

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
Кіровоградський державний педагогічний університет
імені Володимира Винниченка

**ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ ЗІ СПЕЦКУРСУ
«Застосування навчального лазера у викладанні
шкільного курсу фізики»**

*Посібник для студентів фізико-математичного
факультету*

Кіровоград 2011

ББК 74.265.1

УДК 53 (07)

В-27

Величко С.П., Слободяник О.В., Сірик П.В., Слесаренко М.В.
Лабораторний практикум зі спецкурсу «Застосування навчального лазера у викладанні шкільного курсу фізики». *Посібник для студентів фізико-математичного факультету/ За ред. С.П.Величка.* – Кіровоград: РВВ КДПУ ім. В.Винниченка, 2011.- 140 с.

У посібнику стисло розкриваються фізичні основи роботи лазерів, взаємодія лазерного випромінювання з речовиною та техніка безпеки при роботі з ОКГ, а також застосування навчальної моделі гелій-неонового лазера у викладанні шкільного курсу фізики.

Головну увагу у посібнику сконцентровано на питаннях організації та проведення лабораторного практикуму зі спецкурсу, який налічує дев'ять лабораторних робіт, що можуть бути запропоновані і під час вивчення курсу фізики у середній школі за профільними програмами.

Посібник рекомендований студентам фізико-математичних факультетів педагогічних вищих навчальних закладів; може бути корисним для вчителів фізики загальноосвітніх навчальних закладів та науковців, що займаються проблемами розвитку і вдосконалення фізичної освіти в школах України.

.Рецензенти: **Садовий М.І.** – доктор педагогічних наук, професор;
Вовкотруб В.П. – доктор педагогічних наук, професор

Друкується за рішенням методичної комісії
Кіровоградського державного педагогічного університету
імені Володимира Винниченка

© Величко С.П., Слободяник О.В.,
Сірик П.В., Слесаренко М.В. 2011

ВСТУП

Основне завдання практикуму – дати майбутнім учителям фізики певний об'єм знань з основ роботи оптичних квантових генераторів (ОКГ) та необхідні вміння і навички для практичного використання їх у шкільному навчально-виховному процесі, підвищивши тим самим рівень професійної підготовки випускників педагогічного ВНЗ для роботи в середній школі в умовах профільного навчання.

Оскільки питання про лазери включені в програму з фізики для середньої школи і промисловість випускає лазер, призначений спеціально для шкільних навчальних потреб, то вчитель фізики не тільки може, але й повинен використовувати навчальний лазер для різних дидактичних цілей. Це в свою чергу означає, що випускники фізико-математичного факультету педагогічного ВНЗ повинні мати достатній обсяг знань щодо будови і роботи ОКГ, методики застосування лазера під час вивчення шкільного курсу фізики. Сюди слід віднести, перш за все, уміння і навички застосовувати навчальний лазер для постановки демонстраційного і лабораторного експерименту, ступінь підготовки студентів для проведення занять у гуртках. Крім того, як показує досвід роботи, для студентів дуже важливо пізнати можливості використання лазера для розробки і постановки експериментальних і творчих задач, а також можливості використання ОКГ в позакласній роботі з фізики. Зазначені питання знаходять своє відображення на лекційних заняттях зі спецкурсу. Але більша частина з них, а саме питання практичного характеру, вирішуються в ході виконання лабораторного практикуму. З цією метою рекомендовано дев'ять лабораторних робіт.

Дві перші лабораторні роботи №1 і № 2 присвячені глибокому з'ясуванню та вивченню фізичних основ роботи ОКГ (сутності вимушеного випромінювання, яке можливе за певних умов у квантовій системі мікрочастинок, визначенню коефіцієнта поглинання і підсилення у цій системі тощо, а також дослідженню властивостей лазерного випромінювання, а саме кута його розбіжності). Виконання зазначених лабораторних робіт передбачає більш глибоке вивчення оптичних властивостей середовища, в якому створена інверсна заселеність, а також застосування деяких наукових методів, що використовуються для визначення кута розсіяння лазерного випромінювання.

Лабораторні роботи №3 і №6 можуть бути використані в шкільному практикумі з фізики як роботи фізичного або факультативного практикуму. В зв'язку з цим завдання до них передбачають не тільки вимірювання і отримання конкретних результатів, а й складання інструкцій або оцінку методичних рекомендацій, що вже створені.

Лабораторна робота №7 передбачає вивчення студентами комплекту

навчальної моделі газового лазера ЛГ-209 або ЛГН-109 і виконання ряду демонстраційних дослідів з інтерференції та дифракції світла, проведення яких з природними джерелами світла в умовах середньої школи неможливе. Особливо цінним є опанування методикою постановки досліду Аббе.

Лабораторні роботи № 8 і № 9 дають можливість на їх основі розширити знання студентів з голографії і на конкретних прикладах показати, як практично їх реалізувати в умовах середньої школи, активізуючи позакласну роботу в таких її формах, як дослідницька та експериментальна робота учнів, фізико-технічні гуртки та ін. Крім того, виготовлені голографічні дифракційні ґратки в майбутньому можна використовувати на уроках фізики як навчальне обладнання, що за своїми можливостями і якістю кращі за промислові дифракційні ґратки. Тому можливе підвищення ефективності системи шкільного фізичного експерименту – демонстрацій, фронтальних експериментів і лабораторних робіт на основі ґраток, виготовлених голографічним методом.

Перше лабораторне заняття практикуму присвячене організаційним питанням і ознайомленню студентів з основними завданнями і метою практикуму. На цьому занятті студенти знайомляться зі змістом лабораторних робіт, графіком їх виконання, вимогами до підготовки, виконання і оформлення звітів до кожної із виконаних робіт.

Важливе значення на вступному занятті приділяється загальним правилам поведінки в лабораторії, вимогам техніки безпеки при роботі з усіма приладами і особливо при роботі з лазером. Ці питання розглядаються у вигляді інструктажу і фіксуються в спеціальних журналах. Виконання інструкції обов'язкове для кожного студента і контролюється викладачем і лаборантом протягом усіх занять. У випадку їх невиконання студент не допускається до роботи, а можливість виконання роботи у студента з'являється лише після наступного інструктажу, що фіксується повторно в журналі.

Частина вступного заняття присвячено обговоренню тих прикладів застосування ОКГ, які студенти описали в коротких рефератах. При цьому кожний студент описує, не повторюючи товаришів, один з конкретних прикладів використання лазера в науці, техніці, медицині, будівництві та інших галузях народного господарства. Обов'язковим в завданні є короткий виклад суті прикладу використання ОКГ в практичній діяльності людини, ілюстрація схеми установки, принципу її роботи або других основних питань застосування лазера у цьому прикладі, посилання на використану літературу.

Після обговорення змісту реферату кожен студент виступає зі своїм повідомленням на тематичних фізичних вечорах та інших заходах, що організовуються для студентів перших курсів.

При підготовці до лабораторного заняття студент повинен вивчити опис до роботи, познайомитися з обладнанням і установкою для виконання роботи. Оскільки теоретичні відомості в рекомендаціях викладені стисло, то для більш глибокого вивчення окремих питань необхідно опрацювати матеріал згідно рекомендованої літератури.

Без завчасної підготовки, якість якої перевіряє викладач і лаборант, студент не допускається до виконання лабораторної роботи.

При складанні письмового звіту про виконання лабораторної роботи студент повинен внести результати вимірювань і кінцеві результати експерименту (таблицю з даними вимірювань і обчислень), розрахувати абсолютну і відносну похибки, побудувати відповідні графіки і сформулювати висновки відносно методики вимірювань або визначеної величини.

ПРОГРАМА СПЕЦКУРСУ

Тематика лекційних занять з курсу

№ з/п	Тема	К-сть годин	Література	Примітка
1	Вступ. Предмет, мета і роль лазерної техніки в розвитку народного господарства. Історія створення оптичних квантових генераторів.	1	[1, С. 7-12] [2, с.9-54]	
2	Фізичні основи роботи ОКГ. Випромінення абсолютно чорного тіла. Спонтанне і вимушене випромінення. Поглинання світла в речовині. Інверсна населеність. Можливі методи одержання інверсної населеності. Підсилення світла.	1	[1, § 1.1, §1.3, §2.2, §2.4, §2.5] [2, гл. 2] [3, §119, 120] [4, §769-779]	
3	Оптичні квантові генератори як автоколивальна система. Резонатори для ОКГ	1	[1, р.6] [2, р. 3] [3, §120 (4)] [4, §225]	
4	Деякі типи оптичних квантових генераторів. Особливості їх конструкції. Класифікація лазерів (твердотілі, напівпровідникові, газові, рідинні лазери). Властивості лазерного випромінення.	1	[1, Р. 7,8,9] [2, Р. 4,5,6,] [5, Р.1]	
5	Дія лазерного випромінення і техніка безпеки при роботі з лазерами. Взаємодія лазерного випромінення з речовиною. Біологічна	2	[5,с. 49-188]	

	дія лазерного випромінювання. Захист від лазерного випромінювання. Техніка безпеки при роботі з лазерами.			
6	Методи вимірювання параметрів і характеристик оптичних квантових генераторів. Визначення втрат в резонаторі. Вимірювання монохроматичності випромінювання ОКГ. Дослідження когерентності випромінювання ОКГ. Вимірювання кута розходження і розподілу енергії в пучку. Вимірювання ступеня поляризації пучка ОКГ. Вимірювання потужності і енергії випромінювання ОКГ. Вимірювання довжини хвилі.	Матеріал опрацьовується самостійно і звітується у вигляді написання реферату.	[2, с.295-354]	
7	Деякі застосування ОКГ. Лазерні далекоміри, вимірювачі швидкості, гіроскопи. Оптична голографія. Інші застосування ОКГ.	Матеріал опрацьовується самостійно і звітується у вигляді реферату.	[1, Р. 12,13,14,15] [2, с.397-447] [6], [7]	
8	Застосування ОКГ у викладанні шкільного курсу фізики. Вимоги до лазерів, що застосовуються в навчальному процесі. Вимоги до демонстраційних	2	[14-17]	

	установок на основі ОКГ. Демонстраційні досліди до розділу фізики у випускному класі із застосуванням ОКГ.			
9	Застосування навчального лазера для постановки лабораторного експерименту з курсу фізики середньої школи.	2	[14-17]	
10	Використання газового лазера для розробки і постановки експериментальних і творчих задач з оптики. Використання ОКГ в позакласній роботі з фізики в середній школі.	2	[14-17]	

Лабораторні роботи

1. Вивчення оптичних властивостей інверсного середовища.
2. Вивчення кута розбіжності лазерного випромінювання.
3. Вивчення спектрального складу випромінювання газового лазера.
4. Вивчення і практичне застосування когерентності випромінювання лазера.
5. Дослідження ступеня поляризації лазерного випромінювання.
6. *Вивчення інтерференції світла.
7. *Дослідження характеру розподілу інтенсивності лазерного випромінювання в дифракційному спектрі і визначення періоду ґратки (самостійно для бажаючих).
8. **Отримання і дослідження голографічних дифракційних ґраток.
9. **Отримання елементарних голограм і вивчення основних властивостей голограми.

*)Робота №6, 7 рекомендована для самостійного її виконання для бажаючими.

**)Робота № 8 і №9 в залежності від зацікавленості студентів можуть бути об'єднаними в одну.

РОЗДІЛ 1. ФІЗИЧНІ ОСНОВИ РОБОТИ ОКГ

1.1. Основні поняття і закони випромінювання. Закони випромінювання фізичних систем. 1.2. Закони розподілу квантових частинок за енергетичними рівнями. 1.3. Процеси випромінювання і поглинання електромагнітних хвиль. 1.4. Резонатори для ОКГ. 1.5. Деякі типи оптичних квантових генераторів. Особливості їх роботи і конструкції

Питання для самостійного вивчення а) Випромінювання абсолютно чорного тіла. б) Багатопроренева інтерферометрія.

1.1 Основні поняття і закони випромінювання. Закони випромінювання фізичних систем

Будь-який вид випромінювання характеризується перенесенням енергії від випромінюючої фізичної системи до тієї, що поглинає. Всі матеріальні тіла, що мають температуру $T > 0^\circ\text{K}$, випромінюють або поглинають енергію. Отже, всі тіла, з якими нам доводиться мати справу в житті, завжди обмінюються енергією.

Випромінювання, будучи якісним різновидом енергії, є мірою руху матерії - об'єктивної реальності, яка існує поза і незалежно від нашої свідомості. Разом з тим як особлива форма матерії випромінювання має подвійну природу: воно володіє хвилевими і корпускулярними властивостями. Частинки речовини за певних умов можуть перетворюватися на випромінювання, а випромінювання - в частинки речовини.

Уявлення про світло як про потік частинок вперше ввів І. Ньютон (1643-1727) в роботі "Оптика, або трактат про відбивання, заломлення, вигинання і кольори світла", де він сформулював в 1704 р. основи теорії процесу випромінювання світла.

Основні заперечення проти цієї теорії зводилися до неможливості пояснити прямолінійне розповсюдження світла. У цій же роботі подано

елементи компромісної теорії, яка поєднує позитивні сторони корпускулярної і хвильової гіпотез про природу світла.

Погляди на природу світла постійно мінялися аж до нашого часу.

Періодичність процесу розповсюдження променистої енергії в часі і просторі пояснює такі властивості і світлові явища, як інтерференція, дифракція і поляризація. Науковою основою такого пояснення слугували дослідження голландського вченого Р. Гюйгенса (1629-1695), англійського фізика Т. Юнга (1773-1829) і французького фізика О. Френеля (1788-1827).

Електромагнітна природа випромінювання була відкрита Д. Максвеллом (1831-1879) і описувалася системою рівнянь, що об'єднували закономірності електричного і магнітного поля. Згідно цієї теорії навіть найслабкіше збудження електромагнітної хвилі, що описується хвилевими функціями $E(q;t)$; $H(q;t)$, пройде через весь простір в нескінченність із швидкістю світла.

Перехід від якісних до кількісних оцінок вивчення електромагнітного випромінювання зажадав уведення низки законів, понять і характеристик.

Поняття "спектр випромінювання" виражає набір монохроматичних хвиль, з яких складається електромагнітне поле. Всі випромінювання ділять на складні і квазімонохроматичні, причому складні об'єднують з квазімонохроматичні випромінювання і мають суцільні, лінійчасті і смугасті спектри. Суцільні спектри характерні для теплового випромінювання і люмінесценції. Лінійчасті спектри дають гази і пари металів при випусканні і поглинанні випромінювання. Смугасті спектри дають молекули, перебуваючи в оберտальному і коливальному русі.

Випромінювання прийнято характеризувати довжиною хвилі λ і частотою ν .

Символом $\rho_\lambda = \frac{\Delta E}{\Delta \lambda}$ позначають спектральну густину розподілу енергії випромінювання в інтервалі довжин хвиль (λ ; $\lambda \pm \Delta \lambda$), тобто до енергії електромагнітного випромінювання, що припадає на 1 см^3 простору і на одиничний інтервал частот, де $\lambda \nu = c$; і $\frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \frac{\Delta \nu}{\nu}$.

Кількісні величини випромінювання визначаються такими законами:

1. Закон Р. Кірхгофа (1824-1887), який характеризує постійність відношення спектральної густини випромінювання до спектральних коефіцієнтів поглинання будь-яких мікросистем, що мають однакову температуру:

$$\frac{\rho_{\nu_1}}{\alpha_1} = \frac{\rho_{\nu_2}}{\alpha_2} = \dots = \frac{\rho_{\nu_n}}{\alpha_n} = \rho_{\nu_n} - \text{ густина випромінювання абсолютно}$$

чорного тіла.

2. Просторова щільність випромінювання (сила випромінювання – $I = \frac{d\rho}{d\Omega}$) потужність випромінювання в одиниці

тілесного кута в напрямі, що становить кут θ з нормаллю до поверхні елементарного випромінювання, визначиться **законом І. Ламберта** (1728-1777pp): $I_\theta = I_0 \cos \theta$

3. Густина випромінювання пропорційна четвертому степеню температури абсолютно чорного тіла (**закон І. Стефана** 1835-1893pp)- **Л.Больцмана** (1844-1906): $\rho_{\lambda_s} = \sigma T^4$,

де $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2\text{К}$ – постійна Стефана-Больцмана.

4. Закон зсуву В. Віна (1864-1928pp), який визначає екстремум функції ρ_{λ_s}

$$\lambda_{\max} = \frac{2898}{T} \text{ м}$$

При підвищенні температури випромінюючого тіла відбувається збільшення потужності випромінювання, пропорційне абсолютній

температурі T . При цьому максимум ρ_λ зміщується в бік коротких довжин хвиль, оскільки збільшується енергія поступального, коливального і обертального руху мікросистем (атомів, молекул, іонів, електронів, ядер і т.п.) Енергія мікрочасток квантується: $\dot{A} = h\nu = \Delta E_{\dot{\lambda}\dot{\lambda}\dot{\lambda}\dot{\lambda}} + \Delta \dot{A}_{\dot{\nu}\dot{\nu}\dot{\nu}\dot{\nu}} + \Delta \dot{A}_{\dot{a}\dot{e}}$.

Зазвичай: $\dot{A}_{\dot{\lambda}\dot{\lambda}\dot{\lambda}\dot{\lambda}} = 10^{-3} \div 10^{-2}$ еВ ($\nu_{\dot{\lambda}\dot{\lambda}\dot{\lambda}\dot{\lambda}} \sim 10^{11} \div 10^{12}$ Гц – інфрачервоний (ГЧ) і міліметровий діапазон довжин хвиль).

$\dot{A}_{\dot{\nu}\dot{\nu}\dot{\nu}\dot{\nu}} = 10^{-2} \div 1,0$ еВ ($\nu_{\dot{\nu}\dot{\nu}\dot{\nu}\dot{\nu}} \sim 10^{12} \div 10^{14}$ Гц)- відповідає видимому і ультрафіолетовому (УФ) діапазону довжин хвиль.

$$E_{\dot{a}\dot{e}} = 1,0 \div 10 \text{ еВ } (\nu_{\dot{a}\dot{e}} \sim 10^{14} \div 10^{15} \text{ Гц}).$$

Теорію Максвелла підтвердили експериментальні дослідження Р. Герца (1857-1894), але до початку ХХ століття виявилось, що класична електромагнітна теорія випромінювання не могла пояснити розподіл енергії випромінювання абсолютно чорного тіла (АЧТ) в ультрафіолетовій частині спектру ("ультрафіолетова катастрофа").

Для пояснення цієї суперечності німецький фізик М. Планк (1858-1947) припустив, що природа випромінювання пов'язана з атомними і молекулярними процесами в речовині: джерелами випромінювання є атоми і молекули, енергія яких може змінюватися тільки певними порціями - дискретно, квантами енергії, причому величина кванта енергії $E = h\nu$.

Для опису експериментальних результатів М. Планк вивів формулу спектрального розподілу густини випромінювання з поверхні деякої системи, яка знаходиться в термодинамічній рівновазі:

$$\rho = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \cdot \frac{h\nu}{e^{kT} - 1},$$

де $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж/Гц - постійна Планка;

$k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К- постійна Больцмана;

$c = 2,9979 \cdot 10^{10}$ см/с - швидкість світла;

T - абсолютна температура, К.

У 1905 р. А. Ейнштейн сформулював фотонну теорію, в якій випромінювання розглядається як потік частинок з енергією у вигляді фотонів, які випромінюються і поглинаються речовиною дискретно. Фотон - це найменша порція (квант) енергії певної частоти, що володіє одночасно корпускулярними і хвиловими характеристиками.

$$p = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda} \quad ; \quad \lambda = \frac{h}{p} \text{ хвиля де Бройля.}$$

У 1924 р. Луї де Бройль розповсюдив це на всі частинки.

В результаті можна розглядати суцільний спектр електромагнітних випромінювань, що розповсюджується від γ -променів ($\lambda = 10^{-7}$ мкм) до довгохвильових радіохвиль і випромінювань генераторів змінного струму з довжиною хвиль 6 000 км.

1.2. Закони розподілу квантових частинок за енергетичними рівнями

Тіло, що вивчається як джерело електромагнітного випромінювання (нитка розжарення, газовий розряд і т.д.), завжди можна розглядати як систему безлічі мікрочасток (квантових частинок), що характеризуються певним станом.

У класичній механіці розподіл частинок деякої системи за енергетичними рівнями визначається законом Л. Больцмана (1844-1906), тобто законом розподілу ймовірності заповнення різних енергетичних станів. Згідно закону Больцмана співвідношення між числом частинок з різними енергіями описується таким чином:

$$N_n = N_m e^{\frac{\mu - E_n}{kT}}$$
, де N_n , N_m - число частинок, що знаходяться на енергетичних рівнях n і m або володіють енергією E_n і E_m .

Розподіл середнього числа частинок за енергетичними рівнями описується

функцією Максвелла-Больцмана, яка має вигляд: $f_{\mu-A}(\dot{A}_n) = e^{\frac{\mu-E_n}{kT}}$, де E_n – n -ий енергетичний рівень квантової системи, μ – функція стану термодинамічної системи, хімічний потенціал.

Графічна залежність цієї функції при різних значеннях температури показана на рис.1.1.

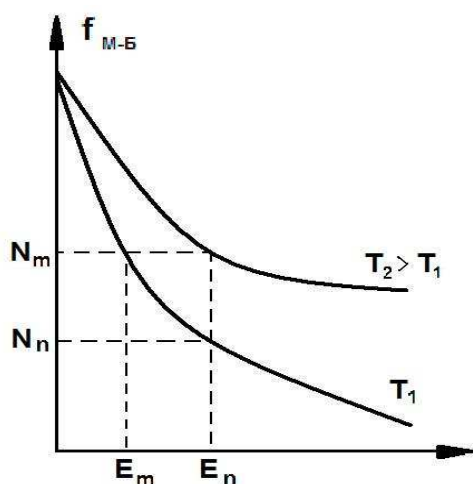


Рис. 1.1. Функція розподілу частинок у системі за статистикою Максвелла-Больцмана

Статистика, що описує такий розподіл мікрочасток в системі, називається статистикою Максвелла-Больцмана.

Система ж частинок, що підкоряється цій статистиці, називається моделлю Максвелла-Больцмана. У цій системі будь-які два стани, які відрізняються тим, що частинки помінялися місцями, різні. Всі частинки в моделі Максвелла-Больцмана помітні, вони володіють індивідуальністю.

У квантовій механіці розглядаються системи, всі частинки яких вважаються невиразними, абсолютно ідентичними. У таких моделях безлічі частинок у фізичній ситуації нічого не змінюється, якщо, наприклад, дві частинки помінялися місцями.

Частинки, на які, окрім умови непомітності, ніякі інші обмеження не накладаються, називаються **бозонами**. Модель подібних частинок називають моделлю Бозе-Ейнштейна, а статистика, що описує стан системи, – відповідно статистикою Бозе-Ейнштейна. До бозонів

відносяться частинки, спіні яких кратний цілому числу \hbar , наприклад, фотон, атом гелію, молекули достатньо розрідженого газу.

Для бозонів справедливий наступний закон розподілу за енергетичними станами, тобто середнє число частинок системи в будь-якому n -ому квантовому стані:

$$f_{A-\tilde{y}}(E_n) = \frac{1}{e^{\frac{E_n - \mu}{kT}} - 1}$$

Ця статистика в 1924 році була введена для світлових квантів індійським фізиком Ш. Бозе (1894-1974), а потім узагальнена на всі квантові системи А. Ейнштейном (1879-1955). Застосовується вона для рідкого гелію ${}^4\text{He}_2$, для електромагнітного випромінювання, що знаходиться в термодинамічній рівновазі з речовиною.

Частинки, спіні яких рівний напівцілому числу \hbar тобто $\frac{1}{2}\hbar$, називаються **ферміонами**. До них відносяться електрони, протони, нейтрони. На ферміони, окрім принципу непомітності, накладається додаткове обмеження – принцип Паулі (сформульований в 1925 р. швейцарським фізиком В. Паулі (1900-1958)), згідно якого в одному квантовому стані може знаходитися тільки одна частинка, або два ферміони не можуть знаходитися в одному і тому ж стані, одночасно.

Модель подібної системи частинок - система ферміонів підкоряється

статистиці Фермі-Дірака: $f_{\delta-\tilde{A}} = \frac{1}{e^{\frac{E_{\delta} - \mu}{kT}} + 1}$

Графічна залежність функції розподілу ферміонів за енергетичними рівнями при різних значеннях температури показано на рис. 1.2.

Ця статистика була запропонована в 1925 році італійським фізиком Є. Фермі (1901-1954), а її зв'язок з квантовою механікою детально з'ясований в 1926 році англійським фізиком-теоретиком П. Діраком (1902г.).

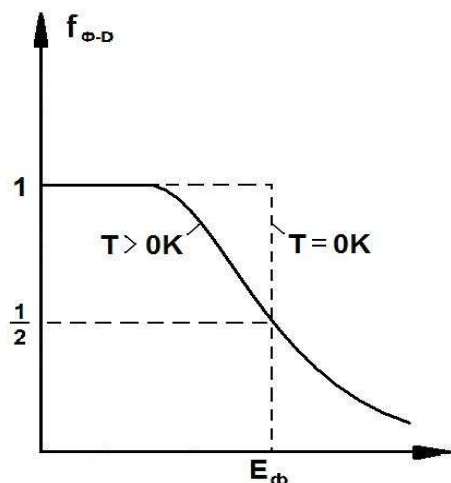


Рис.1.2. Розподіл ферміонів по енергетичних рівнях при різних значеннях температури. Згідно статистики Фермі-Дірака ступінь заповнення квантових станів лежить в інтервалі:

$$0 \leq f_{\text{Ф-Д}}(E) \leq 1$$

Розподіл Фермі-Дірака нормований умовою, яка в неявному вигляді визначає хімічний потенціал як функцію температури T і населеності N_0 .

$$\sum_n \frac{1}{e^{\frac{E_n - \mu}{kT}} + 1} = N_0$$

Якщо $\exp[(\mu - E_f)/(kT)] \ll 1$, то $f_{\text{Ф-Д}}(E) \rightarrow f_{\mu\text{-Б}}(E)$.

