

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**КРИВОРІЗЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**Фізико-математичний факультет**  
**Кафедра фізики та методики її навчання**

«Допущено до захисту»  
Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_  
(Підпис) (Прізвище, ініціали)  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Реєстраційний № \_\_\_\_\_

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Методика експериментальних досліджень з  
оптики в цифровій лабораторії Vernier**

Кваліфікаційна робота студентки  
групи ФІм-17  
ступінь вищої освіти – магістр  
спеціальності  
014.08 Середня освіта (Фізика)  
Шинкарьової Анни Олександрівни

Керівник: кандидат фізико-математичних  
наук, доцент  
Кадченко Валентина Миколаївна

Оцінка:  
Національна шкала \_\_\_\_\_  
Шкала ECTS \_\_\_\_\_ Кількість балів \_\_\_\_\_

Голова ЕК \_\_\_\_\_  
(Підпис) (Прізвище, ініціали)

Члени ЕК \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
(Підпис) (Прізвище, ініціали)

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	3
РОЗДІЛ 1. ВИВЧЕННЯ РОЗДІЛУ «ОПТИКА» У СТАРШИХ КЛАСАХ ЗАГАЛЬНООСВІТНЬОЇ ШКОЛИ .....	5
1.1. Аналіз навчальної програми та підручників з фізики.....	5
1.2. Рекомендовані демонстраційні та лабораторні експерименти з оптики у старшій школі .....	10
Висновки до Розділу 1 .....	13
РОЗДІЛ 2. ЦИФРОВІ ЛАБОРАТОРІЇ ФІЗИКИ.....	15
2.1. Лабораторне обладнання з фізики Vernier .....	15
2.2. Віртуальна фізична лабораторія Physics Education Technology (PhET)	19
2.3. Цифрова лабораторія Einstein.....	21
2.4. Цифрова лабораторія SenseDisc Physics .....	23
2.5. Віртуальні симуляції та анімації HTML5 .....	25
Висновки до Розділу 2 .....	26
РОЗДІЛ 3. ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВОЇ ЛАБОРАТОРІЇ VERNIER ПРИ ВИВЧЕННІ ОПТИКИ В ШКІЛЬНОМУ КУРСІ ФІЗИКИ.....	29
3.1. Лабораторні дослідження з оптики.....	29
3.1.1. Геометрична оптика.....	29
3.1.2. Хвильова оптика .....	35
3.1.3. Дослідження для фізичного практикуму в 11 класі .....	48
3.2. Демонстраційний експеримент в лабораторії Vernier.....	51
3.2.1. Відбивання та заломлення світла, повне відбивання світла.....	52
3.2.2. Дифракція світла на різних перешкодах .....	53
3.2.3. Поляризація світла та фотопружний ефект.....	54
3.2.4. Дисперсія світла та отримання неперервного та лінійчастого спектрів .....	55
Висновки до Розділу 3 .....	56
ВИСНОВКИ.....	58
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	60

## ВСТУП

Фізика є фундаментальною наукою, без вивчення якої неможливий розвиток сучасних технологій. Навчання фізики у старшій школі ґрунтується на засадах гуманізації та демократизації освіти, врахування пізнавальних інтересів і намірів учнів щодо обрання подальшого життєвого шляху, диференціації змісту й вимог щодо його засвоєння залежно від здібностей та освітніх потреб старшокласників.

На сьогодні існує широкий спектр сучасних цифрових приладів для демонстрації явищ та виконання лабораторних робіт з фізики у середній та старшій школі.

З основами розділ «Оптика» учні починають знайомитися в 9 класі, а ґрунтовно вивчається він в 11 класі. Цей розділ є надзвичайно важливий, враховуючи розвиток сучасних технологій оптичного зв'язку, запису та відтворення зображень, сучасних оптичних приладів, матеріалів з новими оптичними характеристиками тощо.

Навчальний експеримент є основою вивчення фізики й, можна сказати, що вдало та якісно проведений фізичний експеримент є запорукою якісних знань та практичної підготовки учнів з фізики.

Оскільки в основній школі в учнів загалом сформовані базові експериментальні уміння й навички, то у старшій школі основною метою навчального експерименту є розвиток самостійності у плануванні досліджень, доборі адекватних методів і засобів дослідження, проведенні експерименту, обробці його результатів та формулюванні висновків. Тобто навчальні експерименти з фізики орієнтовані на те, щоб учні застосовували на практиці різноманітні методи фізичної науки, опановували елементи проведення науково-дослідної роботи, співвідносили результати практичної діяльності з теорією, використовували на практиці міжпредметні зв'язки.

Нові можливості експериментальної роботи в оптиці з учнями старшої школи надають сучасні цифрові лабораторії Vernier, які, окрім якісної оптико-механічної системи, мають аналогово-цифрові датчики світла, що сумісні з цифровими пристроями для збору, обробки і передачі даних LabQuest2 та LabStream.

**Мета роботи:** здійснити аналіз сучасних навчальних програм і методики вивчення оптики у старших класах; розробити деякі лабораторні роботи та демонстраційні експерименти з оптики із використанням цифрової лабораторії Vernier.

**Завдання роботи:**

1. Проаналізувати навчальну програму і методичну літературу щодо вивчення розділу «Оптика» у старшій школі.
2. Ознайомитися з новими цифровими лабораторіями фізики.
3. Розробити демонстраційні експерименти та лабораторні роботи з геометричної та хвильової оптики в цифровій лабораторії Vernier.

**Об'єкт дослідження:** методика вивчення оптики у шкільному курсі фізики старших класів.

**Предмет дослідження:** експериментальні дослідження з оптики в цифровій лабораторії Vernier.

**Методи дослідження:** теоретичні (аналіз літератури, вивчення нового обладнання); емпіричні (проведення фізичного експерименту).

**Структура роботи:** вступ, три розділи, висновки до кожного розділу, загальний висновок, список використаних джерел, котрий нараховує 30 позицій. Повний обсяг роботи 63 сторінки.

Результати роботи частково опубліковані: Збірник наукових праць міжнародної науково-практичної конференції «Сучасна освіта і наука: проблеми, перспективи, інновації» [14]; Наукові записки Малої академії наук України [19]; Збірник наукових праць міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні тренди в освіті та науці: від теорії до практики» [30].

## РОЗДІЛ 1. ВИВЧЕННЯ РОЗДІЛУ «ОПТИКА» У СТАРШИХ КЛАСАХ ЗАГАЛЬНООСВІТНЬОЇ ШКОЛИ

### 1.1. Аналіз навчальної програми та підручників з фізики

Зазвичай навчання у старших класах є профільним. За таких умов структурування змісту фізичної освіти та диференціація вимог до його засвоєння реалізуються у навчальних програмах різних рівнів.

Програми рівнів «стандарт» та «профільний» відрізняються між собою обсягом викладеного матеріалу, глибиною вивчення теоретичного матеріалу, кількістю навчальних занять, які присвячені розв'язанню задач та виконанню експериментальних робіт (лабораторних, демонстраційних та інших робіт дослідницького характеру).

Вивчення фізики за стандартною програмою дозволяє учням ознайомитися з предметом на такому рівні, щоб в учнів сформувалась сучасна наукова картина світу, мали науковий світогляд та вони могли б скласти іспит у формі зовнішнього незалежного оцінювання на достатньому рівні, для продовження навчання у обраному вищому навчальному закладі.

Авторським колективом під керівництвом проф. Локтева В.М. розроблена навчальна програма фізики, де у пояснювальній записці зазначено й відмінність профільного навчання. Основними перевагами є те, що теоретичний матеріал кожної теми вивчається більш глибоко і побудований він таким чином, що вивчене учнями раніше, у середній школі, повторюється й розширюється, тобто учні поглиблюють свої фізичні знання. Такий підхід до навчання забезпечується за допомогою використання міжпредметних зв'язків. Наприклад: математичні знання дозволяють учням більш змістовно аналізувати експериментальні роботи за рахунок використання та застосування більш складного математичного апарату. Це стосується не тільки лабораторного дослідження, але й розв'язання фізичних задач підвищеної складності [22].

Також можна зазначити основні завданнями викладання курсу фізики старшої школи є:

- Формування в учнів системи фізичного знання на основі сучасних фізичних теорій (наукові факти, поняття, закони, принципи, теоретичні моделі) і розвиток у них здібності застосовувати набуті знання в пізнавальній практиці;
- Формування в учнів загальних алгоритмів розв'язування фізичних задач різними методами;
- Розвиток в учнів узагальненого експериментального вміння вести природничо-наукові дослідження методами фізичного пізнання (планування експерименту, вибір методу дослідження, вимірювання, обробка та інтерпретація одержаних результатів);
- Формування наукового світогляду учнів, розкриття ролі фізичного знання в житті людини і суспільному розвитку.

На сьогодні чинними є дві програми з фізики та астрономії для старших класів, затверджені Міністерством освіти і науки України наказом № 1539 від 24.11.2017 року:

- 1) «ФІЗИКА і АСТРОНОМІЯ» Навчальні програми для 10-11 класів закладів загальної середньої освіти (рівень стандарту, профільний рівень). Авторський колектив під керівництвом Ляшенка О. І. [21].
- 2) «ФІЗИКА» Навчальні програми для загальноосвітніх навчальних закладів 10-11 класів (рівень стандарту, профільний рівень). Авторський колектив під керівництвом Локтева В.М. [22].

Згідно з програмою на кожному рівні (стандарт та профільний) відводиться різна кількість годин з фізики (стандарт – 3 год/тиждень та профільний – 6 год/тиждень), тому різниця в кількості годин стосується і вивчення окремих тем.

Тема «Оптика» на рівні стандарту входить до розділу: «Оптика» на вивчення якого відводиться 27 годин. Що стосується профільного рівня то вона входить до розділу «Коливання та хвилі» або просто «Оптика» на

вивчення якого відводиться 45 годин, її розділяють на три підтеми: геометрична, хвильова та квантова оптика.

У навчальній програмі Локтева В.М. також зазначається, що під час навчання учні ознайомляться з основними поняттями з геометричної оптики: світловий промінь, закони відбивання та заломлення, показник заломлення, повне відбивання, рефракція, принцип Ферма, зображення, лінзи, аберації; та хвильової й квантової оптики: когерентність, інтерференція та дифракція світла, принцип Гюйгенса — Френеля, дифракційні ґратки, дифракційний спектр, голографія, спектроскоп, роздільна здатність, поляризація світла, квант, фотон, стала Планка, фотоефект, закони фотоефекту, рівняння Ейнштейна для фотоефекту, тиск світла, рентгенівське випромінювання, шкала електромагнітних хвиль, корпускулярно-хвильовий дуалізм світла.

На практиці зможуть вдосконалювати вміння розв'язувати задачі на застосування законів геометричної та хвильової оптики. А саме: робити розрахунки оптичним системам, показувати зв'язок між довжиною світлової хвилі та її частотою, використовувати умови максимумів і мінімумів при інтерференції, кільця Ньютона, застосовувати на практиці формули для обчислення сталих дифракційної ґратки, знаходити енергію та імпульс фотона та використовувати рівняння Ейнштейна при фотоефекті, знаходження довжини хвилі застосовуючи ефект Комптона.

Також програмою передбачено виконання лабораторних робіт та користування оптичними приладами (лупа, мікроскоп, телескоп). На засвоєння знань учні виконують демонстраційні роботи та власні проекти [22].

Початкові знання з оптики учні отримують ще в 9 класі в розділі «Світлові явища», на який відводиться 15 годин. Вивчаються лише поняття геометричної оптики: світлового променя, точкового джерела світла, тонкої лінзи. Формулюють визначення фізичної величини (фокусна відстань, оптична сила лінзи, показник заломлення світла); закони прямолінійного поширення, відбивання й заломлення світла; принцип дії найпростіших

оптичних приладів; вади зору, способи їхньої корекції, методи профілактики захворювань органів зору; одиниці оптичної сили та фокусної відстані лінзи, спектральний склад білого світла, причини різнобарв'я. На практиці учні удосконалюють вміння застосування законів прямолінійного поширення, відбивання й заломлення світла, формулу тонкої лінзи під час розв'язування задач різних типів і під час виконання лабораторних робіт; хід променів під час побудови зображень, отриманих за допомогою плоского дзеркала і тонкої лінзи. На засвоєння знань учні також можуть виконувати власні проєкти [20].

Далі у таблиці 1.1 наведено для порівняння перелік тем з розділу «Оптика» для рівня стандарту та профільного рівня [22].

*Таблиця 1.1*

*Перелік тем з розділу «Оптика»  
для рівня стандарту та профільного рівня*

<i>Рівень стандарту</i>	<i>Профільний рівень</i>
Розвиток уявлень про природу світла. Електромагнітна теорія світла.	Розвиток уявлень про природу світла. Поширення світла в різних середовищах. (Джерела і приймачі світла.) Поглинання і розсіювання світла.
Відбивання світла. Закони відбивання світла	Геометрична оптика. Відбивання світла. Принцип Ферма.
Заломлення світла. Закони заломлення світла	Плоске і сферичне дзеркала. Одержання зображень за допомогою дзеркал. Застосування дзеркал.
Повне відбивання світла	Заломлення світла. Закони заломлення світла. Показник заломлення. Повне відбивання світла. (Волоконна оптика.)
Лінзи. Побудова зображень у лінзах	Лінзи. Побудова зображень, одержаних за допомогою лінз.
Формула тонкої лінзи	Кут зору. Оптичні системи. Оптичні прилади та їх застосування. Аберації.
Оптичні системи. Кут зору	Елементи фотометрії.
Дисперсія світла. Спектроскоп	Світло як електромагнітна хвиля. Когерентність світлових хвиль. Інтерференція світла. Способи спостереження інтерференції світла. Інтерферометр А.Майкельсона.
Інтерференція світла	Інтерференційні картини в тонких пластинках і плівках. Кільця І.Ньютона.
Дифракція світла	Голографія та умови її спостереження. (Голографічний метод Г.М.Денисюка.)
Формула Планка. Світлові кванти	Дифракція світла. Зони Френеля. Принцип Гюйгенса-Френеля. Дифракційні картини від щілини, тонкої нитки. Дифракційна ґратка. Дифракційний спектр. Роздільна здатність оптичних приладів.
Фотоефект. Закони	Дисперсія світла. Проходження світла крізь призму.



фотоефекту	Неперервний спектр світла.
Шкала електромагнітних хвиль	Спектроскоп. Поляризація світла. Природне і поляризоване світло. Методи отримання поляризованого світла. Поляризація внаслідок відбиття і заломлення світла. Кут Д.Брюстера
	Квантові властивості світла. Гіпотеза М.Планка. Світлові кванти. Стала Планка Маса, енергія та імпульс фотона. Тиск світла. Дослід Лебедева. Ефект А.Комптона. (Дослід В.Боте.)
	Фотоефект. Досліди О.Г.Столетова. Закони зовнішнього фотоефекту. Рівняння фотоефекту. Внутрішній фотоефект. Фоторезистор і фотоелементи. Застосування фотоефекту. Люмінесценція. (Фотохімічна дія світла.)
	Спонтанне і вимушене випромінювання. Квантові генератори та їх застосування. Принцип дії квантових генераторів. Лазери і мазери.
	Корпускулярно-хвильовий дуалізм світла. Гіпотеза де Бройля. Хвильові властивості частинок. Поняття про квантову механіку.

Обсяг навчального матеріалу на профільному рівні значно ширший та більш глибокий змістовно.

Рекомендовані Міністерством освіти і науки навчальні підручники для рівня стандарту авторів Бар'яхтар В.Г., Довгий С.О., Божинова Ф.Я., Кірюхіна О.О.[1], Головка М.В. [9], Засекіна Т.М., Засекін Д.О. [12] , а для профільного рівня рекомендують підручники авторів Засекіна Т.М., Засекін Д.О. [13] та Гельфгат І.М. [8].

Із запропонованих підручників для рівня стандарту тільки у підручнику Бар'яхтар В.Г. та ін. в повному обсязі присутні всі теми, які відповідають змісту програми й детально викладені, а для профільного рівня заслуговує повагу підручник авторів Засекіна Т.М., Засекін Д.О.

Також на закріплення практичних умінь і навичок учнів пропонується збірник задач для академічного та профільного рівня від авторів Божинова Ф.Я., Карпучіна О.О., Сарій Т.А. [2]. В цьому збірнику пропонується окрема тема «Світло як електромагнітна хвиля. Інтерференція світла. Дифракція світла. Дисперсія світла». На початку теми приводяться приклади розв'язання складних задач, а самі завдання розділені на три рівні складності (присутні якісні й розрахункові задачі).

У сучасному світі у розвитку цікавості учня до предмета не можна покладатися тільки на зміст матеріалу, котрий вивчають по підручнику. Тому учнів якомога більше треба залучати до активної діяльності, тобто їм треба запропонувати проєкт.

