 клас)
3. Демонстраційний дослід 3: „Обертання площини поляризації розчином цукру” (11 клас)
4. Демонстраційний дослід 4: „Дослідження штучної анізотропії в оптичних деталях” (11 клас)
5. Дослід на тему 5: „Одержання інтерференційних смуг”(11 клас)

Рис. 5.2.2 Перелік демонстраційних дослідів

## **Лабораторна робота 1 : „ Визначення фокусної відстані збирної лінзи”(11 клас)**

**Ціль роботи:** сформувати в учнів основні поняття про лінзу, її різновиди та навчити визначати фокусні відстані збирної лінзи, розвиток активності, уважності та цілеспрямованості при виконанні поставлених завдань (іншим кольором).

**Обладнання:** „Оптика-Класика” .

### **Завдання**

1. Вивчити теоретичний зміст, що відноситься до геометричної оптики.
2. Скласти інструкції щодо виконання фізичного практикуму за методичними рекомендаціями.
3. Виконати першу частину роботи, напишіть звіт про неї.
4. Виконайте другу частину роботи. Скласти звіт про виконання всієї роботи.
5. Розрахунок похибок.

Рис. 5.2.3 Теоретичні відомості до лабораторної роботи з оптики

## Обрахунки для лінзи 9-1.

- $F = \frac{f \cdot d}{f + d} = \frac{0,22 \cdot 0,4}{0,22 + 0,4} = \frac{0,08}{0,62} = 0,12 \text{ (м)}$

- $D = \frac{1}{F} = \frac{1}{0,12} = 8,33 \text{ (Дпр)}$

- Визначення похибок:

$$E = \frac{\Delta d}{d} + \frac{\Delta f}{f} = \frac{0,005}{0,21} + \frac{0,005}{0,47} = 0,02 + 0,01 = 0,03 \cdot 100\% = 3\%$$

$$\Delta F = F \cdot E = 0,03 \cdot 0,13 = 0,0039$$

$$F = (0,13 \pm 0,0039) \text{ (м) при } E = 3\%$$

Висновок: Ми навчилися отримувати різні зображення предметів і експериментально визначати фокусну відстань збиральної лінзи, яка має такі значення для лінзи 9-2:  $F_2 = (0,057 \pm 0,0039)$

$$\text{(м) при } E = 7\% \text{ та для лінзи 9-1 } F_1 = (0,13 \pm 0,0039)$$

$$\text{(м) при } E = 3\%$$

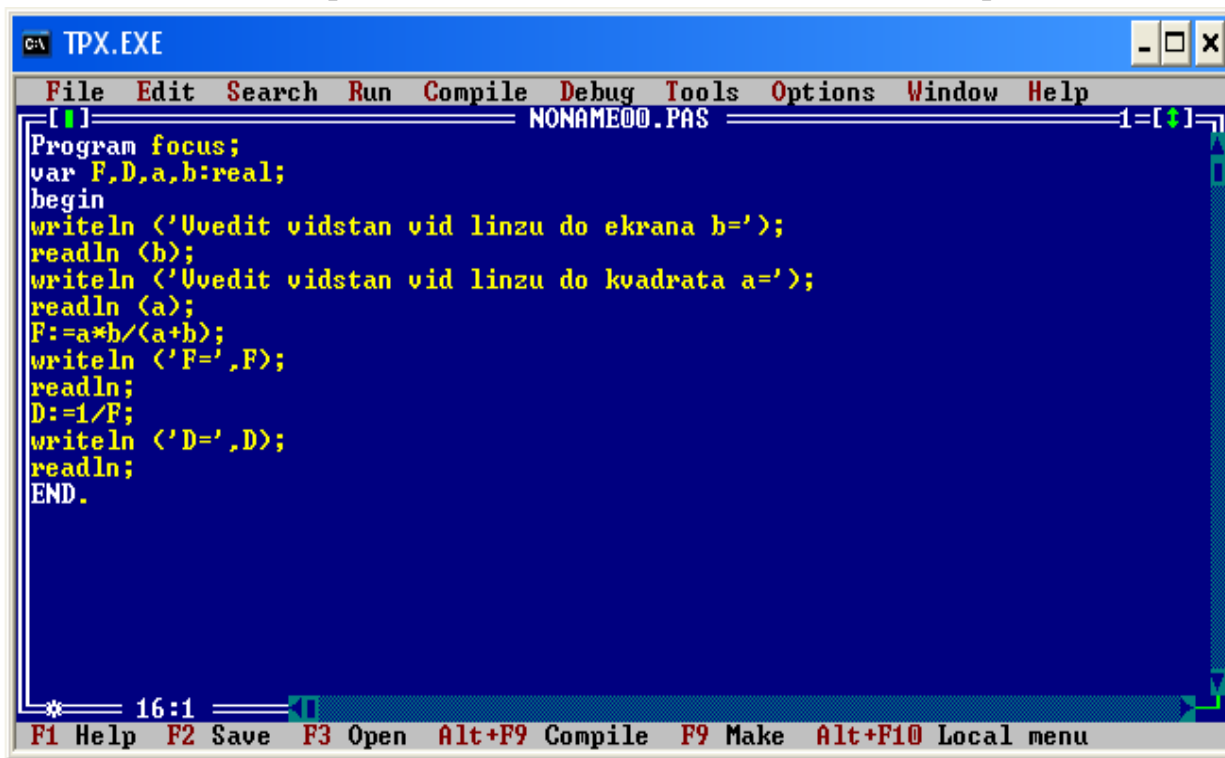
№ п/п	d, м	f, м	F, м	D, Дпр
1	0,22	0,4	0,12	8,33
2	0,215	0,46	0,13	7,69
3	0,2	0,57	0,14	7,14
Сер.	0,21	0,47	0,13	7,72