Те ж саме відбувається і з розподілом Бозе-Ейнштейна, тобто при $(E_n - \mu) \gg kT$ і відповідно функція Бозе-Ейнштейна переходить у функцію Максвелла-Больцмана, тобто $f_{\text{Б-Э}}(E_n) \rightarrow f_{\mu\text{-Б}}(E_n)$. Цей факт розкриває глибокий взаємозв'язок фізичної природи випромінювання і речовини.

Рівень Фермі $E_{\text{Ф}}$ - це найвищий заповнений рівень енергії при $T = 0^\circ\text{K}$. Чим більше число електронів в системі, тим вище розташований рівень Фермі. Якщо електрони мають температуру вище 0°K , то частина з них заповнює рівень вище за рівень Фермі, тобто електрони знаходяться у виродженому стані, коли розподіл електронів по рівнях Фермі-Дірака відрізняється від розподілу Максвелла-Больцмана.

1.3. Процеси випромінювання і поглинання електромагнітних хвиль

За законами квантової механіки, енергія електрона в атомі не може приймати довільних значень. Вона має певний дискретний ряд $E_0, E_1, E_2, \dots, E_n$, який називається рівнями енергії. E_0 - основний рівень - з найменшою енергією.

У 1913 р. Н. Бор (1385-1962) сформулював свої постулати, згідно яких виділяється або поглинається величина енергії, рівна різниці енергетичних рівнів, тобто $h\nu = E_n - E_m = \Delta E$.

Частотний спектр - набір електромагнітних хвиль, що випромінюються або поглинаються атомами речовини, тісно пов'язаний з енергетичним спектром атомів.

Якщо атом знаходиться у деякому збудженому стані - на рівні E_n , то його стан нестійкий, він випромінює, переходячи на нижчий рівень E_m . Тут має місце самовільний (спонтанний) квантовий перехід - явище випадкове в часі і просторі. Його точно передбачити неможливо, можна говорити лише про його ймовірність.

А. Спонтанне випромінювання. Енергія випускається самовільно безліччю атомів, тому це випромінювання некогерентне. Внаслідок цього випромінювання всіх природних джерел світла немонохроматичне, некогерентне і неполяризоване.

Б. Вимушене (індуковане) випромінювання є випромінюванням атомів під впливом зовнішнього поля, якщо частота електромагнітної хвилі близька до частоти переходу атома $\nu_{nm} = (E_n - E_m)/h$.

Вимушене випромінювання теж характеризується ймовірністю. Вперше проблему випромінювання квантових систем розглянув А. Ейнштейн. Він увів коефіцієнти A_{nm} і B_{nm} , що характеризують

спонтанні і індуковані переходи, які зв'язані між собою: $A_{nm} = \frac{8\pi h\nu^3 g_n}{c^3 g_m}$;

$B_{nm} = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} B_{mn}$, де g_n і g_m – кратність виродження рівнів (число станів на певному рівні енергії).

Квантова система може знаходитися в стані, коли має місце:

- індуковане поглинання з ймовірністю W_{mn} ;
- індуковане випромінювання з тією ж ймовірністю W_{mn} ;
- спонтанне випромінювання, ймовірність якого A_{nm} .

Оскільки ймовірність індукованого переходу пропорційна спектральній густині випромінювання $W_{mn}=B_{mn}\rho_\nu$, А. Ейнштейн показав, що, якщо

$$N_n A_{nm} + N_n B_{nm} \rho_\nu = N_m B_{mn} \rho_\nu, \quad \text{то} \quad \rho_\nu = \frac{A_{nm} N_m}{B_{mn} N_m - N_n}.$$

Оскільки розподіл Больцмана $N = N_m = N_n \exp(h\nu / kT)$ і $B_{nm}=B_{mn}$; $A_{nm}=(8\pi h\nu^3/c^3)B_{nm}$, можна отримати формулу Планка:

$$\rho_\nu = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \cdot \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1},$$

де $h\nu$ - енергія фотона;

$\frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}$ - середнє число фотонів, яке припадає на одне коливання

монохроматичного випромінювання;

$\frac{8\pi\nu^2}{c^3}$ - число коливань монохроматичного випромінювання.

Висновки:

1 – із зростанням частоти ν вірогідність спонтанного переходу різко зростає;

2 – при $h\nu \gg kT$ система вироджується в квантово-механічну.

3 – при $h\nu \ll kT$ - система є класичною механічною.

Але в квантовій механіці не всі квантові переходи можливі, існує правило відбору. Крім того, квантова механіка не заперечує можливість безвипромінювальних переходів (S_{nm} - ймовірність цих переходів). Тоді повна ймовірність квантових переходів $P_{nm} = A_{nm} + W_{nm} + S_{nm}$, де $W_{nm} = B_{nm}\rho_\nu$.

Якщо населеність N_n рівня E_n більше населеності N_m рівня E_m , розташованого нижче, то таку речовину називають активною.

Наростання інтенсивності потоку в активній речовині (підсилення світла) по всій довжині речовини і виразиться залежністю (законом Бугера): $I = I_0 e^{G\ell}$,

де $G \approx \frac{16\pi^2\nu}{h\nu\Delta\nu} (N_n - N_m) |D_{nm}|^2$ - коефіцієнт квантового підсилення Бугера

D_{mn} - матричний елемент дипольного моменту квантового переходу -
 $N_n - N_m = \Delta N$ - інверсія населеності рівнів.

У природних умовах за законом Больцмана

$$N_n = N_m \frac{g_n}{g_m} e^{-\frac{E_n - E_m}{kT}}$$

Тому, щоб збільшити ймовірність вимушеного випромінювання, необхідно штучно збільшити населеність верхнього або зменшити населеність нижнього енергетичного рівня.

Такий стан характеризують як стан з негативною температурою, що еквівалентно "інверсії населеності".

Якщо $N_n > N_m$, то $\frac{N_n}{N_m} = e^{\frac{h\nu_{nm}}{kT'}} > 1$, то $T' < 0$

Але в реальних процесах мають місце і релаксації. Тому $I = I_0 e^{(G-\beta)\ell}$, де $\beta\ell$ - сумарні втрати енергії в речовині. Відтак, щоб отримати вимушене випромінювання, необхідно:

1 - мати речовину з наявними двома енергетичними рівнями, між якими можливі переходи: $\Delta E = E_n - E_m$;

2 – мати можливість створювати в цій речовині інверсію населеності на зазначених енергетичних рівнях: $\Delta N = N_n - N_m > 0$;

3– домогтися того, щоб коефіцієнт квантового підсилення був більшим усіх втрат, тобто $G \geq \beta$.

Графік залежності інтенсивності випромінювання при проходженні

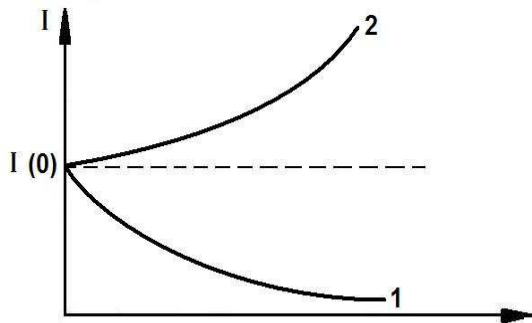


Рис.1.3. Залежність інтенсивності випромінювання при проходженні через: 1.-нормальне середовище; 2.- інверсне середовище

через прозоре середовище, виразиться кривою 1, показаною на рис. 1.3.

Якщо в середовищі заселеність верхнього рівня перевищує заселеність нижнього так, що $\Delta N = N_n - N_m > 0$,

середовище набуває надзвичайної властивості: підсилювати випромінювання на частоті переходу $\nu_{nm} = \frac{(E_n - E_m)}{h}$ (крива 2 на рис.1.3.).

Таке середовище називається **інверсним**. Для інвертованого переходу в інверсному середовищі коефіцієнт Бугера позитивний і називається показником підсилення: $I = I_0 e^{k_y l}$.

Для нормального середовища, де немає інвертованих переходів, коефіцієнт Бугера негативний і його називають коефіцієнтом послаблення: $I = I_0 e^{-k_y l}$ (крива 1 на рис. 1.3).

В. Квантові переходи між енергетичними станами добре описуються кінематичними рівняннями (швидкісними рівняннями або рівняннями балансу). Цей метод використовується для вирішення цілого ряду фізичних завдань мікросвіту: накачування речовини в стаціонарному режимі; визначення типів коливань лазерного випромінювання,

порогового значення накачування; обчислення ширини лінії випромінювання; отримання умов, що визначають генерацію лазерів; динаміку генерації гігантського імпульсу і т.п.

Кінетичні рівняння описують зміну в часі середніх значень кількості квантів і населеності станів квантових рівнів з урахуванням елементарних міркувань про ймовірність переходів.

Охарактеризуємо процес накачування. Накачування - це процес переведення квантових частинок на збуджені енергетичні рівні під дією певних процесів подання до системи енергії відповідної потужності, наприклад, енергії світла, електричного струму, хімічних реакцій і т.д. В результаті дії накачування утворюється інверсія населеності квантових рівнів і речовина, поглинаючи частину енергії, яка подається до неї через накачування, стає активною.

При аналізі умов отримання інверсії населеності розглядаються тільки початкові і кінцеві стани основних квантових переходів. Залежно від кількості таких станів говорять про двох-, трьох- або чотирьохрівневі схеми збуджень робочих станів. Кожна з названих схем є спрощенням, що дозволяє враховувати тільки основні переходи на зазначених енергетичних рівнях.

Випромінювання накачки взаємодіє тільки з одним переходом. Цього досягають підбором спектрального складу випромінювання накачування і рівнів поглинання активної речовини, або конкретної групи рівнів, у яких вірогідність переходу з основного стану у верхні збуджені значно перевищує вірогідність всіх інших квантових переходів.

Зміна населеностей рівнів обумовлена наступними квантовими механізмами:

а - спонтанними переходами на нижні рівні з вірогідністю переходу

A_{nm}

б - безвипромінювальними переходами, що перетворюють енергію квантових переходів в теплову з вірогідністю переходу S_{nm} ;

в - індукованим випромінюванням (поглинанням) з вірогідністю переходу $\rho_v B_{nm}$.

Проста дворівнева квантова система, де активне середовище має рівень E_1 - основний стан і рівень; E_2 - можливий збуджений стан, показує, що при оптичному накачуванні принципово неможливо створити інверсію населеностей і отримати генерацію (рис.1.4.).

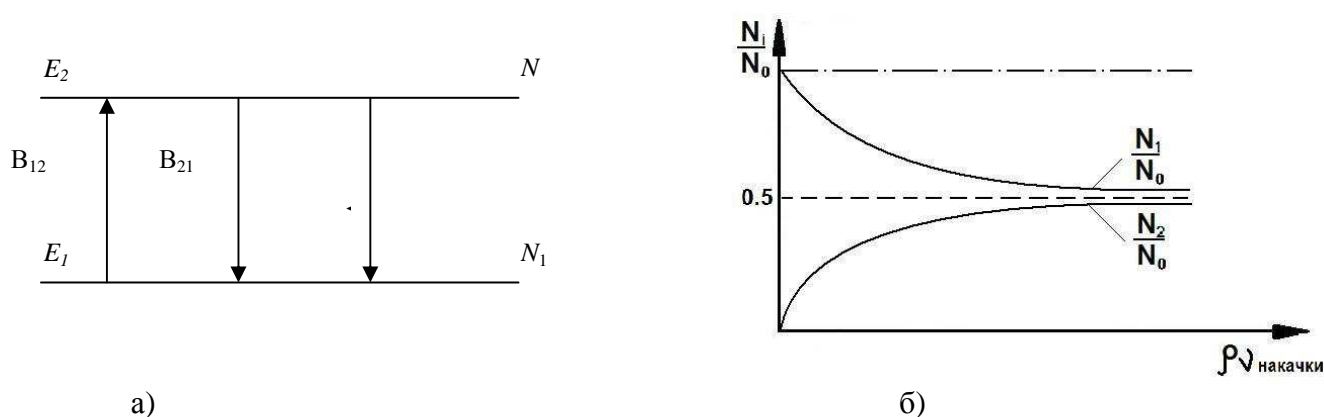


Рис. 1.4. Схема енергетичних рівнів станів дворівневої квантової системи (а) і залежність населеностей рівнів $\frac{N_1}{N_0}$ і $\frac{N_2}{N_0}$ від густини випромінювань накачки ρ_v (б).

Трирівнева квантова система (рис. 5) характерна переходами з вірогідністю:

- 1) $E_1 \rightarrow E_3 - B_{13} \rho_v$
- 2) $E_3 \rightarrow E_1 - B_{31} \rho_v$
- 3) $E_3 \rightarrow E_2 - S_{32}$ - безвипромінювальні переходи;
- 4) $E_3 \rightarrow E_1 - A_{31}$ - спонтанні;
- 5) $E_2 \rightarrow E_1 - A_{21}$ - спонтанні.

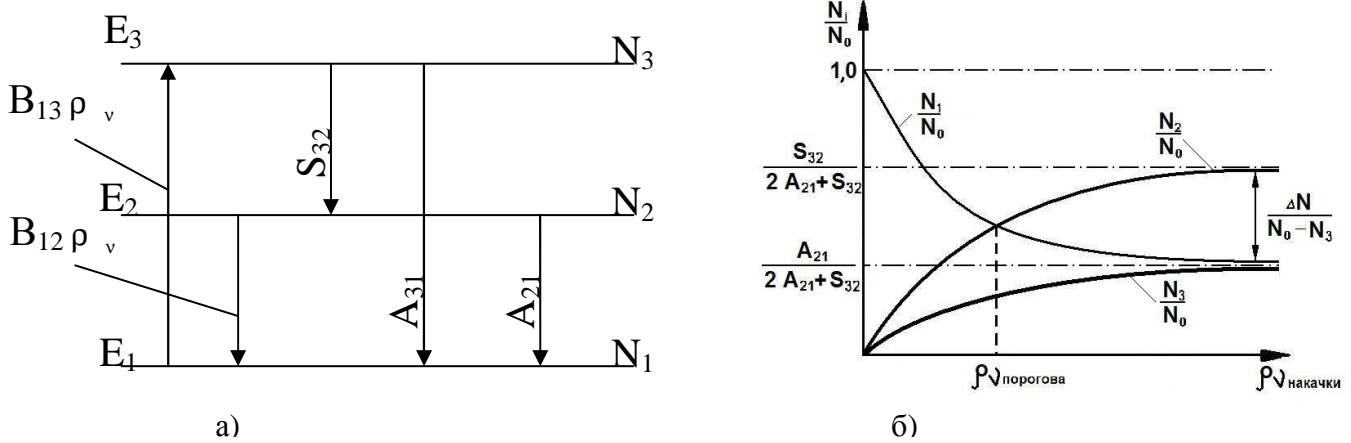


Рис.1.5. Трирівнева квантова система (а) і залежність населеностей трьох рівнів у ній (N_1/N_0 , N_2/N_0 , N_3/N_0) від густини накачування (б)

Якщо в цій квантовій системі вірогідність переходу $S_{32} > A_{21}$, то, починаючи з деякої величини накачування $\rho_v \geq \rho_{v \text{ порогова}}$, населеність другого рівня $N_2 > N_1$, тобто можлива інверсна населеність на переході $E_2 \rightarrow E_1$ $\Delta N_{21} / N_0 > 0$. Порогова потужність накачування буде визначатися такою

$$\text{залежністю: } (\rho_{v \text{ порогова}})_{\text{нормована}} \approx \frac{(S_{21} + A_{31})A_{21}}{B_{31}(S_{32} - A_{21})}$$

Крім того, необхідно, щоб активна речовина мала широку смугу поглинання і щоб підсилення перевищувало втрати.

1.4. Резонатори для ОКГ

Оптичним резонатором ОКГ називають систему двох повернутих один до одного дзеркальних поверхонь, між якими розташована активна речовина (робоча речовина) генератора. Його часто називають відкритим оптичним резонатором, оскільки обмеження відбувається лише двома поверхнями.

Дзеркальними поверхнями можуть слугувати дзеркала різної форми (плоскі, сферичні, параболічні), грані призм повного внутрішнього віддзеркалення або межі розділу середовищ з різними показниками заломлення.

Найпростіший вид резонатора - інтерферометр Фабрі-Перо (рис.1.6.). Умова генерації $q\lambda = 2L$, де q - ціле число, λ - довжина хвилі генерації, L -

відстань між дзеркалами.

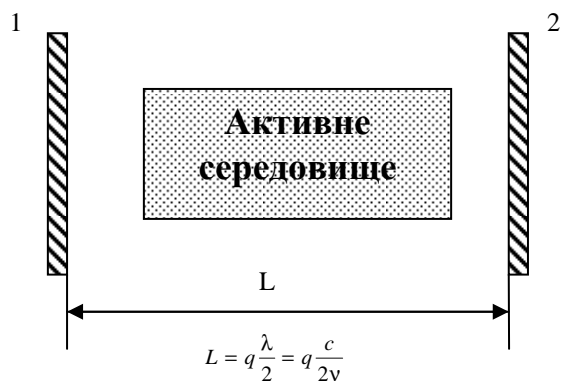


Рис.1.6. Оптичний резонатор (1, 2 дзеркала)

У оптичному резонаторі відбувається наступні основні явища:

- підсилення і втрати потужності;
- утворення спектру випромінювання;
- затягування резонансних

частот;

- часова затримка.

У практиці розробки і створення різних лазерів використовують такі типи резонаторів:

- 1) резонатор з плоскими дзеркалами (плоскопаралельний резонатор);
- 2) конфокальний резонатор, дзеркала яких сферичні, що розташовані так, щоб їхні фокуси суміщалися;
- 3) резонатор довільної конфігурації.

Блок схема ОКГ. Основними елементами лазера є: активна речовина, система накачування, резонатор, які необхідні для отримання лазерного ефекту. Проте для практичного застосування ОКГ потрібні додаткові пристрої і системи, що забезпечують працездатність приладу і слугують для керування приладом, для управління випромінюванням тощо (рис.1.7). До них відносяться:

- система охолодження активної речовини і елементів системи накачування;
- система модуляції випромінювання ОКГ;
- зовнішня оптична система;
- пристрій для управління пучком;

- пристрій для управління параметрами випромінювання;
- пристрій для селекції типів коливань.

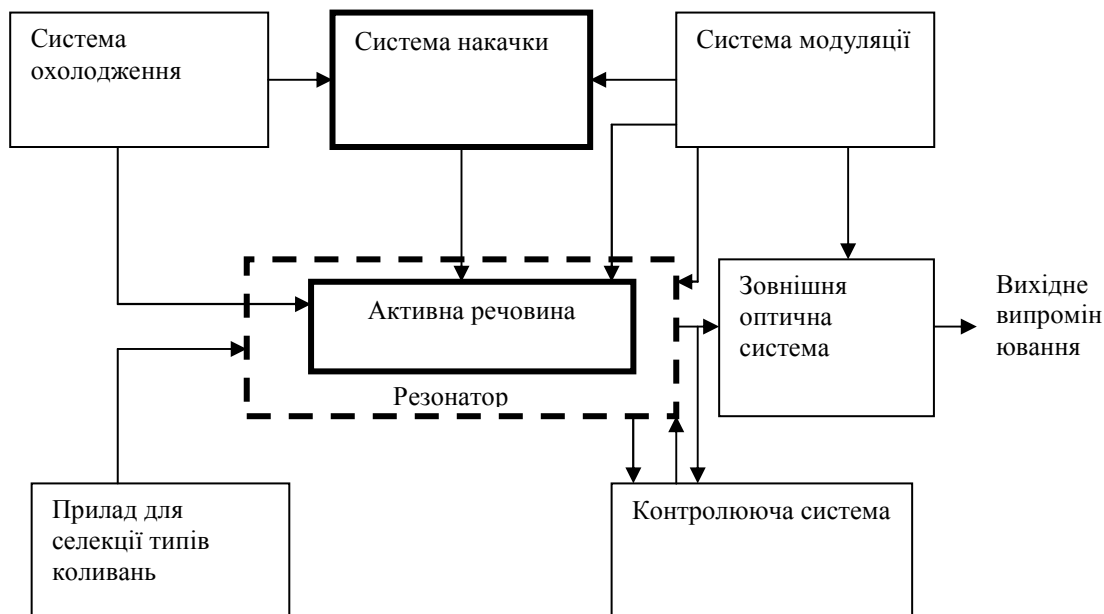


Рис. 1.7.Блок-схема ОКГ

Система охолодження забезпечує необхідну температуру активної речовини і елементів системи накачування.

Модуляція випромінювання лазера необхідна при використанні генераторів для зв'язку, для отримання гігантських імпульсів випромінювання і інших цілей. Вона здійснюється шляхом дії на систему накачування, на активну речовину або на випромінювання, що генерується лазером.

Зовнішня оптична система слугує для формування пучка (наприклад, для формування пучка чи зміни кута його розходження).

Пристрій для контролю параметрів являє собою різні вимірні параметри ОКГ, для підтримки заданого рівня потужності випромінювання, частоти і т.д

Повна блок-схема ОКГ має такий вигляд, що показаний на рис. 1.7, де жирними лініями показані основні елементи лазера, а звичайними лініями - системи, які застосовуються залежно від конкретного призначення приладу.

1.5 Деякі типи оптичних квантових генераторів. Особливості їх роботи і конструкції

Класифікація лазерів: твердотільні; напівпровідникові; газові; рідинні.

Класифікація лазерів. У науково-технічній літературі приводиться декілька варіантів класифікації лазерів. За типом активної речовини лазери, як це відповідає класифікації ДОСТ 21394-75, поділяються на твердотільні, напівпровідникові, газові і рідинні (рис. 8).

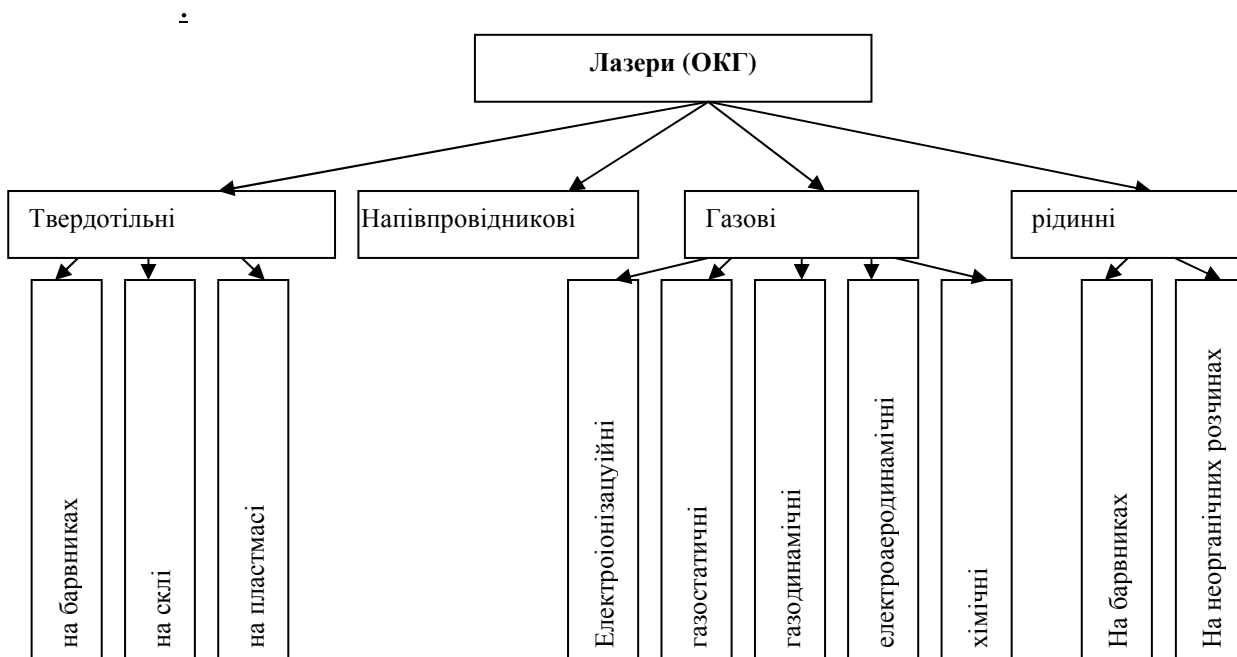


Рис. 1.8. Класифікація лазерів згідно ДОСТ 21394-75

Твердотільні лазери. Активною речовиною у твердотільних лазерах використовується кристалічний або аморфний діелектрик: рубін, активований хромом; скло або гранат, активовані неодимом чи ербієм, та інші речовини у твердому стані.

При розгляді твердотільних лазерів слід враховувати їхні принципові особливості: концентрація активної речовини в твердому матеріалі дуже велика (порядку 10^{17} - 10^{20} см⁻³), що обумовлює можливість досягнення досить великих значень інверсії заселеностей енергетичних рівнів. Звідси пояснюється високий коефіцієнт підсилення твердих активних середовищ, що дозволяє одержувати великі потужності генерації і досягати генерації при малій довжині активної речовини.

Але твердотільна активна речовина володіє малою оптичною однорідністю, що приводить до виникнення об'ємних втрат на розсіяння та зниження добротності резонатора при великій довжині активного елемента. Звичайно довжина активних елементів твердотільних ОКГ досягає не більше 50-60 см.

