

УДК 53:372.8
ББК 74.262.22

*О. С. Домінський, С. М. Цирульник, М. І. Поліщук
м. Вінниця, Україна*

Дослідження явищ інтерференції та дифракції з використанням напівпровідникового лазера та CD і DVD дисків

Ключові слова: фізика, лабораторні та практичні роботи, напівпровідниковий лазер, дифракція, інтерференція.

Постановка проблеми. У вік глобальних науково-технічних перетворень природничо-математична освіта є наріжним каменем прогресу, основою людського світорозуміння. Знання фізичної науки значною мірою визначає формування цілісної наукової картини світу, сприяє інтелектуальному розвитку особистості. Оновлення, модернізація змісту фізичної освіти стають нагальною потребою часу. Фізика – наука експериментальна, її вивчення немислиме без суб'єктивної практичної діяльності учнів, студентів. Відомо, що головними джерелами, з яких студенти можуть самостійно здобувати знання є книга, INTERNET, телебачення, спостереження та досліди.

Важливість експериментальних знань, умінь та навичок з кожним роком зростає. Впровадження в навчальний процес самостійної пізнавальної діяльності студентів є надважливою проблемою сучасної освіти. Саме навчання повинно стати дослідницьким, творчим і здатним до формування індивідуальних проблемно-пізнавальних програм. Основна частина практичних досліджень на заняттях з фізики проводиться студентами під час виконання лабораторних та практичних робіт. При цьому реалізується діяльнісний підхід в процесі пізнання, забезпечується саморозвиток, самореалізація, самоутвердження молодих людей. При виконанні практичних завдань посилюється інтерес учнів до знань, долається їх

пасивне ставлення до предмета, формується творча активність. В процесі проведення робіт формуються пізнавальні вміння:

- робота з навчальною літературою, інструкціями і таблицями, довідниками;
- проведення дослідів та спостережень, їх оцінка;
- робота з вимірювальними приладами;
- аналіз результатів експериментів, синтез теоретичних та практичних знань;
- висування гіпотези дослідження, мети;
- планування діяльності, вибір засобів діяльності;
- здійснення самоконтролю;
- розробка власних моделей, схем, процедур;
- пояснення результатів практичної діяльності на основі теоретичних відомостей.

Студенти знайомляться з науковими методами дослідження природних явищ і в той же час використовують ці методи для відкриття суб'єктивно нового для себе. Навчальний процес певною мірою повторює логіку наукового пізнання. Розвиваються загальнонавчальні і спеціальні уміння, способи діяльності щодо вивчення природи.

Стрімке і неперервне впровадження новітніх науково-технічних досягнень у виробництво та побут, інформатизація та електронізація у всіх сферах діяльності людини зумовлюють раннє знайомство учнів та студентів зі складними технічними конструкціями. Відповідно виникає необхідність внесення змін у зміст природничої освіти, вивчення під час занять фізичних основ роботи новітніх приладів та пристроїв. Це спонукає до змін тематики лабораторних та практичних робіт, використанні при їх проведенні нових методів та засобів, що сприяє підвищенню інтересу, зацікавленості учнів та студентів процесом пізнання.

Аналіз попередніх досліджень. Проблеми фізичного експерименту, проведення практичних досліджень, розвитку творчих здібностей учнів та

студентів в процесі власної діяльності на заняттях і в позанавчальний час висвітлюються в роботах С. У. Гончаренка, В. Г. Разумовського, Є. В. Коршака, О. Ф. Кабардіна, В. О. Орлова, О. Ф. Іваненка, Л. Р. Клапуша та інших.

В своїх працях Є. В. Коршак наголошує на необхідності розвитку мислення, технічної творчості та винахідництва молоді, самостійності в навчанні та продуктивності праці [4]. Він підкреслює, що «виняткове значення мають лабораторні й практичні заняття, які повинні акцентувати увагу учнів не лише на формуванні практичних умінь і навичок, а й на ознайомленні з сучасними методами дослідження, на оцінці достовірності й точності знайдених результатів» [4, с.31].