Рис. 5.2.4 Оформлення розрахунків до лабораторної роботи

## ДОДАТОК 6

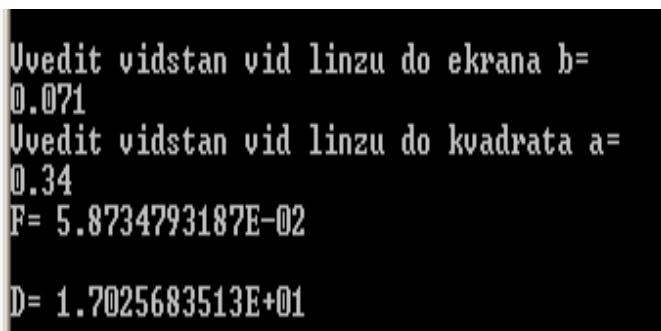
### Використання програми Turbo Pascal для розрахунку даних

1 Обчисліть фокусну відстань та оптичну силу збиральної лінзи, якщо відстань від лінзи до екрана 0,071 м, а відстань від лінзи до квадрата 0,34 м.



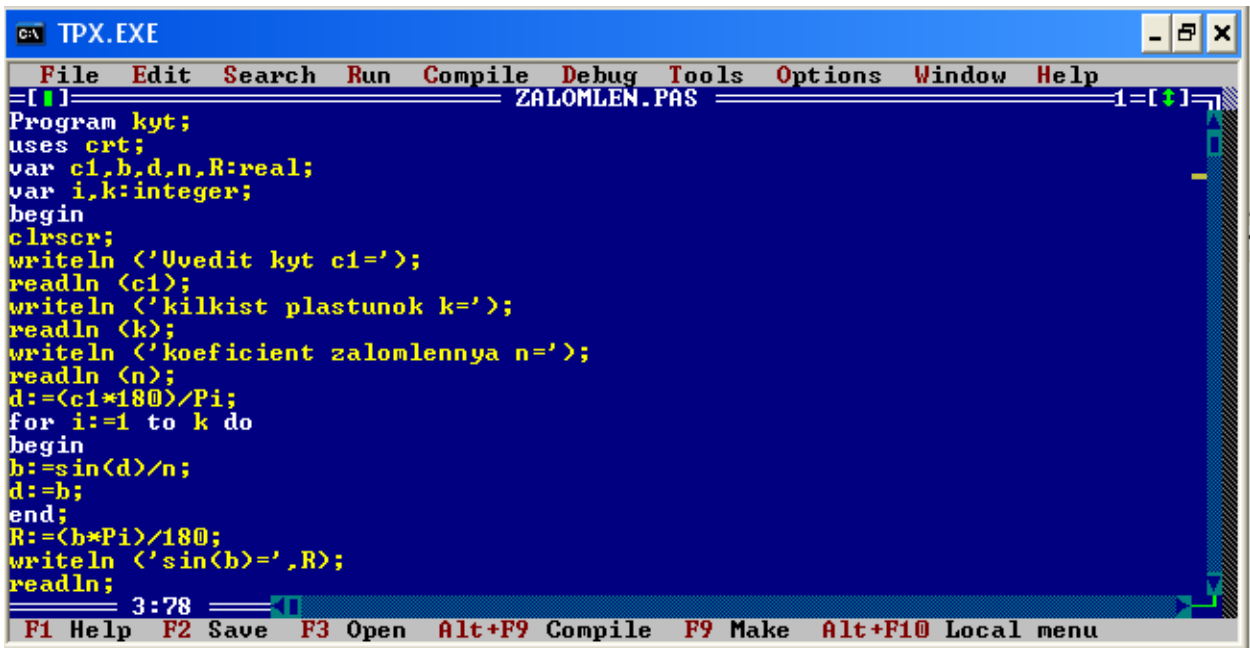
```
TPX.EXE
File Edit Search Run Compile Debug Tools Options Window Help
NONAME00.PAS
Program focus;
var F,D,a,b:real;
begin
writeln ('Uvedit vidstan vid linzu do ekrana b=');
readln (b);
writeln ('Uvedit vidstan vid linzu do kvadrata a=');
readln (a);
F:=a*b/(a+b);
writeln ('F=',F);
readln;
D:=1/F;
writeln ('D=',D);
readln;
END.
* 16:1
F1 Help F2 Save F3 Open Alt+F9 Compile F9 Make Alt+F10 Local menu
```

2 Результати обчислень.



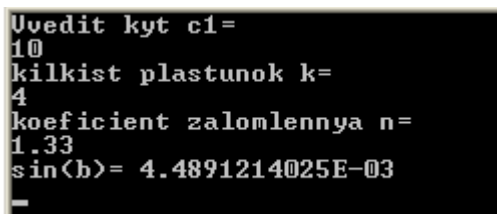
```
Uvedit vidstan vid linzu do ekrana b=
0.071
Uvedit vidstan vid linzu do kvadrata a=
0.34
F= 5.8734793187E-02
D= 1.7025683513E+01
```