Спосіб створення інверсії в твердотільних ОКГ не може бути пов'язаний з проходженням електричного струму через твердий діелектрик. Тому для цих лазерів характерне оптичне накачування, при якому заселення збуджених станів досягається шляхом інтенсивного опромінювання активного матеріалу випромінюванням зовнішнього джерела. При цьому підбирають спектральний склад випромінювання або певне співвідношення між вірогідністю відповідних переходів, що приводить до переважного заселення верхнього робочого стану і отримання інверсії.

Твердотільні лазери генерують випромінювання в інтервалі довжин хвиль 0,61-26 мкм, що охоплює видиму і інфрачервону ділянку спектру. К.К.Д. їх порівняно малий і складає 1-2 %.

Розходження пучка твердотільних лазерів велике (25-30°). Воно визначається умовами дифракції і залежить від довжини хвилі: на виході лазера хвиля має не плоску форму, а деяку сферичність через дифракції на резонаторі, а неоднорідність активної речовини викликає розширення і спотворює спрямованість випромінювання.

Сфера застосування твердотільних лазерів широка. Вони застосовуються в далекомірах, лазерно-телевізійних системах, при обробці твердих і надтвердих матеріалів, у різних системах розвідки і наведення на ціль, в засобах голографії, в тренажерах стрільби, в термоядерних реакторах і т.д.

Напівпровідникові лазери (НПЛ). Перевагою напівпровідникових перед іншими лазерами є простота збудження (накачування), яка здійснюється при пропусканні через напівпровідниковий матеріал електричного струму. Такі напівпровідникові лазери називають інжекційними квантовими генераторами.

Активною речовиною в напівпровідникових лазерах слугує арсенід галія, кремній з домішками індія, фосфід галію, арсенід індія і інших матеріалів.

Напівпровідникові лазери можуть працювати в імпульсному і неперервному режимі.

Теоретично ККД їх може досягати значень, близьких до 100 %, а практично знаходиться в межах 50-60 %.

Потужність випромінювання їх відносно мала, що пояснюється малою товщиною перехідного шару напівпровідникового матеріалу, який використовується як активна речовина, і досягає 100 Вт протягом інтервалу часу порядку 10^{-7} с.

Недоліком цих лазерів є необхідність системи, яка забезпечує добре відведення тепла.

Випромінювання напівпровідникових лазерів складає від 0,37 до 16,1 мкм. Велику перевагу напівпровідникові лазери мають перед іншими через малі розміри (наприклад, $1 \times 1 \times 1$ мм³).

Застосовуються НП лазери в системах зв'язку, бо модуляція їхнього випромінювання просто здійснюється зміною струму збудження. Крім того їх використовують в системах управління зброєю, в лазерних підричниках артилерійських снарядів, мін, ракет тощо.

Недолік НП лазерів полягає у тому, що вони мають велику ширину спектральної лінії випромінювання і в результаті цього великий кут розбіжності пучка (порядка 10 кутових градусів).

Інший спосіб збудження напівпровідникових лазерів полягає в опромінюванні напівпровідникового матеріалу пучком швидких електронів з енергією близько 20 КеВ.

К.К.Д. таких лазерів не перевищує декількох відсотків, оскільки помітна частина енергії електронного пучка перетворюється в тепло.

Лазери на електронному пучку працюють тільки в імпульсному режимі, оскільки нагрівання матеріалу погіршує їхні властивості, лазер

повинен охолоджуватися.

Потужність лазерів на електронному пучку значно перевищує потужність інжекційних і досягає в імпульсі тривалістю $\sim 10^{-8}$ с величини порядку 10^5 Вт.

Подальша розробка напівпровідникових лазерів ведеться в багатьох наукових лабораторіях різних країн і можна сподіватися на значне поліпшення характеристик напівпровідникових лазерів.

Детальніше про напівпровідникові лазери, їх принцип роботи і будову, а також про можливості практичного застосування можна прочитати, наприклад, в брошурі [4].

Газові лазери. У газових лазерах активною речовиною слугує газ або суміш газів. Ці лазери за способом накачування розділяють на газостатичні, газодинамічні, електроаеродинамічні, електроіонізаційні і хімічні.

Газові лазери виділяються серед інших типів лазерів високою спектральною чистотою, високим ступенем когерентності, здатністю працювати як в імпульсному, так і в безперервному режимі, в діапазоні хвиль, що охоплює ультрафіолетовий, видимий і інфрачервоний діапазони електромагнітного випромінювання.

У газових середовищах інверсія виникає на збуджених станах ізольованих атомів, іонів або молекул, коли взаємодія між частинками середовища максимальна, тому лінії спонтанного випромінювання і поглинання вузькі (10^{-3} – 10^{-2} Å) і ширина лінії генерації газового ОКГ мінімальна, вона досягає 1 Гц.

Газове середовище володіє великою оптичною однорідністю, тому в газових ОКГ можна одержати якнайменший кут розходження пучка. У ОКГ з плоскими дзеркалами навіть при відсутності додаткових колімуючих пристроїв кутова ширина пучка має порядок однієї кутової хвилини ($\sim 1'$).

У газових ОКГ накачування середовища здійснюється за рахунок газового розряду, створюваного безпосередньо в активованому середовищі, а також застосовується накачування, створюване шляхом

опромінення активного середовища випромінюванням зовнішнього джерела.

Класифікація газових розрядів, що використовуються в ОКГ. Газовим розрядом називають сукупність процесів, пов'язаних з проходженням електричного струму через газове середовище, розташоване між електродами. При виникненні розряду в міжелектродному просторі утворюється особливе середовище - газорозрядна плазма, що характеризується значною концентрацією заряджених і збуджених частинок.

Відома велике різноманіття видів розряду в газі, але в техніці газових ОКГ використовуються лише деякі з них (рис. 1.9).

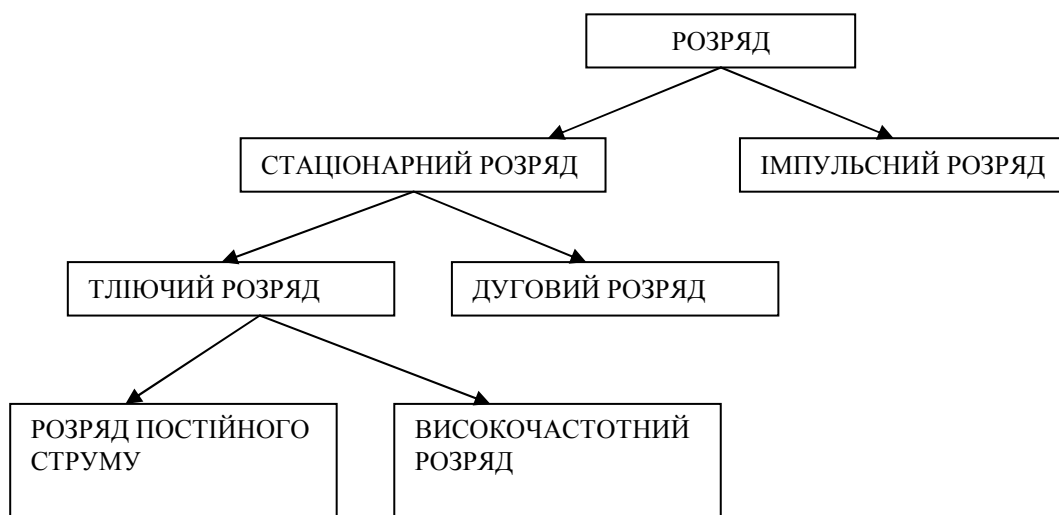


Рис. 1.9. Класифікація розрядів, що використовуються в газових ОКГ

Елементарні процеси в плазмі, що беруть участь у створенні інверсії. У будь-якому газовому розряді звичайно розглядають три основні ділянки його: прикатодну ділянку, позитивний стовп розряду, прианодну ділянку. У лазерній техніці звичайно використовується позитивний стовп газового розряду оскільки:

1- позитивний стовп - найбільш протяжна ділянка розряду. Звичайно приелектродні ділянки (прикатодна і прианодна) розряду мають невеликі міліметрові розміри;

2 - позитивний стовп найбільш однорідний по всій його довжині;

3 - довжину позитивного стовпа легко регулювати, змінюючи відстань між електродами. Позитивний стовп відрізняється від приелектродних ділянок

невеликим градієнтом потенціалу і відсутністю об'ємного заряду.

Як правило в плазмі позитивного стовпа газового розряду присутні такі частинки:

- нейтральні незбуджені атоми і молекули; збуджені атоми і молекули;
- незбуджені іони (+ і -);
- збуджені іони; електрони.

Всі ці частинки в плазмі позитивного стовпа знаходяться в безперервному хаотичному русі, а заряджені частинки беруть участь ще і в направленому русі до відповідного електрода. У процесі свого руху частинки взаємодіють, обмінюються енергією, в результаті чого збуджуються і іонізуються атоми і молекули. У створенні інверсії відіграють роль такі основні процеси: пружні і непружні взаємодії (1 і 2 роду), їхня систематизація показана у додатку А, в таблиці А. 1.

Ефект створення інверсії заселеностей частинок і генерації випромінювання газового ОКГ залежить від таких умов газового розряду: струму розряду; загального тиску суміші; співвідношення компонентів суміші; діаметра розрядної трубки; форми перетину розрядної трубки.

У проявленні та інтенсивності непружних процесів, які відіграють велику роль при створенні інверсної заселеності в газовій суміші, електронна температура як параметр, що характеризує середню кінетичну енергію електронів, має важливе значення: чим вища температура, тим інтенсивніше відбуваються процеси збудження та іонізації, тим кращі умови для створення інверсії заселеностей рівнів у плазмі позитивного стовпа.

Зрозуміло, що температура в позитивному стовпі газового розряду залежить від енергії іонізації газу, тиску газу, діаметра розрядної трубки і градієнта потенціалу в позитивному стовпі.

Газові лазери розділяють на газостатичні, газодинамічні електроаеродинамічні, електроіонізаційні, хімічні.

Газостатичні лазери з'явилися незабаром після створення твердотілого лазера на рубіні. У газостатичних лазерах активна речовина

збуджується постійним або змінним електричним струмом високочастотної напруги, що прикладається до електродів газорозрядної трубки. Інверсна населеність енергетичних рівнів створюється електричним розрядом.

Потужність випромінювання газостатичних лазерів лежить в межах від декількох міліват до декількох сотень ват і значно менша потужності твердотільних лазерів.

Ці лазери застосовуються в системах зв'язку в межах прямої видимості, в точних вимірвальних приладах (геодезичних далекомірах, лазерних гіроскопах і т.д.).

Ширина спектральної лінії випромінювання газостатичних лазерів дуже мала, розходження пучка складає 2-5 кутових хвилин.

Зараз одержане випромінювання газових лазерів більш ніж на 200 різних частотах оптичного діапазону, починаючи з ультрафіолетової ділянки (випромінювання азоту) і закінчуючи далекою інфрачервоною ділянкою (довжина хвилі випромінювання газових лазерів, що працюють на коливальних переходах молекул, $\lambda = 300 \div 400$ мкм). Для збільшення потужності газостатичних лазерів збільшують тиск активної речовини до 100 кПа (1 кг/см^2).

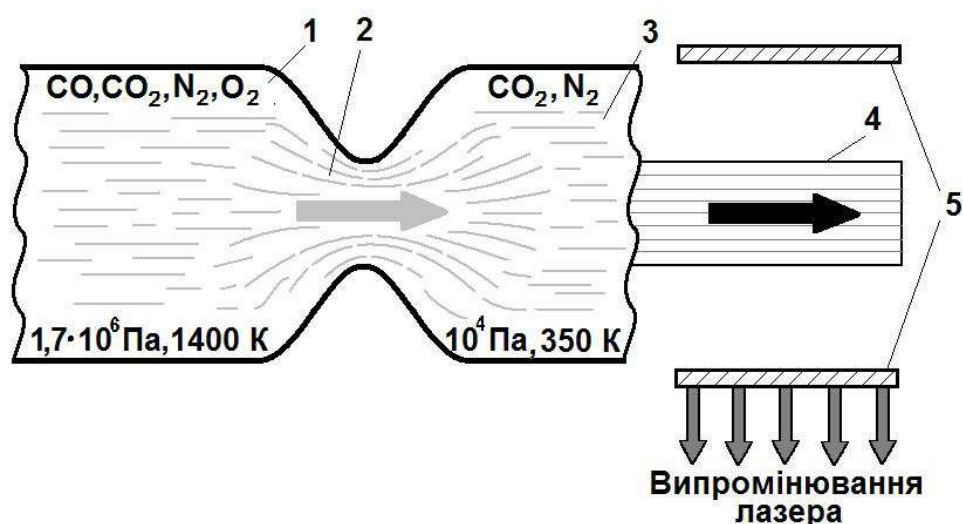


Рис. 1.10. Схема газодинамічного лазера: 1- камера-змішувач; 2 - сопло; 3 - лазерна камера; 4 - область генерації; 5- дзеркала резонатора

Газодинамічні лазери працюють на активному середовищі, що являє

собою суміш азоту і двоокису вуглецю. Ці лазери здатні створювати безперервне випромінювання потужністю в декілька сот тисяч кіловат в інфрачервоній ділянці спектра ($\sim 10,6$ мкм).

Принцип робіт газодинамічного лазера заснований на розширенні нагрітої газової суміші і різкому зниженні її температури і тиску за час, значно менший, ніж час релаксації населеності верхнього енергетичного рівня квантової системи (рис 1.10).

Інверсна заселеність енергетичного рівня виникає, якщо нагріта газова суміш розширюється і охолоджується при пропусканні її через сопло з надзвуковою швидкістю (1360 м/с). При цьому стимулюючі атоми "заморожуються" в стані високої енергії.

Газодинамічні лазери мають порівняно малий ККД (10-15 %). Перший газодинамічний лазер розвивав потужність 60 кВт, зараз створені лазери потужністю 200 кВт і більше..

Недоліками газодинамічних лазерів є їхні великі габарити, споживання великої кількості пального, сильний шум при роботі.

Електроаеродинамічні лазери замість теплового накачування, що вимагає спалювання великої кількості палива, працюють на накачуванні за допомогою електричного розряду.

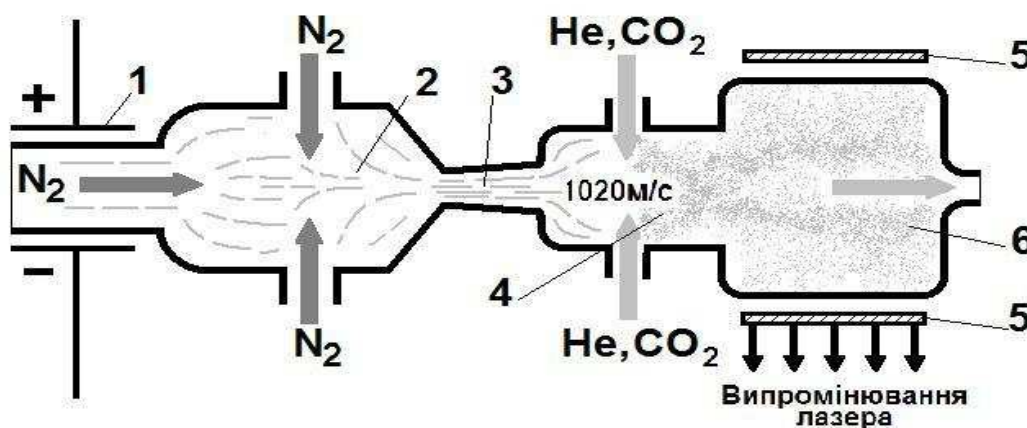


Рис. 1.11. Схема електроаеродинамічного лазера: 1- електроди; 2- буферна камера; 3-сопло; 4- лазерна камера; 5- дзеркала резонатора; 6- область генерації.

Для створення потоку збуджених і нагрітих молекул азоту використовуються електричний дуговий інжектор. У буферній камері

нагрітий азот змішується з додатковим струменем азоту і встановлюються задані температура та тиск. Після стиснення за соплом відбувається різке розширення і переміщення зі швидкістю 1020 м/с потоків азоту. До цього потоку під тиском подається суміш холодного вуглекислого газу з гелієм. При змішуванні молекули вуглекислого газу збуджуються. Завдяки великій швидкості всього потоку інверсна заселеність зберігається і в області генерації. Випромінювання відводиться резонатором у перпендикулярному напрямку до потоку газової суміші.

К.К.Д. цих лазерів підвищується до 25-30 %, а потужність випромінювання на довжині хвилі 10,6 мкм досягає 50 кВт. Недоліком електроаеродинамічних лазерів є необхідність створення електричного поля для збудження молекул азоту.

Електроіонізаційні лазери створені на початку 70-х років ХХ століття, є новим типом лазерів, що працюють при тиску в десятки мегапаскалей, мають невеликі розміри при високому К.К.Д (~50%). Активною речовиною у них є суміш вуглекислого газу і азоту.

Метод накачування заснований на створенні провідності газової суміші під дією іонізуючого випромінювання. При цьому для отримання іонізуючого потоку іонів і електронів використовується електричне поле напруженістю 3-6 кВ/см. В електроіонізаційних лазерах одержана енергія випромінювання до 2000 Дж при тривалості імпульсу 20 мкс.

Багато учених вважає, що електроіонізаційні лазери можуть бути широко використані в лазерних термоядерних реакторах.

Хімічні лазери діють за рахунок енергії, що звільняється при хімічних реакціях водню і фтору або дейтерію і фтору, їх К.К.Д складає 15 %, Працюють в основному на довжинах хвиль 2,6 - 5 мкм.

Хімічні лазери володіють низкою переваг по відношенню до інших типів лазерів: вони можуть мати малі габарити і масу, потребують невеликої енергії збудження від зовнішнього джерела і здатні генерувати взагалі без зовнішніх джерел накачування, можуть генерувати випромінювання з дуже високою

енергією і на таких хвилях, які характерні малим поглинанням при поширенні в атмосфері.

Гелій-неоновий ОКГ - перший газовий лазер безперервної дії, як активне середовище у ньому використовується суміш двох газів - гелію та неону з відповідним тиском від 1:5 до 1:15 (з надлишком гелію).

Цей тип газових лазерів вельми поширений, він серійно випускається промисловістю. До цього типу лазерів відноситься і учбовий лазер ЛГ-209, ЛГН-109.

У газовому розряді відбувається збудження атомів гелію і неону за рахунок процесу прямого електронного збудження. Наявність у атомів гелію енергетичних рівнів 2^1S_0 , 2^3S_0 , які еквівалентні рівням $3S$ і $2S$ відповідно для атомів неону, створює додатковий механізм заселення станів $3S_2$ і $2S_2$ і населеність цих станів за певних умов розряду може перевищити населеність станів із групи $2p$ і $3p$, що приводить до можливості генерації на переходах $s \rightarrow p$. Діаграма енергетичних рівнів атомів гелію і неону подана на рис 1.12

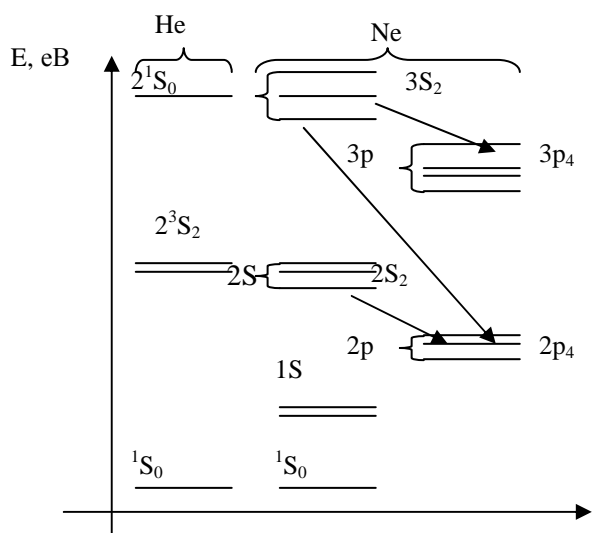


Рис. 1.12 Діаграма енергетичних рівнів гелію і неону

Найбільше підсилення відповідає переходу $3s_2 \rightarrow 3p_4$ ($\lambda_1=3,39$ мкм). Дещо складніше здійснити генерацію на переході $2s_2 \rightarrow 2p_4$ ($\lambda_2=1,15$ мкм), підсилення на цьому переході незначне (до 10-12 % на метр) і необхідні діелектричні дзеркала. Найбільш складним є перехід $3s_2 \rightarrow 2p_4$ ($\lambda_3=0,63$ мкм), тут найменше підсилення (4-6% на метр). Проте цей вид випромінювання набув найбільшого прикладного поширення.

Всі три види генерації в гелій-неоновій суміші реалізуються в умовах тліючого або дугового розряду.

Вивчення будови і *демонстрація газорозрядної трубки газового лазера* ЛГ-56, ЛГ-44, ЛГ-209 і вивчення конструкції розрядної трубки, дають достатні знання про роботу газорозрядної трубки газового He-Ne лазера.

Створення інверсії в гелій-неоновій суміші залежить від умов розряду: струму розряду; загального тиску суміші; співвідношення тисків кожної із компонент суміші; діаметру і форми перерізу розрядної трубки.

Гелій-неоновий ОКГ характеризується малою потужністю - від декількох десятків міліват на $\lambda_2=1,15$ мкм і $\lambda_3=0,63$ мкм і декількох сотень міліват на $\lambda_1=3,39$ мкм).

Термін служби газорозрядних ОКГ обмежується специфічними процесами в розряді, які приводять до зміни складу робочої суміші:

- 1) має місце поглинання (сорбція) газу в розряді стінками трубки і електродами, що приводить до зменшення газу під час роботи;
- 2) для кожної компоненти характерна своя сорбція, в результаті чого змінюється склад газової суміші.

Порушення складу робочої суміші веде до зменшення потужності і зриву генерації.

Рідинні лазери. Активною речовиною рідинних лазерів слугують молекули органічних фарбників і розчинів. Для цих лазерів застосовується оптичне накачування. Їх К.К.Д. такого ж порядку, що і твердотільних, а потужність нижча.

Найбільш цікава властивість цих лазерів - можливість перебудувати частоту випромінювання в дуже широкому спектральному інтервалі. Здійснюється це шляхом повороту дифракційної ґратки (решітки), яка встановлена замість одного із дзеркал резонатора, або зміною концентрації барвника, або зміною довжини оптичного резонатора.

Докладніше про рідинні лазери дивись [40].

У додатку 2 наведені деякі параметри оптичних квантових генераторів за результатами зарубіжних публікацій (див. таблиця А2).

РОЗДІЛ 2. ВЗАЄМОДІЇ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ З РЕЧОВИНОЮ І ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ РОБОТІ З ОКГ

2.1. Взаємодія лазерного випромінювання з речовиною. 2.2. Біологічна дія лазерного випромінювання. 2.3. Захист від лазерного випромінювання. 2.4. Техніка безпеки при роботі з лазерами

2.1. Взаємодія лазерного випромінювання з речовиною

Взаємодія лазерного випромінювання з речовиною охоплює як елементарні квантові процеси, так і макроскопічні явища, що виявляються в дії випромінювання на поглинаючі або прозорі середовища. До *макроскопічних явищ* відносяться ефекти нелінійної оптики, пробій газів під дією сфокусованого лазерного випромінювання, динамічні ефекти при дії потужних потоків лазерного випромінювання на конденсуючі речовини. Ці явища дають можливість вивчати поведінку різних речовин в сильних електромагнітних полях і високої щільності випромінювання.

Взаємодія лазерного випромінювання з речовиною виявляється в трьох групах процесів:

- 1) при генерації лазерного випромінювання;
- 2) при розповсюдженні випромінювання в середовищі;
- 3) при безпосередній дії випромінювання на речовину.

Часто у фізиці ряд цих питань розглядають нероздільно, особливо процеси випромінювання і поглинання, оскільки в багатьох випадках вони оборотні і зазвичай розглядаються разом.

Взаємодія випромінювань різних ділянок електромагнітного спектра з речовиною різна. Вона залежить від роду і стану речовини, а також від природи випромінювання. Результати цих взаємодій є предметом вивчення сучасної оптики і лежать в основі квантової природи випромінювання, теорії будови атома і спектральних ліній, теорії парамагнетизму, ефекту Рамана і пояснення сил молекулярної взаємодії. При вивченні речовини в стані

випромінювання або поглинання електромагнітної енергії оптичного діапазону застосовуються прилади з високою роздільною здатністю, які дозволяють виміряти випромінювання, поглинання і дисперсію, визначити розподіл енергії, час життя носіїв та ймовірності переходів.

При дії лазерного випромінювання на речовину виявляються такі ефекти: теплопровідність, конвекція, перевипромінювання, зміна агрегатного стану, утворення ударних і звукових хвиль в речовині, його іонізація, різні фотоелектричні і фотохімічні процеси. При цьому природу речовини розглядають з точки зору її сприйнятливості до випромінювання і визначення взаємозв'язку властивостей речовини з оптичними процесами.

При дії випромінювання на речовину найбільш важливе значення має інтенсивність випромінювання, яка забезпечується малим кутом розходження лазерного пучка. Монохроматичність грає другорядну роль, вона сприяє хорошему фокусуванню пучка. Когерентність випромінювання не впливає на ефекти дії лазерного випромінювання на речовину.

Електромагнітне випромінювання взаємодіє з речовиною через електричні заряди речовини і через рух цих зарядів, а явища можуть бути виражені лише умовно в рамках фізичної моделі і кількісних параметрів, що складає теорію електромагнетизму.

З розвитком квантової електроніки і створенням ОКГ з'явилася реальна можливість спостерігати ряд нових фізичних явищ, обумовлених взаємодією інтенсивного електромагнітного випромінювання з речовиною: генерація гармонік оптичного випромінювання, параметричні взаємодії, різного роду вимушене розсіяння випромінювання, самофокусування хвильових пучків у середовищі і т.д., які зараз посилено вивчаються як теоретично, так і експериментально і складають зміст нелінійної оптики.