О. Ф. Кабардін рекомендує роботу над кожним завданням починати з пошуку можливих варіантів теоретичного розв'язування поставленої задачі, вибору кращого з них. Далі потрібно спланувати і виконати необхідні експерименти, скласти звітні таблиці, накреслити графіки, виконати рисунки, оцінити границі похибок вимірювань, сформулювати висновки про результати експериментальних досліджень оформити звіт [3].

В своїй роботі «Обучение и научное познание» В. Г. Разумовський писав, що самостійні дослідження сприяють не лише усвідомленому оволодінню знаннями, а й оволодінню науковим підходом до матеріалу, що вивчається [6].

Мета статті. В своїй роботі ми пропонуємо практичне дослідження явищ дифракції та інтерференції світла з використанням напівпровідникових лазерів та CD і DVD дисків. Наводимо результати власних досліджень.

Виклад основного матеріалу.

Інтерференція і дифракція – основні явища, які демонструють хвильову природу світла. Є безліч оптичних приладів, за допомогою яких ці явища можуть спостерігатися. Дифракційні ґратки – один із з таких приладів, який дозволяє розкласти біле світло по спектральних складових. Дифракційні ґратки складаються з тисяч вузьких і близько розташованих щілин.

Використання набору дифракційних ґраток і лазерної указки дозволяє легко продемонструвати і вивчити явища інтерференції і дифракції в домашніх умовах, в навчальному закладі.

Дифракційні ґратки

Дифракційна ґратка – оптичний прилад, призначений для аналізу спектрального складу оптичного випромінювання. Внаслідок інтерференції інтенсивність світла, яке пройшло через дифракційну ґратку різна в різних напрямках. Є виділені напрямки, в яких світлові хвилі від різних щілин співпадають по фазі, багато разів підсилюючи одна одну. При освітленні ґратки монохроматичним світлом на її виході спостерігаються вузькі промені з великою інтенсивністю. Оскільки напрямки на інтерференційні максимуми залежать від довжини хвилі, біле світло, яке пройшло через дифракційну ґратку, буде розкладатись на велику кількість променів різного кольору. Таким чином можна досліджувати спектральний склад світла.

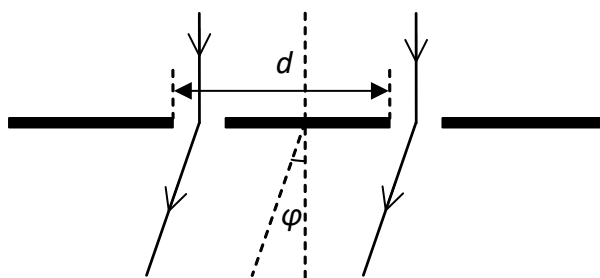


Рисунок 1

Розглянемо дві щілини (рисунок 1), на яких нормально падає плоска монохроматична хвиля.

Оптична різниця ходу Δ між променями від різних щілин дорівнює $d \cdot \sin\varphi$, де d – відстань між щілинами, φ – кут відхилення світла. Якщо різниця ходу дорівнює цілому числу довжин хвиль світла, то хвилі інтерферують у однаковій фазі, багато разів підсилюючи одна одну. Тому можна записати наступне рівняння для максимумів інтерференційної картини: $\Delta = d \cdot \sin\varphi = m\lambda$, де $m = 0, 1, 2, \dots$ (порядок максимумів).

В наш час в кабінетах та лабораторіях фізики є дифракційні ґратки, які містять 600 штрихів на 1 мм і 100 штрихів на 1 мм.