3 Дана певна кількість пластинок, які мають показник заломлення від  $n_1, \dots, n_m$ . Промінь входить із вакууму під кутом  $\alpha$ . Знайдіть кут  $\beta$ , під яким промінь перетинає останній шар.



```
File Edit Search Run Compile Debug Tools Options Window Help
ZALOMLEN.PAS
Program kyt;
uses crt;
var c1,b,d,n,R:real;
var i,k:integer;
begin
clrscr;
writeln ('Uvedit kyt c1=');
readln (c1);
writeln ('kilkist plastunok k=');
readln (k);
writeln ('koeficient zalomlennya n=');
readln (n);
d:=(c1*180)/Pi;
for i:=1 to k do
begin
b:=sin(d)/n;
d:=b;
end;
R:=(b*Pi)/180;
writeln ('sin(b)=',R);
readln;
3:78
F1 Help F2 Save F3 Open Alt+F9 Compile F9 Make Alt+F10 Local menu
```

### Результати обчислень



```
Uvedit kyt c1=
10
kilkist plastunok k=
4
koeficient zalomlennya n=
1.33
sin(b)= 4.4891214025E-03
-
```

## ДОДАТОК 7

### Використання Excel в обчисленнях

НЗ    ▾ $f_x = 1 + (D3 * G3 / 2 * E3 * F3 * C3)$										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Визначення показника заломлення скла за допомогою біпризми Френеля									
2		№ п/п	кут	L, м	l, м	$\Delta X, \times 10^{-3}$ м	$\lambda, \times 10^{-9}$ м	$n$	$n_c$	$\epsilon, \%$
3		1	20	1,65	0,13	0,00331	6,32E-07	1	2,333333	1
4		2	20	1,22	0,13	0,0024	6,32E-07	1		1
5		3	20	1	0,13	0,002	6,32E-07	1		1



## ДОДАТОК 9

### Критерії оцінювання навчальних досягнень учнів при виконанні лабораторних робіт

Фізика - експериментальна наука. Тому ця її риса визначає низку специфічних завдань шкільного курсу фізики, спрямованих на засвоєння наукових методів пізнання. Завдяки навчальному фізичному експерименту учні оволодівають досвідом практичної діяльності людства у галузі здобуття фактів та їх попереднього узагальнення на рівні емпіричних уявлень, понять і законів. За таких умов він виконує функцію методу навчального пізнання, завдяки якому у свідомості учня утворюються нові зв'язки і відношення, формується суб'єктивно нове особистісне знання. Саме через навчальний фізичний експеримент найефективніше здійснюється діяльнісний підхід до навчання фізики.

Навчальний фізичний експеримент як органічна складова методичної системи навчання фізики забезпечує формування в учнів необхідних практичних умінь, дослідницьких навичок та особистісного досвіду експериментальної діяльності, завдяки яким вони стають спроможними у межах набутих знань розв'язувати пізнавальні завдання засобами фізичного експерименту. У шкільному навчанні він реалізується у формі демонстраційного і фронтального експерименту, лабораторних робіт, робіт фізичного практикуму, позаурочних дослідів і спостережень тощо і відповідно розв'язує такі завдання: формування конкретно-чуттєвого досвіду і розвиток знань учнів про навколишній світ на основі цілеспрямованих спостережень за плином фізичних явищ і процесів, вивчення властивостей тіл та вимірювання фізичних величин, усвідомлення їхніх суттєвих ознак; встановлення і перевірка засобами фізичного експериментування законів природи, відтворення фундаментальних дослідів та їхніх результатів, які стали вирішальними у розвитку і становленні конкретних фізичних теорій; залучення учнів до наукового пошуку, висвітлення логіки наукового дослідження, що сприяє

виробленню в них дослідницьких прийомів, формуванню експериментальних умінь і навичок; ознайомлення учнів з конкретними правилами і засобами експериментального методу дослідження, зокрема з різними способами і методами вимірювань – порівняння з мірою, безпосередньої оцінки, заміщення, калориметричним, стробоскопічним, осцилографічним, зондовим, спектральним тощо; демонстрація прикладного спрямування фізики, розвиток політехнічного світогляду і конструкторських здібностей учнів.

У системі навчального фізичного експерименту особливе місце належить фронтальним лабораторним роботам, які здійснюють практичну підготовку учнів. За змістом експериментальної діяльності вони можуть бути об'єднані в такі групи:

- спостереження фізичних явищ і процесів (інтерференції, дифракції світла, суцільного та лінійчастого спектрів тощо);
- вимірювання фізичних величин і констант (густини та питомої теплоємності речовини, показника заломлення світла тощо);
- вивчення вимірювальних приладів (мензурки, важільних терезів, термометра, психометра) і градування шкал (динамометра, спектроскопа тощо);
- з'ясування закономірностей і встановлення законів;
- складання простих технічних пристроїв і моделей та дослідження їхніх характеристик (дифракційної ґратки, лінз тощо).

Виконання лабораторних робіт передбачає володіння учнями певною сукупністю умінь, що забезпечують досягнення необхідного результату. У кожному конкретному випадку цей набір умінь залежатиме від змісту досліду і поставленої мети, оскільки визначається конкретними діями учнів під час виконання лабораторної роботи. Разом з тим вони є відтворенням узагальненого експериментального уміння, яке формується всією системою навчального фізичного експерименту і має складну структуру, що містить:

1 *Уміння планувати експеримент*, тобто формулювати його мету, визначати експериментальний метод і давати йому теоретичне обґрунтування,

складати план досліду і визначати найкращі умови його проведення, обирати оптимальні значення вимірювальних величин та умови спостережень, враховуючи наявні експериментальні засоби;

2 *Уміння підготувати експеримент*, тобто обирати необхідне обладнання і вимірювальні прилади, збирати дослідні установки чи моделі, раціонально розміщувати приладдя, домагаючись безпечного проведення досліду;

3 *Вміння спостерігати*, визначати мету і об'єкт спостереження, встановлювати характерні риси плину фізичних явищ і процесів, виділяти їхні суттєві ознаки;

4 *Уміння вимірювати фізичні величини*, користуючись різними вимірювальними приладами і мірами, тобто визначати ціну поділки шкали приладу, її нижню і верхню межу, знімати покази приладу;

5 *Уміння обробляти результати експерименту*, знаходити значення величин, похибки вимірювань (у старшій школі), креслити схеми дослідів, складати таблиці одержаних даних, готувати звіт про проведену роботу, вести запис значень фізичних величин у стандартизованому вигляді тощо;

6 *Уміння інтерпретувати результати експерименту*, описувати спостережувані явища і процеси, вживаючи фізичну термінологію, подавати результати у вигляді формул і рівнянь, функціональних залежностей, будувати графіки, робити висновки про проведені дослідження, виходячи з поставленої мети.