Крім того була виділена ще новіша і набагато менш розвинена галузь, що виникла з появою когерентних джерел випромінювання, - нелінійна спектроскопія. Дослідження у цій галузі направлені на вивчення спектрів поглинання інтенсивного випромінювання в газах, рідинах і твердих тілах.

Дослідження лазерних пучків з густиною потужності випромінювання $10^8 \div 10^{10}$ Вт/см² показують, що існує вельми помітна кількісна і якісна залежність характеру перебігу ефектів взаємодії випромінювання з речовиною від інтенсивності випромінювання.

Розглянемо деякі із спостережуваних ефектів.

1. Зокрема, *поляризація середовища* P' при малій потужності випромінювання: $P' = N\alpha E = \chi E$, N - число атомів в 1 см³, а χ - макроскопічна лінійна сприйнятливність, яка залежить тільки від властивостей середовища.

При дії потужного лазерного випромінювання залежність P' від E подається у вигляді степеневого ряду:

$$P' = \chi E + \chi E^2 + \theta E^3 + \dots \quad (1)$$

Коефіцієнти χ , θ називають нелінійними сприйнятливостями

$$\chi = \left(\frac{1}{E} \right) \quad \theta = \left(\frac{1}{E^2} \right).$$

2. При розповсюдженні лазерного випромінювання в твердих тілах, рідинах і газах електромагнітні хвилі не тільки відбиваються, але і взаємодіють з тепловими. Ефект зводиться до того, що падаюча і відбита хвилі складаються, утворюючи максимуми і мінімуми сумарного поля. У місцях середовища, де інтенсивність випромінювання найбільша (хвилі знаходяться у фазі), виявляється *електрострикція* - деформація речовини в зовнішньому електричному полі, а величина цієї деформації пропорційна квадрату напруженості електричного поля - речовина стискається.

3. *Ефект багатофотонного поглинання*, при якому інтенсивне випромінювання поглинається набагато сильніше слабкого. Пояснення цього явища міститься в основному рівнянні теоретичної нелінійної оптики (рівняння 1) для визначення поляризації середовища P' . Якщо доданок θE^3 у цьому рівнянні містить фазовий зсув, то крім нелінійної поправки до показника заломлення n середовища з'являється і нелінійна поправка до коефіцієнта поглинання середовища δ .

4. *Резонансне просвітлення речовини* в полі коротких лазерних імпульсів, тривалість яких менша характерного часу релаксації системи. В цьому випадку короткий потужний лазерний імпульс проходить через резонансне середовище, не зазнаючи ніякого поглинання.

5. *Ефект самофокусування і самодифокусування* лазерного випромінювання полягає в тому, що при деякій критичній потужності $P_{кр}$, замість звичайного дифракційного поширення початкового паралельного пучка спостерігається його стиснення. В деяких випадках при поширенні випромінювання потужних імпульсних лазерів в рідинах має місце само стиснення, що носить ударний характер, внаслідок чого настільки наростає електромагнітне поле, що викликає зміну стану середовища (пробій, фазові переходи і т.п.).

Фізична причина цього ефекту зводиться до зміни показника заломлення середовища в сильному електромагнітному полі ($P_{кр}$ наприклад, для сірковуглецю $P_{кр} = 10$ кВт, а для скла – 1 Вт).

6. *У різних середовищах* (рідині, твердому тілі, газах) відбуваються внутрішні рухи, що приводять до зміни частоти випромінювання.

Наприклад, теплові рухи молекул викликають зміну щільності середовища і показника заломлення, що обумовлює виникнення теплових акустичних хвиль і приводить до зміни довжини хвилі і напряму поширення лазерного випромінювання в середовищі. Як наслідок такого явища у спектральній лінії частотою ω виникають бічні компоненти (сателіти) з частотою $\omega \pm \Omega_a$, де Ω_a – частота акустичної хвилі. До такого ж явища приводять і внутрішньо молекулярні коливання (коливання ядер в молекулі). В результаті з'являються сателіти з частотою $\omega \pm \Omega_i$, де Ω_i - частота внутрішньо молекулярних коливань.

Разом з такими змінами частоти лазерного випромінювання

акустичними хвилями у середовищі спостерігається дія лазерного випромінювання на акустичні коливання, тобто лазерне випромінювання викликає акустичний тиск, що досягає значення до 10 кВт.

Окрім розглянутих ефектів лазерні потоки високої інтенсивності, впливаючи на речовину, нагрівають її до температури 10^6 К (при швидкості підвищення T порядку 10^{10} К/с), а також приводять до вторинних явищ: оптичного пробою газів (світлова іскра) і утворенню високотемпературної плазми.

Практичне використання лазерного випромінювання пов'язане з його проходженням через воду і атмосферу і тому слід вказати на деякі особливості такого поширення лазерного пучка.

У чистій воді без домішок розсіяння пучка практично відсутнє і зменшення інтенсивності пучка обумовлюється тільки поглинанням. Морська вода сильно послаблює променисту енергію: виняток становлять дуже низькі частоти і, зокрема, для $\lambda=0,48$ мкм, де при великих потужностях досягаються значні радіуси дії.

При проходженні лазерного випромінювання через атмосферу мають місце такі явища: просвітлення атмосфери; вплив вітру і конвективного перемішування на прямолінійність розповсюдження випромінювання і характер його типів коливань; теплове дефокусування пучка, викликане підвищенням температури в каналі просвітлення; самофокусування випромінювання в результаті кінетичного охолодження атмосфери.

Через туман найефективніше проходять лазерні імпульси, тривалість яких не менша часу просвітлення туману і не більша часу підвищення температури в каналі лазерного пучка. Наприклад, для $P_{\text{випр}} = 10^6$ Вт/см² $\tau_{\text{просвітлення}} = 5 \cdot 10^{-4} \div 10^{-2}$ нс, а швидкість просвітлення складає $7 \cdot 10^3$ см/с. Найбільше послаблення лазерного випромінювання спостерігається при снігопаді, хоча незмінною зберігається апертура і розходження пучка.

Зазвичай до висоти 12 км значне розширення пучка відбувається із-за турбулентності атмосфери.

2.2. Біологічна дія лазерного випромінювання

Під біологічною дією лазерного випромінювання розуміють сукупність структурних, функціональних і біохімічних змін в живому організмі в результаті його опромінювання.

Результати дії лазерного випромінювання на живий організм визначається як фізіологічними властивостями окремих тканин організму (відбиваючою і поглинаючою здатністю, теплоємністю, теплопровідністю, прихованою питомою теплотою пароутворення, акустичними і механічними властивостями), так і технічними характеристиками лазерного випромінювання (енергією в імпульсі, густиною потужності, довжиною хвилі, когерентністю і поляризацією).

Лазерне випромінювання викликає наступні біологічні ефекти: термічний, ударний, світлового тиску, електрострикції, утворення в межах клітки мікрохвильового електромагнітного поля.

Найбільш чутливим до дії випромінювання ОКГ є око, яке здатне розрізняти світло у видимій ділянці спектру від 0,400 мкм до 0,760 мкм. Середовище ока здатне пропускати світло в ширших межах від 0,4 мкм до 1,4 мкм, а якнайкраща пропускна спроможність лежить в інтервалі $\lambda = 0,5-0,9$ мкм.

Пошкодження сітківки ока виникає переважно при дії лазерного випромінювання з довжинами хвиль у видимій і ближньому інфрачервоному діапазоні довжин хвиль, які проходять через очне яблуко без втрат і фокусуються на сітківці, створюючи на ній густину енергії в 10^5 разів більшу, ніж на рогівці. Тому пряме попадання випромінювання ОКГ в око викликає опіки і розриви, призводить до пошкодження сітківки і судинної оболонки ока і є причиною сліпоти.

Щільність енергії на сітківці ока зростає при збільшенні діаметра зіниці, тому вірогідність пошкодження ока в темноті більша, ніж вірогідність пошкодження ока в умовах яскравого освітлення.

Для всіх довжин хвиль лазерного випромінювання при тривалості дії випромінювання $t > 30$ с гранично допустима щільність потоку на роговій оболонці ока повинна бути не більше 3 Дж/см^2 або $0,1 \text{ Вт/см}^2$.

Орієнтовна безпечна доза опромінювання для шкіри вважається густина потужності 100 мВт/см^2 .

2.3. Захист від лазерного випромінювання

Організація захисту від шкідливої біологічної дії лазерного випромінювання представляє собою комплекс завдань:

1 – організацію санітарного контролю за умовами праці при роботі та експлуатації пристроїв квантової електроніки;

2 – створення методів вимірювання інтенсивності лазерних пучків випромінювання;

3 – наукове і експериментальне обґрунтування гранично допустимих рівнів дії лазерного випромінювання на різні органи;

4 – розробку і перевірку комплексу захисних заходів щодо поліпшення умов праці персоналу, що обслуговує пристрої квантової електроніки.

Практика роботи з ОКГ показує, що дія лазерного випромінювання значно послаблюється екрануванням джерел, раціональним розташуванням робочих місць, а також заходами особистої безпеки.

2.4. Техніка безпеки при роботі з лазерами

Заходи щодо техніки безпеки при роботі з лазерами діляться на такі:

1) організаційно-технічні заходи; 2) заходи щодо індивідуального захисту.

При розробці організаційно-технічних заходів слід звертати увагу на:

- необхідність застосування блокування;
- раціональне розміщення устаткування;
- застосування захисних екранів, матеріалів, а також попереджувальних знаків, сигналів і плакатів.

Заходи щодо індивідуального захисту передбачають використання

спеціальних засобів, що оберігають від лазерного і рентгенівського випромінювання, високовольтної напруги і т.д. При цьому слід пам'ятати, що заходи щодо запобігання ураженню лазерним випромінюванням істотно залежать від типу лазера і режиму його роботи.

Заходи безпеки при роботі з ОКГ складаються з використання загальних (колективних) та індивідуальних засобів захисту і виконання загальних та індивідуальних запобіжних заходів.

Загальні запобіжні міри і вимоги зводяться до наступного.

Забороняється прямо дивитися на пучок випромінювання лазера або його дзеркальне відображення, якщо густина енергії перевищує допустимий рівень опромінювання.

Не слід наводити лазерний пучок у місця можливого перебування обслуговуючого персоналу, не можна дивитися на нього неозброєним оком.

Слід передбачити усі заходи, що виключають можливість наближення персоналу до передбачуваної траєкторії пучка з будь-якого боку. При роботі ОКГ установки повинні бути захищені діафрагмами; в кінці пучка встановлюється пастка (непрозорий екран) для поглинання випромінювання.

При роботі з відкритими установками ОКГ забороняється вносити до зони пучка блискучі предмети.

Робота з лазером повинна проводитися у приміщенні при яскравому загальному освітленні. Потрібно пам'ятати, що захисні окуляри з фільтрами забезпечують лише частковий захист очей від дії лазерного випромінювання.

Засобами, що перешкоджають проходженню і попаданню в зону можливого опромінювання, можуть бути екрани, щити, штори і т.п.

Забороняється проводити орієнтацію пучка на вікна і двері та інші некапітальні споруди, що пропускають випромінювання ОКГ.

У приміщеннях, де ведеться робота з лазерами, обмежується доступ осіб, що не мають відношення до експлуатації ОКГ. На дверях і в приміщенні встановлюються попереджувальні сигналізації і знаки.

Не рекомендується працювати з лазерними установками в умовах за

наявності в повітрі великих скупчень пилу або туману.

Приміщення повинні мати достатню вентиляцію, що забезпечує концентрацію кисню не меншого 18 %, що еквівалентно парціальному тиску 135 мм.рт.ст.

При роботі з лазерами слід завжди дотримувати правил пожежної безпеки і виконувати запобіжні індивідуальні заходи захисту від дії лазерного випромінювання.

РОЗДІЛ 3. ЗАСТОСУВАННЯ ОКГ У ВИКЛАДАННІ ШКІЛЬНОГО КУРСУ ФІЗИКИ

3.1. Вимоги до лазерів, які використовуються у навчальному процесі. Комплект навчального лазера. 3.2. Демонстраційні досліди з розділу оптики у випускному класі. 3.3. Вимоги до установки для здійснення демонстрацій з лазером. 3.4. Застосування навчального лазера для постановки лабораторного експерименту з курсу фізики середньої школи. 3.5. Використовування газового лазера для розробки і постановки експериментальних і творчих задач з оптики. 3.6. Використовування ОКГ в позакласній роботі з фізики в середній школі.

Завдання для самостійної роботи. Написати реферат з метою опису одного прикладу практичного застосування ОКГ у будь-якій галузі діяльності людини, вказати на конкретному прикладі сутність і принцип дії установки із застосуванням лазера та розкрити дидактичну мету цього прикладу у вивченні шкільного курсу фізики.

Рекомендована література для реферату.

1. Беляев В.П. и др. *Некоторые применения газовых лазеров.* - М.: Знание, 1970.
2. Калашников Н.Г. *Пойманное солнце.* - М: Московский рабочий, 1968.
3. *Лазеры в авиации* /Под ред. В.М.Сидорина. - М: Воениздат, 1982.
4. *Мачулка Г.А. Лазерная обработка стекла.* - М.: Сов. радио, 1979.
5. *Торкатюк В.И. и др. Лазерная техника в строительстве.* - Киев. Будівельник, 1981.

Високі темпи сучасного науково-технічного прогресу і, зокрема, квантової електроніки та лазерної техніки привели до широкого використання оптичних квантових генераторів в науці, техніці та в різних галузях народного господарства.

На сучасному етапі розвитку середньої освіти в нашій країні з метою вдосконалення змісту і методів навчання фізики актуальною є проблема застосування лазера в процесі вивчення шкільного курсу фізики.

Упровадження лазера у навчальний процес середньої школи розкриває сучасні наукові досягнення, дозволяє краще розкрити сутність квантових досягнень і ознайомити учнів з відкриттями, що лежать в основі роботи і будови ОКГ, забезпечує постановку нових й удосконалює ряд існуючих дослідів з фізики, що ставить навчальний фізичний експеримент на вищій науково-технічний рівень, значно полегшує вчителю процес підготовки до уроків, підвищуючи результативність і ефективність уроку.

Одним з основних завдань, яке покликаний розв'язати спецкурс „Застосування навчального лазера у викладанні шкільного курсу фізики” полягає в підготовці студентів, як майбутніх вчителів фізики, використовувати оптичний квантовий генератор у шкільному демонстраційному і лабораторному експерименті, для проведення з використанням лазера позаурочних і позакласних заходів з фізики з учнями середньої школи, а також у процесі проведення факультативного курсу з фізики у випускному класі та створення елективних курсів у процесі профільного навчання фізики.

Це обумовлено, зокрема наступними причинами:

1. Питання про оптичний квантовий генератор з 1981-1982 навчального року введене в програму з фізики середньої школи для вивчення його на уроках фізики і таким чином складає зміст навчального матеріалу шкільного курсу фізики.

2. Промисловість вже давно розпочала випуск спеціально для школи квантового генератора типу ЛГ-209, є і інші модифікації ОКГ для навчальних цілей. Відтак, вчителю фізики слід добре бути обізнаним з цим навчальним приладом і можливостями його використання у навчанні фізики.

3. Оптичні квантові генератори зараз широко використовуються в різних галузях науки і техніки і отже ознайомлення учнів з їх роботою і

принципом дії сприяє політехнічній освіті школярів, готує їх до майбутньої трудової діяльності, підвищує їхній інтерес до навчання, формує і стимулює пізнавальну активність, мотивацію до вивчення фізики.

4. Використання ОКГ дозволяє провести демонстраційні досліди, лабораторні роботи з окремих розділів шкільного курсу фізики, зокрема з хвильової оптики, які традиційно вважаються складними і часто не ставляться на уроках в середній школі, на принципово новий науковий і методичний рівень; виконувати досліди у класі без абсолютного затемнення, але з вищою педагогічною ефективністю.

5. Вчитель може використовувати навчальний лазер для проведення різних демонстрацій і з тих розділів шкільного курсу фізики, де необхідні вузько сформовані світлові пучки, що приводить до збільшення виразності і наочності демонстрованих картин, або можливості виконання нових дослідів, поліпшуючи методику і техніку шкільного фізичного експерименту та різних його видів.

6. Широкий простір для діяльності вчителя дає лазер у позакласній роботі з учнями у всіх її формах (фізичний гурток, факультативні заняття, фізичні вечори, вікторини, спецкурси тощо).

3.1. Вимоги до лазерів, які використовуються у навчальному процесі

Як і будь-який інший навчальний прилад лазер, рекомендований для використання його у шкільному курсі фізики, повинен відповідати всім ергономічним, педагогічним і дидактичним вимогам, які ставляться до шкільного обладнання.

Перш за все, він повинен забезпечувати безпеку при роботі з ним як вчителю, так і учням всього класу. Як відомо, найуразливішим для людини при дії лазерного випромінювання є око.

На підставі ряду досліджень вітчизняних і зарубіжних науковців і фахівців у галузі квантової електроніки можна привести наступні дані. При освітленні пучком гелій-неонового лазера безперервної дії ураження очей у вигляді опіків на сітчатці ока людини від пучка ОКГ не виявляються після експозиції тривалістю в 1 годину, якщо потужність лазерного випромінювання складає 2÷5 мВт, але вже при потужності 25 мВт опіки розвиваються при експозиції в декілька секунд. Дослідження показують, що порогові рівні руйнування роговиці ока при опромінюванні його звичайним світлом від природних теплових джерел світла і у разі лазерного випромінювання безперервної дії характеризуються малими величинами, а вірогідність ураження ока при потужності лазера 10 мВт складає 10^{-4} %.

Отже, як навчальний прилад цілком виправданим, доступним, безпечним і найраціональнішим є лазер безперервної дії потужністю, яка не більша 5 мВт.

Одним з недоліків усіх навчальних лазерів як вітчизняних (ЛГ-209, ЛДІ-67, ЛГ-55, ЛГ-56), так і зарубіжних (ЛГ-200, який Польща демонструвала в Москві на виставці „Шкільне устаткування - 73", французькі, німецькі та ін.) є складність налагодження дзеркал резонатора. Шкільний навчальний лазер повинен налаштовуватися швидко без спеціальних приладів і навіть безпосередньо в ході уроку, що, на жаль, не реалізовано у навчальній моделі.

Загальні педагогічні вимоги до шкільного навчального лазера повинні полягати в наступному:

1. ОКГ для навчальних цілей повинен бути єдиної, одноблокової конструкції, зручним для зберігання і транспортування, розмірами порядку 500 x 300 x 150 мм, вагою - близько 5 кг.

2. Його максимальна вихідна потужність повинна бути не більшою

4-5 мВт і змінюватися не менше ніж в 3 рази у бік зменшення потужності.

3. Кришка непрозора, відкидна, знімна; конструкція випромінювальної головки наочна з елементами демонстраційності.

4. Юстування дзеркал резонатора безпечне, зручне, швидке і без застосування додаткових інструментів.

5. Навчальний лазер повинен повністю відповідати вимогам техніки безпеки: блок живлення закритим, струмопровідні ділянки повинні мати високу надійну і міцну ізоляцію, потужність випромінювання < 5 мВт, наявність заземлення корпусу, тумблер повинен відключати одночасно обидва мережеві дроти, наявність запобіжників і спеціальної сигнальної лампочки та інші засоби комунікації.

6. На виході лазера повинен бути пристрій для надійного кріплення вузлів і деталей в ході демонстрацій та виконання різних видів навчальних дослідів.

7. Навчальний варіант ОКГ повинен бути укомплектований набором необхідного обладнання, що доповнює типове устаткування шкільного фізичного кабінету.

8. Навчальна модель лазера повинна відповідати вимогам естетики, а за вартістю – доступною для масової школи.

КОМПЛЕКТ НАВЧАЛЬНОГО ЛАЗЕРА. У даний час з усіх лазерів, що випускаються промисловістю, найзручнішим для шкільних цілей і найбільшою мірою відповідає вимогам до навчального лазера, є лазер ЛГ –209. Проте і він не повністю задовольняє вимогам школи і легкого та простого експлуатування у шкільному кабінеті фізики.

До навчального лазера повинні додаватися набори приладдя і деталей для постановки різних дослідів з курсу фізики середньої школи. Зокрема, в комплект навчального лазера повинні входити такі набори:

1. *Набір з фізичної оптики*, до складу якого входять рейтери для установки лазера та його кріплення на оптичній лаві; двох короткофокусних лінз ($F_1=17\text{мм}$, $F_2=4\text{мм}$); голограми і скляної пластинки в окремих утримувачах; світловоди; дзеркала; модулятор світла; фотоприймач; попередній підсилювач низької частоти на транзисторах; інтерферометр Майкельсона (його можна рекомендувати для факультативних занять і класів з поглибленим вивченням фізики, а також для позакласних заходів); кронштейн з маятником для демонстрації ефекту Доплера; фотоелемент для реєстрації ефекту Доплера (його легко одержати з низькочастотного транзистора МП-41); скляної трубки на підставці; приставка-деполяризатор.

2) *Набір з геометричної оптики*, який включає ділильну головку, панель для дослідів з геометричної оптики, набір дзеркал, лінз і призм, дисковий екран, кювету, стрілки змінної довжини тощо.

Навчальний лазер, що випускається зараз промисловістю, має наступний комплект приладів і деталей для постановки шкільних фізичних дослідів.

Досвід роботи показує, що застосування лазера для вдосконалення і підвищення ефективності шкільного навчального експерименту є найефективнішим з розділу «Світлові явища» у 7 класі та з оптики в 11 класі, зокрема, з геометричної і хвильової оптики, а також з теми „Випромінювання і спектри“, що складають зміст курсу у випускному класі за програмами профільного навчання.

КОМПЛЕКТ НАВЧАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ЛАЗЕРА.**Таблиця 3**

Позначення	Назва	Кількіс	Примітки
3.970.056 ТУ	Лазер ЛГ-209	1	
3.968.001	Резервуар демонстраційний	1	
Запасні частини			
0.580.003. ТУ	Запобіжник ВПШ	4	
Інструменти і приладдя			
4.094.017 (8.392.000)	Ключ	1	
Експлуатаційна документація			
3.970.056 ТО	Технічний опис і інструкція з експлуатації.	1 екз.	
3.970.056 ПС	Паспорт	1 екз.	
3.970.056 31	Відомість ЗП	1 екз.	
3.970.056 ТІ	Типова інструкція з техніки безпеки при роботі з газовим лазером при підготовці і проведенні демонстраційних фізичних дослідів в загальноосвітній школі	1 екз.	

У зв'язку з цим з урахуванням тенденцій розвитку сучасного шкільного фізичного експерименту доцільно відзначити основні напрями вдосконалення навчального експерименту з фізичної оптики, які полягають у:

- необхідності при вивченні оптичних явищ і їх закономірностей створення єдиної системи фізичного експерименту, що включає демонстрації, лабораторні роботи, фізичні практикуми і експериментальні задачі;

- посиленні ролі демонстраційних дослідів, що дають кількісну оцінку при вивченні інтерференції, дифракції і поляризації світла, атомних спектрів випускання і поглинання;

- необхідності розробки і включення в систему навчального експерименту лабораторних робіт дослідницького характеру, які дозволяють встановлювати і перевіряти закономірності оптичних явищ і процесів, що вивчаються, розкривати кількісні співвідношення в оптичних явищах, визначати фізичні параметри та фізичні константи;

- необхідності раціонального поєднання в ході пояснення нового матеріалу, при узагальненні і закріпленні знань учнів фізичного експерименту у вигляді демонстраційних дослідів і лабораторних робіт з розробленими на їх базі задачами експериментального і творчого характеру;

- вдосконаленні шкільного устаткування приладами і установками у вигляді навчальних комплектів, що однаково ефективно використовуються як на уроках і факультативних заняттях, так і в ході різних видів позакласних занять з фізики (на заняттях фізичного гуртка, вечорах і т.д.).

3.2. Демонстраційні досліді з розділу оптики у випускному класі

Спираючись на аналіз сучасного стану шкільного фізичного експерименту, можна вказати на ряд демонстраційних дослідів, які можна модернізувати або поставити заново, якщо використовувати в процесі їх постановки навчальний лазер, а також пучок його випромінювання з виключно оригінальними його властивостями.

За допомогою лазера виявилось можливим наочніше і простіше демонструвати основні досліді з фізичної оптики, з геометричної оптики, а також поставити нові досліді: передача інформації на відстань за допомогою пучка випромінювання лазера, вивчення властивостей і параметрів випромінювання оптичного квантового генератора, дія світловодів і ін.

Звичайно для того, щоб продемонструвати без лазера який-небудь дослід з інтерференції світла вчителю доводиться, насамперед, до занять дуже ретельно готувати дослід, робити копівку і точне налаштування приладів. Установка із звичайними тепловими джерелами світла виходить складною, а якість демонстрації залишає бажати кращого.

Учням доводиться бачити не зовсім зрозумілу, наперед зібрану установку, де за нагромодженням різних деталей на оптичній лаві важко розібратися, де і як в даній установці відбувається демонстроване явище. Збирати ж установку в класі на очах учнів вчителю неможливо через складність налаштування. Таким чином, через технічну сторону демонстрації втрачається фізична сторона явища.

При демонстрації цих же явищ за допомогою лазера вчителю не треба наперед налаштовувати установку. Установка може збиратися прямо на уроці, оскільки вона і техніка демонстрації значно спрощуються. Наприклад, в дослідах з інтерференції і дифракції світла на лаві встановлюється лазер-освітлювач, що не вимагає налагодження, за ним закріплюється об'єкт і лінза, що збільшує зображення інтерференційної або дифракційної картини. Необхідні картини і їхні зображення одержують на екрані відразу, без додаткових налаштувань.

Проте це не значить, що вчитель зовсім не повинен перед уроком перевіряти установку: йому необхідно знати найраціональніше розміщення деталей на демонстраційному столі і послідовність збирання установки, чи варіанти проектування картини на екран.