Лазерна указка

Лазерна указка – портативний пристрій, що генерує вузьконаправлений промінь лазера у видимому світловому діапазоні. Перші моделі лазерних указок використовували гелій-неоновий (HeNe) газовий лазер і випромінювали в діапазоні 633 нм. Вони мали потужність не більше 1 мВт і були дуже дорогими. Зараз лазерні указки використовують менш дорогі лазерні напівпровідникові діоди. Розглянемо принцип дії лазерного діода. Коли на р-область напівпровідникового діода подається позитивний потенціал, то говорять, що діод зміщений в прямому напрямі. При цьому дірки з р-області інжектуються в n-область р-n переходу, а електрони з n-області інжектуються в р-область напівпровідника. Якщо електрон і дірка виявляються "поблизу" (на відстані коли можливо тунелювання), то вони можуть рекомбінувати (або анігілювати) з виділенням енергії у вигляді фотона певної довжини хвилі. Такий процес називається спонтанним випромінюванням, і є основним джерелом випромінювання в світлодіодах. Проте, за певних умов, електрон і дірка можуть знаходитися в одній області простору якийсь час перед рекомбінацією. Якщо у цей момент через цю область простору пройде фотон потрібної частоти (резонансної частоти), він може викликати вимушену рекомбінацію з виділенням другого фотона, причому його напрям, вектор поляризації і фаза будуть в точності співпадати з тими ж характеристиками першого фотона.

Таким чином, лазерний ефект пов'язаний з міжзонною люмінесценцією, яка обумовлена рекомбінацією надлишкових електронів і дірок. Тому довжина хвилі випромінювання напівпровідникового лазера визначається шириною забороненої зони. Використовуючи напівпровідникові матеріали різного складу, можна змінювати довжину хвилі в межах від видимого випромінювання до інфрачервоного. Більшість напівпровідникових матеріалів які використовуються в лазерах, базуються на з'єднаннях елементів третьої та п'ятої груп таблиці Менделєєва: алюміній, галій, індій та фосфор, астат, стибій. Напівпровідникові лазери на основі цих матеріалів

перекривають діапазон довжин хвиль від 470 нм до 1600 нм. Напівпровідникові лазери характеризуються надзвичайно високим коефіцієнтом підсилення активного середовища: до 10000 на сантиметр довжини. Завдяки цьому розміри напівпровідникових лазерів досить малі: $300 \times 300 \times 100$ мкм.

Для лазерних указок використовуються червоні лазерні діоди з довжиною хвилі 650-670 нм. Також використовуються помаранчево-червоні лазерні діоди з довжиною хвилі 635 нм, які роблять їх яскравішими для очей, оскільки людське око бачить світло з довжиною хвилі 635 нм у декілька разів краще ніж світло з довжиною хвилі 670 нм. Є також лазерні указки інших кольорів: зелена указка з довжиною хвилі 532 нм, жовто-помаранчева указка – 593,5 нм, синя указка – 473 нм.

Лазерні указки використовуються в освітніх установах і на бізнес-презентаціях замість звичайних указок. Червоні лазерні указки можуть використовуватися в приміщеннях і увечері на відкритих просторах. Зелені лазерні указки можуть використовуватися в тих же умовах, але промінь зелених лазерних указок, на відміну від червоних, добре видно на вулиці вдень і на далеких відстанях. Зелені лазерні указки можуть використовуватися для аматорської астрономії. У безмісячну ніч промінь зеленої лазерної указки може використовуватись для вказівки на зірки і сузір'я.

Точно встановлена лазерна указка може використовуватися як лазерний приціл, аби націлити вогнепальну або пневматичну зброю.

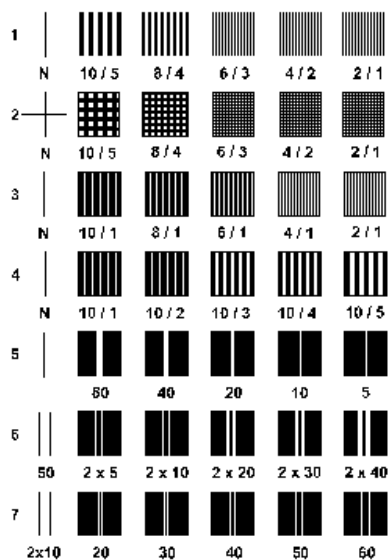
Лазерні указки використовують в своїх конструкціях радіоаматори, як елемент зв'язку в межах видимості.