При виконанні проєктів відбувається закріплення знань з теми, формується цікавість до дослідницької діяльності та розкривається індивідуальність кожної дитини.

## **1.2. Рекомендовані демонстраційні та лабораторні експерименти з оптики у старшій школі**

Навчальні експерименти у школі є основою вивчення фізики. Можна сказати, що за допомогою них в учнів формується уявлення про фізичні явища. Навчальні експерименти реалізуються у формі демонстраційного й фронтального експерименту, робіт лабораторного практикуму, домашніх дослідів і спостережень.

У навчальній програмі з фізики наведений орієнтовний перелік робіт, що можуть реалізуватися у формі демонстрацій, практикуму або окремих фронтальних робіт.

У таблиці 1.2 наведено перелік демонстраційних робіт з оптики за програмою Локтєва В.М. для стандартного та профільного рівнів [22]:

*Таблиця 1.2*

*Перелік демонстраційних робіт з розділу «Оптика»  
для рівня стандарту та профільного рівня за програмою Локтєва В.М.*

<i>Рівень стандарту</i>	<i>Профільний рівень</i>
Відбивання та заломлення світла.	Відбивання та заломлення світла.
Повне відбивання світла.	Повне відбивання світла
Світловоди.	Світловоди.
Отримання зображень за допомогою лінзи.	Отримання зображень за допомогою лінзи.
Інтерференція світла.	Інтерференція світла.
Дифракція світла на перешкодах різної форми та різних розмірів.	Кільця Ньютона.
Дисперсія світла, отримання неперервного спектру.	Дифракція світла на перешкодах різної форми та різних розмірів.
Фотоелектричний ефект.	Дисперсія світла, отримання неперервного

	спектру.
	Поляризація світла.
	Фотоелектричний ефект.

У таблиці 1.3 наведено перелік демонстраційних робіт з оптики за програмою Ляшенка О.І. для стандартного та профільного рівнів учням пропонуються такі демонстраційні роботи з оптики [21]:

Таблиця 1.3

*Перелік демонстраційних робіт з розділу «Оптика» для рівня стандарту та профільного рівня за програмою Ляшенка О.І.*

<i>Рівень стандарту</i>	<i>Профільний рівень</i>
Світловод.	Світловод.
Одержання інтерференційних смуг.	Одержання інтерференційних смуг.
Дифракція світла від вузької щілини та дифракційної ґратки.	Дифракція світла від вузької щілини та дифракційної ґратки.
Дисперсія світла під час його проходження крізь тригранну призму.	Дисперсія світла під час його проходження крізь тригранну призму.
	Повне внутрішнє відбивання світла.
	Поляризація світла.
	Оптична схема телескопа-рефрактора.
	Оптична схема телескопа-рефлектора.
	Фотографії телескопів для вивчення випромінювання в різних діапазонах.

Якщо порівняти обидві програми, зазначені вище, то можна побачити, що учням, котрі навчаються за програмою Локтева В.М. запропоновано більше демонстраційних робіт. Але, дивлячись на календарно-тематичне планування вчителя фізики, ми можемо зауважити, що кількість годин лабораторного практикуму за програмою Локтева В.М. зменшилась.

Для рівня *стандарту* запропоновані лише три лабораторні роботи:

1. Дослідження заломлення світла
2. Вимірювання оптичної сили лінзи та системи лінз
3. Вимірювання довжини світлової хвилі

Так, у підручнику авторів Бар'яхтар В.Г. та ін. запропонована докладна інструкція виконання експериментальної роботи. Зазначено тему, мету та

обладнання. Детально розписані всі кроки роботи, вказані формули для розрахунків всіх величин, надані ілюстрації установки та результату. Також для здібних учнів пропонується творче завдання.

Для *профільного* ж рівня також запропоновано три лабораторні роботи:

1. *Спостереження інтерференції світла.*
2. *Спостереження дифракції світла.*
3. *Визначення довжини світлової хвилі.*

У підручниках цього рівня автора Засекіна Т.М. також є вказівки до лабораторної роботи про визначення довжини світлової хвилі, але вона без ілюстрацій. Тому більшість вчителів фізики використовують зошити для лабораторних робіт і фізичного практикуму. Також є два види зошитів.

Перший зошит відповідає вимогам навчальної програми «Фізика» авторського колективу під керівництвом В. М. Локтева і призначений для організації навчання в 11 класі на рівні стандарту. Зошит є складовою навчально-методичного комплексу «Фізика. 11 клас», створеного на базі підручника за редакцією В. Г. Бар'яхтар, С. О. Довгого. Зошит містить описи 9 експериментальних робіт, з них три роботи присвячена темі оптики: визначення показника заломлення скла відносно повітря; вимірювання оптичної сили лінзи та системи лінз; вимірювання довжини світлової хвилі. До посібника додається зошит з підготовки до експериментальних робіт, у якому подано завдання для проведення підготовчого етапу роботи [18].

Другий зошит для лабораторних робіт і фізичного практикуму для учнів академічного рівня. Авторами є також Кірюхіна О.О., Божинова Ф.Я. та Каплун О.О. В даному зошиті присутні одна лабораторна робота на спостереження інтерференції та дифракції світла та чотири фізичні практикуми: дослідження відбивання світла; визначення показника заломлення скла відносно повітря; визначення фокусної відстані та оптичної сили збиральної лінзи; визначення довжини світлової хвилі [17].

Також у календарно-тематичному плануванні для учнів 11 класу стандартного рівня, за навчальною програмою авторського колективу під

керівництвом Локтева В. М. [16], надається перелік тем, котрі учні зможуть вибрати для себе для підготовки проєктів, рефератів та експериментальних досліджень.

### ***Теми проєктів***

1. Майстер-клас для молодших школярів «Оптичні явища в природі».
2. Оптичний телеграф Клода Шаппа.
3. Застосування інтерференції в техніці.
4. Практичне застосування дифракції.
5. Фотовиставка «Інтерференція і дифракція навколо нас».
6. 10 дослідів з оптики для вебінару «Ненудна наука».

### ***Теми рефератів і повідомлень***

1. Недоліки оптичної системи ока.
2. Механізми сприйняття кольорів.
3. Механізми захисту фоторецепторів і явище адаптації.
4. Дифракційні методи дослідження структури речовини.
5. Оптоволоконні лінії зв'язку. Приклади функціонування оптоволоконних мереж.
6. Навігатор: принцип роботи й основні функції.
7. 10 цікавих фактів про оптичні явища.
8. Жінки в науці.

### ***Теми експериментальних досліджень***

1. Визначення роздільної здатності людського ока.
2. Експериментальна перевірка законів відбивання світла за допомогою підручних засобів.
3. Визначення оптичної сили лінзи в окулярах.
4. Вплив світлофільтрів на дифракційну картину.

## **Висновки до Розділу 1**

Аналіз програми для 10-11 класу базового та профільного рівня показав, що вивчення розділу «Оптика» дозволяє учням здобути знання про

світло та його фізичну природу; ознайомитися з основами геометричної, хвильової та квантової оптики; навчитися проводити основні експерименти: відбивання та заломлення світла, інтерференція й дифракція світлових хвиль, поляризація й дисперсія світла. Більшість експериментів мають демонстраційний характер.

Орієнтовний перелік демонстраційних та лабораторних робіт представлено в навчальних програмах. Час, відведений на лабораторні роботи, не дозволяє проводити всі досліди у школі. Проте частину експериментів можна проводити вдома з використанням смартфона та інструментальних додатків, доступних в Play Market, а також спостерігати оптичні явища в атмосфері та пояснювати їхню суть. За нестачі часу для лабораторних досліджень з оптики доречно зробити наголос на домашніх дослідах і навчальних проєктах. Зокрема, можна запропонувати такі теми проєктів:

1. Майстер-клас для молодших школярів «Оптичні явища в природі».
2. Застосування інтерференції в техніці.
3. Практичне застосування дифракції.
4. Фотовиставка «Інтерференція і дифракція навколо нас».
5. 10 дослідів з оптики для вебінару «Ненудна наука».
6. Дифракційні методи дослідження структури речовини.
7. Вплив світлофільтрів на дифракційну картину.

Залучення нового сучасного цифрового обладнання для експериментальних досліджень дозволить інтенсифікувати ці дослідження за рахунок сучасних цифрових засобів обробки та візуалізації експериментальних даних; наблизити навчальний процес з фізики до рівня сучасних методів і технологій; сприятиме впровадженню STEM-освіти та міжпредметних зв'язків; сприятиме мотивації учнів до навчання.

## РОЗДІЛ 2. ЦИФРОВІ ЛАБОРАТОРІЇ ФІЗИКИ

У шкільній програмі з фізики закладена значна кількість лабораторних робіт, демонстрацій та фізичних практикумів, які у силу різних причин доводиться реалізовувати за допомогою цифрових та комп'ютерних технологій. Адже на сьогодні в шкільних фізичних кабінетах не завжди можна проводити лабораторні роботи або фронтальні експерименти, через відсутність обладнання [6]. Тобто неможливо продемонструвати більшість фізичних явищ. Одним із можливих шляхів вирішення цієї проблеми є впровадження в освітній процес віртуальних лабораторних робіт, симуляцій з фізики, а також використання сучасних цифрових лабораторій [7]. Зазвичай до їхнього складу входять: універсальні платформи, рекомендації до лабораторних робіт, набори обладнання, інтеграція віртуальних і реальних лабораторних робіт [3]. Таким чином, використання сучасних технологій може стати доречною альтернативою реальному експерименту за неможливості його проведення [11]. Але повністю замінювати реальний фізичний експеримент на віртуальний не варто. Адже якість знань і практична підготовка учнів з фізики перебувають у прямій залежності від якості шкільного фізичного експерименту.

### 2.1. Лабораторне обладнання з фізики Vernier

Цифрова лабораторія Vernier найчастіше використовується в закладах вищої освіти всіх рівнів акредитації. Але може застосовуватися й у шкільному курсі фізики під назвою цифрова лабораторія «Фізика». Адже, комплект цифрових датчиків, котрі входять в дану лабораторію, являють собою набір найнеобхідніших вимірювальних приладів для проведення дослідів з фізики на сучасному рівні, формуючи відповідні дослідницькі компетентності з фізики.

Фізична лабораторія Vernier дозволяє провести достатню кількість демонстраційних і лабораторних експериментів з геометричної і хвильової

оптики з використанням датчиків освітленості, кольору, ультрафіолету, датчика переміщення, датчика обертового руху, комплекта джерел світла, лінз і дзеркал, дифракційного апарата ДАК, комплекта Поляризатор/Аналізатор РАК-ОЕК [30].

Для збору даних датчики підключаються до інтерфейсу LabQuest2. Основою LabQuest2 є програма по збору та аналізу даних LabQuest App. При активації LabQuest2 вона запускається автоматично. Програма обробляє дані від датчиків світла, руху, електричні, магнітні, дозиметричні дані. Для вимірювань на ДАК тут є можливість обрати частоту і кількість вимірювань інтенсивності світла та час переміщення сенсора світла. Дані експерименту відображаються на інтерфейсі у вигляді графіків та таблиць.

Експериментальні дані можна отримати також на комп'ютері. Для збору даних на комп'ютері за допомогою LabQuest2 потрібно підключити датчик до LabQuest2 (рис. 2.1), відкрити програму по збору даних на своєму комп'ютері, натиснути «Зібрати» (Collect)[14].

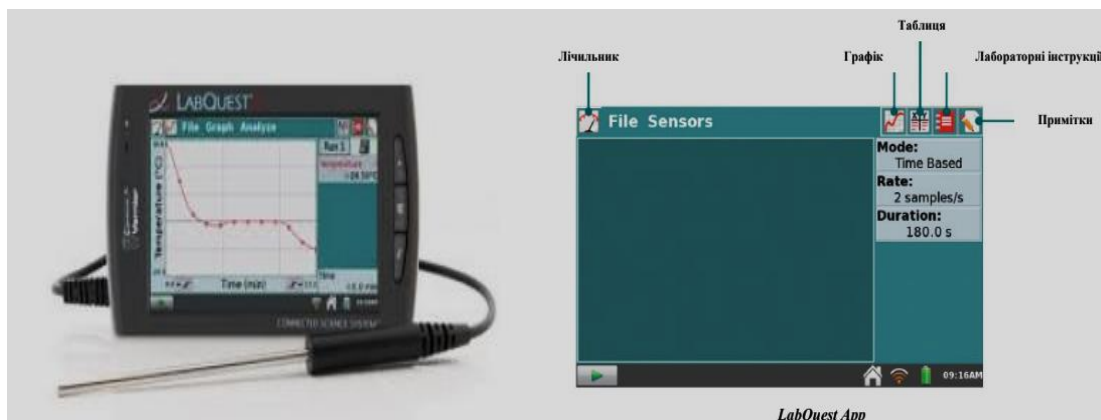


Рис. 2.1. Зображення пристрою LabQuest 2 від компанії Vernier та його екрану.

Необхідним аксесуаром є динамічна доріжка Vernier Dynamics. В свою чергу датчики Linear Position та High Sensitivity Light Sensor оснащені аналоговим та цифровим виходами. Вони підключаються до таких інтерфейсів, як: LabQuest2, LabQuest, LabQuest Mini або LabPro. Результати можуть бути записані в програмі LoggerPro1. Якщо ми використовуємо



LabQuest2, дифракційна модель може бути записана безпосередньо на самому інтерфейсі [26].

LabQuest2 також має кілька вбудованих датчиків, включаючи мікрофон, трьохвісний акселерометр, датчик температур та датчик відносного світла.

Якщо застосувати *Режим: Повний спектр*, то LabQuest2 уводить режим (*Full Spectrum*). У цьому режимі Інтенсивність, Поглинання, Флуоресценція можна вимірювати % пропускання як функцію довжини хвилі.

LabQuest App має п'ять різних екранів. Клікнувши на бажаній закладці, щоб показати відповідний екран ми можемо побачити: екран «Лічильник» – встановити датчики, налаштувати параметри для збору даних та відобразити датчик для наших підключених датчиків; екран «Графік» – перегляд графіку наших даних та проведення аналізів, включаючи форми кривих; екран «Таблиця» – перегляд табличної презентації наших даних, створення розрахункових стовпців та ручне введення даних; екран «Лабораторні інструкції» – доступ до одного з більше 100 попередньо завантажених експериментів для баз електронних інструкцій; екран «Примітки» – запис спостережень про експеримент.

Програма по збору та аналізу даних, LabQuest App, є основою LabQuest2. Коли ми активуємо LabQuest2, вона запускається автоматично.

У деяких випадках нам може знадобитись експортування файлу LabQuest App у текстовий формат (.txt) для подальшого аналізу у програмі, окрім Logger Pro. Якщо у є доступ до безпроводної системи в Інтернеті, можна надіслати електронною поштою файл з даними, графік, текстовий файл або скріншот.

Як працює Data Sharing (Спільне використання даних)

1. В лабораторних групах проводять експеримент з датчиками Vernier і LabQuest 2.

2. Учні використовують додаток Data Sharing для безпроводного підключення до LabQuest 2 з використанням Wi-Fi.
3. Експериментальні дані передаються з LabQuest2 до додатку Data Sharing кожного учня.
4. Кожен учасник лабораторної групи проводить індивідуальний аналіз на своєму додатку Data Sharing.
5. Учні збирають свої дані та аналіз додому на додатку Data Sharing для подальшого аналізу та складання лабораторних звітів.

Для демонстрації законів геометричної оптики використовують цифровий комплект оптичних приладів Vernier ОЕК.

При виконанні експериментів з геометричної оптики також використовується обладнання з наборів Vernier Dynamics System (код VDS) (оптична лава Vernier Track 1,2 м з міліметровою шкалою) та Optics Expansion Kit (ОЕК) (джерело світла, двоопукла лінза (10 см), двоопукла лінза (20 см), двоввігнута лінза (15 см), діафрагми, регульоване сферичне дзеркало, екран, напів екран).

Тримачі лінзи мають постійно встановлені лінзи. Матовий екран має міліметрову шкалу, встановлюється на оптичну лаву. Джерело світла використовує єдину білу LED. Поворотний диск дозволяє вибрати предмет для дослідження (буква L, цифра 4, подвійна щілина, круглий отвір). Відкритий отвір забезпечує роботу LED як точкового джерела. Цифра «4» використовується для вивчення формування зображення і вибирається, оскільки вона не є симетричною зліва направо або зверху вниз. L-форма має розмір 1 на 2 см. Подвійну щілину використовують для експериментів з глибиною різкості. Джерело світла встановлюється на початку лави і закріплюється гвинтом. Диск з діафрагмами дозволяє варіювати ефективний діаметр та форму лінзи. Таким чином можна виконувати експерименти, пов'язані з f-числом та яскравістю зображення. Отвір D-форми (пів коло) дозволяє виконувати демонстрацію половинчастої лінзи.

