

## УДОСКОНАЛЕННЯ ФІЗИЧНОГО ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМУ У ВНЗ

*Варіативність та інтегративність виконання практичної частини програми з фізики у вищих технічних навчальних закладах – один із шляхів щодо забезпечення системності та функціональності знань студентів з фізики. У статті запропоновано оновлені підходи проведення фізичного лабораторного практикуму для студентів інженерно-технічних спеціальностей.*

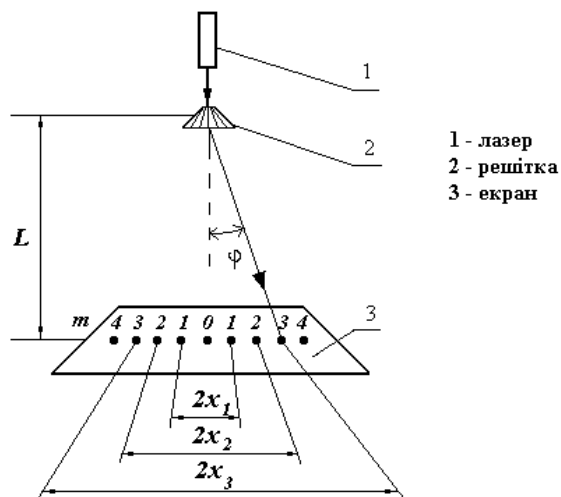
**Ключові слова:** фізичний лабораторний практикум, лазер, ширина забороненої зони, характеристики лазера.

**Постановка проблеми.** Лабораторний практикум є невід'ємною частиною навчання студентів, особливо з такої фундаментальної дисципліни, як фізика. На жаль, на сьогодні існує проблема наявності устаткування для виконання практичної частини програми. Усе це вимагає певної переробки, вдосконалення наявних лабораторних робіт. У 20-му столітті в методику проведення фізичного практикуму значний вклад внесли Л.І. Анциферов, О.І. Бугайов, Р.Є. Бублей, В.О. Буров, С.У. Гончаренко, Б.С. Зворикін, О.Ф. Кабардін, Є.І. Коршак, Ю.І. Дік, О.І. Ляшенко, В.О. Орлов, А.І. Павленко, О.А. Покровський, О.В. Сергєєв, М.М. Шахмаєв та інші видатні науковці.

На сучасному етапі розвитку вищих технічних навчальних закладів, відбувається модернізація структури, змісту, організації проведення фізичного лабораторного практикуму. Також розробляються нові підходи щодо його проведення, формування та оцінювання експериментальних, організаційних, вимірювальних, техніко-конструкторських компетентностей студентів. Наприклад, під час виконання лабораторної роботи "Дослідження напівпровідникового лазера".

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Запропонована лабораторна робота "Дослідження напівпровідникового лазера" базується на знаннях з кількох розділів фізики: хвильові властивості світла (явище дифракції), електричний струм у різних середовищах (електропровідність напівпровідників), елементи атомної фізики та фізики твердого тіла (зонна теорія напівпровідників, випромінювання світла атомом). Як відомо [1], студенти під час виконання лабораторної роботи, керуються, здебільшого, інструкцією до даної лабораторної роботи. В інструкції, зазвичай, подається алгоритм виконання роботи, теоретичні відомості, фізичні знання, які необхідні для розуміння процесів, що відбуваються під час вимірювань та спостережень, а також контрольні запитання для рефлексивно-оціночної діяльності студентів. Також сучасні лабораторні роботи повинні бути компетентнісно-орієнтованими [2, 9].

**Мета статті.** Пропонуємо деякі оновлені підходи в змістовному аспекті щодо проведення лабораторної роботи з фізики з теми "Дослідження напівпровідникового лазера".



Мал. 1. Загальний вигляд установки

### Виклад основного матеріалу статті.

Пропонуємо студентам інженерно-технічних спеціальностей лабораторну роботу "Дослідження напівпровідникового лазера", що передбачає проведення наступних експериментів:

- визначення ширини забороненої зони напівпровідникового лазера;
- визначення кута розходження лазерного променя;

- дослідження залежності товщини лазерного променя від кута повороту лазера.

Дидактична мета викладача: створення для студентів умов, які б допомогли їм зрозуміти єдність теоретичних та практичних знань з фізики, інформатики, математики та сприяли формуванню компетентності саморозвитку та самоосвіти.

Загальний вигляд установки подано на мал. 1.

Мета для студентів: зрозуміти єдність матеріального світу, наприклад, під час дослідження напівпровідникового лазера (визначення його основних характеристик, внутрішньої будови та принципу дії).