Спрощення демонстраційних установок із застосуванням лазера дозволило не тільки поліпшити наочність дослідів, але й ілюструвати їх якісно, однаково переконливо для усіх учнів класу: і тих, хто сидить за першими столами, і тих, хто знаходиться за останніми столами.

У даний час більшість дослідів з оптики ставиться „статично”, тобто установка наперед регулюється на отримання максимально наочної картини того явища, яке демонструють. Застосування лазера дозволяє показати такі досліди в їх розвитку, що також позитивно впливає на якість демонстрації. Прикладом можуть слугувати такі досліди, як інтерференція від дзеркала Ллойда, від біпризми Френеля, дифракція від

нитки, хід проміння у всіх оптичних приладах та установках і ін.

Така методика проведення демонстрацій не забирає зайвого часу (демонстрація проходить швидко) і пожвавлює дослід, дає учням глибші і міцніші знання з відповідних питань.

Із застосуванням оптичного квантового генератора можна рекомендувати наступні досліди з шкільного курсу фізики:

1. Демонстрація інтерференції на біпризмі Френеля.
2. Демонстрація інтерференції на дзеркалі Ллойда.
3. Демонстрація інтерференції від плоскопаралельної пластинки.
4. Демонстрація кілець Ньютона.
5. Дифракція від щілини.
6. Дифракція від краю плоского екрану.
7. Дифракція від нитки.
8. Дифракція від круглого отвору.
9. Дифракційні ґратки.
10. Дифракція від непрозорого диска.
11. Визначення площини поляризації випромінювання лазера
12. Поляризація при віддзеркаленні.
13. Поляризація при заломленні.
14. Явище подвійного променезаломлення.
15. Явище повороту площини поляризації.
16. Інтерференція поляризованого світла
17. Демонстрація фокусу збиральної лінзи.
18. Отримання зображення у випуклій лінзі.
19. Хід променів в розсіювальній лінзі.
20. Хід променів в увігнутому дзеркалі.
21. Хід променів у випуклому дзеркалі.
22. Хід променів в плоскопаралельній пластинці.

23. Хід променів в мікроскопі.
24. Хід променів в телескопі.
25. Хід променів в призмах.
26. Сферична аберація лінз.
27. Хід проміння в наливній випуклій лінзі.
28. Хід проміння в наливній увігнутій лінзі.
29. Криволінійне поширення світла в середовищі з плавною зміною коефіцієнта заломлення.
30. Рівність кутів падіння і віддзеркалення.
31. Закон заломлення світла.
32. Кут повного відбивання.
33. Закон Брюстера.
34. Спектральний склад випромінювання лазера.
35. Кутове розходження пучка випромінювання лазера.
36. Отримання зображення за допомогою голограми (вивчення основних властивостей голограм).
37. Світловоди.
38. Інтерферометр Майкельсона.
39. Ефект Доплера в оптиці.
40. Визначення коефіцієнта заломлення повітря.
41. Модуляція світла і передача інформації на відстань за допомогою пучка випромінювання лазера.

У приведеному переліку демонстраційні досліди 1, 5, 7, 17, 18, 19, 20, 21, 30, 31, 32, 37 - включені в програму як обов'язкові, основні. Досліди супутні і їхні варіанти до основних - 2, 3, 4, 6, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 22, 24, 25, 26, 27, 28 і 29 доповнюють, поглиблюють або замінюють основні демонстрації. Досліди 38 і 41 нові, тому не включені в програму, але необхідні при вивченні шкільного курсу фізики. Демонстрації 11, 34,

35, 36, 41 використовуються при вивченні нової теми „Елементи квантової електроніки”. Дослід 40 можна рекомендувати як експериментальну задачу. Досліди 16, 33, 39 ставляться при поглибленому вивченні курсу фізики.

Як свідчить наша практика усі досліді добре узгоджуються з програмами профільного навчання фізики у ЗНЗ різного типу і профілю і викликають підвищений інтерес як у школярів, так і у вчителів фізики.

Доцільним є докладніше розглянути методіку і техніку проведення деяких із названих дослідів.

3.3 Вимоги до установки для здійснення демонстрацій з лазером

Застосування ОКГ в середній школі обумовлене різними чинниками і, як вже ми відзначали, припускає ознайомлення учнів з принципом роботи лазерів і їх будовою, а також переслідує мету підвищити науково-методичний рівень шкільних фізичних дослідів з окремих розділів фізики.

Найефективнішим уявляється застосування навчального лазера для вдосконалення фізичного експерименту з геометричної і фізичної оптики, і зокрема з теми „Світлові хвилі”, велика частина дослідів яких вимагає від вчителя певних практичних навичків, багато часу на їх підготовку і проведення. Тому важливі демонстраційні досліді, що були основою при вивченні хвильових властивостей світла і важливими при поясненні явища поляризації, інтерференції і дифракції, часто не ставляться на уроках фізики в середній школі. В той же час лазер, випромінювання якого когерентне, монохроматичне і направлене, дозволяє виконувати ці і подібні їм досліді (наприклад, інтерференція від дзеркал Френеля, дифракція від круглого екрану, вузької щілини і ін.) досить просто і ефективно, не витрачаючи багато часу на підготовку установки.

Слід зазначити, що застосування лазера для постановки демонстрацій з хвильової оптики не означає взагалі відмову від здійснення цих дослідів

з традиційними тепловими джерелами світла.

При підготовці установки для демонстрацій з лазером слід виходити з вимог техніки безпеки при роботі з лазерами і пам'ятати, що випромінювання його є вузьким пучком світла довжиною хвилі 632,8 нм, кут розходження якого складає порядку $8 \div 10$ кутових хвилин.

Таким чином, для здійснення демонстрацій з хвильової оптики необхідно розширити випромінювання лазера, використовуючи для цього звичайні розсівні лінзи (наприклад, із набору для лабораторних робіт лінзу №3, або ж короткофокусну збиральну лінзу, наприклад, із окуляра до мікроскопа).

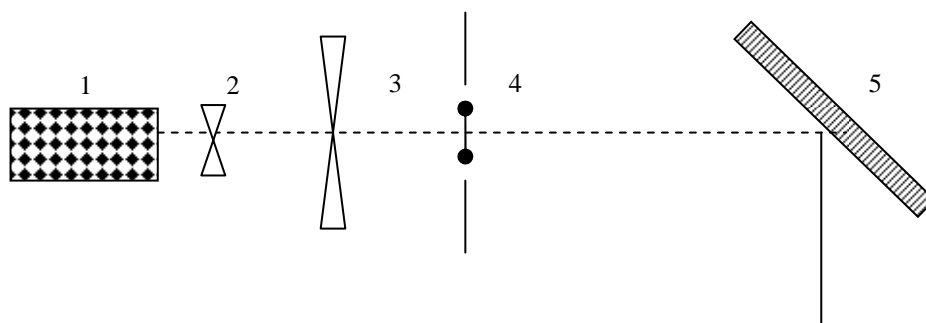


Рис. 3.1. Схема демонстраційної установки із застосуванням лазера: 1- лазер, 2 - розсіювальна лінза №3 з лабораторного набору з оптики, 3 - подвійноувігнута лінза з набору лінз і дзеркал, 4 - об'єкт, що створює інтерференційну або дифракційну картину, 5 - екран.

Збирання установки виконують у такому порядку. На одному кінці демонстраційного столу встановлюють лазер і вмикають його живлення згідно вказівок інструкції з експлуатування. На екрані, розташованому на протилежному боці стола, спостерігають яскравий, але дуже маленький за розмірами, кружечок червоного кольору.

Потім на вказаних відстанях від лазера встановлюють по черзі лінзи, в процесі чого пучок на екрані помітно розширюється і досягає розмірів, достатніх для здійснення гарної демонстрації (рис.3.1).

За наявності в комплекті раніше розглянутих наборів до навчального лазера установку збирають таким чином: учбовий лазер встановлюють на

направляючих універсального проєкційного ліхтаря (ФОС-67), а на виході випромінюючої головки встановлюють короткофокусну лінзу $F=17$ мм). Тоді на екрані одержують великих розмірів у перерізі лазерне випромінювання. Встановлюючи за лінзою об'єкти, на екрані спостерігають дифракцію або інтерференцію лазерного випромінювання.

Таким чином доцільно виконувати демонстрації дослідів, до яких відносяться:

1. Інтерференція від біпризми Френеля.
2. Інтерференція від дзеркал Френеля.
3. Інтерференція від дзеркал Ллойда.
4. Інтерференція від подвійної щілини Юнга.
5. Інтерференція від фотопластини.
6. Дифракція від вузького екрану.
7. Дифракція на вузькій щілині.
8. Дифракція на клиновидній щілині.
9. Дифракція на круглomu екрані малих розмірів.
10. Дифракція на малому отворі.

Разом з цим зазначимо, що застосування навчального лазера для постановки демонстраційного експерименту із хвильової оптики в середній школі породжує нову методичну проблему: коли доцільні ці демонстрації? Вже після того, як на уроці буде розглянутий пристрій і принцип роботи лазера, або ж одразу при вивченні теми „Світлові хвилі”. Відповідь однозначною бути не може. При вивченні, наприклад, інтерференції від біпризми Френеля, кілець Ньютона, подвійної щілини Юнга спочатку обов'язкова демонстрація із звичайними джерелами світла. Учні в 11 класі повинні зрозуміти сутність труднощів, що виникають при отриманні когерентних джерел світла (на відміну від випадків отримання когерентних джерел механічних хвиль). Після цього доцільно повторити

досліди з лазером, підкресливши, що його випромінювання завжди володіє властивістю когерентності і тому труднощі у здійсненні демонстрацій в даному випадку відпадають.

При постановці складних і традиційно важких дослідів (дифракції на щілині, круглому екрані і отворі) має сенс здійснити демонстрацію відразу за допомогою лазера, бо із звичайними тепловими джерелами світла відтворення цих демонстрацій, зазвичай, вимагає високо професійних компетенцій експериментатора і частіше всього ці демонстрації без лазера навіть в 11 класі не ставляться. Навчальна модель лазера розв'язує цю проблему легко і досить ефективно.

3.4. Застосування навчального лазера для постановки лабораторного експерименту з курсу фізики середньої школи

Поява лазера, як об'єкту обладнання фізичного кабінету, дозволяє поставити змістовні лабораторні роботи, причому вони розглядаються на сучасному рівні. Це дуже важливо, оскільки виправдовує порівняно ще великі для школи витрати на придбання такого приладу. Важливо і те, що для проведення цих робіт, крім лазера, використовуються досить поширені прилади, які входять до переліку типового обладнання шкільних кабінетів фізики, і невелике число саморобних приладів, які можуть бути легко виготовлені в умовах будь-якої школи.

При виконанні лабораторних робіт з лазером необхідно постійно вимагати виконання учнями правил техніки безпеки.

Перш за все, слід вимагати від учнів виконання загальних заходів безпеки при роботі з високою напругою, дбайливого і акуратного відношення до всіх приладів, робочого місця і т.д.

Не менш важливим завданням, що стоїть перед вчителем в ході підготовки і проведення лабораторних робіт з ОКГ, є запобігання можливості попадання прямого лазерного випромінювання в очі учнів.

Для цього вчителю необхідно перед виконанням роботи детально проінструктувати учнів, а в процесі виконання демонстрації установку розташувати так, щоб випромінювання лазера не перетинало місця можливого знаходження учнів (краще всього, щоб випромінювання проходило поблизу стінки класу і було паралельним їй), учням рекомендувати в ході роботи спостерігати за лазерним випромінюванням на поверхні екрану з розсіювальною поверхнею, забезпечити кожне робоче місце системою захисних та обмежувальних пристосувань і т.д.

З метою запобігання попаданню прямого пучка лазерного випромінювання в очі учню при неуважному виконанні роботи можна використовувати саморобний екран, виготовлений з органічного скла завтовшки 2÷5 мм. Вирізана з такого скла смужка 20x50 см закріплюється в дві дерев'яні підставки, щоб її середня лінія знаходилася на рівні з лазерним випромінюванням і ставиться перед установкою. Цей прозорий екран дає можливість учневі бачити установку і разом з тим не заважає змінювати розташування деталей. Одночасно він обмежує можливість проникнення в область прямого випромінювання.

За необхідності можна використовувати встановлені поряд два такі екрани.

У ході застосування газового лазера для виконання лабораторних робіт істотним є питання: хто повинен вмикати лазер? Слід зазначити, що управління лазером не складніше, ніж робота з електронним осцилографом. Проте, беручи до уваги ціну приладу і ряд інших обставин, доцільно вмикати лазер саме вчителю (лаборанту) і лише добре підготовленим учням дозволяти вмикати його самостійно при вичерпному інструктажі і контролі з боку вчителя (лаборанта).

Розглянемо деякі лабораторні роботи з газовим лазером, які можуть бути запропоновані у шкільному фізичному і факультативному

практикумі в умовах профільного навчання фізики у ЗНЗ.

Робота №1. Визначення довжини хвилі випромінювання лазера за допомогою подвійної щілини Юнга.

Обладнання: газовий лазер, подвійна щілина Юнга, білий екран, вимірювальна лінійка, лінза №3 з лабораторного набору з оптики, штатив, висувні стрижні від проекційного ліхтаря з двома ширмами на рейтерах.

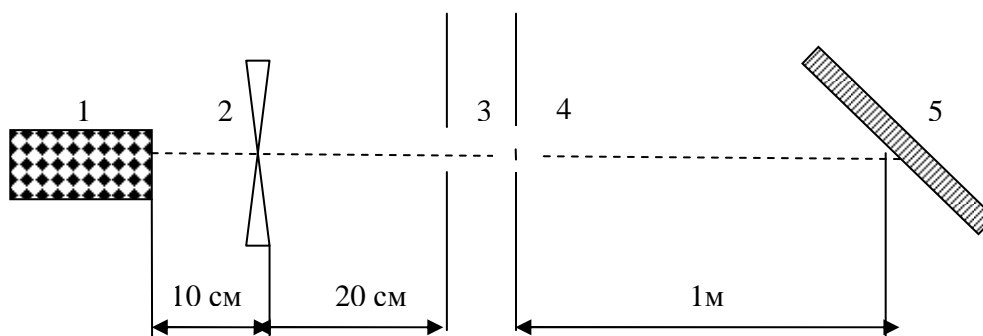


Рис. 3.2. Установка для визначення довжини хвилі випромінювання лазера за допомогою подвійної щілини Юнга

Сутність роботи полягає у тому, що учні збирають установку, показану на рис. 3.2, де 1-лазер, 2-лінза №3, укріплена в лапці штатива, 3-ширма зі щілиною шириною близько 2 мм, 4-подвійна щілина Юнга, 5-екран.

Скориставшись формулою $\lambda = \frac{\delta d}{L}$, учні визначають довжину хвилі лазерного випромінювання, заздалегідь вимірявши ширину інтерференційної смуги δ на екрані, що знаходиться на відстані L від подвійної щілини Юнга. Відстань між обома щілинами учням дають в готовому вигляді. Вона може бути виміряна в процесі самостійного виготовлення подвійної щілини.

У теоретичних відомостях до даної роботи необхідно описати принцип дії лазера і вивести формулу для визначення довжини світлової хвилі, для чого можна скористатися технічним описом, що додається до комплекту приладу, і вказівками, що є, наприклад, в книзі [6, с. 19].

Крім того, необхідно вказати на техніку безпеки при виконанні роботи, хід її виконання і сформулювати контрольні питання.

Для прикладу наводимо результати, одержані в одній з серії вимірювань.

№	d, мм	δ, мм	L, м	λ, нм	λ _{ср} ,
1	0,08	16	2	640	613,8
2	0,08	7,5	1	600	
3	0,08	19	2,5	600,8	

$$\Delta\lambda_{\bar{n}\delta} = (26,4 + 13,6 + 12,4)/3 = 17,6\hat{u} ;$$

$$\lambda = (613,8 \pm 17,6)\hat{u} ;$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta\lambda_{\bar{n}\delta}}{\lambda_{\bar{n}\delta}} 100\% = \frac{17,6}{613,8} 100\% = 2,8\% \approx 3\%$$

Експериментальна задача в даній лабораторній роботі може бути сформульована і так, щоб, використавши паспортні дані про довжину хвилі випромінювання лазера ($\lambda = 632,8$ нм), визначити відстань до подвійної щілини Юнга. Це дозволяє вчителю, не змінюючи перелік використововуваного обладнання і інструкцію до роботи, урізноманітнити завдання кожній групі учнів в ході фізичного практикуму і домагатися якісного самостійного виконання роботи кожною групою учнів.

Робота № 2. Визначення постійної дифракційної ґратки

Обладнання: лазер, дифракційні ґратки, універсальний штатив, лінза №3, висувні стрижні від проекційного ліхтаря з двома ширмами на рейтерах, білий екран, вимірювальна лінійка.

Теоретичні відомості до цієї роботи істотно не відрізняються від відомостей, які даються при виконанні роботи №14 [35, с. 153-155]. Але в цьому випадку необхідно з'ясувати особливості дифракційного спектру, одержаного за допомогою лазера. Слід звернути увагу учнів на те, що чим вищий порядок дифракційного спектра, тим його інтенсивність менша, на що звертається увага студентів у посібнику. [44, с.775]. У той же час

ширина дифракційних смуг не характеризує частотні межі спектральних ліній випромінювання лазера.

Нарешті необхідно вказати на наявність між головними дифракційними максимумами системи другорядних дифракційних максимумів, інтенсивність яких значно менша.

У ході виконання роботи учні збирають установку аналогічно схемі, показаній на рис. 3.1, замінивши подвійну щілину Юнга дифракційною ґраткою і змінивши відстань від ґратки до екрана ≤ 1 м. Потім, вимірявши відстань від ґратки до екрана і відстань від нульового до ± 1 , ± 2 і т.д. максимуму на екрані, і за формулою $d \sin \alpha = n\lambda$ визначають постійну ґратки d , що використовується в даній роботі. Значення довжини хвилі монохроматичного випромінювання лазера з паспортних даних рівне $\lambda = 632,8$ нм.

Наводимо результати однієї з серії вимірювань.

№	λ , нм	L, м	n	h_1 , м	h_2 , м	h, мм	Sin α	d, мм
1	632,8	0,5	1	33	33	33	0,066	1/96
2	632,8	0,5	2	63	64	63,5	0,125	1/101
3	632,8	1	2	135	134	134,5	0,133	1/95

$$d = 98 \cdot 10^{-4} \text{ мм}; \Delta d_{\text{ср}} = 3 \cdot 10^{-4} \text{ мм}; d = (98 \pm 3) \cdot 10^{-4} \text{ мм}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta d_{\text{ср}}}{d} \cdot 100\% = \frac{3 \cdot 10^{-4}}{98 \cdot 10^{-4}} \cdot 100\% = 3,1\%$$

Як і в попередній роботі при виконанні цієї лабораторної роботи експериментальне завдання може бути сформульовано і в іншому вигляді, а саме: визначити за допомогою дифракційної ґратки з відомою сталою (її дає вчитель або взнають по напису на ґратках, якщо використовують шкільні ґратки 1/100 або 1/50) довжину хвилі лазерного випромінювання, тобто аналогічно вказівкам з виконання роботи №14 [35].

При цьому вельми корисне співставлення і оцінка результатів довжини хвилі лазерного випромінювання, одержані в роботі №1 і №2 з

паспортними даними.

Робота №3. Вимірювання радіусу частинок при дифракції на малому круглому екрані

Обладнання: лазер, скляна пластинка з лікоподієм, екран, вимірювальна стрічка.

Схема установки аналогічна показаній на рис. 3.2, замінивши щілину 3 на ширму з діафрагмою і ґратку 4 на скляну пластинку з лікоподієм.

При цьому на екрані у відбитому від скляної пластинки з частинками лікоподію спостерігається картина концентричних темних і світлих кілець. Для першого, третього, п'ятого і т.д. темних кілець кутові радіуси визначаються співвідношеннями:

$$\sin \alpha_1 = 0,61 \frac{\lambda}{r}; \quad \sin \alpha_3 = 1,11 \frac{\lambda}{r}; \quad \sin \alpha_5 = 1,62 \frac{\lambda}{r}$$

де r - радіус частинки, що викликала дифракцію монохроматичного випромінювання довжиною хвилі λ .

Для другого, четвертого і т.д. світлих кілець кутові радіуси визначаються виразами:

$$\sin \alpha_2 = 0,82 \frac{\lambda}{r}; \quad \sin \alpha_4 = 1,34 \frac{\lambda}{r}$$

Щоб визначити радіус частинок, учням пропонується дослідним шляхом визначити значення кутів $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$.

Для цього в ході роботи учні вимірюють діаметр відповідного світлого або темного концентричного кільця - на екрані і відстань від скляної пластинки з частинками лікоподію до екрану і використовують формулу:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{D}{2L}.$$

За одержаними вимірюваннями визначають розміри частинок лікоподію й аналізують результати лабораторної роботи.

Робота №4. Визначення порядку інтерференційних смуг рівного нахилу

Обладнання: лазер, об'єктив з круглим екраном, скляна пластинка з утримувачем.

Висока часова когерентність лазерного випромінювання дозволяє спостерігати інтерференційну картину смуг рівного нахилу від скляної пластинки великої товщини (порядка 15 мм).

Установку збирають таким чином. Випромінювання лазера направляють паралельно оптичній лаві. Об'єктив із спеціальним круговим екраном центрують щодо лазерного пучка. Сформованим об'єктивом світловим конусом освітлюють скляну пластинку завтовшки 15 мм, що знаходиться на відстані b від об'єктиву з екраном.

Лазерне випромінювання, відбите від обох граней скляної пластинки, перекривається на екрані і дає систему кілець рівного нахилу. Для відбитого світла умова інтерференційного мінімуму для кута падіння запишеться: $2d \cos \gamma = m\lambda$; d - товщина пластини, λ - показник заломлення скла, m - порядок інтерференції, γ - кут заломлення світла в середині пластинки.

Враховуючи співвідношення $\frac{\sin i}{\sin \gamma} = n$ і те, що діаметр інтерференційного кільця на екрані значно менший від відстані до екрана, тобто $D \ll L$, одержимо, що $\frac{i}{\gamma} = n$, $\text{tgi} \approx i = \frac{D}{4L} = \frac{R}{2L}$, де R – радіус кільця на екрані.

Таким чином, учні, вимірявши R і L , визначають значення кута i , а з умови спостереження інтерференційного мінімуму у відбитому світлі обчислюють максимальний порядок інтерференції в умовах виконуваної

роботи.

Теоретичні відомості і виконання робіт №3 і №4 можна розширити згідно вказівок, що є у фізичному практикумі [44].

Робота №5. Дослідження інтенсивності лазерного випромінювання у дифракційному спектрі

Обладнання: лазер, висувні стрижні від проекційного ліхтаря з двома ширмами на рейтерах, дифракційна ґратка, штатив – 2 шт., лінза №3, легка тринога, фотоелемент ФЕК-1, гальванометр М-273, опір 14-15 Ом, лінійка учнівська, стрічка вимірювальна.

При вивченні дифракції світла в 11 класі учні знайомляться з будовою і призначенням дифракційної ґратки. Проте у підручниках [17; 25; 33] та [21; 22] про інтенсивність дифракційних максимумів від ґратки нічого не сказано. Тому доцільно в теоретичних відомостях до даної лабораторної роботи детальніше розглянути ту обставину, що відстань h між головними максимумами від дифракційної ґратки при визначенні λ залежить від періоду її d , а розподіл інтенсивності між окремими максимумами визначається співвідношенням між шириною щілини - a і періодом ґратки d . При певних співвідношеннях між цими величинами деякі головні максимуми можуть бути взагалі відсутнім [28].

В ході виконання роботи учням пропонується зібрати установку за схемою (рис. 3.3).

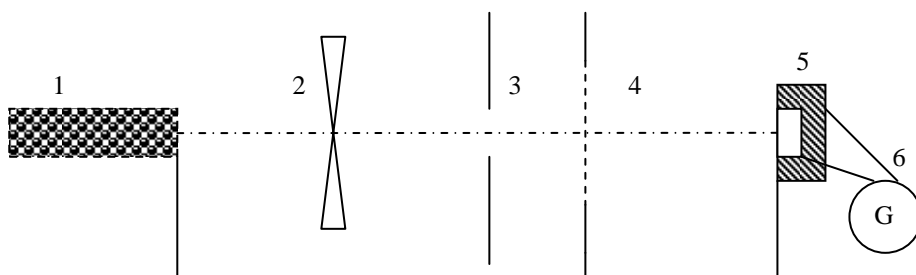


Рис. 3.3. Схема установки роботи №5: 1 - лазер, 2 - лінза №3, 3 - ширма з щілиною шириною 1÷2 мм, 4 - дифракційна ґратка, 5 –фотоелемент ФЕК-1, 6 - гальванометр, зашунтований опором.

Після увімкнення лазера учні коректують розташування всіх деталей установки, щоб дифракційний спектр був розташований симетрично середині лінійки, закріпленої в лапці одного з штативів на висоті лазерного випромінювання.

Розташувавши безпосередньо перед лінійкою фотоелемент зі щілиною і змінюючи його положення уздовж лінійки від одного кінця до іншого, помічають відхилення стрілки гальванометра, і записують ці дані.

За одержаними результатами учні будують графік залежності фотоструму від відстані, тобто будують криву розподілу інтенсивності лазерного випромінювання в дифракційному спектрі. Графік, побудований в одній із серії вимірювань, показаний на рис. 3.4.

Як додаткове експериментальне завдання корисно запропонувати учням за одержаними результатами в даній роботі визначити постійну d дифракційної ґратки.

Слід вказати, що виконання цієї роботи не вимагає абсолютного затемнення класної кімнати. Для цього достатньо установку розташувати так, щоб фотоелемент був розташований від вікна, тобто щоб на нього не падало пряме сонячне світло. А фіксування інтенсивності лазерного випромінювання можна здійснити, віднявши покази світлового фону від загальної інтенсивності світла, яка реєструється в цілому.