Датчик освітлення і кольору Go Direct вимірює інтенсивність світла у видимій та ультрафіолетовій частині спектру. Датчик RGB-кольору визначає відносні впливи складових R, G, B на колір світлового променя [10]. Датчик освітлення і кольору Go Direct може бути підключений: 1) до пристрою збору даних LabQuest2; 2) до ПК через Bluetooth або USB провід, якщо на ПК встановлено програму Vernier Graphical Analysis; 3) до смартфона через Bluetooth, якщо встановлено програму Graphical Analysis.

Цифрова лабораторія Vernier надзвичайно цікава та легка в використанні. Тому на підтримку вчителів, студентів та учнів був розроблений сайт на якому кожна вікова категорія може знайти бажане. На сайті висвітлюються всі ідеї закладені в даній лабораторії, всі можливі лабораторні й дослідницькі роботи, не тільки з фізики, також пропонуються вебінари та тренінги [23].

## **2.2. Віртуальна фізична лабораторія Physics Education Technology (PhET)**

На сьогодні набувають популярності віртуальні лабораторії, адже більшість часу навчального процесу проходить у дистанційній формі. Тобто, учні матимуть можливість за інструкціями до лабораторних робіт, котрі надає їм вчитель, та при довільній формі навчання долучитися до фізичного експерименту. Отримати якісну оцінку за виконану роботу, аналіз отриманих результатів, сформульованого висновку та виконаних контрольних запитань, які підібрані за тематикою до усіх робіт. Частина експериментів у віртуальній лабораторії учні можуть виконати самостійно. Також у віртуальній фізичній лабораторії PhET додаються функції, що роблять симуляції більш доступними для учнів з різними потребами та в різних середовищах [4].

На рис. 2.2 показано загальний вигляд сайту віртуальних симуляцій PhET:

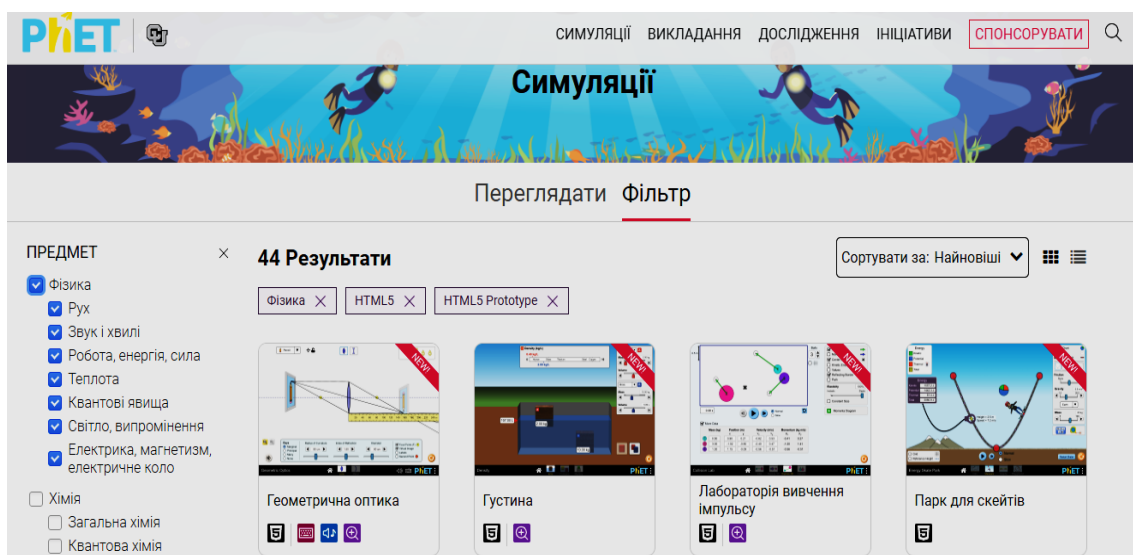


Рис. 2.2. Віртуальна фізична лабораторія PhET.

Учень чи вчитель повинен обрати розділ фізики, з яким буде працювати. Для зручності та зрозумілості користування цими симуляціями надаються додаткові інструкції та навчальні відео.

Приклад симуляції з геометричної оптики з використанням лінзи показано на рис. 2.3 :

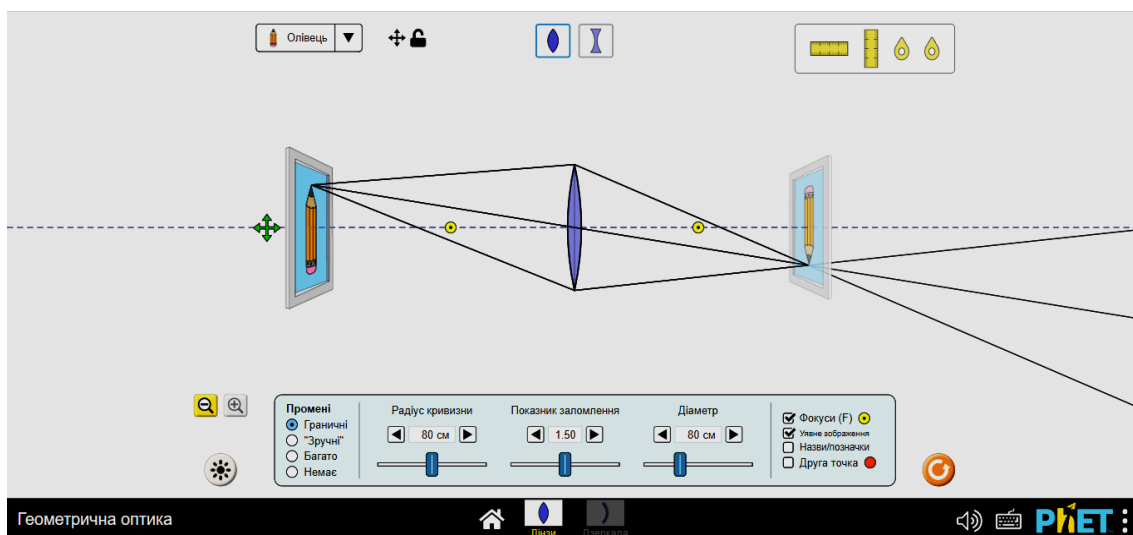


Рис. 2.3. Симуляція PhET з геометричної оптики.

Відповідно до рис. 2.3 ми можемо пояснити, як формується зображення променями, що збирає лінза і як йдуть промені далі. А також, якщо змінити лінзу (радіус, коефіцієнт і діаметр) та відстань до предмета, можемо

побачити положення зображення і як воно виглядає (збільшення, яскравість і поворот).

Розробки сучасних віртуальних лабораторних робіт в PhET можуть забезпечити інтерактивну візуалізацію, котра набуває все більшого значення як засіб для вивчення і розуміння складних процесів, так і створюють ілюзію роботи на реальному обладнанні. Таким чином, традиційна лабораторна робота завдяки використанню віртуального phet-симулятора набуває нового змісту, розширюються можливості традиційного фізичного експерименту [11].

### **2.3. Цифрова лабораторія Einstein**

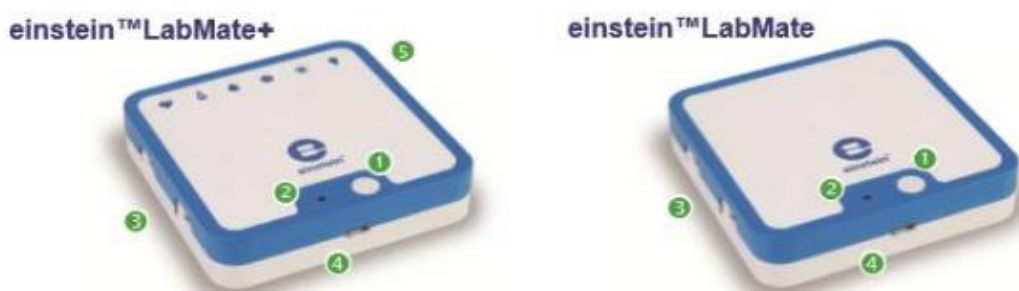
Цифрова лабораторія Einstein (Фізика) – це цифровий вимірювальний комплекс включає в себе реєстратор даних LabMate+ та шість вбудованими датчиками (вологості, освітленості, УФ-випромінювання, тиску, температури), які найчастіше використовуються в навчальній програмі. Дана лабораторія відрізняється своєю мобільністю, тому що дозволяє проводити дослідження не тільки у приміщенні, а й у польових умовах.

Комплекс дозволяє проводити велику кількість різноманітних шкільних дослідів, перетворюючи звичайний комп'ютер, планшет чи смартфон у повноцінну цифрову природничо-наукову лабораторію. Використовуючи USB або Bluetooth з'єднання, LabMate+ підключається до пристроїв на базі Windows [29]. Зовнішній вигляд даної лабораторії зображено на рис. 2.4:



*Рис. 2.4. Цифрова лабораторія Einstein з фізики для учня.*

Вся комплектація даної лабораторії вміщає в себе: реєстр по збору даних у вигляді планшету; декілька шнурів для підключення датчиків; вимірювальні датчики; відповідне програмне забезпечення для збору та обробки даних LabMate; методичні рекомендації до всієї установки та кожного датчика окремо. Покажемо деякі елементи управління і роз'єми на рис. 2.5, котрі використовуються при роботі та включають в себе: кнопку ввімкнення пристрою, індикатор статусу, зовнішні приєднувальні датчики, порт USB та шість вбудованих датчиків: ЧСС, Температура, Вологість, Тиск, УФ та Освітленість.

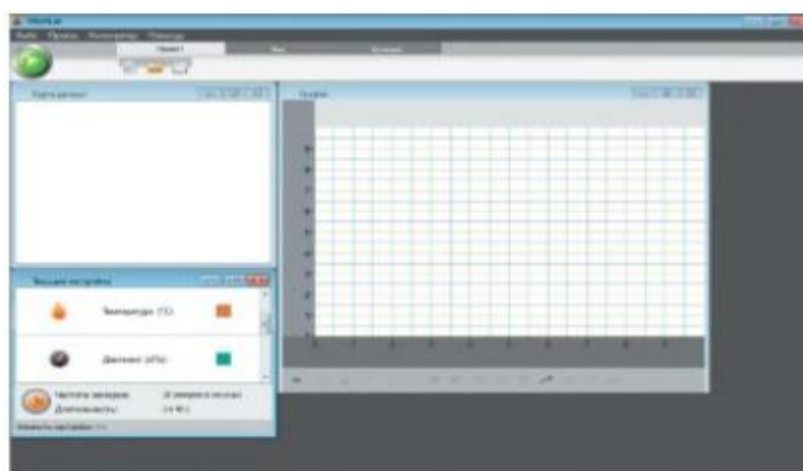


*Рис. 2.5. Елементи управління і роз'єми.*

Програмне забезпечення LabMate має досить простий, зручний у використанні та зрозумілий інтерфейс, який дозволяє учням збирати, обробляти та аналізувати отримані результати.

Основні можливості LabMate: всі одержані результати вимірювань відображаються у вигляді графіків та таблиць; для зручності є можливість переміщувати відкриті віконця, котрі відображаються; можемо відразу редагувати отримані дані; присутня удосконалена система пошуку, написання коментарів до дослідів; можна передавати свої вимірювання на мобільні пристрої Android (планшетні комп'ютери і смартфони) з будь-яким розміром екрану.

Головне вікно програми LabMate, котре показано на рис. 2.6, за замовчуванням має: список всіх проведених експериментальних і розрахункових даних експерименту, вікно поточних налаштувань, в якому наведені діючі параметри експерименту, і вікно графіку, для роботи з ним [27].



*Рис. 2.6. Головне вікно програми.*

Отже, цифрова лабораторія einstein дозволяє створити лабораторію, яка може відповідати навчальним завданням кожного вчителя на високому рівні, навіть, перебуваючи за межами школи.

#### **2.4. Цифрова лабораторія SenseDisc Physics**

Цифрова лабораторія SenseDisc Physics, яка зображена на рис. 2.7, являє собою нову концепцію портативної цифрової експериментальної системи з потужними функціями, яка підходить для навчання експериментам у середній та старшій школі. Він оснащений бездротовими та вишуканими

сенсорними модулями. Це створює просте та безпечне експериментальне середовище для учнів.



*Рис. 2.7. Цифрова лабораторія - SenseDisc Physics.*

До комплекту даної лабораторії входить [28]: набори датчиків, відповідні їм вимірювальні пристрої та методичні посібники; USB-кабелі для під'єднання пристрою до живлення та комп'ютера; програмне забезпечення SenseDisc iLab.

Вимірювальні датчики, котрі входять до приладу, мають свої особливості та застосування до вимірювань: датчики атмосферного тиску і температури (газові закони, температура кипіння); датчики напруги і сили струму (закон Ома, з'єднання провідників, ВАХ); датчик світла (освітленість, дифракція, поляризація); датчики звуку і руху.

Програмне забезпечення цифрової лабораторії виконує такі функції [25]: надає широкий спектр шаблонів для роботи; сам інтерфейс має багато скриньок; можливість налаштовувати та зберігати всі види проведених робіт; працювати з інтерфейсів в режимі «Мій експеримент» за комп'ютером; також перегляд журналу експериментів та відтворення звуку (рис. 2.8).



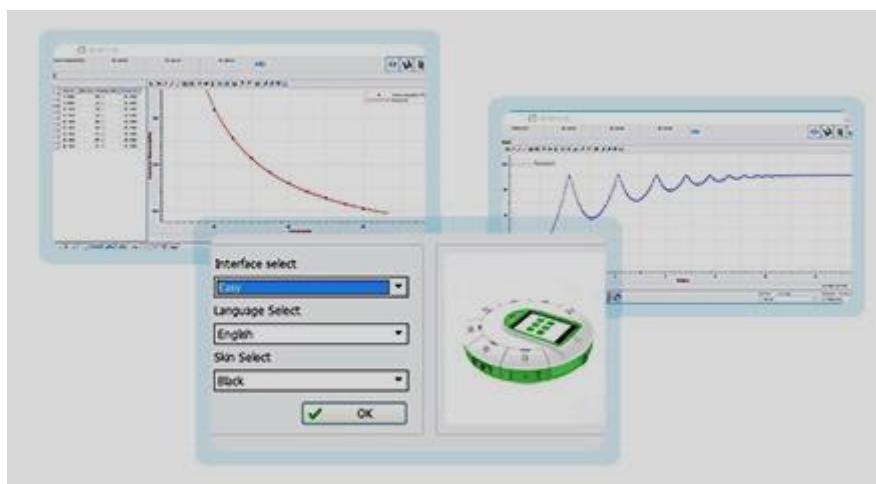


Рис. 2.8. Програма аналізу даних для Windows.

З впевненістю можна сказати, що цифрова лабораторія SenseDisc Physics підходить як для наукових досліджень, так і для проведення експериментів на уроках фізики.

## 2.5. Віртуальні симуляції та анімації HTML5

В інтернет просторі можна знати сайт під назвою «Фізика в школі» або HTML5, котрий містить різноманітні фізичні анімації та симуляції з усіх розділів фізики. Дані віртуальні експерименти відрізняються від інших своїм зовнішнім виглядом та підходом до проведення демонстрацій. Покажемо на рис. 2.9 головну сторінку та деякі властивості анімацій [5].

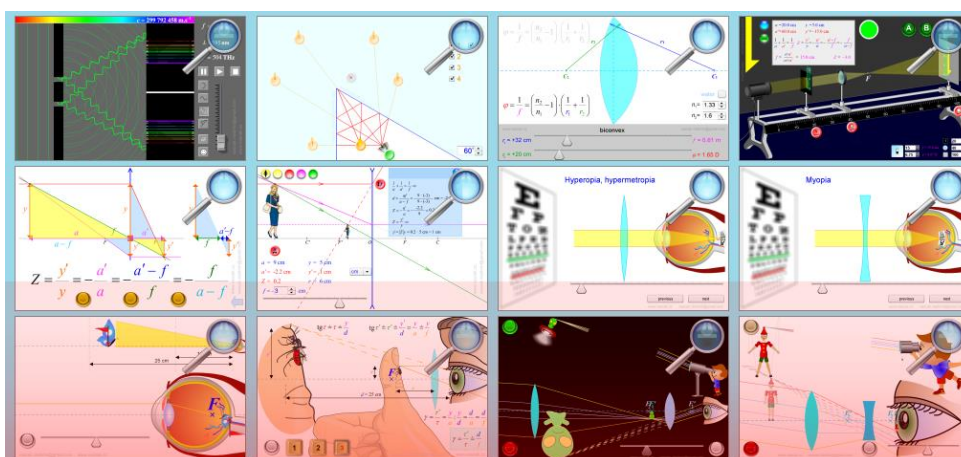


Рис. 2.9. Головна сторінка фізичних анімацій HTML5.