**Завдання 1.** *Визначення ширини забороненої зони напівпровідникового лазера [3].*

1. Встановити дифракційну ґратку на деякій відстані між екраном та лазером.
2. Виміряти відстань від дифракційної ґратки до екрану  $L$ .
3. Виміряти відстань між максимумами 1-го, 2-го, ..., 5-го порядків  $2 x_1, 2 x_2, \dots, 2 x_5$  на екрані.
4. Виберемо деякі позначення. Відомо, якщо кут  $\phi$  малий, то буде виконуватись умова

$$\sin \phi \approx \operatorname{tg} \phi = \frac{x}{L} \tag{1}$$

При цьому формула (1) може бути записана у вигляді

$$\frac{d \cdot x}{L} = m\lambda \tag{2}$$

Позначимо через  $y_i$  величину

$$y_i = \frac{d \cdot x_i}{L}, \tag{3}$$

тобто

$$y_i = m \cdot \lambda \tag{4}$$

5. За формулою (3) розрахувати  $y_i$ . Дані занести до таблиці 1.1.

6. Експериментальні результати представити в графічному вигляді  $y = f(m)$ . За графіком визначити середнє значення довжини хвилі лазерного випромінювання  $\bar{\lambda}$  як  $\operatorname{tg} \alpha$  за формулою:

$$\bar{\lambda} = \frac{y_2 - y_1}{m_2 - m_1} \tag{5}$$

7. Заповнити таблицю 1.1

Таблиця 1.1

**Експериментальні дані до завдання 1**

$m$	$x_i, \text{мм}$	$y_i, \text{мм}$	$d, \text{мм}$	$L, \text{мм}$	$\bar{\lambda}, \text{нм}$	$\Delta E_g, \text{еВ}$

8. Визначити ширину забороненої зони за формулою:

$$\Delta E_g = \frac{h \cdot c}{\lambda} \tag{6}$$

**Завдання 2.** *Визначення кута розходження лазерного променя.*

1. Визначити кількість імпульсів лазерного випромінювання за 1 с.

$$N = \frac{W \lambda}{h c t} \tag{7}$$

2. Встановити лазер на мінімальній відстані від екрану. Виміряти діаметр плями  $d$ .
3. Поступово збільшувати відстань від екрану до лазера, вимірюючи кожного разу діаметр плями.

Таблиця 2.1

$L, \text{мм}$											
$d, \text{мм}$											

4. За даними таблиці 2.1 побудувати графік залежності діаметру плями від відстані до екрану. За кутом нахилу графіка визначити кут розходження лазерного променя:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{d_2 - d_1}{L_2 - L_1} \quad (8)$$

Теоретичне значення кута розходження:

$$\alpha = \frac{\lambda}{d_{\text{сер}}} \quad (9)$$

Тілесний кут розходження:

$$\Omega = \pi \theta^2 \quad (10)$$

5. Заповнити таблицю 3.1

Таблиця 3.1

$\theta$ , рад	$\alpha$ , рад	$\Omega$ , рад	$W$ , мкВт	$w_{\min}$ , Вт	$S$ , см <sup>2</sup>	$R$ , м
			5	$10^{-13}$	0,5	

6. Визначити відстань, з якої ще можна помітити падаючий промінь:

$$R = \sqrt{\frac{WS}{w_{\min} \Omega}} \quad (11)$$

$W$  – потужність випромінювання лазера,  $S = 0,5 \text{ см}^2$  – площа зіниці ока,  $w_{\min} = 10^{-13} \text{ Вт}$  – мінімальна потужність, яка сприймається оком людини.

7. Зробити висновок.

**Завдання 3.** Дослідження залежності товщини лазерного променя від кута повороту лазера.

1. Встановити лазер на максимальній відстані від екрану. Виміряти діаметр плями та відстань від лазера до екрана.  $L = \text{мм}$ ,  $\operatorname{tg} \phi = x/L$
2. Поступово збільшувати кут між вертикаллю та променем лазера, вимірюючи кожного разу діаметр плями.

Таблиця 4.1

$x$ , мм									
$\phi$									
$d$ , мм									
$S$ , мм <sup>2</sup>									

3. Побудувати графік залежності площі плями від кута  $S(\phi)$ . Зробити висновок.

**Завдання 4.** Дати відповіді на наступні контрольні запитання. Запитання 1-9 стосуються видів, будови та принципу дії лазерів. Оскільки в роботі використовується напівпровідниковий лазер, то саме йому приділяється особлива увага, а принцип його дії розглядається з точки зору зонної теорії. До запитань подано деякі коментарі.

**Запитання 1.** Назвати основні види лазерів.

Основні типи лазерів [4,5]: газові лазери; лазери на барвниках; лазери на парах металів; твердотільні лазери; напівпровідникові лазери; лазер на вільних електронах; псевдо-Ni-Sm лазер; лазер на центрах забарвлення.