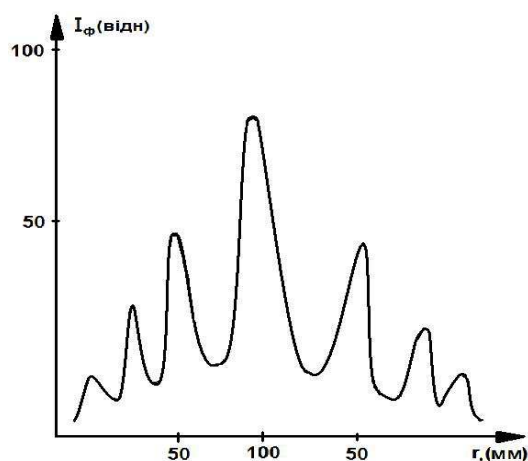


Рис. 3.4. Крива залежності фотоструму від зміщення фотоелементу відносно нульового дифракційного максимуму.

Робота № 6. Вивчення спектрального складу лазерного випромінювання

Обладнання: лазер, спектроскоп, високовольтний генератор „Спектр -1", випрямляч ВС 4-12, штатив, спектральні трубки (учбові) з гелієм і неоном.

При складанні теоретичних відомостей до цієї роботи слід враховувати ту обставину, що пристрій і робота газового лазера в посібнику з фізики для 11 класу не розглянуті [17, 21, 22, 25, 33].

При цьому варто звернути увагу на те, що в розрядній трубці лазера активною речовиною є суміш двох газів: гелію і неону. Збудження атомів неону, випромінювання яких потім виділяється резонатором і генерується лазером, здійснюється через наявність атомів гелію. Схематична картина деяких енергетичних рівнів атомів гелію і неону була показана на рис. 1.12, де стрілками показані процеси, що відбуваються в розрядній трубці.

Збуджені атоми гелію в результаті електричного розряду переходять з основного в метастабільний стан 2^1S_1 , на якому час життя атомів більший (10^{-3} с). Метастабільні рівні гелію 2^1S енергетично дуже близькі рівням неону $3S_2$, що дозволяє атомам гелію при зіткненні передавати атомам неону частину своєї енергії і переводити їх в збуджений стан $3S$, що характеризується декількома рівнями. Самовільне випромінювання окремих збуджених атомів неону породжує фотони, відповідні електронним переходам в атомах неону з рівнів $3S$ на рівні $2p$. Ці фотони викликають далі індуковане випромінювання інших збуджених атомів неону, що згодом виділяється резонатором.

Детальніше теоретичні відомості можна викласти, користуючись методичною літературою [3; 44]

У ході виконання цієї роботи учням пропонується вивчити за

допомогою спектроскопа випромінювання газової суміші в розрядній трубці з бічної сторони і зіставити спектр газової суміші зі спектрами, що спостерігаються у випадку вивчення випромінювання спектральних трубок окремо з He і Ne.

Потім на вхідну щілину спектроскопа направляють частину розширеного пучка лазерного випромінювання. У цьому випадку спостерігається лише одна червона спектральна лінія, що дозволяє зробити висновок про монохроматичність випромінювання лазера. У цьому разі можна скористатися і дифракційними ґратками, за допомогою яких на екрані спостерігати лише одну червону лінію з $\lambda = 623,8 \text{ нм}$. У цьому варіанті демонстрації є можливість одержати і кількісні результати, розв'язавши відповідну експериментальну задачу.

При вивченні випромінювання спектральних трубок газової суміші розрядної трубки лазера і випромінювання, що генерується лазером, учням рекомендується замалювати всі спостережувані спектри на одному листку у порядку їх спостереження з урахуванням показів мікрометричного гвинта спектроскопа. Це дозволяє їм краще з'ясувати сутність явищ, що вивчаються в даній роботі.

Робота №7. Перевірка закону збереження енергії в інтерференційній картині від випромінювання ОКГ

Обладнання: лазер, лінза, екран, фотоелемент селеновий, гальванометр М-273-21, пластинка з металевої фольги з двома отворами, штатив, шторка.

Висока просторова когерентність лазерного випромінювання дозволяє провести досліди з інтерференції світла (наприклад, дослід Юнга з двома отворами) при великій різниці ходу пучків, що інтерферують.

Розповсюдження енергії світлових хвиль у просторі при інтерференції, як відомо відрізняється від розподілу енергії у разі відсутності інтерференції, але при цьому закон збереження енергії виконується. При виконанні даної роботи учні перевіряють як розподіляється енергія двох пучків при їх інтерференції, вимірюючи їх енергію в області, де має місце перекриття, і зіставляють виміряні результати із значенням енергії кожного з пучків, що інтерферує.

Теоретичні відомості і хід виконання цієї роботи детальніше можна розглянути за посібником [21].

Доцільно в даній роботі запропонувати учням виміряти і зіставити одержані результати при вимірюванні інтенсивності світла в максимумах і мінімумах інтерференційної картини. Для вимірювання інтенсивності інтерференційних максимумів і мінімумів фотоелементом необхідно закрити фотоелемент чорним папером, в якій вирізана щілина, що відповідає ширині світлої або темної інтерференційної смуги на екрані.

Установка для перевірки закону збереження енергії в інтерференційній картині від лазерного випромінювання в досліді Юнга має вигляд, показаний на рис. 3.5.

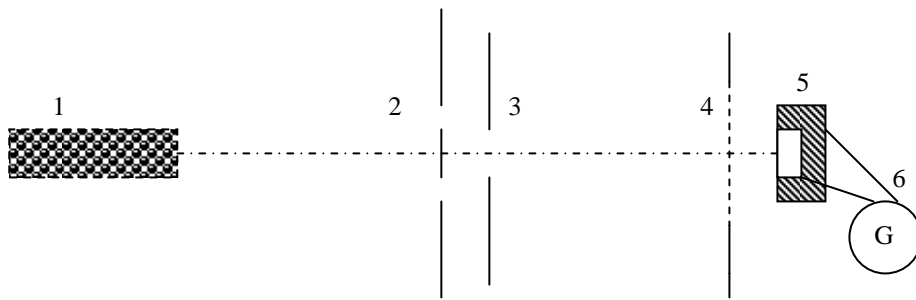


Рис. 3.5. Схема установки лабораторної роботи для перевірки закону збереження енергії при інтерференції світла: 1 - лазер, 2 - фольга з двома отворами діаметром близько $0,1 \div 0,2$ мм, які розташовані на відстані $0,4 \div 0,6$ мм, 3 –діафрагма, 4 - екран, 5 - фотоелемент, 6 - гальванометр.

Виконуючи роботу, учні спочатку одержують чітку інтерференційну картину на екрані, а потім на його місце ставлять фотоелемент, сполучений з гальванометром, і проводять вимірювання інтенсивності одержаної картини від обох отворів і від кожного окремо взятого отвору.

За одержаними результатами роблять висновки про справедливість закону збереження енергії при інтерференції світла, коли світло проходить окремо через одне, а потім через друге і врешті через обидва отвори одночасно і дає інтерференційну картину.

Робота №8. Вивчення ступеня поляризованості лазерного випромінювання

Обладнання: лазер, диск-ширма, поляроїд, кювета з цукровим розчином, екран.

В ході виконання роботи на відстані близько 20-30 см від лазера встановлюють поляроїд, а на відстані 1 м - екран. Обертаючи поляроїд спостерігають картину інтенсивності перерізу лазерного пучка на екрані. Потім на шляху пучка за поляроїдом поміщають кювету з розчином цукру. (Концентрація цукру від $0,5$ до 2г/см^3). Із збільшенням концентрації цукру інтенсивність випромінювання, що пройшло через кювету зменшується). Змінюючи кут повороту поляроїда, необхідний для відновлення колишньої інтенсивності, встановлюють зміну площини

поляризації лазерного випромінювання цукровим розчином. За результатами вимірювань можна побудувати графік інтенсивності пучка, що пройшов через поляроїд, через кожні $5-10^\circ$.

Теоретичні відомості можна скласти відповідно до вказівок до роботи № 147 [44].

3.5. Використання газового лазера для розробки і постановки експериментальних і творчих задач з оптики

Для підвищення ефективності процесу навчання в середній школі надзвичайно важливим є розвиток творчих здібностей учнів. Фізика, як наука і як навчальний предмет, володіє величезним потенціалом і можливостями в розвитку творчих здібностей і підготовці випускників школи для подальшої діяльності, формуючи в учнів міцні знання, уміння, дуже необхідні для набуття професії і активного включення в суспільно корисну працю.

У шкільній практиці слід враховувати, що процес навчання включає такі необхідні компоненти творчого процесу, як: 1- індуктивний перехід від набутих початкових фактів до абстрактної моделі; 2- висновок з неї логічних наслідків; 3- експериментальну перевірку цих наслідків.

На підставі принципу циклічності, сформульованого академіком РАО В.Г.Разумовським, процес наукової творчості представляється таким, що йде за схемою: факти - гіпотеза - наслідок -експеримент. Наукова творчість у фізиці нерозривно пов'язана з фізичним дослідом, оскільки:

- а) експериментальні дані лежать в основі будь-якої фізичної моделі;
- б) всі наслідки, що випливають з розвитку тієї або іншої теорії, перевіряються практикою, тобто дослідним шляхом - експериментом .

Тому зараз доцільно згідно зазначеного навчального циклу будувати процес навчання в школі, а також враховувати, що шкільний фізичний експеримент, відповідно, займає особливе значення у розвитку творчих

здібностей учнів.

Згідно діючих програм з фізики для середньої школи, які є профільними (Київ: 1997р) майже п'ята частина навчального часу, передбаченого на вивчення курсу фізики, присвячена виконанню учнями фронтальних лабораторних робіт і практикумів, що значно поліпшує практичну підготовку школярів і сприяє ознайомленню їх з експериментальним методом дослідження явищ природи. Проте, практика викладання фізики у середній школі показує, що окрім вказаних у програмі робіт для успішного засвоєння навчального матеріалу і вироблення в учнів практичних умінь і навиків необхідно значно більше і частіше звертатися до фронтальних дослідів, лабораторних робіт або пропонувати розроблені на їх основі експериментальні задачі. Упровадження в практику навчання і виховання експериментальних задач, при розв'язуванні яких активізується творча розумова діяльність школярів і формуються практичні уміння і навички, - ефективний засіб в загальній теоретичній і практичній підготовці випускників школи.

На основі аналізу навчальних програм, підручників з фізики для 11 класу можна констатувати, що фізичний експеримент з оптики і, зокрема, з теми „Світлові хвилі” 7 кл. не повною мірою відповідає розкриттю суті оптичних явищ, що вивчаються, і експериментальних наукових методів, недостатньо знайомить з практичним їх використанням в різних сферах діяльності людини.

Для усунення вказаних недоліків доцільно використовувати і дидактично цінними є експериментальні задачі творчого характеру з хвильової оптики із застосуванням природних джерел світла і лазерів. Саме такі задачі найбільшою мірою формують у випускників експериментальні уміння та уміння і навички застосовувати знання на практиці, тим самим сприяючи політехнічній і трудовій підготовці

випускників середніх шкіл.

Під експериментальними вміннями звичайно розуміють:

1–уміння планувати експеримент;

2–уміння поводитися з навчальним обладнання і технічними вимірювальними приладами;

3–уміння проводити дослід, спостерігати і пояснювати явища і процеси;

4–уміння обробляти і аналізувати одержані результати.

Уміння планувати експеримент і проводити дослід складає головним чином ядро експериментальних умінь. Планування експерименту, інтерпретація одержаних результатів розвивають логічне мислення і формує інтелектуальне уміння (уміння аналізувати, синтезувати і т.д.).

Уміння планувати експеримент можна представити у вигляді наступних дій:

- встановлення зв'язку між метою експерименту, яка задана вчителем або інструкцією з проведення експерименту і наявними теоретичними знаннями; воно полягає у відборі необхідних теоретичних знань для виконання експерименту;
- виокремлення даних (фізичних величин, властивостей і інших параметрів явищ і процесів), які можуть бути виміряні, зафіксовані, спостережувані;
- встановлення зв'язку (залежності математичної, причинної і т.д.) між спостережуваними явищами, або вимірюваними і шуканими величинами;
- перелік і обґрунтування того, за допомогою яких дослідів, спостережень можна одержати необхідні дані;
- складання схеми, опис установки і перелік необхідного обладнання для дослідів;

- складання схеми, таблиць для фіксації результатів досліду, побудова графіків;
- перелік послідовності і вказівка методу обробки результатів вимірювань, спостережень і їх аналізу.

У формуванні експериментальних умінь і навичків учнів роль окремих видів навчального експерименту з фізики (демонстраційних, фронтальних дослідів, лабораторних робіт і практикумів) з урахуванням ступеня самостійності виконання дослідів школярами різна. Але при розв'язуванні експериментальних завдань учні великою мірою проявляють творчість і самостійність в експериментальній роботі.

Постановка експериментальних задач дає можливість показати учням фізичні закони у дії, об'єктивність законів природи і їх обов'язкове виконання, використання знання законів природи для передбачення явищ і управління ними, важливість їх вивчення для досягнення конкретних, практичних цілей.

Розв'язання експериментальних задач допомагає учням глибше і повніше осмислити і зрозуміти закономірність, що вивчається, де кожна з величин виступає перед учнями цілком реально і в реально існуючих взаємозв'язках. Постановка і розв'язання на уроці експериментальних задач допомагає розкривати недостатньо зрозумілі, помилкові уявлення учнями і разом примушує їх виявити внутрішнє розуміння питання, а не формальне знання його.

Основною ознакою експериментальної задачі є не просто наявність експерименту, що виконується у зв'язку з її розв'язанням, а неможливість постановки задачі або її розв'язання без експерименту.

У найпростіших випадках експериментальні задачі творчого характеру з хвильової оптики з використанням лазера можна складати в наступній послідовності:

1. Демонструється та або інша інтерференційна (дифракційна) картина. Учням пропонується пояснити її походження.

2. Учням пропонується встановити можливість визначення тієї або іншої фізичної величини, виходячи з демонстрацій за допомогою лазера конкретної інтерференційної (дифракційної) картини.

3. У ході демонстрації з лазером пропускається яка-небудь необхідна операція, використовується неправильно налагоджений або неправильно виготовлений прилад, внаслідок чого інтерференційна (дифракційна) картина не спостерігається або ж спостерігається в спотвореному вигляді. Учні встановлюють, що необхідно зробити для отримання потрібного результату.

Після аналізу розв'язку задачі учнями здійснюється демонстрація з лазером з включенням пропущеної операції, з відремонтованим приладом, або правильно налаштованим.

Відзначимо, що подібного роду задачі можливі саме на основі демонстрації з лазером, оскільки на відміну від аналогічних дослідів із звичайними тепловими джерелами світла на виконання демонстрації потрібен незначний час і техніка їх виконання гранично проста, а результати чіткі і переконливі.

Описані нижче задачі для своєї постановки вимагають використання окрім лазера вельми простих пристосувань, виготовлення яких під силу самим учням і тому не викликають ніяких складнощів у вчителя.

Докладніше розглянуті деякі конкретні задачі у статті [9].

Задача № 1. У пучку лазерного випромінювання поміщається перпендикулярно скляна пластинка (відмита фотопластина або пластинка від діапозитива). Пояснити походження спостережуваної у відбитому від пластинки світлі картину.

Розв'язання. Картина формується в результаті інтерференції

когерентних світлових хвиль, відбитих від обох поверхонь пластинки. Хвилі ці проходять різний шлях. Різниця ходу залежить від товщини пластинки і від кута падіння на неї. Темні смуги виходять у разі, коли в різниці ходу міститься непарне число напівхвиль, світлі смуги - у тому випадку, коли різниця ходу відповідає цілому числу хвиль. Ширші і розташовані на більшій відстані одна від одної інтерференційні смуги виникають від тих ділянок поверхонь пластинки, які майже паралелі. Вузькі ж і близько розташовані одна від одної смуги утворюються від тих місць пластинки, в яких відступи від паралельності більші.

Задача №2. Демонструється картина від неправильно виготовленої щілини Юнга. Пояснити, чим відрізняється ця картина від типової для цього досліду? Які помилки допущені при виготовленні приладу?

Задача №3. Чи можна за допомогою інтерференційної картини, одержаної з лазером від подвійної щілини Юнга, визначити відстань між серединами щілин, не виконуючи безпосередніх вимірювань її.

Розв'язання. Оскільки довжина хвилі лазерного випромінювання відома ($\lambda=632,8$ нм), достатньо виміряти відстань від подвійної щілини до екрану L і по інтерференційній картині на екрані визначити ширину інтерференційної смуги - δ . Тоді із формули $\lambda = \frac{dL}{\delta}$ [6] знаходимо, що

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

Залежно від мети, яку вчитель ставить перед класом, задача може бути сформульована таким чином.

Задача №4. Визначити на якій відстані від екрану знаходиться подвійна щілина Юнга (d і λ - відомі величини).

Задача №5. Визначити ширину смуги в інтерференційній картині, що утворюється подвійною щілиною, якщо відстань від екрану до подвійної щілини рівна 50 см (d і λ - відомі величини).

Задача № 6. Плоске дзеркало із зовнішнім покриттям поблизу лазера, розташовано так, що пучок випромінювання ковзає по його поверхні. На екрані видно дві світлі плями, розташовані на деякій відстані одна від одної. Що необхідно зробити, щоб одержати інтерференційну картину?

(Відповідь: накласти ці пучки шляхом застосування лінзи або змінивши кут нахилу дзеркала).

Після аналізу з учнями розв'язку задачі в установці за дзеркалом поміщають лінзу і на екрані одержують інтерференційну картину.

Так само можна скласти експериментальні задачі з дифракції світла і з інших хвильових проявів його.

Зрозуміло, що система задач з хвильової оптики, яка розкриває повною мірою всі хвильові властивості світла, не може бути запропонована учням для розв'язання тільки під час уроку. Багато експериментальних задач добре зарекомендували себе на заняттях факультативів з учнями, інші викликають великий інтерес, пожвавлюють пізнавальну активність учнів під час проведення позакласних заходів з фізики в середній школі.

Крім того наголошуємо, що педагогічно доцільною й ефективнішою має бути система експериментальних задач із зазначеної теми, до якої включаються як задачі з природними джерелами світла, так і з використанням лазера [9]. Саме така система оптимально підібраних експериментальних задач може забезпечити якнайповніше вивчення усіх особливостей хвильових проявів взаємодії світла з перешкодами, й одночасно дозволить ефективно розкрити основні закономірності оптичних явищ, які розв'язували вчені при перших спробах пояснити природу світла.

3.6. Використання ОКГ в позакласній роботі з фізики в середній школі

Позакласна робота є невід'ємною частиною всієї системи навчально-виховного процесу в середній школі. Тому зміст і форми її проведення відповідають тим основним завданням, які висунуті сучасними вимогами перед середньою школою. Зокрема, основними з них, які покликана розв'язувати система позакласної роботи з фізики в школі, є такі, як:

- особистісно-орієнтований підхід і виховання учнів, формування їхнього діалектичного наукового світогляду;

- сприяння глибшому вивченню шкільного курсу фізики, ознайомлення з новими досягненнями у галузі науки і техніки, здійснення міжпредметних зв'язків;

- сприяння розвитку мислення учнів і їхньої творчості в оволодінні практичними вміннями і навичками фізичного експериментування і досліджень у використанні фізичних знань у житті;

- організація суспільно-корисної праці (в устаткуванні фізичного кабінету, у створенні нових навчальних посібників і приладів, допомога підприємствам в проведенні агітаційно-масової роботи серед населення і т.д.);

- виховання самостійності та ініціативності, відчуття колективізму і взаємодопомоги учнів;

- проведення профорієнтаційної роботи серед школярів;

- організація культурного і змістовного відпочинку школярів і т.д.

У вирішенні названих та інших завдань, що стоять перед вчителем фізики, велику роль відіграє вивчення і врахування інтересів, здібностей, нахилів і схильностей учнів, правильний вибір і організація позакласної роботи із заняттями на уроках фізики, на факультативних заняттях.

Застосування лазера в різних заходах в ході позакласної роботи з учнями, як і в разі використання його на уроках і факультативних

заняттях, дозволяє значно активізувати учнів, підвищує інтерес до предмету і загалом підвищує ефективність навчально-виховного шкільного процесу.

Питанням вдосконалення позакласної роботи з фізики в середній школі внаслідок використання ОКГ в ході індивідуальної, групової і колективної роботи з учнями присвячено ряд статей в методичній літературі [42]. Цікавими для вдосконалення гурткової роботи з фізики є рекомендації з виготовлення в умовах середньої школи навчальних дифракційних ґраток, які своїми параметрами і можливостями значно перевершують ті, що випускаються промисловістю для шкільних цілей, голографічні самостійно виготовлені дифракційні ґратки мають від 10 до 500 лін/мм, а промислові лише з числом штрихів на 1 мм, рівним 50 і 100.

Цінним є те в таких рекомендаціях [43], що одержані голографічні дифракційні ґратки можуть виготовлятися самими учнями дуже просто, принцип отримання їх зрозумілий для школярів і разом з тим ці ґратки з успіхом можуть використовуватися у навчальному процесі з фізики, значно підвищуючи ефективність шкільного фізичного експерименту.

Окрім названих можливостей застосування ОКГ в позакласній роботі з фізики цікавим для старшокласників є гурток з вивчення основ голографії, орієнтовний план якого може передбачати наступні заняття.

Орієнтовний план занять гуртка «Фізичні основи голографії»

1. Вступне заняття. Демонстрація голограми. Отримання зображень відновлення хвиль. Загальна схема голографування.

2. Опис хвильового поля в просторі. Задача запису амплітуд і фаз. Роль опорної хвилі.

3. Інтерференція хвиль від двох джерел, її демонстрація на хвильовій ванні. Биття, демонстрація за допомогою осцилографа. Тимчасова когерентність. Демонстрація впливу розмірів джерела на чіткість

інтерференційної картини.

4. Представлення складної хвилі набором плоских хвиль. Просторова частота. Експеримент Аббе-Портора.

5. Поняття дифракції Френеля і Фраунгофера. Демонстрація з дифракції з використанням ОКГ.

6. Елементи фотографії. Амплітудний коефіцієнт пропускання тонкої фотоемульсії. Деякі схеми голографування. Вимоги до апаратури.

7. Запис і відновлення голограми плоскої хвилі. Синусоїдальні дифракційні ґратки.

8. Практичне заняття. Виготовлення синусоїдальних дифракційних ґраток.

9. Запис і відновлення сферичної хвилі. Синусоїдальна зонна пластинка Френеля.

10. Практичне заняття. Виготовлення дифракційних ґраток, що самофокусуються.

11. Голограма предмету, як сукупність елементарних голограм.

12. Практичне заняття. Виготовлення простої голограми.

13. Запис і відновлення голограми Денисюка Основні властивості голограм.

14. Заключне заняття. Практичне застосування голограм і перспективи голографії.

Доцільним є використання лазера і в проведенні фізичного вечора, що розкриває фізичні основи роботи ОКГ і показує необмежені і цікаві приклади і можливості його застосування в різних сферах діяльності людини. Для підготовки і проведення подібного вечора корисними виявляться такі посібники:[4, 32, 26, 31, 41]

Варто відзначити, що застосування оптичних квантових генераторів в демонстраційному експерименті і для постановки ряду лабораторних

робіт практикуму і факультативу, а також використання лазера для постановки задач творчого і експериментального характеру з хвильової оптики в 11 класі, поза сумнівом, сприяє вдосконаленню навчального процесу, покращує дослідницьку і самостійну роботу учнів, переводить її на новий вищий рівень.

Не обмежені можливості мають приклади упровадження ОКГ і для інших видів навчальних занять. Лазери з успіхом можуть бути застосовані і дають бажані результати в процесі проведення гурткової роботи з фізики, у проведенні вечорів цікавої фізики і т.д.

Слід зазначити, що можливості використання оптичних квантових генераторів у навчально-виховному процесі середньої школи ще не зовсім добре вивчені, а педагогічні дослідження в цьому напрямку представляються актуальними і цінними як для теорії, так і для практики методики навчання фізики і взагалі роботи в середній школі і вузі.

РОЗДІЛ 4. ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

Лабораторна робота №1 Вивчення оптичних властивостей інверсного середовища

Обладнання: газовий лазер ЛГ-32, активний елемент лазера ЛГ-44, оптична лава з обладнанням, фотоелемент ФД-К-155, мікроамперметр М194, з'єднувальні провідники, екран.

Короткі теоретичні відомості

Проходження світла через будь-яке оптично прозоре середовище в природних умовах супроводжується зазвичай його поглинанням:

$$I_{\nu} = I_{0\nu} e^{-\kappa_{\nu} \ell} \quad (4.1)$$

де I_{ν} - інтенсивність світла; $I_{0\nu}$ - інтенсивність падаючого світла; κ_{ν} - коефіцієнт поглинання середовища; ℓ - довжина шляху в середовищі. Індекс ν вказує на залежність вказаних величин від частоти.

Підсилення – процес обернений поглинанню. У цьому випадку коефіцієнт κ_{ν} від'ємний ($\kappa_{\nu} < 0$) і таким чином відбувається експоненціальне наростання інтенсивності світла, що проходить через середовище.

При вивченні випромінювальних процесів на рівні мікропроцесів поглинання і підсилення електромагнітного випромінювання середовищем пов'язуються з процесами вимушеного поглинання і випромінювання кванта енергії.

Визначимо, коли можливе оптичне підсилення в газовому середовищі. Для цього розглянемо два довільних рівні E_1 і E_2 деякої квантової системи, між якими можливий перехід $h_{\nu} = E_2 - E_1$.