В умовах дистанційного навчання вчитель може легко проводити демонстрації відповідних фізичних явищ та законів. Для цього потрібно мати

доступ до відповідного сайту в інтернеті й виконувати певні дії: вибрати мову для зручності розуміння фізичних явищ; знайти потрібний дослід та проводити різноманітні експерименти. На рис. 2.10 показано приклади демонстраційних робіт з геометричної оптики. На основі даного рисунку можна зазначити, що учні самостійно змінюють параметри та положення об'єктів, а система за відповідними формулами самостійно проводить розрахунки.

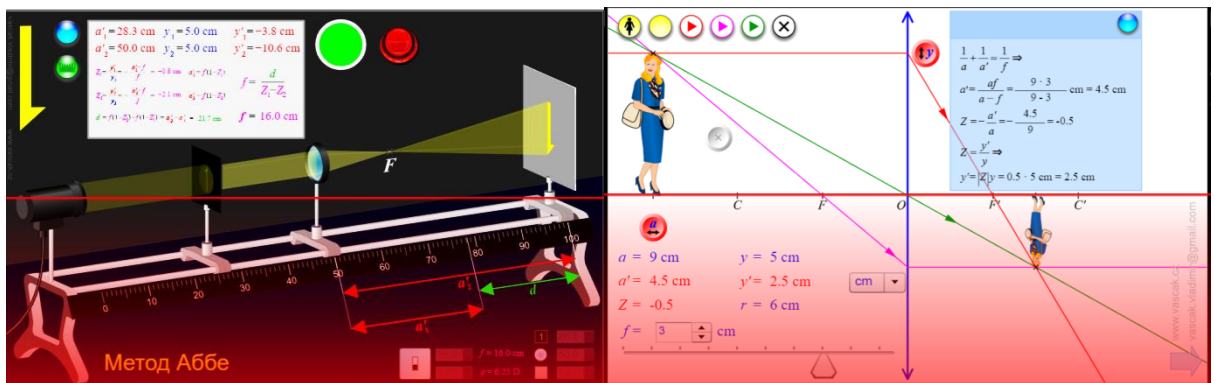


Рис. 2.10. Симуляція та анімація з оптики

При застосуванні даних віртуальних симуляцій учні відчуватимуть себе дослідниками, впливаючи на перебіг експерименту, мають можливість повторити основні формули з теми, котрі зазначаються в ході роботи, й не витрачаючи час на розрахунки отримати результат.

## Висновки до Розділу 2

Наявність широкого вибору цифрових та віртуальних лабораторій значно розширює можливості експерименту у шкільному курсі фізики і приходить на зміну традиційному обладнанню шкільного кабінету фізики.

Перевагою цифрової лабораторії Vernier є можливість провести реальний фізичний експеримент з реальними об'єктами досліджень на відміну від віртуальних лабораторій.

Вимірювальні комплекси Vernier працюють в системі з комп'ютеризованими датчиками. Широкий асортимент датчиків дозволяє проводити лабораторні дослідження з усіх розділів фізики на сучасному

рівні, формуючи відповідні дослідницькі компетентності з фізики. Даний комплекс при вивченні фізики у середній та старшій школі називають цифровим комплексом «Фізика».

Сучасні розробки віртуальних лабораторних робіт забезпечують інтерактивне моделювання, яке набуває все більшого значення як засіб для вивчення і розуміння складних процесів та створюють ілюзію роботи на реальному обладнанні. За поданими інструкціями до лабораторних робіт учень може при будь-якій формі навчання долучитися до фізичного експерименту, отримати оцінку за виконану роботу із врахуванням якості проробленої роботи, аналізу отриманих результатів, сформульованого висновку та виконання контрольних запитань, які підібрані за тематикою до усіх робіт.

Лабораторії забезпечують автоматизований збір та обробку даних, дозволяють відображати хід експерименту у вигляді графіків, таблиць, показань приладів. Цифрові лабораторії надають можливість:

- зменшити час, що витрачається на організацію та проведення фронтального і демонстраційного експерименту;
- підвищити ступінь наочності експерименту і візуалізації його результатів;
- розширити список експериментів;
- проводити вимірювання в польових умовах;
- модернізувати традиційні експерименти.

Реєстратор даних цифрової лабораторії Einstein дозволяє проводити дослідження як у польових, так і в лабораторних умовах, передбачає можливість під'єднання і повноцінного використання мультимедійних дисплеїв, комп'ютерів, смартфонів та відправляти отримані дані на електронну пошту.

Лабораторія SenseDisc Physics має достатньо широкий асортимент датчиків: температури, тиску, напруги, струму, ультрафіолету, кольору

світла, рівня освітленості, вологості, радіації, вмісту кисню й вуглекислого газу, датчик руху, рівня звуку, електропровідності різних розчинів.

Кожна цифрова лабораторія Vernier, Einstein, SenseDisc Physics, віртуальні фізичні лабораторії PhET та HTML5 комплектуються спеціалізованим програмним забезпеченням, інструкцією з експлуатації та посібником із використання на шкільних практичних роботах.

## **РОЗДІЛ 3. ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВОЇ ЛАБОРАТОРІЇ VERNIER ПРИ ВИВЧЕННІ ОПТИКИ В ШКІЛЬНОМУ КУРСІ ФІЗИКИ**

Методи опанування змісту шкільного курсу фізики різноманітні. Одним із провідних методів є експериментальний – це проведення демонстрацій, лабораторних робіт, фізичних практикумів. Лабораторне дослідження являється організаційним методом навчальної діяльності школярів, спрямованим на засвоєння досвіду самостійного вивчення фізичних явищ.

### **3.1. Лабораторні дослідження з оптики**

Цифрова лабораторія дозволяє виконати ряд досліджень з геометричної та хвильової оптики.

Геометрична оптика: дійсні зображення і рівняння тонкої лінзи; уявні зображення і телескоп; діафрагма та інтенсивність світла; діафрагма і глибина різкості; закон обернених квадратів; сферичне дзеркало.

Хвильова оптика: дифракція світла на щілині, дослід Юнга, ґратка, дифракція на отворах і екранах, поляризація.

Обладнання лабораторії дозволяє створювати оригінальні оптичні схеми для учнівських досліджень.

У даному розділі пропонуємо ряд лабораторних досліджень, робіт для фізичного практикуму та демонстраційних експериментів з геометричної та хвильової оптики з використанням цифрових вимірювальних комплексів лабораторії Vernier.

#### **3.1.1. Геометрична оптика**

##### ***Лабораторна робота “Визначення головної фокусної відстані лінзи”***

**Мета:** вивчити взаємозв'язок між відстанню до об'єкта, відстанню до зображення і фокусною відстанню в дійсних і уявних зображеннях, що створюються опуклими і ввігнутими лінзами.

**Прилади і матеріали:** аналогово-цифровий перетворювач LabQuest2, оптична лавка Vernier Track 1,2 м, джерело світла, двоопукла лінза (10 см), двоопукла лінза (20 см), двоввігнута лінза (15 см), екран.

### Теоретичні відомості

Лінза – це прозоре тіло, обмежене сферичними (або циліндричними) поверхнями. Вони призначені перетворювати світлові пучки і отримувати зображення предмета [15].

За своєю дією лінзи поділяються на 1) збиральні та 2) розсіювальні. За формою вони можуть бути опуклі, плоско-опуклі, опукло-вгнуті (1) та вгнуті, плоско-вгнуті, вгнуто-опуклі (2).

Формула лінзи пов'язує положення предмета ( $a$ ) і його зображення ( $b$ ) з фокусною відстанню лінзи  $f$ :

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} \quad (3.1)$$

Лінійне збільшення лінзи  $\Gamma$  – це відношення розміру зображення  $h'$  до розміру предмета  $h$ , воно визначається за формулою:

$$\Gamma = \frac{h'}{h} = \frac{b}{a} \quad (3.2)$$

Для обробки експериментальних даних за допомогою аналогово-цифрового перетворювача LabQuest2 скористаємося його шаблонами: відстань  $a$  позначатимемо  $d_o$ , а відстань  $b$  –  $d_i$  згідно шаблону LabQuest2.

#### Попередні завдання:

1. Встановіть екран на позначку 10 см на оптичній лаві. Потім помістіть двоопуклу лінзу 10 см праворуч від екрану, приблизно на 50 см.
2. Направте кінець оптичної лави у вікні на відкрите повітря, щоб отримати світло від віддалених об'єктів.
3. Відрегулюйте положення лінзи на лаві, поки не побачите чітке зображення на екрані.
4. Опишіть розмір, форму, колір і орієнтацію зображення.

5. Повторіть описані вище дії з двоопуклою лінзою 20 см. Чим відрізняються налаштування об'єктивів?

6. Проробіть той же експеримент з двоввігнутою лінзою 20 см. Чим цей об'єктив відрізняється від інших?

### Хід роботи

#### А) Знаходження фокусної відстані збиральної лінзи

1. Прикріпіть джерело світла до оптичної лави на позначці 10 см. Помістіть двоопуклу лінзу на лаві приблизно на позначці 50 см.

Увімкніть джерело до мережі. Встановіть екран на лаві і розташуйте його так, щоб світло від джерела проходило через лінзу і падало на екран (рис. 3.1). Повертайте диск джерела світла, поки в отворі не відобразиться цифра «4». Це буде ваш «об'єкт» для цього дослідження. Відрегулюйте положення об'єктива і екрану, поки не побачите чітке зображення на екрані.



Рис. 3.1. Установка експерименту.

2. Запишіть відстань між джерелом світла і об'єктивом як «Відстань до об'єкта», а відстань між об'єктивом і екраном як «Відстань до зображення» в таблицю 3.1. Відстані вимірюються за трикутним вказівником над лінійкою на тримачах оптичних елементів (рис. 3.1).

Таблиця 3.1

№ з/п	Відстань до об'єкта $d_o$ , см	Відстань до зображення $d_i$ , см
1		

4. Продовжуйте регулювати положення об'єктива і екрану, щоб знайти різні конфігурації, які забезпечують чітке зображення. Запишіть 5 пар значень для «Відстань до об'єкта» і «Відстань до зображення» в таблиці.

5. На інтерфейсі збору даних LabQuest2 в меню «Файл» виберіть «Створити» (рис. 3.3). В меню «Таблиця» виберіть заголовок таблиці X, щоб відкрити меню параметрів рядка. Введіть ім'я «d-o» для позначення відстані до об'єкта (це величина  $a$  у формулі (1)) і натисніть ОК. Виберіть заголовок таблиці Y, щоб відкрити меню параметрів стовпця. Введіть ім'я «d-i» для позначення відстані до зображення об'єкта (це величина  $b$  у формулі (1)) та натисніть ОК. Введіть дані з таблиці даних у строки на екрані (Клавіша Enter перенесе Вас у наступну комірку). Перейдіть у меню «Графік», щоб побачити ілюстрацію залежності відстані до зображення від відстані до об'єкта.

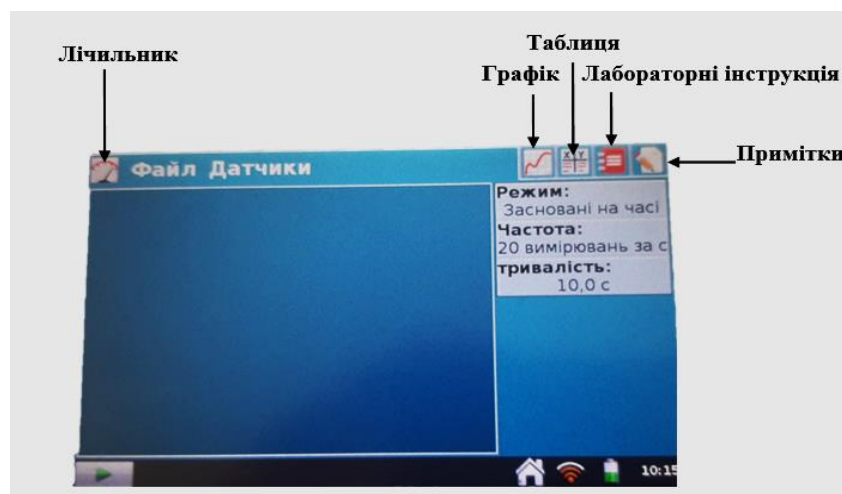


Рис. 3.3 Інтерфейс збору даних LabQuest2.

6. Використовуйте обчислювані стовпці, щоб побудувати графік інверсії відстані до об'єкта і відстані до зображення. У меню «Таблиця» виберіть «Створити обчислювальний стовпець». Введіть ім'я «1/d-o». У меню «Тип рівняння» виберіть  $A / X$ . Введіть «1/d-o» як Стовпець осі X та встановіть A на 1. Виберіть ОК. Повторіть ці кроки для стовпця Y ввівши ім'я «1/d-i».

7. Щоб виконати лінійну апроксимацію (1/d-i) як функцію (1/d-o), на графіку: меню «Аналіз» виберіть «Крива Fit» і виберіть залежну змінну



« $1/d-i$ ». Виберіть «Рівняння апроксимації»: Лінійна та натисніть ОК. На екрані справа з'явиться лінійне рівняння апроксимації  $y=mx+b$  та значення коефіцієнтів  $m$  і  $b$  (рис. 3.4).

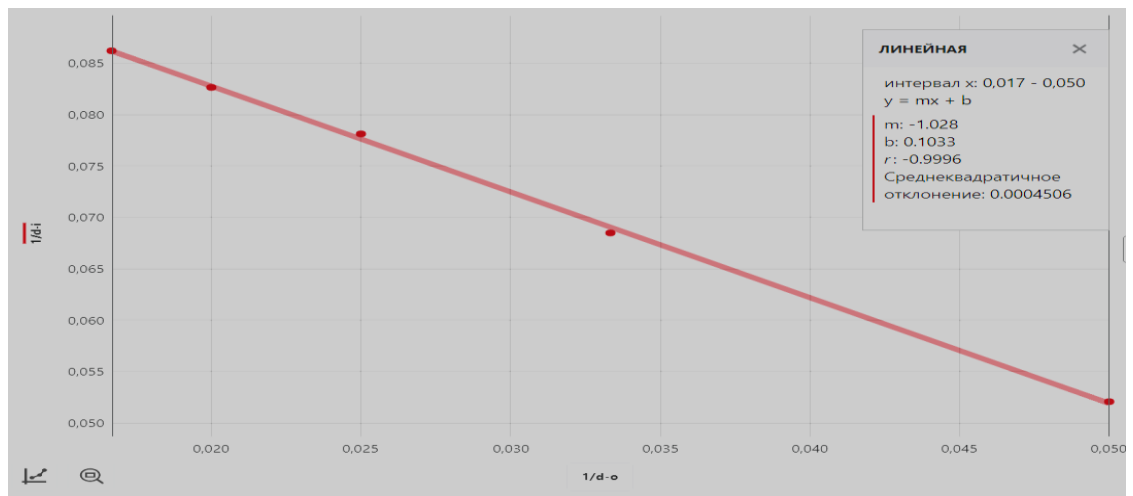


Рис. 3.4. Зв'язок обернених відстаней до об'єкта ( $1/d-o$ ) та зображення ( $1/d-i$ ).

8. За даними лінійної апроксимації залежності ( $1/d-i$ ) від ( $1/d-o$ ) знайдіть точку перетину графіка апроксимації з віссю Y (« $b$ » в рівнянні  $y=mx+b$ ). Який зміст має дане значення?

9. Користуючись отриманими даними, знайдіть величину фокусної відстані лінзи.

### В) Знаходження фокусної відстані розсіювальної лінзи

Оскільки *розсіювальна лінза* не дає дійсного зображення предмета на екрані, то для визначення її фокусної відстані треба скористатися уявним предметом (збіжним пучком променів), який отримано від збірної лінзи, розташованої після предмета. Хід променів у такій системі лінз показано на рис. 3.5. Фокусна відстань розсіювальної лінзи  $f < 0$ , лінза має уявний фокус.

Зображення  $S'$  предмета  $S$  від збірної лінзи видне на екрані  $E_1$ , коли розсіювальна лінза відсутня. Поставивши між збіркою лінзою і екраном  $E_1$  розсіювальну лінзу на деякій відстані  $a$  від екрана, можна отримати дійсне зображення  $S''$  при новому положенні екрана  $E_2$ , яке знаходиться на відстані  $b$  від розсіювальної лінзи.