Вимірювальні прилади та обладнання

Для проведення лабораторних робіт і досліджень явища дифракції світла можна застосувати таке обладнання:

- лазерні указки з довжиною хвилі 470-670 нм та вихідною потужністю 1 мВт (клас II);

- дифракційні ґратки з періодом 1/100 мм, 1/600 мм.
- дифракційні ґратки DG 10 (рисунок 2);
- набір CD, DVD дисків.



ґратки в рядках 1, 3, 4 складаються з вертикальних щілин. Ці ґратки помічені, як d / b , де d – період ґрати в пікселях, b – ширина кожної щілини.

Рядок 2 – накладення вертикальних і горизонтальних щілин.

Рядок 5 складається з одиночних дифракційних щілин різної ширини, відмічених внизу в пікселях.

Рядок 6 складається з пари вертикальних щілин, помічені як $2 \times b$, де b – ширина кожній з щілин в пікселях. Відстань між всіма парами щілин в цьому рядку однаково і дорівнює 50 пікселям.

Рядок 7 також складається з пари вертикальних щілин, помічених як c , де c – відстань між щілинами в пікселях. Для цього рядка ширина кожної щілини однакова і рівна 10 пікселям.

Рисунок 2

Пропонуємо кілька дослідів, які можна провести за допомогою розглянутого обладнання.

1. Дослідження оптичних властивостей CD і DVD диска.

Завдання. Направити промінь від лазерної указки на ту поверхню диска, де записана інформація. Якщо зображення променя на диску має форму яскравої плями (рисунок 3, а) – значить, диск ліцензійний (виготовлений промисловим способом), якщо ж зверху і знизу від плями видно паралельні лінії (рисунок 3, б) – диск записаний на комп'ютері. Замалювати у звіт форму відбитого променя для різних CD-R/RW, DVD-R/RW дисків.

2. Дослідження дифракційної ґратки на базі CD і DVD дисків.

Завдання. Піднести до поверхні диску свічку та спостерігати за відбитим світлом від поверхні диску. Сфотографувати рисунок або його

замалювати. На рисунку 4, *а* зображена фотографія досліду з використанням звичайної свічки, а на рисунку 4, *б* фотографія для свічок різної форми.