Очевидно, що формування такого узагальненого експериментального вміння – процес довготривалий, який вимагає планомірної роботи вчителя і учнів протягом усього часу навчання фізики в основній і старшій школах. Перелічені в програмі лабораторні роботи [71] є мінімально необхідними і достатніми щодо вимог Державного стандарту базової і повної загальної середньої освіти. Проте залежно від умов і наявної матеріальної бази фізичного кабінету вчитель може замінювати окремі роботи або демонстраційні досліди рівноцінними, використовуючи різні їх можливі варіанти. Він може

доповнювати цей перелік додатковими дослідями, короткочасними експериментальними завданнями, збільшувати їх кількість під час виконання фронтальних лабораторних робіт.

Засвоєння фізичного знання значно поліпшується, якщо в основу навчально – пізнавальної діяльності учнів покласти плани узагальнюючого характеру, за якими розкривається суть того чи іншого поняття, закону, факту тощо. Так, зміст наукового факту (фундаментального досліду) визначають: суть наукового факту чи опис досліду; хто з учених встановив даний факт чи виконав дослід; на підставі яких суджень встановлено даний факт або схематичний опис дослідної установки; яке значення вони мають для становлення і розвитку фізичної теорії.

Для пояснення *фізичного явища* необхідно усвідомити: зовнішні ознаки плинущ даного явища, умови, за яких воно відбувається; зв'язок даного явища з іншими; які фізичні величини його характеризують; можливості практичного використання даного явища, способи попередження шкідливих наслідків його прояву.

Сутність поняття *фізичної величини* визначають: властивість, яку характеризує дана фізична величина; її означення; формула, покладена в основу означення, зв'язок з іншими величинами; одиниці фізичної величини; способи її вимірювання.

Для *закону* це: формулювання закону, зв'язок між якими явищами він встановлює; математичний вираз закону; дослідні факти, що привели до встановлення закону або підтверджують його справедливність; межі застосування закону.

Для *моделей* необхідно: дати її опис або навести її означення, що її визначає як ідеалізацію; встановити, які реальні об'єкти вона заміщує; з'ясувати, до якої конкретно теорії вона належить; визначити, від чого ми абстрагуємося, чим нехтуємо, вводячи цю ідеалізацію; з'ясувати наслідки застосування даної моделі.

Загальна характеристика *фізичної теорії* має містити: перелік наукових фактів, які стали підставою розроблення теорії, її емпіричний базис; понятійне ядро теорії, визначення базових понять і моделей; основні положення, ідеї і принципи, покладені в основу теорії; рівняння і закони, що визначають математичний апарат теорії; коло явищ і властивостей тіл, які дана теорія може пояснити або передбачити їх плин; межі застосування теорії.

Оцінювання рівня володіння учнями практичними вміннями та навичками здійснюється за результатами виконання фронтальних лабораторних робіт, робіт фізичного практикуму або підсумкової лабораторної чи експериментальної роботи. При цьому необхідно враховувати вміння учня:

- планувати проведення дослідів чи спостережень;
- збирати установку за схемою;
- проводити спостереження, знімати покази приладів;
- оформлювати результати дослідження (складати таблиці, будувати графіки тощо);
- визначити та обчислити похибки вимірювання;
- робити висновки, тлумачити похибки проведеного експерименту чи спостереження.

Додатково поставлені лабораторні (експериментальні) роботи вчитель може використовувати для створення проблемних ситуацій, мотивації діяльності учнів під час вивчення нового матеріалу, з метою вдосконалення практичних умінь і навичок. Такі роботи, як правило не оцінюються.

Основна частина лабораторних робіт виконується після вивчення відповідного навчального матеріалу на етапі вивчення відповідного навчального матеріалу на етапі закріплення та узагальнення знань і вмінь учнів або під час тематичного обліку.

Обов'язковим при оцінюванні для всіх рівнів є врахування дотримання учнями правил техніки безпеки під час виконання фронтальних лабораторних робіт чи робіт фізичного практикуму.

При оцінюванні практичних знань та вмінь учнів вивченні оптичних явищ, законів потрібно користуватися характеристиками рівнів оволодіння цими вміннями, які подані нижче.