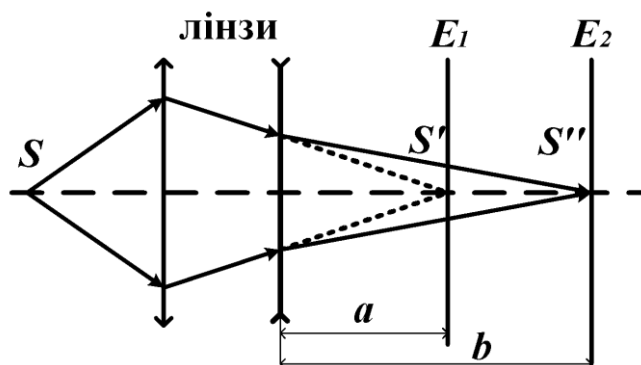


Рис. 3.5. Хід променів у системі двох лінз (збиральної та розсіювальної)

Вимірні значення  $a$  і  $b$  дозволяють знайти фокусну відстань розсіювальної лінзи аналогічно до пункту А).

Порядок роботи:

1. На оптичну лаву встановіть джерело світла на позначці 10 см та оберіть предмет у вигляді цифри 4.
2. Збиральну лінзу (10 см) розташуйте так, щоб на екрані утворилося зменшене зображення. Зафіксуйте положення екрана  $E_1$  (координату  $X_1$ ) і не змінюйте положення збиральної лінзи протягом дослідів.
3. Встановіть розсіювальну лінзу (РЛ) між збиральною і екраном та визначте відстань до об'єкта  $a = d_o = X_1 - X_{РЛ}$ .
4. Переміщуйте екран для отримання чіткого зображення  $S''$  згідно оптичної схеми рис.1 і зафіксуйте нове положення екрана (координата  $X_2$ ).
5. Визначте відстань від РЛ до зображення  $b = d_i = X_2 - X_{РЛ}$ .
6. Повторіть п.3, змінюючи положення РЛ між збиральною лінзою і  $X_1$ .
7. Виконайте не менше 5 різних вимірювань та запишіть їх до таблиці 3.2.
8. Для розрахунку фокусної відстані розсіювальної лінзи повторіть пункти 4 - 8 з частини А).

Таблиця 3.2

№ з/п	Відстань до об'єкта $d_o$ , см	Відстань до зображення $d_i$ , см
1		

**Додаткове завдання:** Визначте збільшення, яке дає збиральна лінза (п. А) та система двох лінз за формулою (3.3).

$$\Gamma = \frac{h_i}{h_o} = \frac{d_i}{d_o} \quad (3.3)$$

Для цього поверніть диск на джерелі світла, щоб замінити об'єкт «4» на літеру «L». L-образна форма на джерелі світла має висоту 2 см і ширину 1 см. Налаштуйте джерело світла, опуклу лінзу і екран для проектування збільшеного зображення. Яке значення збільшення? Чи відповідає співвідношення відстаней співвідношенню висот? (Для зручності ви можете використовувати ширину букви «L». Збільшення однакоє для всіх вимірювань).

Додайте в таблицю обчислювальний стовпець зі збільшенням для кожної конфігурації. За яких умов збільшення найбільше?

**Примітка:** зважаючи на великий обсяг роботи можна виконати у лабораторній роботі лише один пункт за вибором вчителя, або виконувати роботу в рамках фізичного практикума.

### 3.1.2. Хвильова оптика

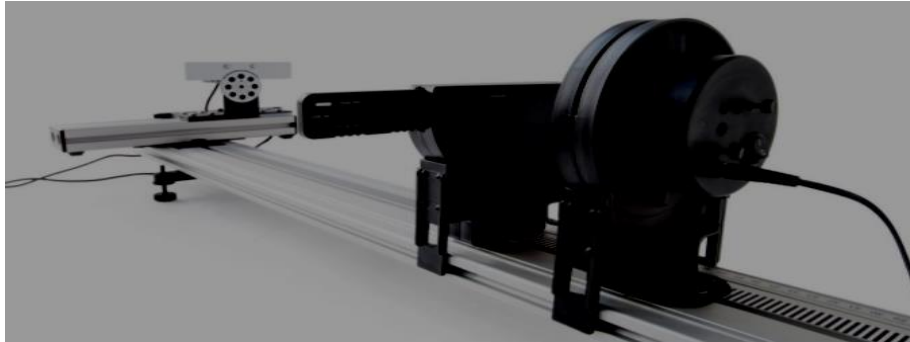
За навчальною програмою учням запропонували два лабораторних дослідження «Спостереження дифракції світла» та «Визначення довжини світлової хвилі».

Для вивчення хвильових властивостей світла лабораторія Vernier пропонує дифракційний апарат ДАК з набором дифракційних елементів та комплект Поляризатор/Аналізатор ПАК-ОЕК.

Дифракційний апарат включає в себе динамічну доріжку Vernier Dynamics з датчиком координати Linear Position, червоний і зелений лазери, набір дифракційних елементів для дослідження, датчик світла високої чутливості High Sensitivity Light Sensor з регульованою роздільною здатністю, що дає можливість визначати інтенсивність світла при різних кутах дифракції.

Датчики оснащені аналоговим та цифровим виходами і підключаються до інтерфейсу LabQuest2, при цьому дані можуть бути записані як в програмі LoggerPro1, так і безпосередньо в самому інтерфейсі LabQuest2 [24].

Загальний вигляд установки з дифракційним апаратом показаний на рис. 3.6:



*Рис. 3.6. Дифракційний апарат DAK.*

Розташувавши елементи оптичної схеми на динамічній доріжці, необхідно обрати роздільну здатність сенсора, обертаючи диск вхідного отвору датчика High Sensitivity Light Sensor (мінімальне значення вхідної щілини 0.1 мм). Середнє значення чутливості датчика світла – 10 мкВт.

Сенсор світла може рухатись по поперечній лаві, довжиною 20 см, при цьому датчик Combination Linear Position фіксує положення сенсора.

Напрямок лазерного променя регулюється у вертикальній і горизонтальній площині.

Для збору даних датчики підключаються до інтерфейсу LabQuest2. Основою LabQuest2 є програма по збору та аналізу даних LabQuest App. При активації LabQuest2, вона запускається автоматично. Програма обробляє дані від датчиків світла, руху, електричні, магнітні, дозиметричні дані. Для вимірювань на DAK тут є можливість обрати частоту і кількість вимірювань інтенсивності світла та час переміщення сенсора світла. Дані експерименту відображаються на інтерфейсі у вигляді графіків та таблиць.

Експериментальні дані можна отримати також на комп'ютері. Для збору даних на комп'ютері за допомогою LabQuest2 потрібно підключити

датчик до LabQuest2, відкрити програму по збору даних на своєму комп'ютері, натиснути «Зібрати» (Collect) [14].

Дифракційний апарат ДАК дає можливість визначити залежність інтенсивності світла при дифракції на різних перешкодах. Комплект включає в себе червоний дифракційний лазер, набір дифракційних елементів, датчик світла високої чутливості.

### **Лабораторна робота “Вивчення дифракції на щілині”**

**Мета:** визначення ширини щілини.

**Обладнання:** дифракційний апарат (дифракційна ґратка з 1 щілиною, лазер, комбінований датчик світла та датчик лінійного положення, доріжка), програма по збору та аналізу даних LabQuest App.

#### **Теоретичні відомості**

Дифракція спостерігається, коли відстані між перешкодою та джерелом світла і місцем спостереження значно більші за розміри перешкоди, тобто це дифракція у дальній зоні або у паралельних променях.

Якщо паралельний пучок світла (плоску хвилю) направити на щілину, то після щілини в результаті дифракції пучок перестає бути паралельним, заходячи в область геометричної тіні. Згідно принципу Гюйгенса можна знайти фронт цієї хвилі та розподіл амплітуд дифрагованої хвилі у просторі за щілиною, як результат інтерференції вторинних когерентних сферичних хвиль, що випромінюються у площині щілини (рис. 3.7).

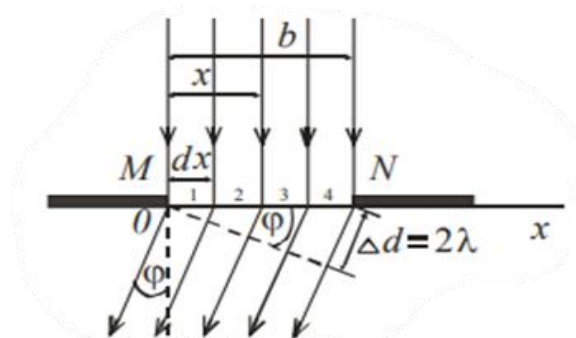


Рис. 3.7. Дифракція на щілині.  $b$  – ширина щілини,  $\varphi$  – кут дифракції,  $\Delta d$  – різниця ходу крайніх променів.

З рис 3.7 видно, що різниця ходу крайніх променів при куті дифракції  $\varphi$  рівна:

$$\Delta d = b \sin\varphi \quad (3.4)$$

Якщо ця різниця для крайніх точок щілини дорівнює, наприклад  $\Delta d = b \sin\varphi = 2\lambda$ , то між точками, що відповідають кінцям зон 1, 2, 3, 4 (рис. 3.7) різниця ходу становить  $\frac{1}{2}\lambda$ . Тоді різниця ходу задовольняє умові мінімуму, а хвилі від цих точок послаблюватимуть одна одну і дають нульову амплітуду (мінімум освітленості). Зрозуміло, що у кожній із зон 1, 2, 3, 4 можна знайти відповідні точки, для яких  $\Delta d = \frac{1}{2}\lambda$ . Тоді умовою мінімуму дифракції на щілині є така:

$$b \sin\varphi = \pm m\lambda, \text{ де } m=1, 2, 3, \dots \quad (3.5)$$

На екрані, що знаходиться на великій відстані від щілини спостерігається дифракційна картина у вигляді світлих (максимуми) і темних (мінімуми) смуг, паралельних до щілини. На рис. 3.8. показаний графік інтенсивності світла на екрані [15].

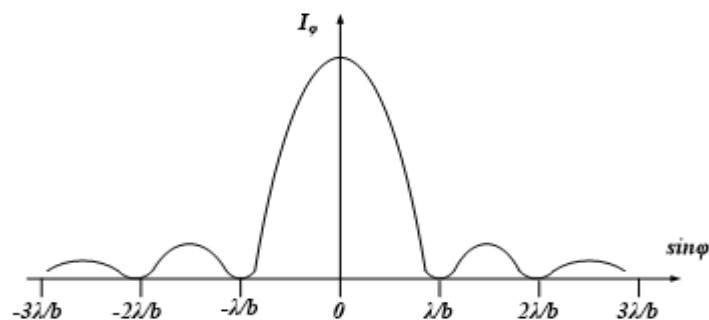


Рис. 3.8. Розподіл інтенсивності світла на екрані.

Дослідна установка (рис. 3.9) складається з розміщених на оптичній лаві напівпровідникового червоного лазера ( $\lambda=635$  нм), щілини, датчика положення.



Рис. 3.9. Дослідна установка.

Відстань до екрана  $L > 1m$ , що значно більше довжини хвилі і ширини щілини і забезпечує умову спостереження дифракції без додаткової лінзи.

У цьому досліді слід зважити на те, що кути дифракції малих порядків ( $m=1,2,3\dots$ ) є малими. Тоді величина  $\sin\varphi_m \approx \text{tg}\varphi_m = x/L$ , де  $x$  – відстань від центру до  $m$ -того мінімуму дифракційної картини,  $L$  – відстань щілина-екран (див. рис. 3.10).

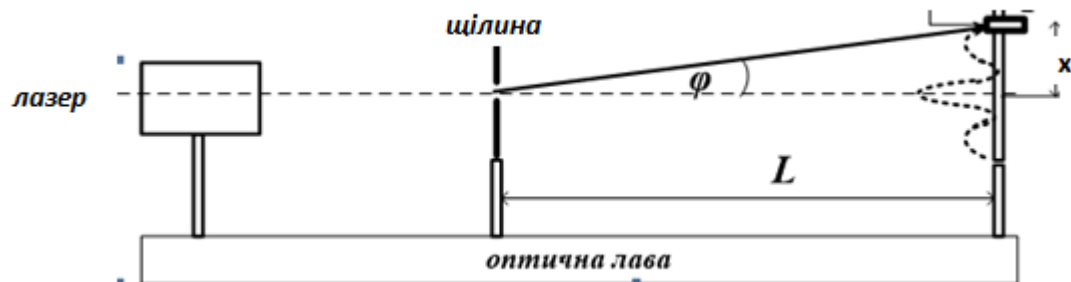


Рис. 3.10. Схема установки.

Остаточно для ширини щілини можна записати:

$$b = \frac{m \cdot \lambda \cdot L}{x} \quad (3.6)$$

### Хід роботи

- 1) Закріпимо на доріжці та увімкнемо джерело світла ( червоний лазер  $\lambda = 635 \text{ нм}$  або зелений лазер  $\lambda = 530 \text{ нм}$ )
- 2) Зберемо дифракційний апарат, як описано вище. Взнявши відстань від щілини до екрана  $L$  приблизно  $50 \text{ см}$ .
- 3) Перемістимо датчик положення ДАК у правий край.
- 4) Підключимо датчики до інтерфейсу LabQuest2 та запустимо програмне забезпечення для збору даних.
- 5) Почнемо збір даних.
- 6) Візьмемо датчик положення, повільно і плавно перемістимо датчик світла по всій довжині динамічної доріжки. Для виконання руху знадобиться приблизно  $30$  секунд. Якщо будемо рухатись занадто швидко, датчик світла не встигне реагувати на зміни діаграми інтенсивності.
- 7) Дивлячи на отриману криву визначити положення головного мінімуму та 1-го, 2-го порядку з обох сторін, як показано на рис. 3.11.

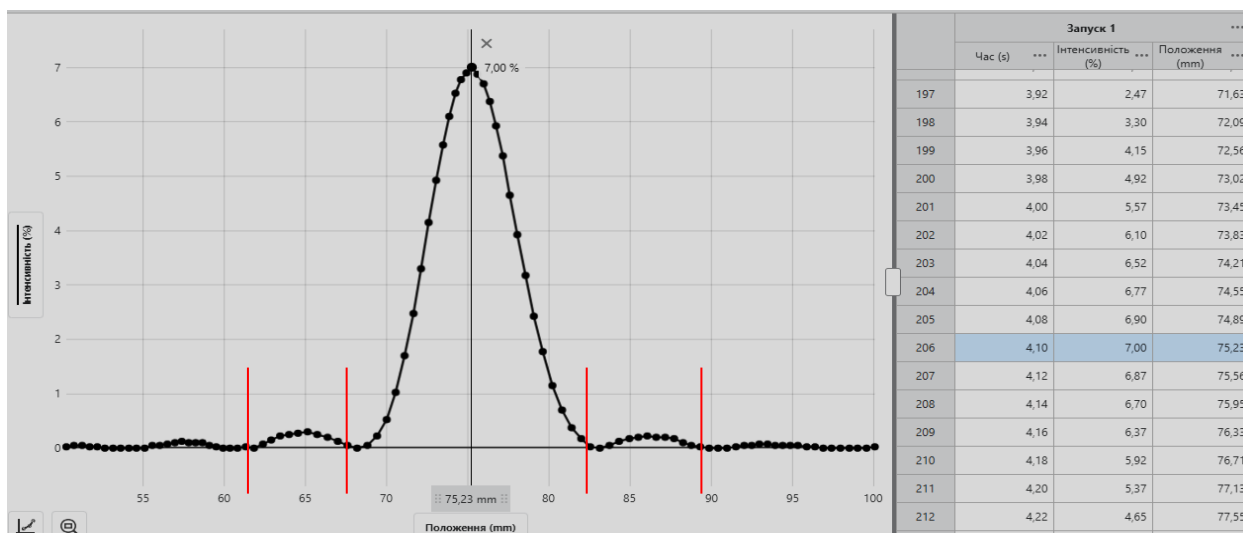


Рис. 3.11. Дифракційна картина від щілини.

- 8) Визначити за графіком або таблицею даних відстань  $x$  від центру до  $m$ -го мінімуму дифракційної картини, як  $|l_m - l_0| = x$ .
- 9) Обчислити ширину щілини  $b_i$  за формулою 3.6. для кожного мінімуму.
- 10) Всі вимірювання та обчислення занести до таблиці 3.3.
- 11) Подати результат вимірювання у вигляді  $b = b_{\text{сер}} \pm \Delta b$ .

Таблиця 3.3.

Обчислення дифракційної картини від однієї щілини

Порядок мінімуму $m$	Положення головних мінімумів $l_m, \text{мм}$	$\lambda, \text{нм}$	$L, \text{мм}$	$x, \text{мм}$	$b_i, \text{мм}$	$b_{\text{сер}}, \text{мм}$

### Лабораторна робота “Визначення сталої дифракційної ґратки”

**Мета:** визначення сталої дифракційної ґратки.

**Обладнання:** дифракційний апарат (дифракційна ґратка з  $N=3$  щілини, лазер, комбінований датчик світла та датчик лінійного положення, доріжка), програма по збору та аналізу даних LabQuest App, ноутбук.