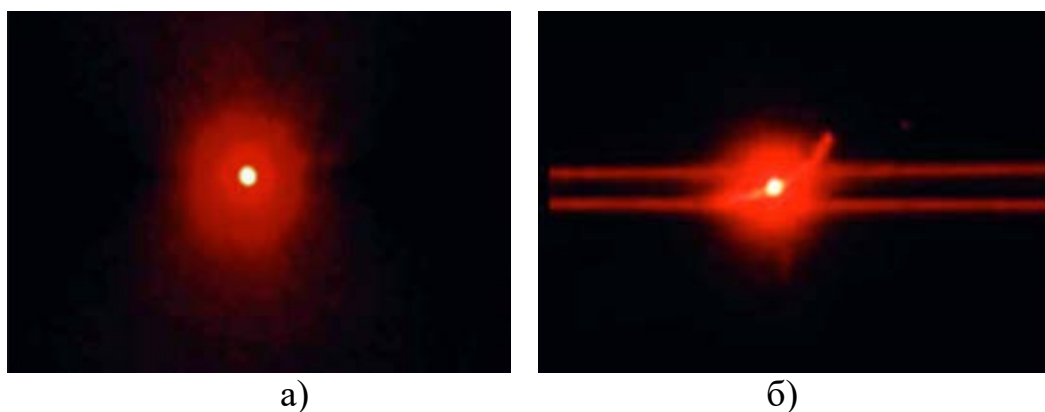


Рисунок 3

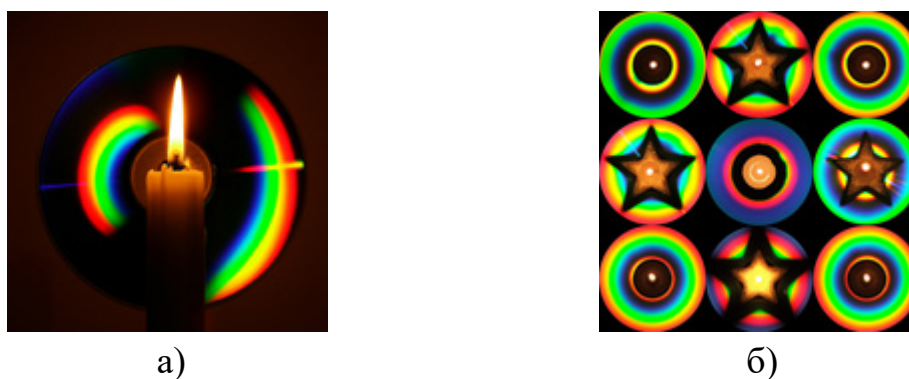


Рисунок 4

3. Провести експеримент з дифракційними ґратками DG10.

Завдання. Розташувати дифракційні ґрати DG10 не ближче 1 м від екрану. На ґрати направити промінь від лазерної указки. Дослідити, як розщеплюється монохроматичний промінь лазера на декілька променів, що поширюються під певними кутами і з інтенсивністю, які визначаються параметрами ґраток. Замалювати дифракційну картину на екрані за ґратками. Визначити параметри ґраток: період і шпаруватість штрихів.

4. Експеримент з дифракційними ґратками DG10, що містять вузькі щілини і пари таких щілин.

Завдання. Виміряти ширину головної інтерференційної плями при дифракції на одній щілині та визначити її ширину.

5. Провести експерименти з лазерними указками різних кольорів.

Завдання. Направити світло від лазерної указки на дифракційну ґратку. За ґраткою на відстані 0,5 м – 1 м встановити екран. Виміряти на екрані відстань від центрального максимуму до максимуму першого, другого, ... порядку. Використовуючи формулу дифракційної ґратки, визначити довжину хвилі випромінювання лазерної указки.

Для лазерної указки червоного кольору ми одержали такі результати:

| Період дифракційної ґратки, мкм | Відстань від ґратки до екрана, м | Зміщення, м | Порядок спектра | Довжина хвилі, мкм |
|---------------------------------|----------------------------------|-------------|-----------------|--------------------|
| 10 | 1,2 | 0,08 | 1 | 0,667 |
| 10 | 1 | 0,066 | 1 | 0,66 |
| 10 | 0,5 | 0,031 | 1 | 0,66 |
| 10 | 0,5 | 0,067 | 2 | 0,67 |
| 10 | 0,2 | 0,013 | 1 | 0,65 |
| 10 | 0,2 | 0,026 | 2 | 0,65 |
| 1,7 | 0,13 | 0,051 | 1 | 0,667 |
| 1,7 | 0,27 | 0,106 | 1 | 0,667 |
| 1,7 | 0,39 | 0,154 | 1 | 0,671 |

Середнє значення довжини хвилі випромінювання червоної лазерної указки за результатами вимірювань 0,662 мкм.

6. Виготовлення з CD та DVD дисків дифракційних ґраток.

Завдання. Зняти з поверхні диска непрозорий шар (наклейку) і з отриманої заготовки вирізати прозору дифракційну ґратку. Повторивши дослідження, описані в п.5, визначаємо період отриманих ґраток.