*Таблиця 9.1*

*Критерії оцінювання навчальних досягнень учнів при виконанні фронтальних лабораторних робіт з оптики*

Рівні навчальних досягнень	Критерії оцінювання навчальних досягнень учнів з оптики
Початковий рівень (1-3 бали)	Учень демонструє вміння користуватися окремими приладами з оптики, може скласти схему досліду лише за допомогою вчителя, виконує частину роботи, порушує послідовність виконання роботи, відображену в інструкції, не робить самостійно висновки за отриманими результатами.
Середній рівень (4-6 балів)	Учень виконує роботу за зразком або з допомогою вчителя, результат роботи учня дає можливість зробити правильні висновки або їх частину, під час виконання роботи допущені помилки.
Достатній рівень (7-9)	Учень самостійно мотивує необхідне обладнання для виконання завдання з оптики, виконує роботу в повному обсязі з дотриманням необхідної послідовності проведення дослідів та вимірювань. У звіті правильно й акуратно виконує записи, таблиці, схеми, графіки, розрахунки, самостійно робить висновок.
Високий рівень (10-12 балів)	Учень виконує всі вимоги, передбачені для достатнього рівня, виконує роботу за самостійно складеним планом, робить аналіз результатів, розраховує похибки (якщо потребує завдання). Більш високим рівнем вважається виконання роботи за самостійно складеним оригінальним планом або установкою, їх обґрунтування.

## ДОДАТОК 10

*Таблиця 10.1  
Перелік обладнання для одного робочого місця при виконанні фронтальних  
лабораторних робіт*

№ п/п	Назва обладнання	Кількість
1	Джерело світла (світлодіод)	1
2	Джерело живлення	1
3	Саморобна двохметрова лінійка	1
4	Три екрани з квадратними отворами	1
5	Екран у вигляді двохгранного кута	1
6	Фотометр Річі	1
7	Папір	1
8	Олівець	1
9	Транспортер	1
10	Прозора тонкостінна посудина у формі рівносторонньої тригранної призми	1
11	Прозора склянка для рідини	3
12	Плоско паралельна пластинка	2
13	Прозора тонкостінна посудина у формі прямокутної рівнобедреної тригранної призми	1
14	Прозора тонкостінна посудина у формі тригранної прямокутної призми з кутами $30^\circ$ і $60^\circ$ .	1
15	Металева посудина для нагрівання рідини	1
16	Нагрівник	1
17	Непрозорий брусок розміром 3 x 4 x 5 см	1
18	Розмішувач (дерев'яна паличка)	1
19	Термометр із шкалою до $100^\circ C$	1
20	Ареометр	1
21	Вимірювальна лінійка з міліметровими поділками	1
22	Стрічка вимірювальна	1
23	Лімба із шкалою	1
24	Матове скло	1
25	жолоб	1
26	Плоскі дзеркала	2
27	Лінза двоопукла	1
28	Лінза короткофокусна	1
29	Лінза довгофокусна	1
30	Призма Флінт	1
31	Призма Крон	1
32	Світлофільтр	1
33	Дзеркало увігнуте з наклеєною буквою	1
35	Кухонна сіль (NaCl) або цукор	
36	Вода	
37	Спирт	
38	Олія	
39	Гас	

## РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

- 1 Анциферов Д.И. Практикум по методике и технике школьного физического эксперимента / Д.И. Анциферов, И.М. Пищиков – М.: Просвещение, 1984. – 225 с.
- 2 Бабанский Ю.К. Оптимизация учебно-воспитательного процесса: (Метод. основы). / Бабанский Ю.К. – М.: Просвещение, 1982. – 192 с.
- 3 Башкатов Г.Ф. Демонстрационные опыты по оптике и строению атома. / Башкатов Г.Ф., Огородников М.Н., Попов И.В., Ростовцев М.М. – М.: Просвещение, 1967. – 174 с.
- 4 Бугаев А.И. Тенденции развития обучения физике в современной общеобразовательной школе: дисс. ... д-ра пед. наук: 13.00.02. – М., 1983.
- 10 Бугайов О.І. Комп'ютерна підтримка курсу фізики в середній школі: реальність і перспективи / О. Бугайов, В. Коваль // Фізика та астрономія в школі. – 2001. - № 3. – С. 16 – 19.
- 11 Буров В. Фронтальные экспериментальные задания по физике 10 клас. Дидактический материал: Пособие для учителей. / Буров В. и др. – М.: Просвещение, 1987. – 47 с.
- 12 Бутиков Е.И. Оптика: Учеб. пособие для вузов / Под ред. Н.И. Калитеевского./ Бутиков Е.И. – М.: Высш. шк., 1986. – 512 с.
- 13 Васи́линчук А. Урок „Дифракція світла на щілині” з використанням навчально-комп'ютерної моделі / А. Васи́линчук // Фізика та астрономія в школі. – 2005. – № 6. – С. 7 – 13.
- 14 Величко С.П. Пути совершенствования учебного эксперимента по физической оптике в X классе средней школы. дис. ... кандидата пед. наук: 13.00.02 / Величко Степан Петрович. – М., 1980. – 262 с.
- 15 Величко С.П. Розвиток системи навчального фізичного експерименту в сучасній середній школі: дис. ... доктора пед. наук: 13.00.02 / Величко Степан Петрович. – К., 1998. – 460 с.