### Теоретичні відомості

Дифракційна ґратка – це оптичний прилад для дослідження спектрального складу випромінювання, дія якого заснована на використанні



явища дифракції світла. Дифракційна ґратка являє собою велику кількість ( $N$ ) регулярно розташованих однакових вузьких штрихів (щілин або виступів), які нанесені на деяку поверхню і утворюють періодичну структуру [15].

Здебільшого дифракційна ґратка може бути у вигляді плоскої скляної поверхні, на якій спеціальною машиною нанесено досить багато (інколи сотні тисяч) прямих рівновіддалених штрихів. У гарних ґраток штрихи мають довжину  $\sim 10$  см, а на кожний міліметр приходиться до 2000 штрихів. При цьому загальна ширина ґратки досягає 10–15 см.

На дифракційній ґратці відбувається, як дифракція світла на кожній щілині, так й інтерференція від різних щілин. В результаті утворюється складна дифракційна картина, що складається з головних мінімумів, головних максимумів, додаткових мінімумів, додаткових максимумів (див. рис. 3.12)

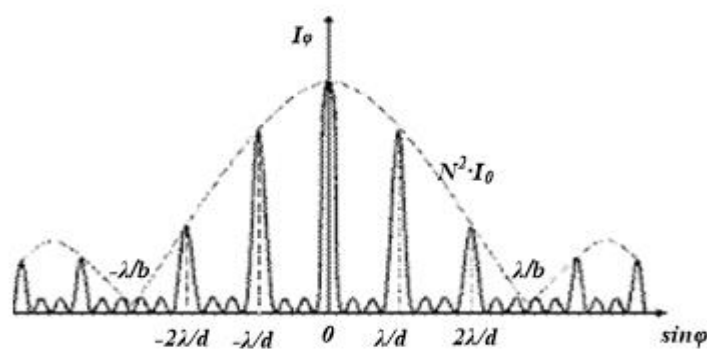


Рис. 3.12. Графік функції  $I_\varphi(\sin\varphi)$  та її вигляд для кількості щілин  $N$ .

Суму ширини однієї щілини  $b$  і ширини штриха  $a$  називають сталою або *періодом ґратки*  $d$ :

$$d = a + b. \quad (3.7)$$

Характеристикою ґратки є також  $n$  – кількість штрихів на 1 мм

$$n = 1/d. \quad (3.8)$$

Розглянемо хід променів світла на дифракційній ґратці. Нехай на неї перпендикулярно падає плоска світлова хвиля (пучок паралельних променів) з довжиною хвилі  $\lambda$  (рис. 3.13).

Коли хвиля дійде до ґратки, від кожної точки на її щілинах за принципом Гюйгенса будуть поширюватись елементарні вторинні сферичні хвилі, які поширюються у різних напрямках, що характеризуються кутом  $\varphi$  (кутом дифракції), який приймає значення  $0 \pm \pi/2$ .

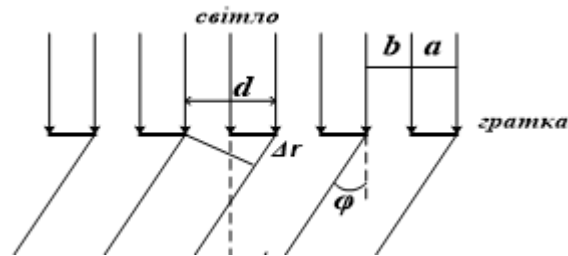


Рис. 3.13. Хід променів світла на дифракційній ґратці.

Якщо світло падає на ґратку перпендикулярно, то кут дифракції  $\varphi = 0$ , і утворюється дифракційний максимум нульового порядку, оскільки різниця ходу усіх променів тут рівна нулю, що задовольняє умову максимуму:

$$\Delta r = m\lambda, \text{ при } m=0 \quad (3.9)$$

Для усіх інших напрямків, що характеризуються кутом дифракції  $\varphi \neq 0$ , хвилі від сусідніх щілин мають іншу різницю ходу  $\Delta r$ . Знайдемо умову, при якій вторинні хвилі, що йдуть від різних щілин під кутом дифракції  $\varphi$ , підсилюють одна одну. Для сусідніх щілин відстань між відповідними джерелами сферичних хвиль рівна сталій решітці  $d$ , а різниця ходу між ними  $\Delta r = d \cdot \sin\varphi$ . Якщо на цьому відрізку укладається ціле число довжин хвиль, то хвилі від усіх щілин, що накладаються у точці Р на екрані, підсилюють одна одну, утворюючи *головні максимуми*.

Головні максимуми дифракції будуть спостерігатись при кутах  $\varphi_m$ , що задовольняють умові:

$$d \sin \varphi_m = m\lambda, \quad (3.10)$$

де  $m = 0, \pm 1, \pm 2 \dots$  – порядок (номер) максимуму.

А положення головних мінімумів знаходять з умови мінімумів на одній щілині:

$$b \sin \varphi = \pm m\lambda, \quad (3.11)$$

де  $m = \pm 1, \pm 2 \dots$  – порядок (номер) мінімуму.

Якщо кути дифракції малі,  $\sin \varphi \approx \operatorname{tg} \varphi \approx \frac{x}{L}$ , тоді стала дифракційної ґратки визначається за формулою:

$$d = \frac{m_{\max} \cdot \lambda \cdot L}{x} \quad (3.12)$$

А ширина штриха визначається за формулою

$$b = \frac{m_{\min} \cdot \lambda \cdot L}{x} \quad (3.13)$$

Дослідна установка (рис. 3.14) складається з розміщених на оптичній лаві напівпровідникового червоного лазера ( $\lambda=635 \text{ нм}$ ), щілини, датчика положення.

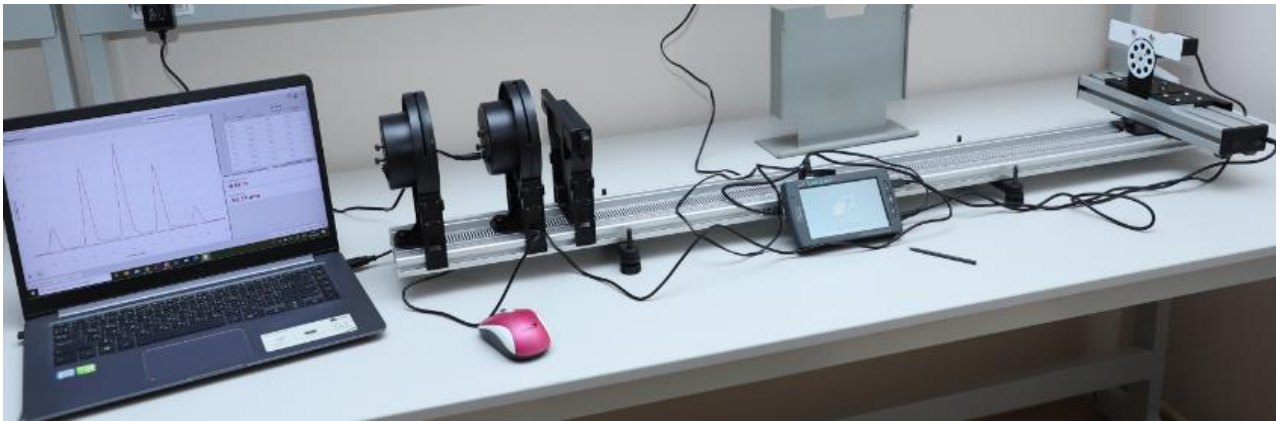


Рис. 3.14. Дослідна установка.

### Хід роботи

- 1) Зберемо дифракційний апарат, як описано вище. Взявши відстань від ґратки до екрана  $L=1000 \text{ мм}$ . Виберемо з набору дифракційних елементів ґратку з кількістю штрихів  $N$  від 3 до 5.
- 2) Перемістимо датчик положення у правий край.
- 3) Підключимо датчики до інтерфейсу та запустимо програмне забезпечення для збору даних, котре також буде відображатися на ноутбук.
- 4) Візьмемо датчик положення, повільно і плавно перемістимо датчик світла по всій ширині площадки. Для виконання руху знадобиться

приблизно 30 секунд. Якщо будемо рухатись занадто швидко, датчик світла не встигне реагувати на зміни діаграми інтенсивності.

Завдання 1. Визначити постійну дифракційної ґратки

1. Дивлячи на отриману криву визначити положення головного максимуму для 1-го та 2-го порядку з обох сторін, як показано на рис. 3.15:

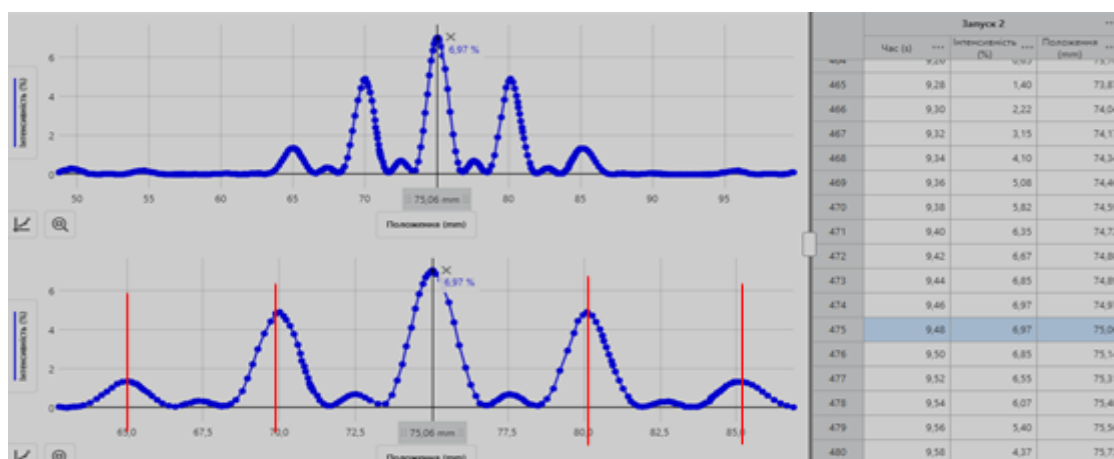


Рис. 3.15. Дифракційна картина від  $N=3$  щілини.

1. Визначити за графіком (таблицею) відстань  $x$  від центру до  $m$ -го максимуму дифракційної картини, як  $|l_m - l_0| = x$ .
2. Обчислити сталу ґратки  $d_i$  для кожного головного максимуму за формулою 3.12.
3. Подати результат вимірювання у вигляді  $d = d_{\text{сер}} \pm \Delta d$ .
4. Всі вимірювання та обчислення занести до таблиці 3.4.

Таблиця 3.4

*Обчислення сталої дифракційної ґратки  $d$ .*

Порядок максимуму $t$	Положення головних максимумів $l_m$ , мм	$\lambda$ , нм	$L$ , мм	$d_i$ , мм	$d_{\text{сер}}$ , мм

**Додаткове завдання:**

Визначити ширину щілини на дифракційній ґратці

1. Дивлячи на отриману криву визначити положення головного мінімуму для 1-го та 2-го порядку з обох сторін, як показано на рис. 3.16:

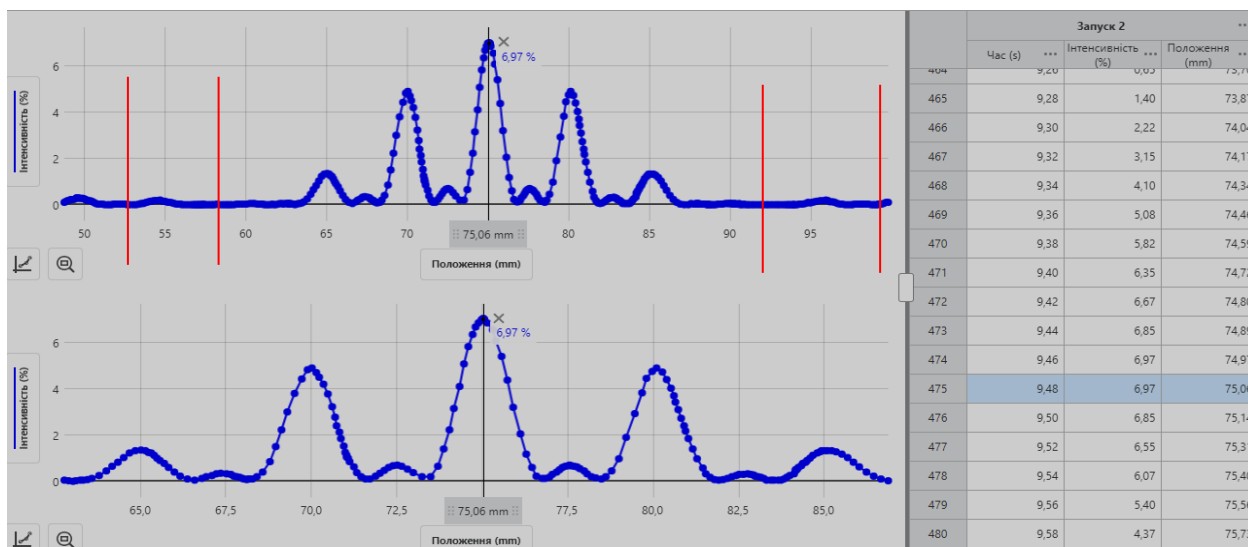


Рис. 3.16. Дифракційна картина від  $N=3$  щілини.

2. Визначити за графіком або таблицею даних відстань  $x$  від центру до  $m$ -го мінімуму дифракційної картини, як  $|l_m - l_0| = x$ .
3. Обчислити ширину щілини  $b_i$  для кожного головного мінімуму за формулою 3.13.
4. Подати результат вимірювання у вигляді  $b = b_{\text{сер}} \pm \Delta b$ .
5. Всі вимірювання та обчислення занести до таблиці 3.5.

Таблиця 3.5

Обчислення дифракційної картини від  $N=3$ . Ширина щілини.

Порядок $t$	Положення головних мінімумів $l_m$ , мм	$\lambda$ , нм	$L$ , мм	$x$ , мм	$b_i$ , мм	$b_{\text{сер}}$ , мм

Проаналізуємо отримані дані, порівнявши з параметрами використаних дифракційних елементів.

### Лабораторна робота “Поляризація та фотопружний ефект”

**Мета:** показати явище поляризації, перевірити закон Малюса.

**Обладнання:** аналогово-цифровий перетворювач LabQuest2, оптична лава Vernier Track 1,2 м, джерело світла, поляризатор, аналізатор, учнівська лінійка.

## Теоретичні відомості

Група явищ, пов'язаних з поперечністю хвиль називаються явищами *поляризації*. Розрізняють *природне* і *поляризоване світло*. У природному світлі вектор напруженості поля світлової хвилі  $\vec{E}$  змінюється хаотично в часі і просторі, але перпендикулярно до напрямку променя. Причиною є той факт, що атоми джерела випромінюють світло не узгоджено. Світло називають *поляризованим*, якщо коливання вектора напруженості поля світлової хвилі  $\vec{E}$  відбувається у просторі впорядковано певним чином [15].

Для отримання та аналізу плоскополяризованого світла застосовують *поляризатори* – пристрої, що перетворюють природне світло у плоскополяризоване. Основна властивість поляризаторів та, що вони пропускають лише такі хвилі, у яких площина поляризації падаючої хвилі (вектор  $\vec{E}$ ) співпадає з їхньою площиною поляризації (пропускання) (PP на рис 3.17) і повністю затримують світло з перпендикулярною поляризацією.

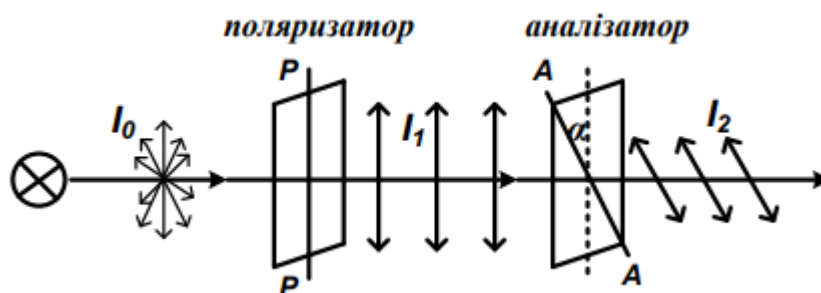


Рис. 3.17. Схема отримання поляризованого світла.

Якщо розташувати послідовно за джерелом світла два поляроїди (рис. 3.17), то перший поляроїд називають поляризатором (з нього виходить плоскополяризоване світло, причому вектор  $\vec{E}$  коливається вздовж напрямку вісі поляроїда PP). Другий поляроїд називають аналізатором, він дозволяє виявити поляризоване світло, оскільки людське око не розрізняє природне і поляризоване світло. Після аналізатора коливання вектора  $\vec{E}$  відбувається вздовж напрямку AA – площини поляризації (пропускання) аналізатора.