Нехай N_2 і N_1 - число атомів, що знаходяться в одиниці об'єму речовини в станах 2 і 1. Через ділянку середовища від ℓ до $\ell + dx$ проходить пучок монохроматичного випромінювання.

Зміна інтенсивності пучка електромагнітних хвиль за рахунок квантових переходів в активному середовищі визначатиметься із виразу:

$$dI' = B_{21} \frac{\hbar\omega_{21}}{c} (N_2 - \frac{g_2}{g_1} N_1) I dx, \quad (2)$$

де B_{21} - коефіцієнт Ейнштейна для вимушеного випромінювання світла при переході атомів із стану E_2 в стан E_1 ; g_1 і g_2 - кратність виродження рівнів, тобто число різних станів системи на рівні E_1 і E_2 .

Поглинання і розсіювання електромагнітного випромінювання домішками і дефектами в структурі речовини, а також втрати за рахунок дифракції випромінювання в середовищі називають **нерезонансними втратами**. За рахунок таких втрат зменшення інтенсивності електромагнітного випромінювання при його проходженні через середовище буде визначатися таким чином

$$dI'' = \beta dx, \quad (3)$$

де β - коефіцієнт втрат на кожен одиницю довжини в активному середовищі.

Таким чином, загальна зміна інтенсивності світла, що обумовлена вимушеним випромінюванням в активному середовищі і його поглинальними і розсіювальними діями, буде:

$$dI = dI' + dI'' = I [B_{21} \frac{\hbar\omega_{21}}{c} (N_2 - \frac{g_2}{g_1} N_1) - \beta] dx. \quad (4)$$

Тоді для електромагнітного випромінювача оптичного діапазону справедлива рівність

$$I = I_0 \exp \left\{ [B_{21} \frac{\hbar\omega_{21}}{c} (N_2 - \frac{g_2}{g_1} N_1) - \beta] dx \right\} = I_0 e^{(\alpha - \beta) dx},$$

де $V_{21} \frac{\hbar\omega_{21}}{c} (N_2 - \frac{g_2}{g_1} N_1) = \alpha$ - коефіцієнт підсилення активного

середовища за рахунок вимушеного випромінювання; β - коефіцієнт поглинання цього середовища. Результуючий коефіцієнт підсилення світла на всій довжині ℓ в активному середовищі буде визначатися:

$$K = \frac{I}{I_0} = e^{(\alpha-\beta)\ell},$$

де I, I_0 - інтенсивність пучка світла, що виходить із активного середовища і входить в активне середовище відповідно.

В активному і неактивному середовищі має спостерігатися різні поглинання світла. Тоді інтенсивність світла, що проходить через неактивне середовище:

$$I_1 = I_0 e^{-\beta_1 \ell}. \quad (5)$$

Інтенсивність світла, що проходить через активне середовище:

$$I_2 = I_0 e^{(\alpha-\beta_2)\ell}. \quad (6)$$

Вважаючи, що поглинальні властивості середовища при його збудженні не змінюються (або змінюються в незначній мірі і ними можна знехтувати, тобто враховуючи, що $\beta_1 = \beta_2 = \beta$, визначимо коефіцієнт підсилення активного середовища.

Із формул (6) і (7) маємо:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{e^{-\beta_1 \ell}}{e^{\alpha \ell} e^{-\beta_2 \ell}} = \frac{e^{-\beta \ell}}{e^{\alpha \ell} e^{-\beta \ell}} = e^{-\alpha \ell}, \quad (7)$$

Тоді коефіцієнт підсилення середовища буде рівним:

$$\alpha = \frac{1}{\ell} \ln\left(\frac{I_2}{I_1}\right), \quad (8)$$

а коефіцієнт поглинання середовища:

$$\beta = \frac{1}{\ell} \ln\left(\frac{I_0}{I_1}\right) \quad (9)$$

Опис установки і методика виконання роботи

Установку для вивчення оптичних властивостей інверсного середовища збирають за схемою, зображеною на рис.4.1. Активний елемент розміщують так, щоб пучок світла лазера вільно проходив через активне середовище, не торкаючись стінок газорозрядної трубки і не відбиваючись від них.

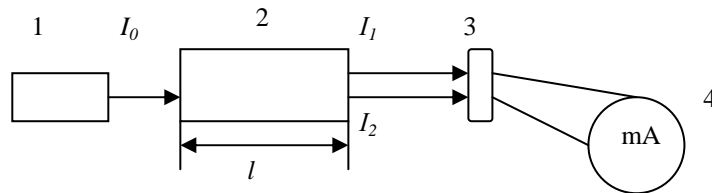


Рис.4.1 Схема лабораторної установки: 1 – газовий лазер ЛГ-32 (ЛГ-56); 2- активний елемент лазера ЛГ-44; 3 – фотоелемент; 4- мікроамперметр.

Для визначення інтенсивності лазерного пучка використовують фотоелемент, що з'єднується з мікроамперметром. Враховуючи закони фотоефекту, вважають, що фотострум, що вимірюється мікроамперметром, пропорційний інтенсивності пучка світла, яке падає на фотоелемент. Тоді, розміщуючи фотоелемент між лазером 1 і активним елементом 2, вимірюють фотострум I_{e0} , що відповідає інтенсивності наявного у приміщенні світла, яке падає на фотоелемент в цьому місці. Потім вмикають лазер і вимірюють фотострум I^*_0 , що відповідає сумарному пучку світла, яке падає на фотоелемент. За цих умов фотострум, що відповідає інтенсивності тільки лазерного пучка, який входить в активний елемент, визначатиметься різницею $I_0 = I^*_0 - I_{a0}$.

Аналогічні вимірювання виконують, розмістивши фотоелемент за активним елементом 2, коли середовище в ньому є неактивним:

$I_1 = I_1^* - I_{a1}$. Для цього вимірюють спочатку фотострум I_{e1} , що відповідає освітленості фотоелемента за активним елементом (позиція 3 на рис.4.1). Потім виконують вимірювання, перекривши непрозорим екраном лазерний пучок і одержують результат I_{e1} .

Після цього вмикають блок живлення, що створює накачку середовища в активному елементі. За цих умов лазерне випромінювання I_0 , що проходить через активне середовище, підсилюється і набуває значення I_2 . Як і в попередніх випадках, знімають покази амперметра I^*_2 , які відповідають сумарному випромінюванню, що падає на фотоелемент: $I_{гр}$ – випромінювання газового розряду, I_{e1} – інтенсивність розсіяного світла в положенні фотоелемента за активним фотоелементом і фотострум I_2 .

Перекриваючи непрозорим екраном лазерний пучок, записують фотострум $I_{e1} + I_{гр}$, а потім визначають фотострум, що відповідає інтенсивності лазерного випромінювання I_2 , яке виходить з активного середовища: $I_2 = I^*_2 - (I_{a1} + 2\tilde{a}d)$. Вимірювання повторюють для різних значень потужності накачки активного середовища. Отримані результати записують у таблицю 4.1.

Таблиця 4.1

№п/ П	I^*_0	I_{e0}	I_0	I^*_1	I_{e1}	I	Струм накачування $I_{н}$, мА	I *	$I_{e1} + I_{гр}$	I_2	α , М ⁻¹ 1	β , М ⁻¹ 1

За формулами (8) і (9) визначають коефіцієнт підсилення і поглинання активного середовища і досліджують залежність оптичних властивостей інверсного середовища від потужності накачки ($\ell = 40\tilde{n}l$), вимірюючи I_2 декілька разів, при зміні струму накачки середовища на 2 чи

5 мА.

Завдання

1. За рекомендованою літературою вивчити теорію, ознайомитися з інструкцією і установкою для виконання роботи, підготувати відповіді на контрольні запитання.

2. Переконавшись у відлагодженості приладу і отримавши дозвіл викладача (лаборанта), ввімкнути лазер ЛГ-32 і виміряти фотострум I_0 та I_1 ; за отриманими результатами визначити коефіцієнт поглинання середовища.

3. Ввімкнути живлення активного елемента і, змінюючи розрядний струм в ньому через кожні 2 мА, починаючи з 10 мА, виміряти декілька значень фотоструму I_2 . За формулою (8) визначити коефіцієнт підсилення середовища для кожного значення струму газового розряду.

4. За отриманими результатами побудувати графік залежності коефіцієнта підсилення He-Ne середовища від потужності накачки, тобто від розрядного струму в активному елементі.

5. За графіком і отриманими результатами вимірювань зробити відповідні висновки, оформити і здати звіт.

Контрольні запитання

1. Які фізичні явища обумовлюють поглинання речовиною електромагнітного випромінювання, що проходить через будь-яке середовище?

2. Коли можливе підсилення світла при проходженні його через деяке прозоре середовище? Як називається таке середовище?

3. Чому суміш гелію і неону є хорошим активним середовищем для газового лазера?

4. Яку роль відіграє блок живлення активного елемента?

5. Від чого залежать оптичні властивості інверсного середовища?

Лабораторна робота №2. Дослідження розподілу енергії в лазерному випромінюванні і визначення кута його розходження

Обладнання: лазер ЛГ-55, фотоприймач з мікрометричним пристосуванням, гальванометр, з'єднувальні провідники, газорозрядна трубка ГЛ-56.

Короткі теоретичні відомості

Тілесний кут, в якому поширюється більша частина випромінюваної енергії, характеризує направленість пучка лазерного випромінювання. Чим менший тілесний кут, тим більша направленість випромінювання. Часто даний параметр випромінювання ОКГ характеризують не тілесним, а плоским кутом розходження пучка у певному однорідному просторі.

У випадку, коли пучок, що розходить, являє собою конус, зв'язок між тілесним Ω і плоским φ кутами можна виразити співвідношенням

$$\Omega = 2\pi\left(1 - \frac{\cos\varphi}{2}\right).$$

Для кутів $\varphi < 60^\circ$ цей зв'язок з достатньою точністю може бути виражений формулою: $\Omega = \frac{\pi}{4}\varphi^2$, де кут φ визначається в радіанах.

Кут розходження випромінювання ОКГ головним чином обумовлений дифракцією пучка на вихідному отворі резонатора.

Для резонатора з плоскими дзеркалами **найменший кут розходження $\varphi_{i\delta}$ на рівні половинної інтенсивності випромінювання**

визначається виразом $2\varphi_{i\delta} \approx \frac{\lambda}{D}$, де λ - довжина хвилі лазерного випромінювання; D - діаметр вихідного отвору.

На практиці наявність багатьох поперечних мод і неоднорідність активної речовини лазера не дозволяють досягти цієї межі.

Опис приладу і методика виконання роботи

Кут розходження пучка ОКГ може бути виміряний за схемою, що зображена на рис. 4.2.

Для цього визначають значення діаметрів d і D двох перетинів пучка, що знаходяться на відстані L один від одного. Тоді кут розходження лазерного випромінювання на рівні половини максимальної інтенсивності $\varphi = \arctg \frac{D-d}{2L}$.

Як відомо візуальне вимірювання є неточним. Тому слід визначити діаметри d і D відповідно в перерізах a і b фотоелектричним способом.

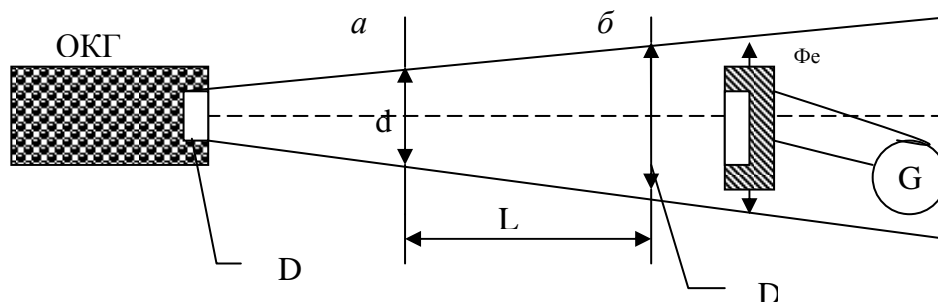


Рис. 4.2. Схема для визначення кута розходження лазерного випромінювання: ОКГ-лазер; D – діаметр вихідного отвору; a і b – перерізи, в яких досліджується енергія лазерного пучка; Φ_e – фотоелемент з щілиною шириною 1 мм; G – гальванометр.

Для цього необхідно розмістити фотоелемент у відповідному перерізі i , зміщуючи його за допомогою мікрометричного гвинта в площині перерізу на 0,2 ... 0,3 мм, дослідити розподіл енергії лазерного пучка. Побудувавши графік залежності $I = f(r)$, визначити: 1) діаметр пучка в перерізах a і b на рівні половини максимальної інтенсивності; 2) визначити кут φ розбіжності лазерного пучка.

Завдання

1. За рекомендованою літературою вивчити теорію, ознайомитися з інструкцією і установкою для виконання роботи, підготувати відповіді на контрольні запитання.
2. Згідно описаної методики вивчити розподіл енергії в перерізах лазерного випромінювання і визначити кут його розходження.
3. Використовуючи газорозрядну трубку ГЛ-56, визначити гранично досяжний мінімальний кут розходження лазерного випромінювання для резонатора з плоскими дзеркалами і порівняти одержані результати.
4. Зробити висновки щодо розбіжності лазерного випромінювання, оформити і здати звіт про виконану роботу.

Контрольні запитання

1. Якими факторами обумовлюється розбіжність пучка лазерного випромінювання?
2. Якими способами може бути визначений кут розбіжності пучка лазерного випромінювання?
3. На основі яких тверджень може бути отримана формула для визначення кута розбіжності пучка лазерного випромінювання в даній роботі?
4. Чому при визначенні кута розбіжності пучка лазерного випромінювання доречно використовувати значення діаметра на рівні половинної інтенсивності?

Лабораторна робота №3 Вивчення спектрального складу випромінювання газового лазера

Обладнання: прилад «Спектр-1», випрямляч ВСШ-6 (2 шт), спектроскоп, дифракційна ґратка 500 лін/мм, набір спектральних трубок,

з'єднувальні провідники, лазер гелій-неоновий, активний елемент ГЛ-56, штатив.

Короткі теоретичні відомості

Лазери широко застосовуються як джерела випромінювання, що працюють в оптичному діапазоні частот (від ультрафіолетової ділянки до інфрачервоної і навіть до субміліметрової). Великий інтерес до них обумовлений такими якостями лазерного випромінювання, як висока часова і просторова когерентність, монохроматичність і направленість.

У газових гелій-неонових лазерах активний елемент являє собою скляну або кварцову трубку довжиною від декількох сантиметрів до декількох метрів, діаметр якої може мати значення від 1 мм до декількох сантиметрів з нахилом торців трубки під кутом Брюстера. У трубці знаходиться газова суміш гелію і неону.

Механізм створення інверсної заселеності рівнів у гелій-неоновій суміші можна зрозуміти, розглянувши схему енергетичних рівнів для гелію і неону (рис.1.12). Збудженим станам атома гелію 2^1S_0 і 2^3S_1 відповідає енергія 20,61 і 18,82 еВ. Рівень 2^3S_1 розміщений нижче рівня 2^1S_0 (згідно з принципом Гунда). Ці стани (2^1S і 2^3S) є метастабільними і мають великий час життя порядку 10^{-3} с. Оптичні переходи з обох збуджених станів в основний заборонені: перехід $2^1S \leftrightarrow ^1S_0$ заборонений, оскільки в початковому і кінцевому станах повне внутрішнє квантове число дорівнює нулю, а перехід $2^3S_1 \leftrightarrow ^1S_0$ заборонений як інтеркомбінаційний – змінюється мультиплетність.

На рис. 1.12. добре представлена конфігурація основного 1S_0 і збуджених S- і P- станів атомів неону. У створенні інверсної заселеності суттєво те, що рівні неону $3S_2$ і $2S_2$ енергетично близькі до метастабільних рівнів гелію 2^1S і 2^3S . Стани $1S$ мають велику тривалість

життя, бо випромінювання при переходах із цих станів в основний інтенсивно поглинається із-за великої заселеності основного стану 1S_0 . Крім того, стани $1S$ є метастабільними, оскільки переходи із цих станів в основний заборонені.

При розряді в такій газовій суміші відбувається збудження атомів гелію і неону за рахунок прямого електронного збудження; збуджені стани заселяються. Наявність метастабільних атомів гелію призводить до виникнення процесу передачі збудження від них до атомів неону. Оскільки цей процес носить резонансний характер, то він приводить до селективного заселення тих станів неону, які енергетично найбільш близькі до висхідних станів гелію. Таким чином, виникає додатковий механізм заселення станів $2S_2$ і $3S_2$ і заселеність цих станів при відповідному струмі розряду може перевищувати заселеність станів із груп $2p$ і $3S$.

Тривалість життя S – станів неону більша, ніж p – станів, тому при рівних умовах збудження можлива інверсія в газовому розряді на переході $S \rightarrow p$.

Історично першою була отримана генерація на групі переходів $2S \rightarrow 2p$. основна частина потужності генерації припадає на перехід $2S_2 \rightarrow 2p_4$, якому відповідає довжина хвилі $\lambda_1 = 1,15 \mu\text{m}$. Пізніше була отримана генерація на групі переходів $3S \rightarrow 3p$ (основний перехід $3S_2 \rightarrow 3p_4$) $\lambda_2 = 3,39 \mu\text{m}$ і на переході $3S_2 \rightarrow 2p_4$ $\lambda_2 = 0,63 \mu\text{m}$. Всі три види генерації спостерігаються приблизно в однакових умовах розряду. Ефект створення інверсії і генерації залежить від струму розряду, загального тиску суміші, співвідношення компонентів суміші і форми перерізу розрядної трубки. Із збільшенням розрядного струму зростає густина електронів і всі процеси електронного збудження інтенсифікуються. Заселеність всіх збуджених станів зростає. Інверсія заселеності при цьому

збільшується. Коли інверсія перевищить порогове значення (при струмі розряду 2...20 мкА), виникає генерація. Подальше збільшення струму приводить до зростання потужності генерованого випромінювання.

В умовах великого розрядного струму починає відбуватися процес ступінчастого електронного збудження нижніх робочих станів неону $3p$ і $2p$ за рахунок рівнів $1S$. В результаті заселеність нижніх рівнів збільшується, що знижує інверсію і тому потужність генерації падає, а при струмі порядку декількох сотень міліампер генерація припиняється.

Оптимальна потужність генерації відповідає загальному тиску гелій-неонової суміші порядку 1 мм рт ст.. при цьому співвідношення парціальних тисків неону і гелію знаходиться в межах від 1:5 до 1: 15.

Опис установки і методика виконання роботи

Робота з вивчення спектрального складу газового лазера типу ЛГН-109, ЛГ-209 та інших, активним середовищем яких є суміш гелію і неону, складається із декількох дій.

1. Дія перша передбачає спостереження і вивчення характерних спектральних ліній гелію і неону, що виконується відповідно до вказівок завдань (п.1-6).[35]

2.Друга дія передбачає вивчення спектрів випромінювання газової суміші активного елемента He-Ne лазера. Для цього відкривають елемент навчального лазера, знявши з нього захисну непрозору кришку, і досліджують випромінювання газового розряду, що світиться.

Дію другу можна виконати і з окремим активним елементом ГЛ-56, ГЛ-44 і ін. У цьому випадку елемент закріплюють на штативі. Для створення розряду в ньому використовують високовольтний генератор типу «Спектр-І», а для живлення нитки розжарення – випрямляч ВСШ-6. Якщо розрядна трубка не загоряється, необхідно використати додаткове

джерело струму для підігріву газопоглинача.

В ході виконання першої і другої дій використовують спектроскоп двохтрубний (шкільний), а також дифракційну ґратку високої роздільної здатності. При цьому найбільш інтенсивні спектральні лінії для кожного елемента замальовують у відповідності з їх розміщенням і за отриманими результатами роблять висновки про склад газової суміші в розрядній трубці газового лазера.

3. Дія третя передбачає встановлення спектрального складу випромінювання, що генерується лазером. Розмістивши за лазером дифракційну ґратку і вивчивши спектральний склад дифракційної картини, встановлюють монохроматичність випромінювання, яке генерує газовий лазер. На основі спектроскопічних досліджень, знаючи постійну ґратки d , визначають λ , роблять висновки про спектральний склад випромінювання газового лазера, яке представлено однією лінією $\lambda = 632,8 \text{ нм}$.

Завдання.

1. За рекомендованою літературою вивчити теорію, ознайомитися з інструкцією і установкою для виконання роботи, підготувати відповіді на контрольні запитання.

2. Згідно вказівок до виконання роботи №15-Х фізичного практикуму [35, с.157-160], вивчити спектр випромінювання гелію, неону і газової суміші в розрядній трубці, що є активним елементом гелій-неонового газового лазера.

3. Спостереження повторити для кожного випадку, використовуючи як диспергуючий елемент голографічну дифракційну ґратку 500 лін/мм, і замальовати спектральні лінії, що спостерігаються для гелію, неону і газової суміші.

4. Вивчити спектральний склад випромінювання, що генерується лазером.

5. За рекомендаціями, що даються в [11] і з урахуванням результатів виконаної роботи, розробити інструкцію для учнів з дослідження спектрального складу випромінювання лазера на факультативних заняттях з фізики.

6. Оформити звіт про виконану роботи і здати його разом з розробленими інструкціями.

Контрольні запитання

1. Які процеси спостерігаються при створенні інверсної заселеності в активному середовищі гелій-неонового лазера?

2. Яка роль атомів гелію в газовій гелій-неоновій суміші.

3. Які параметри впливають на потужність випромінювання газового лазера?

4. Чому випромінювання, що генерується лазером, є монохроматичним?

Лабораторна робота №4. Вивчення і практичне застосування когерентності випромінювання ОКГ

Обладнання: лазер, оптична лава, подвійна щілина Юнга, рухома щілина, екран, стрічка вимірювальна, міліметрова лінійка.

Короткі теоретичні відомості

Найпростішим для розрахунку і практично дуже важливим випадком використання лазерного випромінювання є фраунгоферова дифракція на довгій прямокутній щілині.

Кути дифракції φ_{min} , що відповідають мінімумам інтенсивності світла, пов'язані з шириною однієї окремої щілини b умовою:

$$b \sin \varphi_{min} = m\lambda,$$

де $m = \pm 1; \pm 2; \pm 3$ і т.д.

Кути дифракції, що відповідають максимумам інтенсивності, починаючи з максимуму ± 1 -го порядку, визначаються з умов:

$$b \sin \varphi_{1max} = 1,46\lambda;$$

$$b \sin \varphi_{3max} = 3,47\lambda;$$

$$b \sin \varphi_{2max} = 2,46\lambda;$$

$$b \sin \varphi_{4max} = 4,47\lambda;$$

Просторова когерентність лазерного випромінювання дозволяє здійснити дослід Юнга при безпосередньому освітленні обох щілин повним перерізом пучка світла.

Як відомо, класичний дослід Юнга дозволяє на екрані спостерігати інтерференційну картину, ширина смуги Δx якої пов'язана з довжиною хвилі λ монохроматичного випромінювання, відстанню d між серединами двох щілин і відстанню L від подвійної щілини до екрана співвідношенням $\Delta x d = L\lambda$.

Використання в досліді Юнга щілин з різними d дозволяє встановити просторову когерентність лазерного випромінювання.

Опис установки і методика виконання роботи

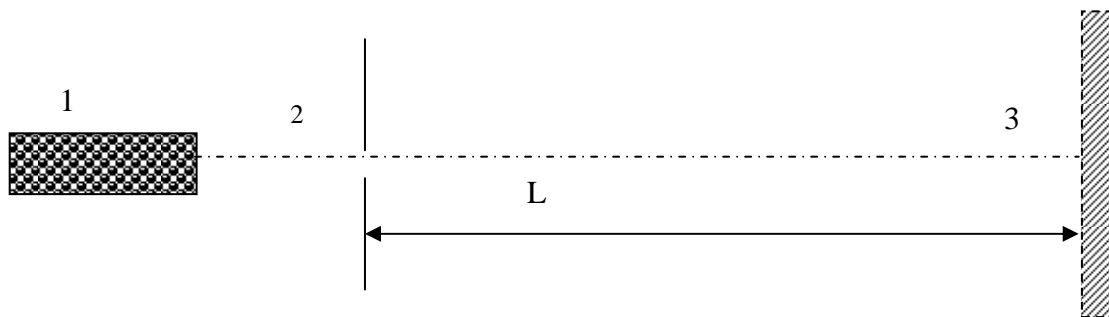


Рис.4.4. Схема установки для визначення розмірів малих об'єктів: 1-лазер; 2 – об'єкт, що дає інтерференційну або дифракційну картину; 3 – екран.

Монохроматичність і висока ступінь когерентності лазерного випромінювання в даній роботі використовуються для визначення розмірів досить малих об'єктів з високою точністю, наприклад, ширини вузької щілини і відстані між центрами двох щілин в досліді Юнга. Для цього збирають установку, схема якої зображена на рис.4.4.

1. Спостерігаючи на екрані дифракційну картину від вузької щілини, вимірюють відстань від центра нульового до центра першого Δx_1 , другого Δx_2 і третього Δx_3 дифракційних максимумів і відстань L від рухомої щілини 2 до екрана 3. Враховуючи, що значення тангенса і синуса для малих кутів рівні,

визначають: $\sin \varphi_{1\max} = \frac{\Delta x_1}{L}$; $\sin \varphi_{2\max} = \frac{\Delta x_2}{L}$; $\sin \varphi_{3\max} = \frac{\Delta x_3}{L}$ і з умов

спостереження відповідних максимумів інтенсивності світла при дифракції на вузькій щілині – визначають ширину щілини b , роблять розрахунок абсолютної і відносної похибки.

2. Використовуючи в якості об'єкта дві близько розміщені щілини, на екрані спостерігають картину, яка складається з системи смуг однакової ширини. Вимірюють ширину одної із них Δx і визначають відстань між

центрами двох щілин: $d = \frac{L\lambda}{\Delta x}$, де $\lambda = 632,8\text{ нм}$, а L – відстань, виміряна від

подвійної щілини до екрана.