- 16 Величко С.П. Розвиток системи навчального експерименту та обладнання з фізики у середній школі. / Величко С.П. – Кіровоград, 1998. – 302 с.
- 17 Величко С.П. Педагогічні принципи та ергономічні вимоги до шкільного фізичного експерименту / С.П. Величко, В.П. Вовкотруб. – Монографія. – Кіровоград: РВВ КДПУ ім. В. Винниченка, 2007. – 128 с.
- 18 Величко С.П. Лазер у шкільному курсі фізики. / Посібник для вчителя. / Величко С.П., Ковальов І.З. – К. : Рад. шк., 1989. – 143 с.
- 19 Величко С.П. Вивчення основ квантової фізики: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів./ Величко С.П., Костенко Л.Д. – Кіровоград: РВЦ КДПУ ім. В. Винниченка, 2002. – 274 с.
- 20 Величко С.П. Сучасні технології у фізичному експериментуванні з оптики: Навчальний посібник для вчителів. / Величко С.П., Кузьменко О.С. – Кіровоград ПП „Центр оперативної поліграфії „Авангард”, 2009. – 164 с.
- 21 Величко С.П. Вивчення фізичних властивостей рідких кристалів у середній загальноосвітній школі: [посібник для вчителів] / С.П. Величко, В.В. Неліпович. – Херсон: ТОВ „Айлант”, 2010. – 180 с.
- 22 Величко С.П., Сірик Е.П. Нове навчальне обладнання для спектральних досліджень. Посібник для студ. фіз.-мат. фак-тів пед. вищих навч. закладів. – 2-е вид., перероб. – Кіровоград: ТОВ „Імекс-ЛТД”, 2006. – 202 с.
- 23 Вовкотруб В.П., Ментова Н.О., Подопрігора Н.В. Вступ до навчального фізичного експерименту: Для студентів вищих педагогічних навчальних закладів. – Кіровоград: РВВ КДПУ ім. В. Винниченка, 2007. – 155 с.
- 24 Гайдук С.М. Науково-методичні засади створення та використання навчального комплексу з оптики: дис. ... кандидата пед. наук: 13.00.02 / Гайдук Станіслав Микитович. – Кіровоград, 2002. – 247 с.
- 25 Гайдук С.М. Оптика. Лабораторні роботи з використанням лазера і комп'ютерних технологій: Посібник для вчителів / Наук.ред.проф.

- С.П. Величко, 2-е вид, перероб.- Кіровоград, ТВО „Імекс – ЛТД”, 2002.- 112 с.
- 26 Гайдучок Г.М. Фронтальний експеримент з фізики в 7-11 класах середньої школи. / Гайдучок Г.М. – К.: Радянська школа, 1989. – 175 с.
- 27 Галатюк Ю.М. Організація дослідницької роботи учнів під час вивчення фізики в старших класах середньої школи: дис. кандидата пед. наук: 13.00.02 / Галатюк Юрій Михайлович. – Рівне, 1996. – 285 с.
- 28 Гордієнко Т.П. Профільна диференціація навчання фізики в 10-11 класах середньої загальноосвітньої школи // Автореферат дисертації. – К., 1998.
- 29 Гуржій А.М. Організація навчально-виховного процесу у кабінеті фізики загальноосвітнього навчального закладу (Наукові-педагогічні основи): [навчальний посібник] / А.М. Гуржій, Ю.О. Жук, Д.Я. Костюкевич. – К.: ІЗМН, 1998. – 187 с.
- 30 Демонстрационный эксперимент по физике в средней школе. Ч.2. Колебания и волны. Оптика. Физика атома / Под ред. А.А. Покровского. – 3-е изд., перераб. – М.: Просвещение, 1979.
- 31 Іваницький О.І. Сучасні технології навчання фізики в середній школі / Іваницький О.І. – Запоріжжя: Прем'єр, 2001. – 266 с.
- 32 Жук Ю. Використання засобів НІТ у лабораторному практикум з фізики / Ю. Жук // Фізика та астрономія в школі. – 2000. - № 3. – С. 35 – 38.
- 33 Жмурський С.І. Формування інтересу учнів до вивчення фізики в багато профільних школах-ліцеях: дис. ... кандидата пед.наук: 13.00.02 / Жмурський Семен Іванович. – Запоріжжя, 2003. – 226 с.
- 34 Захарова И.Г. Информационные технологи в образовании: [учеб. пособие для студ. высш. пед. учеб. заведений] / Захарова И.Г. – М.: Издательский центр „Академия”, 2003. – 192 с.
- 35 Знаменский П.А. Методика преподавания физики в средней школе. / Знаменский П.А. – 3-е изд. – Л.: Учпедгиз, 1955.
- 36 Кабинет физики средней школы /Под ред. А.А. Покровского. – М.: Просвещение, 1982.

- 37 Коваль В.С. Комп'ютер як засіб навчання та предмет вивчення в курсі фізики старшої школи / В.С. Коваль // Вісник Чернігівського державного педагогічного університету ім. Т.Г. Шевченка. Серія: педагогічні науки. – Чернігів: ЧПДУ, 2002. - № 13. – Т. 2. – С. 190 – 191.
- 38 Коршак Є.В. та ін. Фізика, 9 кл.: Підручник для серед., загальноосвіт. шк./ Є.В. Коршак, О.І. Ляшенко., В.Ф. Савченко. – Київ; Ірпінь: ВТФ „Перун”, 2000. – 232 с.
- 39 Коршак Є.В. Ляшенко О.І., Савченко В.Ф. Фізика, 8 кл.: Підручник для серед, загально освіт. шк.. – Київ; Ірпінь: ВТФ „Перун”, 2000. – 192 с.
- 40 Коршак Є.В. Ляшенко О.І., Савченко В.Ф. Фізика, 7 кл.: Підручник для серед, загально освіт. шк.. – Київ; Ірпінь: ВТФ „Перун”, 1998. – 160 с.
- 41 Коршак Є.В., Миргородський Б.Ю. Методика і техніка шкільного фізичного експерименту. Практикум. – К.: Вища школа, 1981. – 279 с.
- 42 Коршак Є.В. Методика і техніка шкільного фізичного експерименту. – К.: Вища школа, 1981. – 279 с.
- 43 Костенко Л.Д. Диференційоване вивчення основ квантової фізики у середніх навчальних закладах різного профілю.: дис. ... кандидата пед. наук: 13.00.02 / Костенко Лариса Давидівна. – Кіровоград, 2000. – 316 с.
- 44 Костюкевич Д.Я. Фундаментальные опыты по физике в школьном демонстрационном эксперименте: автореф. дисс. на соискание уч. степени канд. пед. наук.: спец. 13.00.02 „Теория и методика обучения (физика)” / Д.Я. Костюкевич. – К., 1973. – 16 с.
- 45 Кузьменко О.С., Величко С.П. Роль експерименту в процесі вивчення фізики в школі. Вісник Чернігівського державного педагогічного університету імені Т. Г. Шевченка. Випуск 65. Серія: педагогічні науки: Збірник. – Чернігів: ЧДПУ, 2009. - № 65.- С. 86 – 89.
- 46 Кузьменко О.С., Величко С.П. Шкільний фізичний експеримент як чинник розвитку самостійної пізнавально-пошукової діяльності школярів. Наукові записки. – Випуск 82. – Серія: Педагогічні науки. – Кіровоград: РВВ КДПУ ім. В. Винниченка. – 2009. – Частина 1. – С. 293-299.