За законом Малюса інтенсивність світла  $I_2$ , яке проходить через аналізатор, пропорційна квадрату косинуса кута  $\alpha$  між площинами поляризатора і аналізатора (PP і AA):

$$I_2 = I_1 \cos^2 \alpha = \frac{1}{2} I_0 \cos^2 \alpha \quad (3.14)$$

де  $I_0$  - інтенсивність природного світла,  $I_1$  - інтенсивність світла, що виходить з поляризатора,  $I_2$  - інтенсивність світла, що виходить з аналізатора.

Практично отримати подвійне променезаломлення для застосування у фізичних дослідженнях і пристроях можна не тільки у кристалах, але, частіше, створивши *штучну анізотропію* в однорідних ізотропних речовинах – пластмасах, рідинах. Так, штучну анізотропію спостерігають у *фотопружному ефекті*. Він виникає у твердому ізотропному середовищі, в якому створено механічну напругу  $\sigma$ . Оптична вісь виникає вздовж прикладеної сили. Мірою анізотропії слугує різниця показників заломлення звичайного  $n_0$  і незвичайного  $n_e$  променів, яка пропорційна механічній напрузі  $\sigma = F/S$ :

$$n_0 - n_e = k\sigma \quad (3.15)$$

Якщо таке тіло помістити між поляризатором і аналізатором, то можна спостерігати кольорову інтерференційну картину, де неперервні лінії кольору відповідають однаковим механічним напругам. Це явище застосовують при моделюванні і дослідженні об'єктів з механічними напругами.

### Хід роботи

Дослідна установка (рис. 3.18) складається з розміщених на оптичній лаві джерела світла, поляризатора з фіксацією кута повороту (Vernier-датчик обертального руху RMV-BTD), аналізатора, сенсор освітленості (LS-BTA), :

- 1) Підключити датчик кута повороту RMV-BTD і освітленості LS-BTA до пристрою LabQuest2.
- 2) При обертанні поляризатора LabQuest2 одночасно фіксує кут повороту та інтенсивність світла, що пройшло через поляризатор та аналізатор.

На екрані інтерфейсу по збору даних маємо одночасно графік зміни кута повороту поляризатора і інтенсивності світла (рис. 3.19).



Рис. 3.18. Установка.



Рис. 3.19. Графік зміни інтенсивності світла, що пройшло через систему поляризатор-аналізатор.

3) Заходячи в таблицю даних через кнопку X|Y маємо цифрові дані цього графіка.

4) За графіком чи таблицею даних визначити період зміни інтенсивності світла та порівняти з періодом функції  $\cos^2 \alpha$ .

5) Зробити висновок щодо справедливості закону Малюса.

### 3.1.3. Дослідження для фізичного практикуму в 11 класі

#### **Фізичний практикум “Визначення характеристик дифракційної ґратки”**

**Мета роботи:** визначити ширину щілини, сталу ґратки та загальну кількість щілин.



**Обладнання:** доріжка, дифракційний апарат ДАК, дифракційна ґратка з декількох щілин (Double Slits Vernier), лазер, комбінований датчик світла та датчик лінійного положення, програма по збору та аналізу даних LabQuest App, ноутбук.

### Хід роботи

Дослідна установка та порядок вимірювань показано в лабораторній роботі “Визначення сталої дифракційної ґратки”.

LabQuest2 фіксує дифракційну картину, показану на рис. 3.20, яка отримана від *Об’єкта 5* на відстані *1000 мм* до екрану. Нижній графік є збільшенням першого. Також показана таблиця даних.

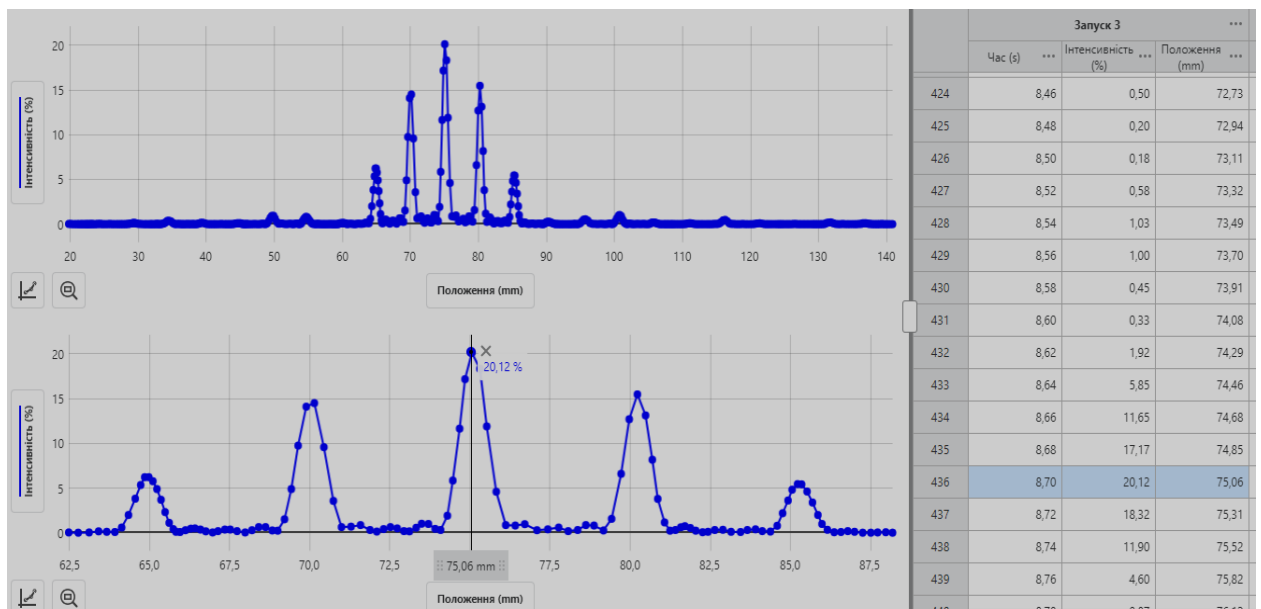


Рис. 3.20. Дифракційна картина від *Об’єкта 5*.

1. З отриманої кривої або таблиці визначимо положення головного максимуму для 1-го та 2-го порядку з обох сторін, як показано на рис. 3.20.
2. Визначити за графіком або таблицею даних відстань  $x$  від центру до  $m$ -го мінімуму дифракційної картини, як  $|l_m - l_0| = x$ .
3. Обчислити ширину щілини  $b_i$  для кожного головного мінімуму за формулою 3.13.
4. Подати результат вимірювання у вигляді  $b = b_{\text{сер}} \pm \Delta b$ .
5. Всі вимірювання та обчислення занести до таблиці 3.6.

Таблиця 3.6

Обчислення дифракційної картини Об'єкта 5. Ширина щілини  $b$ .

$m$	Положення головних мінімумів $l_m, \text{мм}$	$I, \%$	$\lambda, \text{нм}$	$L, \text{мм}$	$x, \text{мм}$	$b_i, \text{мм}$	$b_{\text{сер}}, \text{мм}$	$b, \text{мм}$
1	92,96	0,83	635	1000	17,63	0,0360	0,0450	$b = 0,04 \pm 0,001$
2	98,72	0,25			23,66	0,0537		
0	75,18	20,12			—	—		
-1	57,36	0,52			17,70	0,0358		
-2	51,77	0,25			23,29	0,0545		

6. Визначити за графіком (таблицею) відстань  $x$  від центру до  $m$ -го максимуму дифракційної картини, як  $|l_m - l_0| = x$ .
7. Обчислити сталу ґратки  $d_i$  для кожного головного максимуму за формулою 3.12.
8. Подати результат вимірювання у вигляді  $d = d_{\text{сер}} \pm \Delta d$ .
9. Всі вимірювання та обчислення занести до таблиці 3.7.

Таблиця 3.7

Обчислення сталої ґратки  $d$  Об'єкта 5.

$m$	Положення головних максимумів $l_m, \text{мм}$	$\lambda, \text{нм}$	$L, \text{мм}$	$d_i, \text{мм}$	$d_{\text{сер}}, \text{мм}$	$d, \text{мм}$
1	80,22	635	1000	0,1230	0,1255	$d = 0,126 \pm 0,005$
2	85,34			0,1293		
0	74,06			—		
-1	70,15			0,1235		
-2	64,98			0,1260		

Для структур, що мають велику кількість щілин ( $N > 4$ ), точність вимірювання ширини щілини  $b$  падає через невизначеність положення головних мінімумів. Вимірювання періоду досить точне, а кількість щілин краще знаходити через ширину головного максимуму, яка визначається положенням додаткових мінімумів зліва і справа від головного максимуму:

$$N = \frac{(m+p)\lambda}{d \sin \varphi} = \frac{(m+p)\lambda L}{d \cdot \frac{x}{2}} \quad (3.16)$$

де  $x$  – відстань між додатковими мінімумами зліва і справа від головного максимуму.

Для головного максимуму нульового порядку маємо:

$$x_1 = 2,04 \text{ мм при } m=0 \text{ } p=1, \text{ і } x_2 = 2,07 \text{ мм при } m=0 \text{ і } p=2,$$

звідки отримуємо для даних умов значення (всі величини взяті у мм):

$$N_1 = \frac{1 \cdot 0.635 \cdot 10^{-3} \cdot 1000}{0.125 \cdot \frac{2.04}{2}} = 4.98 \approx 5$$

$$N_2 = \frac{1 \cdot 0.635 \cdot 10^{-3} \cdot 1000}{0.125 \cdot \frac{2.07}{2}} = 4.91 \approx 5$$

Проаналізуємо дані у таблиць 3.6 та 3.7:

а) Вимірне значення ширини щілини співпадає з номінальним, яке рівне  $b = 0.04$  мм.

б) Якщо загальна кількість щілин  $N=5$ , то має бути  $(N - 1)$  додаткових мінімумів. З графіка бачимо, що їх 4.

в) Період дифракційної ґратки  $d = (0,126 \pm 0,005)$  мм та ширина штриха  $a = d - b = 0,081$  мм.

### 3.2. Демонстраційний експеримент в лабораторії Vernier

Навчальні демонстраційні експерименти у школі є основою вивчення фізики. Можна сказати, що за допомогою них в учнів формується уявлення про фізичні явища природи. За програмою передбачені наступні демонстрації з розділу оптики:

- відбивання та заломлення світла, повне відбивання світла;
- отримання зображень за допомогою лінзи;
- інтерференція світла;
- дифракція світла на перешкодах різної форми та різних розмірів;
- дисперсія світла, отримання неперервного спектру;
- поляризація світла, фотоелектричний ефект.

В умовах дистанційного навчання демонстрації можна зробити легшими й цікавішими, використовуючи вимірювальні комплекси Vernier. Демонстраційні досліди можна показувати у безпосередній трансляції через смартфон або у відеозапису, оскільки у всіх старшокласників наявні смартфони.

### 3.2.1. Відбивання та заломлення світла, повне відбивання світла

На рис. 3.21 показана магнітна дошка з оптичними елементами: дзеркало, плоскопаралельна пластинка, призма, збірні та розсіювальні лінзи. Джерелом світла є пристрій з п'ятьма червоними лазерами. Тут демонструється відбивання і заломлення світла, повне відбивання у призмі, фокусування паралельного пучка світла збірною та розсіювальною лінзами. Заломлення на плоско-опуклій лінзі (2) дозволяє безпосередньо з досліду перевірити закон заломлення та визначити показник заломлення скла:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n; \quad \frac{\sin 72}{\sin 40} = 1.48.$$

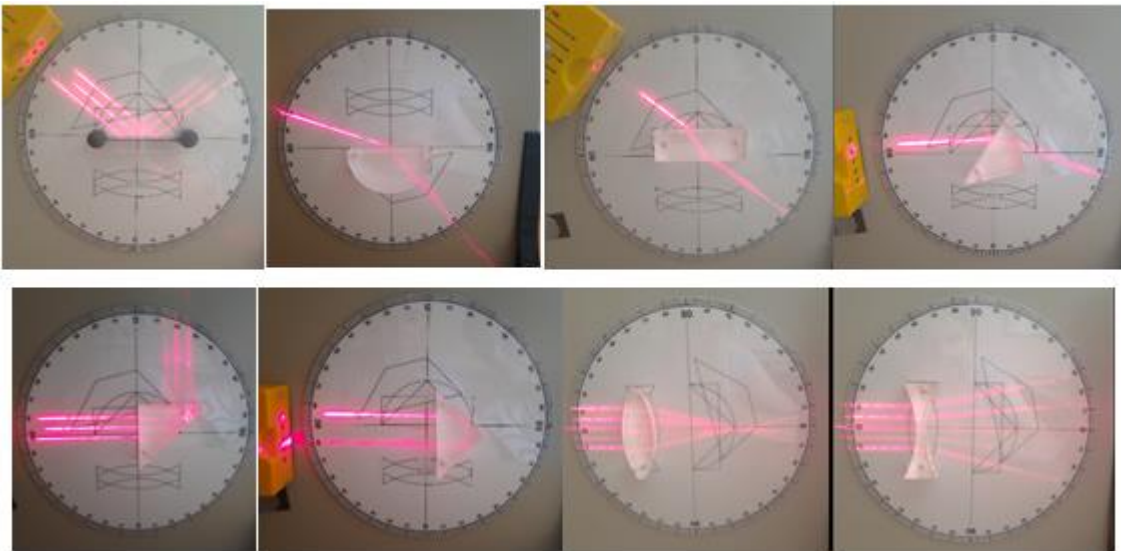


Рис. 3.21. Явище відбивання та заломлення світла на різних об'єктах.

При вивченні лінз та дзеркал комплект Vernier можна використати для демонстрації утворення дійсного збільшеного і зменшеного перевернутого зображення (рис. 3.22) [30]:



*Рис. 3.22. Утворення дійсного зменшеного та збільшеного перевернутого зображення літери L та дійсне зображення у сферичному дзеркалі.*

### **3.2.2. Дифракція світла на різних перешкодах**

Для вивчення хвильових властивостей світла лабораторія Vernier пропонує дифракційний апарат DAK з набором дифракційних елементів Double Slits Vernier, зображені на рис. 3.23 :



*Рис. 3.23. Набір дифракційних елементів Vernier.*

Для світлових хвиль дифракція спостерігається при їх поширенні у середовищі з різкими неоднорідностями, що обмежують або спотворюють фронт світлової хвилі. Існує два види дифракції – дифракція Френеля і дифракція Фраунгофера. Перший вид спостерігається у так званій ближній зоні, коли відстань від перешкоди до місця спостереження невелика і треба враховувати при розрахунку дифракційної картини різні відстані від фронту хвилі до точки спостереження. Прикладами такої дифракції є дифракція Френеля на диску (пляма Пуассона), круглому та квадратному отворах, які показані на рис. 3.24 :

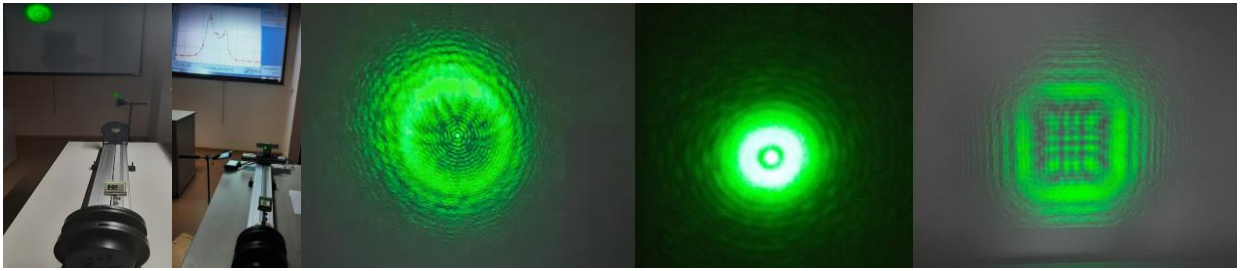


Рис. 3.24. Дифракція Френеля.