**Запитання 2.** В чому полягає принци дії лазера?

У фізичну основу роботи лазера покладено явище вимушеного (індукованого) випромінювання. Сутність явища полягає в тому, що збуджений атом здатний випромінювати фотон під дією іншого фотона без його поглинання, якщо енергія останнього дорівнює різниці енергій рівнів атома до і після випромінювання. При цьому випромінений фотон когерентний фотону, який викликав випромінювання. Таким чином відбувається посилення світла. Цим явище відрізняється від спонтанного випромінювання, в якому випромінювані фотони мають випадкові напрямки поширення, поляризацію і фазу.

**Запитання 3.** Навести відомі вам класифікації напівпровідникового лазера.

Хоча напівпровідникові лазери (НЛ) є твердотільними, але їх прийнято виділяти в особливу групу. У цих лазерах когерентне випромінювання відбувається внаслідок переходу електронів з нижнього краю

зони провідності на верхній край валентної зони. Існує два типи напівпровідникових лазерів. Перший має пластину бездомішкового напівпровідника, в якому накачування виробляється пучком швидких електронів з енергією 50...100 кеВ. Можливе також оптичне накачування. Зазвичай в лазерах в якості напівпровідников використовують GaAs, CdS або CdSe. Накачування електронним пучком викликає сильне нагрівання напівпровідника, і тому лазерне випромінювання погіршується. Тому такі лазери мають потребу в гарному охолодженні.

НЛ мають ряд факторів на відміну від інших лазерів, що дає можливість їх масово застосовувати, а саме: безпосереднє живлення від низьковольтних джерел струму, високий ККД, простота і компактність пристрою, особливо інжекційних лазерів, висока швидкодія.

Залежно від методів створення інверсної заселеності проведена класифікація напівпровідникових лазерів:

- інжекційні лазери – це лазери, в яких інверсний стан утворюється шляхом зустрічної дифузії електронів і дірок у діоді при прямій напрузі;
- лазери з електронним або оптичним накачуванням, коли інверсія створюється швидкими електронами або фотонами відповідно;
- у стримерних лазерах сильне електричне поле за рахунок лавини носіїв створює у вузькому каналі (стримері) інверсну заселеність.

#### Запитання 4. Особливості роботи напівпровідникового лазера (з точки зору зонної теорії).

З метою досягнення інверсної заселеності [6-8] проводять наступні дії: з'єднують р – напівпровідник та n – напівпровідник; на межі розділу напівпровідників виникає стрибок потенціалу, що запобігає проникненню електронів у кристал, в якому є електрони. Для одержання інверсної заселеності необхідна велика концентрація електронів і дірок, тобто напівпровідник повинен мати велику кількість домішок. Якщо до р-n переходу прикласти зовнішню напругу, що знімає стрибок потенціалу між двома частинами напівпровідника, то рівноважний розподіл електронів порушиться і через напівпровідник піде струм. При цьому електрони переходять в область де багато дірок, а дірки – де багато електронів, на проміжку в декілька мікрон виникає інверсна заселеність. Утворюється шар напівпровідника, який здатний підсилювати електромагнітні коливання за рахунок примусового випромінювання квантів при переході електронів із зони провідності у валентну зону.

Це дозволяє реалізувати лазерний ефект при дуже малих розмірах активних елементів і, відповідно, мати НЛ малих розмірів, але це обмежує їхню потужність. З іншого боку – малі розміри випромінюючої поверхні і нерівномірність їх світіння зумовлюють велику розбіжність випромінювання НЛ – у площині р-n переходу 6...12° і в перпендикулярній – 20...40°.

Довжина хвилі генерації НЛ визначається шириною забороненої зони використаного матеріалу, оскільки лазерний ефект у напівпровідникових матеріалах зумовлений переходом електронів із зони провідності до валентної зони. Основна маса рекомбінуючих електронів і дірок знаходиться біля дна зони провідності та потолка валентної зони. Тому енергія кванта, який випромінюється,

$$\Delta E = h \cdot \nu,$$

де  $\Delta E$  – ширина забороненої зони, тобто,

$$\lambda_z = \frac{c}{\nu} = \frac{ch}{\Delta E}.$$

Діапазон генерації НЛ~ 0, 32 (ZnS)...8, 5 (PbSe) мкм.

До складу багатьох лазерів входять додаткові пристрої для управління випромінюванням, розташовані або всередині резонатора, або поза ним. За допомогою цих пристроїв відхиляється і фокусується лазерний промінь, змінюються різні параметри випромінювання. Довжина хвилі у різних лазерів може становити 0,1...100 мкм. При імпульсному випромінюванні тривалість імпульсів буває в межах від  $10^{-3}$  до  $10^{-12}$  с. Імпульси можуть бути поодинокими або слідувати з частотою повторення до декількох гігерц. Досяжна потужність становить  $10^9$  Вт для наносекундних імпульсів і  $10^{12}$  Вт для надкоротких пікосекундних імпульсів.