Ми отримали такі результати визначення періоду дифракційних ґраток, виготовлених з CD диска з використанням червоної лазерної указки:

| Відстань від решітки до екрана, м | Зміщення, м | Порядок спектра | Довжина хвилі, мкм | Період дифракційної решітки, мкм |
|-----------------------------------|-------------|-----------------|--------------------|----------------------------------|
| 0,132 | 0,065 | 1 | 0,662 | 1,34 |

Для дифракційних ґраток, виготовлених з DVD диска з використанням червоної лазерної указки маємо такі результати:

| Відстань від решітки до екрана, м | Зміщення, м | Порядок спектра | Довжина хвилі, мкм | Період дифракційної решітки, мкм |
|-----------------------------------|-------------|-----------------|--------------------|----------------------------------|
| 0,073 | 0,15 | 1 | 0,662 | 0,32 |

Контрольні запитання

1. Намалуйте електричну схему лазерної указки та поясніть принцип її роботи.
2. Наведіть практичні приклади застосування лазерів у промисловості та побуті.
3. Чому відрізняються оптичні властивості ліцензійних дисків та тих, що записані на комп'ютері?
4. Чому світло від свічки, що відбите від поверхні CD диску, розкладається на спектральні складові? Чи буде спостерігатись такий ефект для лампи розжарювання, сонячного світла?
5. Як можна виміряти розміри дрібних предметів (товщину волосся людини), використовуючи явище дифракції світла?

Висновки. Орієнтація вищої освіти на підсилення практичної підготовки – об'єктивне веління часу. Сьогодні за рейтингом досвід практичної роботи стоїть вище ніж тип освіти. Це спонукає до практикоспрямованості при вивченні природничих дисциплін, в тому числі фізики. Фізика, як і інші науки, має свої особливості, засоби і способи пізнання. Значна увага при її вивченні приділяється самостійній пізнавальній діяльності студентів при виконанні лабораторних робіт, практичних завдань, фронтальних експериментів. Це надає можливість прослідкувати чіткі причинно-наслідкові зв'язки у фізичній науці, сприяє не лише розвитку практичних навичок, але й технологіям співробітництва і формуванню комунікативної компетентності.

Разом з тим потрібне осучаснення тематики лабораторних та практичних робіт, що б надавало можливість знайомитися з фізичними основами роботи нових приладів та пристроїв, які стали широко використовуватися в сфері виробництва та побуті. Це сприятиме підвищенню інтересу студентів до вивчення фізики, закріпленню принципів критичного, версійного мислення.

Література

1. Галатюк Ю. М. Дослідницька робота учнів з фізики/ Ю. М. Галатюк, В. І. Тишук. – Х.: Основа, 2007. – 192с. – ISBN 978-966-495-026-5.
2. Добровольська А. М. Фізика. Лабораторний практикум: [Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів I-II рівнів акредитації]/ А.М. Добровольська. – Івано-Франківськ, 2004. – 208с.: іл.
3. Кабардин О. Ф. Сборник экспериментальных и практических работ по физике: 9-11-й классы: [учеб. пособие для учащихся общеобразоват. учреждений]/ О.Ф. Кабардин, В.А. Орлов; под ред. Ю.И. Дика. – М.: АСТ: Астрель: ТРАНЗИТКНИГА, 2005. – 239, [1]с.: ил. – (Школьный урок). – ISBN: 5-8391-0019-6.
4. Коршак Є. В. Науково-технічний прогрес і вивчення фізики в школі. Деякі питання методики: методичний посібник для вчителів/ Є. В. Коршак. – К.: Радянська школа, 1972. – 96с.
5. Крюков П. Г. Лазер – новый источник света/ П. Г. Крюков. – М.: Бюро Квантум, 2009. – 176с. (Библиотека «Квант». Вып. 110. Приложение к журналу «Квант» № 2/2009). – ISBN: 978-5-85843-088-9
6. Разумовский В.Г. Развитие творческих способностей учащихся в процессе обучения физике: Пособие для учителей/ В.Г. Разумовский. – М.: Просвещение, 1975. – 272с.

У статті розглядається використання напівпровідникового лазера для проведення лабораторної роботи з вивчення явищ дифракції та інтерференції світла.

In the article we examine the use of the semiconductor laser for taking of the laboratory work in studying of the phenomena of diffraction and light interference.

В статье рассматривается использование полупроводникового лазера для проведения лабораторной работы по изучению явлений дифракции и интерференции света.