- 47 Кузьменко О.С. Сучасні засоби навчання у системі шкільного фізичного експерименту. Тези доповідей. Професіоналізм педагога в контексті Європейського вибору України: Матеріали міжнародної науково-практичної конференції „Професіоналізм педагога в контексті Європейського вибору України”, 22-23 вересня 2009 р., м. Ялта. – 36 статей. – Ялта: РВВ КГУ, 2009. – Ч. 1. – С. 160-164.
- 48 Кузьменко О.С. Фронтальні лабораторні роботи з оптики: [посібник для вчителів фізики] / Кузьменко О.С.; за ред. проф. С.П. Величка. – Херсон: ТОВ „Айлант”, 2009. – 44 с.
- 49 Кузьменко О.С. Роботи фізичного практикуму з оптики: [посібник для вчителів фізики] / Кузьменко О.С.; за ред. проф. С.П. Величка. – Херсон: ТОВ „Айлант”, 2009. – 72 с.
- 50 Кузьменко О.С. Використання інформаційно-комунікаційних технологій у навчанні оптики в профільній школі: посібник для вчителів фізики / Кузьменко О.С.; за ред. проф. С.П.Величка. – Херсон: ТОВ „Айлант”, 2010. – 60 с.
- 51 Кузьменко О.С. Застосування сучасних засобів експериментування з оптики. Елективний спецкурс: [посібник для вчителів фізики] / Кузьменко О.С.; за ред. проф. С.П. Величка. – Херсон: ТОВ „Айлант”, 2010. – 108 с.
- 52 Лекционные эксперименты по оптике: Учеб. пособие / Пеньков С.Н., Полищук В.А., Марченко О.М., Михалев В.С.; под ред. Н.И. Калитеевского. – Л.: Издо-во Ленингр. ун-та, 1981. – 160 с.
- 53 Лисак В.А. Лабораторні експерименти з геометричної (променевої) оптики: Дидакт. Матеріал /Науковий редактор проф. А.І. Павленко. – Запоріжжя: Дике Поле, 2004. – 108 с.
- 54 Ляшенко О.І. Формування фізичного знання в учнів середньої школи: [логіко-дидактичні основи] / Ляшенко О.І. – К.: Генеза, 1996. – 128 с.

- 55 Мансуров А.Н. Видеокомпьютерная технология обучения: задачи, возможности, техническая реализация / А.Н. Мансуров // Физика в школе. – 1998. - № 5. – С. 35 - 38.
- 56 Миргородський Б.Ю. Шкільний фізичний експеримент / Миргородський Б.Ю. – К.: Рад. шк., 1972. – 198 с.
- 57 Методичні засади шкільного фізичного експерименту // Фізика та астрономія. – 1998. - № 4. - С. 12.
- 58 Меняйлов Н.Е. Лабораторный практикум по физике./ Н.Е. Меняйлов. – К.: Рад.шк., 1972. – 304 с.
- 59 Методика преподавания физики в средней школе: Частные вопросы / С.В. Анофрикова, М.А., Бобкова, Л.А. Бордонская и др. / Под ред. С.Е. Каменецкого, Л.А. Ивановой. – М.: Просвещение, 1987. – 336 с.
- 60 Миргородський Б.Ю. Шкільний фізичний експеримент. – К.: Радянська школа, 1975.-199 с.
- 61 Нижник В.Г. Вимірювання фізичних величин та обчислення похибок: Метод. посібник для вчителів. – К.: Рад. шк., 1979. – 104 с.
- 62 Огородников Г.Ф., Башкатов М.Н., Попов И.В., Ростовцев Н.М. Демонстрационные опыты по оптике и строению атома. Пособие для учителя. – М.: Просвещение, 1967. – 176 с.
- 63 Олійник М. Удосконалення методики проведення фронтальних лабораторних робіт з фізики в 7 класі за програмою 12 річної школи. Наукові записки. – Випуск 82. – Серія: Педагогічні науки. – Кіровоград: РВВ КДПУ ім. В. Винниченка. – 2009. – Частина 1. – С. 299 – 304.
- 64 Оптична міні-лава та інтегрований навчальний експеримент. Посібник для студ. шк.-мат. фак-тів пед. вищих навч. закладів / С.П. Величко, І.М. Гладкий, Д.О. Денисов та ін.: За ред. С.П. Величка. – У 2-х частинах – Кіровоград: РВВ КДПУ ім. В. Винниченка, 2008. – 148 с.
- 65 Основы методики преподавания физики в средней школе / В.Г. Разумовский, А.И. Бугаев, Ю.И. Дик и др./ Под ред. А.В. Перышкина и др. – М.: Просвещение, 1984 – 398 с.