Відповіді на наступні запитання можна знайти у завданнях інструкції або використати раніше отримані знання.

5. Основні переваги та недоліки напівпровідникового лазера.
6. Особливості напівпровідникового лазера.
7. Основні характеристики лазера.
8. Як можна визначити довжину хвилі лазерного випромінювання? Пояснити явище дифракції.
9. Чому відбувається розходження лазерного променя?

**Висновки і перспективи подальших розвідок наперед.** Завдяки вивченню системи структурних елементів сучасних технічних пристроїв і технологічних процесів, які інтегровані в університетський курс фізики, створюється система фізичних знань студентів технічних спеціальностей. Лабораторні роботи спрямовані на усвідомлення студентами того, що отримуючи в системі фундаментальні фізичні знання – це можливість їх практичного використання в різних сферах діяльності людини. У таких завданнях відбувається системна трансформація технічних, наукових, технологічних знань і соціального досвіду в різних сферах діяльності людства в контексті формування ключових компетентностей в рамках навчально-виховного процесу з фізики у вищій школі.

### Використані джерела

1. Хуторской А.В. Современная дидактика. Учеб. пособие. 2-е изд., перераб. / А.В. Хуторской. – М. : Высш. шк., 2007. – 693 с.: ил.
2. Формирование ключевых компетентностей учащихся через проектную деятельность: Учебно-методическое пособие / Авт.-сост.: Татарченкова С.С., Телешов С.В. ; под ред. С.С. Татарченковой. – СПб: КАРО, 2008. – 160 с.: ил.
3. Методичні вказівки до лабораторних робіт з фізики. Оптика. Для студентів інженерно-технічних спеціальностей денної форми навчання / Укладачі: Лоскутов С.В., Правда М.І., Луцин С.П., Серпецький Б.О. – Запоріжжя: ЗНТУ. – 2011. – 90 с.
4. Основные типы лазеров / Электронный ресурс: <http://naf-st.ru/articles/quant/ltype/>
5. Виды лазеров / Электронный ресурс: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Виды\\_лазеров](https://ru.wikipedia.org/wiki/Виды_лазеров).
6. Павлов П.В. Физика твердого тела / П.В. Павлов, А.Ф. Хохлов. – М: Высшая школа, 1985 – 384 с.
7. Займан Дж. Принцип теории твердого тела/Дж. Займан. – М: Мир, 1974. – 472 с.
8. Узрт Ч. Физика твердого тела / Ч. Узрт, Р. Томсон. – М: Мир, 1969. – 560 с.
9. Лабораторный практикум по общей физике: Учеб. пособие для студентов физ.-мат.фак. пед. ин-тов / Ю.А. Кравцов, А.Н. Мансуров, Н.Г. Птицина и др.; Под ред. Е.М. Гершензона, Н.Н. Малова. – М.: Просвещение, 1985 – 351 с.: ил.

Gulyaeva T.

### IMPROVING PRACTICAL WORK IN TEACHING PHYSICS AT UNIVERSITIES

*Variability and integrity of implementation of practical part of the program in physics in higher technical educational institutions is one way of ensuring consistency and functionality of the students' knowledge of physics. The article suggested updated approaches of the physical laboratory course for students of engineering.*

*Students of technical specialties was offered to laboratory work "Research of semiconductor laser that provides the following: determines the width of the forbidden zone of the semiconductor laser and the definition of the divergence angle of the laser beam, the dependence of the thickness of the laser beam from the angle of the laser. In the process of implementation by students of the work they practice basic skills such as the ability to assemble a circuit, perform measurements, to process and analyze the results.*

*The didactic purpose of the teacher is to create for students the conditions that would help them the concepts of the unity of theoretical and practical knowledge in physics, computer science, mathematics, and contributed to develop the competence of self-development and self-education.*

*The aim is for students of the concepts of the unity of the material world, for example, in the study of semiconductor laser (determining its main characteristics, internal structure and principle of operation).*

*Through a study of the system structural elements of modern technical devices and technological processes that are integrated in University course of physics, a system of physical knowledge of students of technical specialties. Laboratory work is aimed at students realize that receiving in the system of fundamental physical knowledge is the possibility of their practical use in various spheres of human activity. In these tasks, is a systematic transformation of the technical, scientific, technological knowledge and social experience in various fields of human activity in the context of forming key competences within the framework of the educational process in physics in high school.*

**Key words:** physical laboratory, laser, band gap, the laser characteristics.

Стаття надійшла до редакції 24.05.2016