Дифракція Фраунгофера – це дифракція у дальній зоні, або дифракція у паралельних променях, коли дифракція відбувається на великих відстанях між джерелом, екраном та перешкодою. Прикладами такої дифракції є дифракція на щілинах різної форми та розмірів (рис. 3.25):

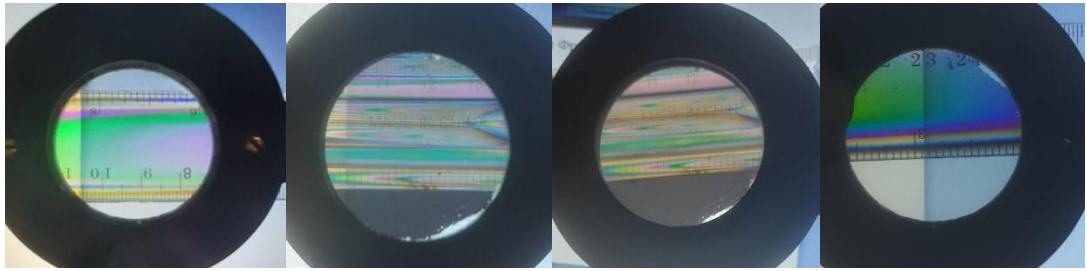


Рис. 3.25. Дифракція Фраунгофера.

### 3.2.3. Поляризація світла та фотопружний ефект

У сучасних електронних і оптичних приладах набуває широке значення поляризація світла, то учні потребують більш детального ознайомлення з явищем, котре підтверджує поперечність світлових хвиль.

Фотопружний ефект: легко демонструвати в прозорому деформованому тілі, розміщеному між поляризатором і аналізатором. Використаємо прозору лінійку, в якій виникають механічні напруги під час виготовлення й побачимо, що кольори будуть змінюватися при кожному повороті поляризатора (рис. 3.26). Фізичною причиною явища є інтерференція звичайного й незвичайного променів, які виникають внаслідок штучної анізотропії в об'єкті.



*Рис. 3.26. Кольори при обертанні поляризатора.*

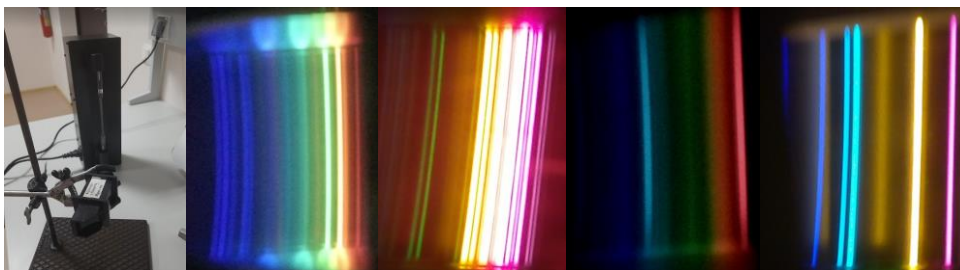
Інтерференцію поляризованого світла: можна продемонструвати на об'єкті, що складається з декількох шарів целофану, які накладаються. Матеріал також є анізотропним внаслідок технологій виготовлення. Різниця ходу звичайного й незвичайного променів залежить від товщини шару. Помістивши об'єкт між поляризатором і аналізатором спостерігаємо кольорову картинку, оскільки показники заломлення променів залежать від довжини хвилі (рис. 27).



*Рис.3.27. Демонстрація інтерференції поляризованого світла.*

### **3.2.4. Дисперсія світла та отримання неперервного та лінійчастого спектрів**

Явища, пов'язані із залежністю показника заломлення речовини від частоти  $\omega$  (довжини  $\lambda$ ) світлової хвилі, називають дисперсією світла. Явище дисперсії світла наочно спостерігається при проходженні пучка білого світла через трикутну призму. Якщо на одну з граней призми падає біле світло, то в призмі пучок розділяється внаслідок різних значень показника заломлення для променів різного кольору.



*Рис. 3.28. Проходження пучка білого світла через трикутну призму.*

Покажемо лінійчасті спектри випромінювання різних газів (Ar, Rr, H<sub>2</sub>, He, Ne) з використанням призми прямого зору. Спостереження відбувається для всіх учнів таким чином: на виході з призми встановлюємо камеру смартфона і через Bluetooth транслюємо зображення на великий екран. Метою демонстрації є показати явище дисперсії світла у призмах та індивідуальний характер спектрів кожного хімічного елемента (рис. 3.28).

### **Висновки до Розділу 3**

Реалізація експериментального підходу при вивченні фізики покращується при застосуванні сучасного лабораторного обладнання, зокрема цифрової лабораторії Vernier.

Показано, що дане обладнання забезпечує виконання у повному обсязі демонстрацій та лабораторних робіт, передбачених навчальною програмою на новому технологічному рівні.

Наповнення лабораторії також дає можливість значно розширити програму фізичного практикума та навчальних проєктів з фізики, зокрема з оптики.

Фізичний практикум є невід'ємною частиною шкільного курсу фізики. Основною метою його є поглиблення теоретичних знань учнів, ознайомлення їх з сучасними методами і технічними засобами вимірювання фізичних величин, дослідженням фізичних явищ, навичками експериментальної роботи.

Однак виконувати своє завдання фізичний практикум може лише за умови, що він систематично, як в теоретичному, так і в практичному плані,



вдосконалюється. Саме тому в даному розділі ми описуємо ряд лабораторних робіт з таких важливих розділів оптики, як інтерференція, дифракція і поляризація світла, геометрична оптика на прикладі застосування сучасної цифрової лабораторії Vernier. Кожна з робіт містить теоретичні відомості, опис установки в цілому і окремих приладів, практичні завдання.

Використання цифрової лабораторії Vernier дає широкі можливості, в умовах очного й дистанційного навчання. Vernier дає ефект присутності учнів на уроці та допомагає отримати експериментальні дані з великою точністю. Більшість робіт мають фронтальний характер, а також за бажанням вчитель може доповнити список проєктів та робіт фізичного практикума.

## ВИСНОВКИ

Згідно поставленої мети, в ході роботи проаналізовано сучасні навчальні програми та методики вивчення геометричної й хвильової оптики в старших класах середньої школи.

За двома чинними навчальними програмами для 10-11 класів, авторського колективу під керівництвом Ляшенка О.І. та авторського колективу під керівництвом Локтева В.М., навчання фізики відбувається за двома навчальними рівнями: рівень стандарту та профільний рівень.

У більшості підручників для навчання, котрі пропонуються міністерством освіти, дана тема входить в один із розділів «Оптика». Матеріал викладено доступно, якісно, з ілюстрацією властивостей світла.

Вивчення розділу «Оптика» в 11 класі дозволяє проводити безліч експериментів. У навчальних програмах надається орієнтовний перелік демонстраційних і лабораторних робіт. Але часто вчителі не мають змогу деякі з дослідів через нестачу в школах фізичного обладнання. Тому є необхідність виконувати та розробляти нові експерименти з використанням віртуальних чи цифрових лабораторій, в яких використовується сучасне фізичне обладнання.

Так як час відведений в школі на лабораторні роботи досить обмежений, то певну частину експериментів (спостережень) можна виконувати й дистанційно вдома. Такі експерименти доступні з геометричної оптики (відбивання, заломлення) та спостереження явищ хвильової оптики (інтерференція на плівках, дифракція світла). Оскільки більшість учнів старшої школи мають смартфони, то використання інструментальних додатків, доступних в Play Market дозволяє виконати деякі експерименти з геометричної оптики (Pocket Optics). Результати робіт можуть бути у вигляді фотозвіту або презентації. Особливої актуальності набирають такі роботи в умовах дистанційної освіти.

Проаналізувавши цифрові лабораторії Vernier, Einstein, SenseDisc Physics, можна зазначити що вони оснащені спеціалізованим програмним

забезпеченням, інструкцією з експлуатації та посібником із використання в шкільних практичних роботах. А віртуальна фізична лабораторія PhET розроблена таким чином, щоб кожна вікова категорія учнів з легкістю змогла експериментувати з різними фізичними явищами.

Перевагою цифрової лабораторії Vernier є можливість для вчителя і учнів працювати з реальними фізичними об'єктами, використовувати сучасні датчики фізичних величин, проводити обробку експериментальних даних.

У роботі було продемонстровано ряд лабораторних робіт з геометричної та хвильової оптики з використанням обладнання цифрової лабораторії Vernier.

При проведенні лабораторних робіт у цифровій лабораторії Vernier аналіз експериментів можливий безпосередньо на інтерфейсі збору даних LabQuest2, де результати вимірювань реєструються у таблицях та графічно. Дані експерименту можна транслювати на смартфон через Bluetooth. Також дані експерименту можна зберегти та пересилати електронною поштою, тому аналізувати дослідження можна у будь-який зручний час у довільному місці без прив'язки до уроків та шкільних приміщень. Подальшу обробку результатів можливо зробити на комп'ютері у додатку Vernier Graphical Analysis.

Використання сучасної цифрової лабораторії Vernier дає можливість проводити навчальні експерименти з фізики на сучасному технологічному рівні як у школі так і дистанційно, створювати цікаві навчальні проєкти, вести дослідження у Малій академії наук з обдарованими учнями.

У третьому розділі запропоновано ряд методичних розробок, спрямованих на реалізацію фізичних експериментів з оптики у навчальному процесі. Розроблено методику та ілюстрації до проведення лабораторних та демонстраційних робіт. Всі роботи були розроблені таким чином, щоб на їх виконання було затрачено мінімум часу. Всі розробки відповідають програмі та календарно-тематичному плануванню з фізики для учнів 11 класу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бар'яхтар В.Г., Божинова Ф.Я., Довгий С.О., Кірюхіна О.О. Фізика (рівень стандарту, за навчальною програмою авторського колективу під керівництвом Локтєва В.М.) : підруч. для 11 кл. закл. загал. серед. освіти. Харків : Вид-во «Ранок», 2019. 272 с.
2. Божинова Ф.Я., Карпухіна О.О., Сарій Т.А. Фізика 11 клас. Профільний рівень: збірник задач. Х.: Вид-во «Ранок», 2015. 224 с.
3. Величко С.П. Ресурс «Фізика. Легко» як основа сучасного освітнього середовища з природничо-математичної освіти. Збірник наукових праць Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасна освіта і наука: проблеми, перспективи, інновації» / Величко С.П. / Відповідальний редактор проф. Т.Ю. Дудка. К., 2021. С. 73-77.
4. Віртуальна фізична лабораторія Physics Education Technology (PhET). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://phet.colorado.edu/uk/simulations/filter?subjects=physics&type=html\\_prototype](https://phet.colorado.edu/uk/simulations/filter?subjects=physics&type=html_prototype)
5. Віртуальні симуляції та анімації HTML5. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.vascak.cz/physicsanimations.php?l=ru>
6. Войтків Г.В. Дослідницькі лабораторні роботи на уроках фізики. Збірник наукових праць Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасна освіта і наука: проблеми, перспективи, інновації» / Войтків Г.В. / Відповідальний редактор проф. Т.Ю. Дудка. К., 2021. С. 97-101.
7. Волинець Т.В. Методика використання інформаційних технологій і технічних засобів під час вивчення фізики в школі. Збірник наукових праць Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасна освіта і наука: проблеми, перспективи, інновації» / Волинець Т.В., Арешкіна Т.О. / Відповідальний редактор проф. Т.Ю. Дудка. К., 2021. С. 102-106.

8. Гельфгат І.М. Фізика (профільний рівень, за навчальною програмою авторського колективу під керівництвом Локтева В.М.): підруч. для 11 кл. закл. загал. серед. освіти. Х.: Вид-во «Ранок», 2019. 272 с.
9. Головка М.В., Крячко Ю.С., Мельник Л.В., Непорожня Л.В. Фізика і астрономія (рівень стандарту, за навчальною програмою авторського колективу під керівництвом Ляшенка О.І.): підруч. для 11 кл. закл. загал. серед. освіти. Київ: Педагогічна думка, 2019. 288 с.
10. Датчик освітлення і кольору Go Direct. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://b-pro.com.ua/assets/files/gdx-lc\\_ukr.pdf](https://b-pro.com.ua/assets/files/gdx-lc_ukr.pdf)
11. Демкова В.О. Навчальний фізичний експеримент з використанням phet-симуляцій. Збірник наукових праць Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасна освіта і наука: проблеми, перспективи, інновації» / Демкова В.О., Кузьминський О.В., Мисліцька Н.А. / Відповідальний редактор проф. Т.Ю. Дудка. К., 2021. С. 134-138.
12. Засекіна Т.М., Засекін Д.О. Фізика і астрономія (рівень стандарту, за навчальною програмою авторського колективу під керівництвом Ляшенка О.І.): підруч. для 11 кл. закладів загальної середньої освіти. К. : УОВЦ «Оріон», 2019. 272 с.
13. Засекіна Т.М., Засекін Д.О. Фізика і астрономія (профільний рівень, за навчальною програмою авторського колективу під керівництвом Ляшенка О.І.): підруч. для 11 кл. закладів загальної середньої освіти. К. : УОВЦ «Оріон», 2019. 304 с.
14. Кадченко В.М. Використання цифрової лабораторії VERNIER в процесі підготовки майбутніх учителів фізики. Збірник наукових праць Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасна освіта і наука: проблеми, перспективи, інновації» / Кадченко В.М., Слюсаренко М.А., Татаренко А.О. / Відповідальний редактор проф. Т.Ю. Дудка. К., 2021. С. 162-166.
15. Кадченко В.М. Загальна фізика. Оптика : оглядові лекції для студентів фізико-математичного факультету. Кривий Ріг : КДПУ, 2021. 70 с.

[Електронний ресурс]. – Режим доступу:

<http://elibrary.kdpu.edu.ua/handle/123456789/4159>

16. Календарно-тематичний план з фізики для 11 класу (рівень стандарту, за навчальною програмою авторського колективу під керівництвом Локтева В.М.). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://naurok.com.ua/kalendarne-planuvannya-z-fiziki-11-klas-2019-2020-119509.html>

17. Кірюхіна О.О. Фізика 11 клас. Академічний рівень. Зошит для лабораторних робіт і фізичного практикуму. Х.: Вид-во «Ранок», 2019. 80 с.

18. Кірюхіна О.О. Фізика 11 клас. Рівень стандарту. Зошит для лабораторних робіт і фізичного практикуму. Х.: Вид-во «Ранок», 2019. 40 с.

19. Коллі-Шамне А.В. Психолого-педагогічні особливості навчальної взаємодії вчителя фізики із старшокласниками при проведенні лабораторних робіт в умовах інформатизації освітнього процесу. Наукові записки Малої академії наук України./ Коллі-Шамне А.В., Татаренко А.О. / 2022. 1(23). С. 38-45.

20. Навчальна програма «Фізика» для загальноосвітніх навчальних закладів 7-9 класів/ Ляшенко О.І. та ін., 2017. 40 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mon.gov.ua/ua/osvita/zagalna-serednya-osvita/navchalni-programi/navchalni-programi-5-9-klas>

21. Навчальні програми «Фізика і астрономія» для 10-11 класів закладів загальної середньої освіти (рівень стандарту, профільний рівень)/ Ляшенко О.І. та ін., 2017. 55 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mon.gov.ua/ua/osvita/zagalna-serednya-osvita/navchalni-programi/navchalni-programi-dlya-10-11-klasiv>

22. Навчальні програми «Фізика» для загальноосвітніх навчальних закладів 10-11 класів (рівень стандарту, профільний рівень)/ Локтев В.М. та ін., 2017. 34 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mon.gov.ua/storage/app/media/zagalna%20serednya/programy-10-11-klas/2018-2019/fizika-10-11-avtorskij-kolektiv-pid-kerivnicztvom-lokteva-vm.pdf>

23. Перелік програмного забезпечення. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.vernier.com/experiment/>
24. Посібник користувача для дифракційного апарату. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.vernier.com/manuals/dak/>
25. Програмне забезпечення цифрової лабораторії SenseDisc Physics. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://intis.com.ua/images/sensedisc/sensedisc-catalog\\_ru.pdf](https://intis.com.ua/images/sensedisc/sensedisc-catalog_ru.pdf)
26. Цифрова лабораторія «Фізика». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://b-pro.com.ua/katalog/fizika/cifrovi-vimiryuvalni-kompleksi2/komplekt-cifrovih-datchikiv-fizika>
27. Цифрова лабораторія Einstein. Довідковий посібник. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://docplayer.net/82212662-Cifrovi-laboratoriya-einstein-dovidkoviy-posibnik-1.html>
28. Цифрова лабораторія SenseDisc Physics. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://intis.com.ua/index.php/kataloh/tsyfrova-laboratoriia-sensediss-physics>
29. Цифровий вимірювальний комплекс Einstein (Фізика). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://rozumniki.com/catalog/tovary/tsyfrova-bezdrotova-laboratoriya-einstein-labmate/einstein/komplekt-laboratornyy/tsifroviy-vimiryuvalniy-kompleks-einstein-fizika-nabir-dlya-uchnya/>
30. Шинкарьова А.О. Експериментальні дослідження з оптики у цифровій лабораторії Vernier. Збірник наукових праць міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні тренди в освіті та науці: від теорії до практики» / Кадченко В.М., Шинкарьова А.О. / Відповідальний редактор проф. Т.Ю. Дудка. К., 2022 (у друці).