- 66 Освітні технології: [навч.-метод. посіб.] / О.М. Пехота, А.З. Кіктенко, О.М. Любарська та ін.; за заг. ред. О.М. Пехоти. – К.: А.С.К., 2001. – 256 с.
- 67 Павленко А.І., Жмурський С.І., Лисак В.А. Нові можливості фронтального фізичного експерименту з використанням оптичних лінз // Фізика та астрономія в школі. – 2002. – № 2. – С. 13-15.
- 68 Петриця А.Н. Співвідношення віртуального та реального у навчальному експерименті у процесі вивчення фізики в основній школі: дис. ... кандидата пед. наук: 13.00.02 / Петриця Андрій Назарович. – Кіровоград, 2010. – 271 с.
- 69 Подопригора Н.В. Робота фізичного практикуму для випускного класу // Наукові записки: Серія Педагогічні науки. Вип. 46. – Кіровоград: КДПУ ім. В. Винниченка, 2002. – С. 216-219.
- 70 Практикум з фізики в середній школі: Дидакт. матеріал: Посібник для вчителя:/ Л.І. Анциферов, В.А. Буров, Ю.І. Дік і ін.: За ред. В.А. Бутова, Ю.І. Діка. – 3-є вид., перероб.- К. : Рад.шк., 1990. – 176 с.
- 71 Програма для загальноосвітніх навчальних закладів. Фізика. 7-11 класи. Рівень стандарту. – Режим доступу:  
[http://www.mon.gov.ua/ua//activity/education/56/general-secondary-education/educational\\_programs/1352202396/](http://www.mon.gov.ua/ua//activity/education/56/general-secondary-education/educational_programs/1352202396/)
- 72 Програма для загальноосвітніх навчальних закладів. Фізика. 10 – 11 класи. Академічний рівень. – Режим доступу:  
[http://www.mon.gov.ua/ua//activity/education/56/general-secondary-education/educational\\_programs/1352202396/](http://www.mon.gov.ua/ua//activity/education/56/general-secondary-education/educational_programs/1352202396/)
- 73 Програма для загальноосвітніх навчальних закладів. Фізика. 10-11 класи. Профільний рівень. – Режим доступу:  
[http://www.mon.gov.ua/ua//activity/education/56/general-secondary-education/educational\\_programs/1352202396/](http://www.mon.gov.ua/ua//activity/education/56/general-secondary-education/educational_programs/1352202396/)
- 74 Разумовский В.Г. Развитие творческих способностей учащихся в процессе обучения физике. – М.: Просвещение, 1975.
- 75 Саржевский А.М. Оптика. В 2-х т. Т. 2: Учеб. пособие для физ. Спец. Ун-тов. – Мн.: изд-во „Университетское”, 1986. – 319 с.

- 76 Сірик Е.П. Дидактичні основи розробки та використання сучасних джерел випромінювання у шкільному фізичному експерименті: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02 / Сірик Едуард Петрович. – Кіровоград, 2006. – 260 с.
- 77 Слободяник О.В. Методика самостійної роботи студентів педагогічних університетів у процесі навчання фізики: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02 / Слободяник Ольга Володимирівна. – Кіровоград, 2012. – 251 с.
- 78 Сосницька Н.Л. Удосконалення навчального експерименту з хвильової оптики засобами нових інформаційних технологій: дис...канд. пед. наук: 13.00.02/ НПУ ім. М.П. Драгоманова – К., 1998. – 272 с.
- 79 Сосницкая Н.Л. Современная информационная образовательная среда как эффективное инструментальное изучение физики: [монография] / Сосницкая Н.Л., Самойленко П.И., Волошина Е.А. – М.: АПК и ППРО, 2009. – 216 с.
- 80 Сумський В.І. Загальна фізика: Електрика та магнетизм: Навчальний посібник з комп'ютерною підтримкою: CD – Rom № 1./ Сумський В.І. – К.: Студент – СТВ, 2001. – 300 Мб.
- 81 Сумський В. До питання про електронні підручники майбутнього / Вадим Сумський, Роман Воловий, Світлана Мисловська, Наталія Мислицька, Петро Чернійчук // Фізика та астрономія в школі. – 2003. - № 5. – С. 39 – 45.
- 82 Сухомлинський В.О. Вибрані твори. В 5-ти томах.  
Т.2. – Частина 1. „Сто порад учителям”. / В.О. Сухомлинський. – К.: „Рад.шк”, 1976. – 670 с.
- 83 Теплицький І.О. Розвиток творчих здібностей школярів засобами комп'ютерного моделювання: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. пед. наук: спец. 13.00.02 „Теорія та методика навчання (фізика)” / І.О. Теплицький. – К., 2001. – 20 с.

84 Чорнобай К.Г. Розвиток експериментальних умінь та навичок майбутніх учителів фізики в умовах інтеграції: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02 / Чорнобай Катерина Григорівна. – Кіровоград, 2011. – 217 с.

НАВЧАЛЬНО–МЕТОДИЧНЕ ВИДАННЯ

*Величко Степан Петрович  
Кузьменко Ольга Степанівна*

**СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ У ФІЗИЧНОМУ  
ЕКСПЕРИМЕНТУВАННІ З ОПТИКИ**

*Посібник для вчителів фізики*

Підп. до друк \_\_\_\_\_ Формат  $60 \times 84 \frac{1}{16}$ . Папір офсет.  
Друк різнограф. Ум. друк. арк. 8,86. Тираж 300. Зам. \_\_\_\_\_

---

---