Завдання

1. За рекомендованою літературою вивчити теорію, ознайомитися з інструкцією і установкою для виконання роботи, підготувати відповіді на контрольні запитання.

2. Згідно з рекомендаціями, даними в [44], визначити ширину одної щілини і відстань між серединами двох щілин в досліді Юнга. Оцінити отримані результати, оформити і здати звіт про виконану роботу.

3. Підготувати варіанти інструкцій для учнів щодо виконанню цих робіт у фізичному практикумі середньої школи.

Контрольні питання

1. Чим відрізняються поняття «часова когерентність» і «просторова когерентність»?
2. Сформулювати і розкрити сутність принципу Гюйгенса-Френеля.
3. Який характер розподілу енергії в дифракційній картині від щілини.
4. Яким чином, використовуючи дослід Юнга, можна визначити відстань між центрами двох щілин?

Лабораторна робота №5. Дослідження ступеня поляризації лазерного випромінювання

Обладнання: лазер, оптична лава, поляроїд в оправі з лімбом для вимірювання кута повороту, фоторезистор, акумулятор, ключ, реостат, з'єднувальні провідники.

Опис установки і методика виконання роботи

Установку для дослідження ступеня поляризації лазерного випромінювання збирають за схемою, зображеною на рис.4.5.

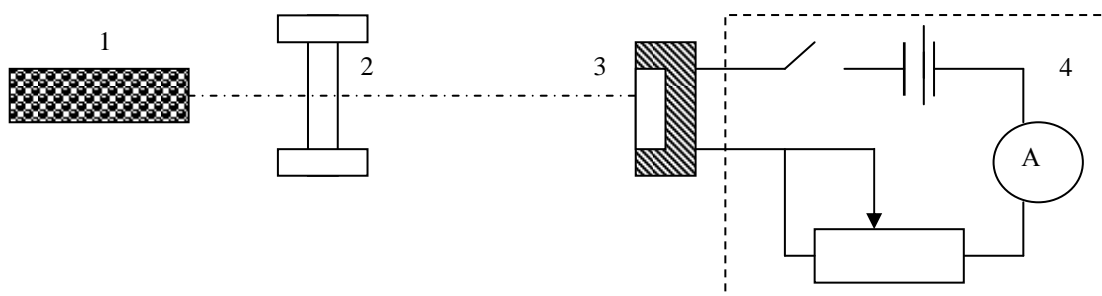


Рис.4.5. Схема установки для дослідження ступеня поляризації лазерного випромінювання: 1.-лазер; 2 –поляроїд з лімбом; 3-фоторезистор; 4.- електрична схема для вимірювання фотоструму

Поляроїд встановлюють так, щоб інтенсивність випромінювання, що проходить крізь нього, була мінімальною. Записують значення кута φ_{min} , для якого значення інтенсивності лазерного пучка, а значить, і значення фотоструму $I = I_{min}$.

Повертаючи поляроїд в оправі через кожні $5...10^\circ$, записують значення фотоструму, що відповідає інтенсивності лазерного пучка. Такі вимірювання проводять до повного повороту поляроїда на 360° . За результатами вимірювань будують графік $I = f(\varphi)$, із якого визначають максимальні I_{max} і мінімальні I_{min} значення фотоструму і відповідні значення кутів φ_{max} і φ_{min} . За допомогою отриманих результатів перевіряємо значення $\Delta\varphi = |\varphi_{max} - \varphi_{min}|$, і визначаємо ступінь поляризації лазерного випромінювання за формулою:

$$p = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}$$

На основі отриманих даних робимо висновок про ступінь поляризації випромінювання лазера.

Завдання

1. За рекомендованою літературою вивчити теорію, ознайомитися з інструкцією і установкою для виконання роботи, підготувати відповіді на контрольні запитання.
2. Дослідити залежність інтенсивності лазерного пучка від кута повороту поляроїда і побудувати графік цієї залежності.
3. Знайти значення кутів повороту поляроїда, при яких фотострум досягає максимального і мінімального значення.
4. Визначити ступінь поляризації лазерного випромінювання, знайти похибки отриманих результатів.

5. Розробити інструкцію для учнів 11-го класу з дослідження ступеня поляризації лазерного випромінювання на факультативних заняттях з фізики чи для елективного спецкурсу в умовах профільного навчання фізики.

Контрольні питання

1. Яку електромагнітну хвилю називають звичайною, а яку – незвичайною? Чим відрізняється показник заломлення середовища для таких хвиль?
2. Які ви знаєте поляризаційні прилади?
3. Чому лазерне випромінювання поляризоване?
4. Як експериментально встановити ступінь поляризації лазерного випромінювання?

Лабораторна робота № 6. Дослідження інтенсивності лазерного випромінювання в дифракційному спектрі

Обладнання: лазер, оптична лава, дифракційна ґратка шкільна (2 шт.) і голографічна, легка тринога, кремнієвий фотодіод ФД-К-1, лінійка учнівська, гальванометр М - 117, стрічка вимірювальна.

Короткі теоретичні відомості

Розглядаючи дифракцію на вузьких щілинах, можна прийти до висновку, що при збільшенні числа щілин дифракційні максимуми стають більш вузькими і зростає їхня інтенсивність, оскільки зростає кількість прохідного світла.

На цьому ґрунтується дія дифракційної ґратки, що являє собою прозору пластинку, на яку нанесено ряд непрозорих смуг. Прозорі смуги розглядаються як щілини. Із збільшенням числа щілин ґратки головні дифракційні максимуми, які визначаються із виразу: $d \sin \varphi = k\lambda$, залишаються на місцях, але при цьому стають яскравішими.

Енергія світла в максимумах росте пропорційно квадрату числа щілин. Оскільки результуюча амплітуда A в головних максимумах рівна сумі

амплітуд всіх коливань A_1 , що сходяться в одну точку від кожної із N щілин ґратки, то $A=NA_1$. Враховуючи, що енергія коливань пропорційна квадрату амплітуди, отримуємо $E \approx N^2$.

Відстань між головними максимумами для певної довжини хвилі λ залежить від періоду ґратки $d=a+b$; розподіл інтенсивності окремих максимумів визначається співвідношенням між шириною щілини a і періодом решітки d (b -непрозорий проміжок між двома щілинами). Коли d і a матимуть однакові розміри, деякі основні максимуми будуть відсутні (табл.4.2.)

Таблиця 4.2

Співвідношення між d і a	Інтенсивність максимумів, відн.од.				
	нульового	першого	другого	третього	четвертого
$d=2a$	100	40	0	4,5	0
$d=3a$	100	67,5	17	0	4,2

Виготовлення якісних дифракційних ґраток є досить складним завданням. Для цього установка монтується на глибоко уритому в землю масивному фундаменті, а в приміщенні підтримується постійна з точністю до 0,01 К температура. Виготовлення однієї ґратки триває до 7 діб за умов, що час нанесення одного штриха становить 3 с.

Незважаючи на високу досконалість промислового виготовлення ґраток методом нанесення непрозорих штрихів, у них дуже часто спостерігаються дефекти, які викликають зміни в розподілі інтенсивності головних максимумів і навіть до виникнення додаткових максимумів, що призводить до помилок при аналізі спектрів.

Нині розроблена нова технологія виготовлення ґраток, яка заснована на створенні періодичного розподілу результату інтерференції лазерного випромінювання на світлочутливому фотоматеріалі. Такі ґратки є голографічними, мають високу якість; виготовляються вони для видимої та ультрафіолетової ділянок спектра до 6000 штрихів на 1 мм і розмірами порядку 600x400 мм. Голографічним ґраткам не властиві дефекти, пов'язані з періодичними і випадковими помилками при нанесенні штрихів: вони не

мають додаткових максимумів, майже не дають розсіяного світла, що дуже важливо для багатьох наукових досліджень.

Умова утворення максимумів у випадку голографічних, тобто синусоїдальних ґраток має вигляд $d \sin \varphi = \lambda$ на відміну від умови $d \sin \varphi = k\lambda$, що характеризує звичайні дифракційні ґратки, тобто дифракція на синусоїдальних ґратках приводить до утворення максимуму тільки першого порядку ($k=\pm 1$) на відміну від звичайних, релеєвських ґраток, що дають крім нульового максимуму і максимумами $\pm 1, \pm 2$ та вищих порядків.

При наявності у фізичному кабінеті газового лазера можливо самостійне виготовлення синусоїдальних дифракційних ґраток розмірами 24x36 мм і більше з порядком 50, 100, 200, 300 ліній на 1 мм за рекомендаціями [10, 12].

Дослідження характеру розподілу світлової енергії в дифракційному спектрі дозволяє встановити відмінність голографічних від звичайних релеєвських ґраток, що виготовляються для навчальних цілей і використовуються у кабінетах фізики різних навчальних закладів.

Опис установки і методика виконання роботи

Для дослідження інтенсивності дифракційних максимумів прилади розташовують за схемою, зображеної на рис.4.6

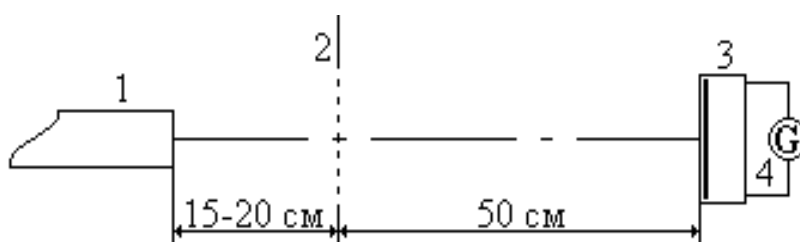


Рис.4.6 Схема установки: 1 – лазер, 2 – дифракційна ґратка, 3 – фотометр, 4 – вольтметр В7-37.

Фотометр закривають чорним папером, у центральній частині якої прорізана щілина шириною ≈ 2 мм, а над нею приклеєна з цупкого паперу стрілка-показчик. Фотометр встановлюють у легку триногу (наприклад, з набору лінз і дзеркал) і розташовують на рівні осі лазерного випромінювання. Дещо вище фотометра перпендикулярно до випромінювання розташовують лінійку, закріплену в лапці іншого штатива так, щоб нульовий головний

дифракційний максимум попадав на її середину.

Загальний вигляд установки подано схемою на рисунку 4.6.

Вмикають лазер і коректують розташування усіх деталей. Змінюючи положення фотоелемента від одного кінця лінійки до іншого, помічають наявність максимальних і мінімальних відхилень стрілки гальванометра, тобто фіксують положення головних максимумів.

Переміщуючи фотометр у зворотному напрямку через кожні 5 мм, записують значення фотоструму в залежності від відстані щодо центрального /нульового/ максимуму. Тим самим досліджують розподіл світлової енергії в дифракційних максимумах.

За даними вимірювань будують графік залежності фотоструму від відстані, що відповідає зміщенню фотоелементи від середини до країв лінійки, тобто будують криву розподілу інтенсивності лазерного випромінювання у дифракційному спектрі. При наявності синусоїдальних ґраток вимірювання проводять і для таких дифракційних ґраток. Порівнюють отримані графіки і роблять відповідні висновки.

Порядок виконання роботи

1. Зібрати установку за схемою, показаною на рисунку 4.6.
2. Під контролем викладача увімкнути лазер і розташувати деталі вздовж осі випромінювання так, щоб центральний максимум попадав у центр лінійки.
3. Встановити шкільні ґратки і записати покази гальванометра при зсуві фотометра уздовж лінійки через кожні 5 мм. При розташуванні фотоелемента із щілиною в область головних максимумів зміщення доцільно зменшити до 2...3 мм.
4. За отриманими результатами вимірювань побудувати графік $I = f(r)$ -криву інтенсивності дифракційних максимумів для кожної з ґраток.
5. Використовуючи отримані в роботі результати вимірювань, визначити період кожної з дифракційних ґраток.
6. За даними вимірювань зробити висновки про виконану роботу.

Контрольні питання

1. Що таке дифракційна ґратка і яке її призначення?
2. Як розподіляється світлова енергія у дифракційному спектрі?
3. Які труднощі виникають при виготовленні звичайних релєвських ґраток?
4. Чим відрізняється інтенсивність дифракційних спектрів для звичайної і голографічної ґраток?

Лабораторна робота № 7. Вивчення комплекту навчального лазера ЛГН-109 і виконання демонстраційних дослідів з ним

Обладнання: комплект навчального лазера ЛГН-109, оптична лава ФОС –115 з обладнанням, лінза №1 і №3, біпризма Френзеля, подвійна щілина Юнга, дзеркало, різні об'єкти для спостереження дифракції, екран, сітка, штатив універсальний (2шт.), дифракційні ґратки 5 лін/мм (2 шт.).

Короткі теоретичні відомості

Висока монохроматичність і когерентність лазерного випромінювання дозволяють достатньо легко і ефективно здійснити демонстрації основних дослідів з інтерференції і дифракції світла. Крім того, за допомогою навчального лазера можна гарно ілюструвати роль дифракції під час отримання оптичного зображення для будь-якого предмета. Цей класичний дослід Аббе, що переконливо доводить значення дифракційних максимумів високих порядків в отриманні зображення предмета, стає зрозумілим при аналізі схеми, зображеної на рис.4.7

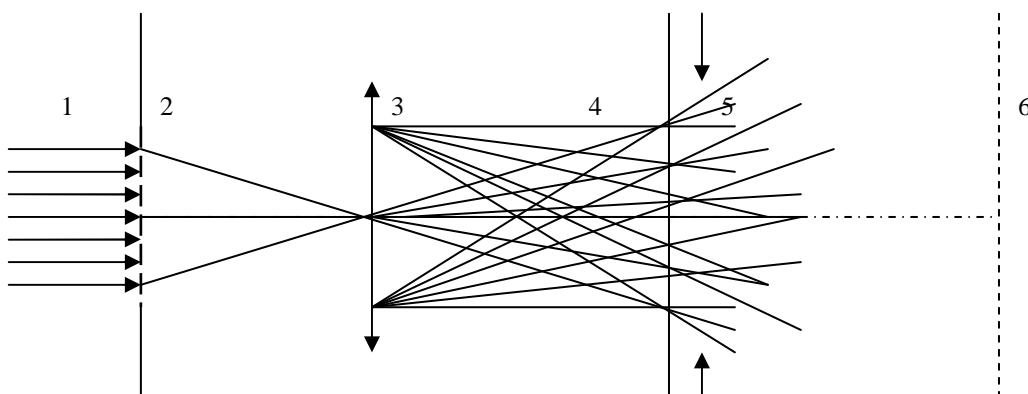


Рис.4.7. Оптична схема досліду Аббе

Паралельний пучок 1 монохроматичного випромінювання ОКГ падає перпендикулярно на дифракційну ґратку 2 і за допомогою лінзи 3 дає чітке збільшене зображення штрихів решітки на екрані б.

Із [17, 25] відомо, що в результаті дифракції при проходженні світла через дифракційну ґратку у фокальній площині 4 утворюються головні дифракційні максимуми. Положення цих максимумів визначається із формули ґратки $d \sin \varphi = k\lambda$ ($k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$) і вказує порядок максимуму. Головний нульовий максимум $k = 0$, лежить на оптичній вісі, максимуми першого порядку $k = \pm 1$ спостерігаються під кутами $\sin \varphi_1 = \frac{\lambda}{d}$, максимуми другого порядку $k = \pm 2$ під кутами $\sin \varphi_2 = \frac{2\lambda}{d}$ і т.д. Всі дифракційні максимуми відповідають когерентним хвилям, оскільки випромінюються одним лазером. Таким чином, зображення ґратки, отримане за допомогою лінзи 3 на екрані б, є результатом накладання хвиль від усіх максимумів ($k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$) і т.д. Ці хвилі, накладаючись на екрані, дають чітке зображення щілин ґратки.

Якщо будь-якою перешкодою (наприклад, щілиною 5) перекрити максимуми високих порядків (наприклад, починаючи з $k = \pm 1$), то зображення щілин ґратки на екрані повинне утворитися тільки нульовим максимумом. Таке можливе у випадку, якщо падаючий на ґратку паралельний пучок світла не зазнає дифракції. А це значить, що в даному випадку ґратка відсутня. Звідси випливає, що її зображення також відсутнє, хоча пучок світла досягає екрана і освітлює його.

Головні дифракційні максимуми перших порядків розміщуються під невеликими кутами. Ці максимуми утворюються елементами великих розмірів предмета. Відповідно при отриманні зображення великі елементи предмета створюються максимумами перших порядків.

Головні дифракційні максимуми високих порядків утворюються дрібними елементами предмета. Ці максимуми розміщуються під великими кутами і в

зображенні предмета відтворюють його дрібні деталі.

Опис установки і методика виконання роботи

Установка для здійснення демонстрацій інтерференції і дифракції світла з навчальним лазером зображена на рис. 4.8.

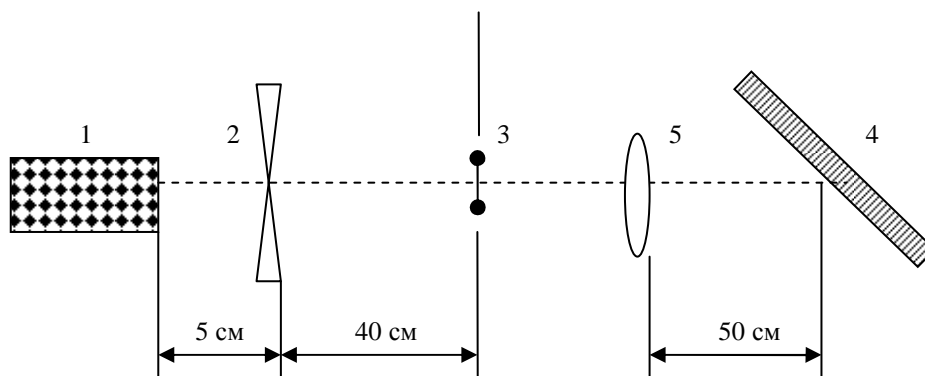


Рис. 4.8. Загальна схема установки для демонстраційних дослідів з лазером: 1- лазер; 2– розсіювальна лінза №3; 3 – об’єкт, що створює інтерференційну або дифракційну картину; 4– екран; 5 – лінза №1.

На одній стороні демонстраційного столу встановлюють навчальний лазер, що змонтований на оптичній лаві ФОС-115, на протилежній – екран 50x70 см. Лінза №3 розширює вузький лазерний пучок, що дозволяє отримати на екрані якісні демонстраційні картини. При необхідності можна використати дві розсівні лінзи.

В ході постановки дослідів з інтерференції і дифракції світла за допомогою лазера доречно використати прийоми, що дозволяють покращити умови спостереження основних елементів картин, що демонструються:

1) якщо картинка представлена вертикальними лініями, то екран слід повернути під кутом до оптичної вісі установки. Картинка, ковзаючи по поверхні екрану, стає більш зручною для спостереження з різних місць класу;

2) на відповідній відстані від екрану встановлюють лінзу №1, яка збільшує зображення картини на екрані (слід врахувати, що при цьому зображення лінзою перевертається);

3) замість екрану 4 встановлюють дзеркало з зовнішнім покриттям від комплекту ФОС-115, яке відображає зображення в сторону класу, а на шляху

відбитого пучка встановлюють матовий екран. Повертаючи дзеркало, дають можливість учням, що сидять в різних частинах класу, спостерігати картину в світлі, що проходить через матовий екран. Цей прийом особливо ефективний під час демонстрації мало інтенсивних картин (наприклад, дифракція світла на вузьких об'єктах, що пропускають мало світла).

Для здійснення демонстрації ролі дифракції при отриманні оптичного зображення установку збирають згідно схеми, що зображена на рис. 4.7. В якості лінзи використовують об'єтив з комплекту ФОС -115.

Демонстраційні досліди виконують в такій послідовності.

Дослід 1. Збирають установку з лазера, екрана і предмета (об'єтив і рухома щілина не використовуються).

А. Як предмет використовують грубу дифракційну ґратку, розміщуючи її спочатку вертикально, а потім горизонтально. На екрані спостерігають розміщення головних дифракційних максимумів у горизонтальній, а потім у вертикальній площині.

Б. В установку ставлять дві дифракційні решітки (див. позицію 3 на рис. 4.7.), штрихи яких розміщені взаємно перпендикулярно, а потім на місце решіток ставлять сітку. Встановлюють, якими елементами утворюються головні максимуми в обох випадках.

Дослід 2. На відстані близько 5...10 см від грубої дифракційної ґратки ставлять об'єтив і досягають чіткого зображення щілин ґратки на екрані. У фокальній площині паралельно щілинам ґратки закріплюють розсувну щілину і досліджують вплив її ширини на зображення, що утворилося на екрані.

Розміщують розсувну щілину перпендикулярно до щілин ґратки і вивчають як ширина щілини впливає на зображення ґратки у цьому випадку.

Дослід 3. Як об'єкт, оптичне зображення якого досліджується в залежності від ширини рухомої щілини, використовують схрещені дифракційні ґратки. Результати дослідження замальовують в зошит, вказуючи на положення щілини.

Дослід 4. Об'єктом дослідження є сітка. Встановлюють зміни в зображенні

сітки на екрані при різних положеннях рухомої розсувної щілини:

- а- щілина розміщена вертикально;
- б- щілина розміщена горизонтально;
- в- під кутом 45° вліво і вправо від вертикалі.

Завдання

1. Вивчити зміст навчального матеріалу з шкільного і факультативного курсу фізики для 11-го класу.

2. Вивчити комплект навчального лазера, порядок його експлуатації і методику використання для постановки шкільних демонстрацій з хвильової оптики.

3. Виконати демонстрації з інтерференції світла з біпризмою Френеля, подвійною щілиною Юнга, дзеркалом Ллойда і з дифракції світла від круглого екрану і отвору, від вузького екрану і щілини, від клиноподібної щілини.

4. Виконати демонстрацію, яка розкриває роль дифракції при отриманні оптичного зображення від сітки. Замалювати схему демонстраційної установки, вказавши відстань між деталями.

5. Оформити і здати звіт про виконану роботу.

Контрольні питання

1. Що входить в комплект навчального лазера ЛГН-109?

2. Яке обладнання шкільного кабінету фізики найбільш доцільно використовувати при здійсненні дослідів з лазером?

3. Які існують прийоми і способи підвищення ефективності демонстрацій і в чому полягає доцільність їхнього використання при здійсненні дослідів з навчальним лазером?

4. Яке призначення розсувної щілини в досліді Аббе?

5. Про що свідчить аналіз підібраних дослідів №1-4 у даній роботі?

Лабораторна робота №8. Виготовлення і вивчення голографічних дифракційних решіток

Обладнання: лазер ЛГ-52, лава, столик з оптичною системою, фото касета, фотопластинки типу ВР-Л (6x9 см), мікроскоп, фотоматеріали-кювети (3 шт.), розчин проявника і закріпника (фіксажу).

Короткі теоретичні відомості

У хвильовій оптиці важливе місце займає дифракція світла на періодичних структурах, найпростішою з яких є плоска одномірна дифракційна ґратка.

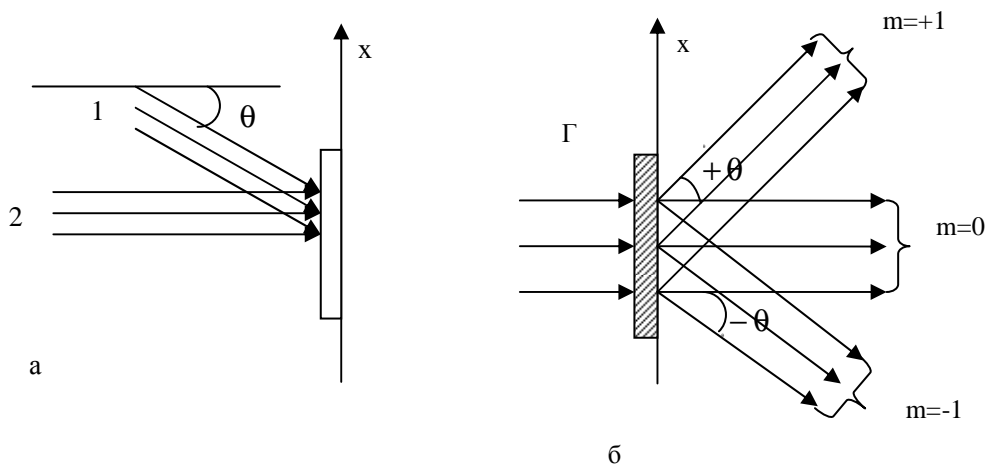


Рис. 4.9. Схема отримання (а) і відтворення (б) голограми плоскої хвилі

Дифракційна ґратка може бути отримана як голограма плоскої хвилі, яка інтерферує з такою ж плоскою хвилею (рис. 4.9.)

При формуванні цієї голограми одну з хвиль, наприклад хвилю 1, можна вважати опорною, а хвилю 2 – тією хвилею, амплітуду і фазу якої записують голографічним методом.

Припустимо, що амплітуда опорної хвилі A_1 набагато більша за амплітуду хвилі A_2 . Сумарна амплітуда поля в площині фотопластинки записується у вигляді:

$$E = A_1 \exp[-i\alpha x] + A_2,$$

$$\text{де } \alpha = k \sin \theta = \frac{2\pi}{\lambda} \sin \theta.$$

Розподіл інтенсивності в інтерференційній картині на фотопластинці буде

мати вигляд $I(x) = AA^* = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\alpha x)$. Отже, на фотопластинці буде зареєстрована інтерференційна картина із синусоїдальним розподілом інтенсивності. Просторовий період цієї картини по вісі x буде: $d = \frac{\lambda}{\sin \theta}$.

Прозорість цієї голограми із рівняння голограми (рівняння Габора) також змінюється за синусоїдальним законом:

$$D(x) \approx 2A_1^2 - \gamma A_2^2 - \gamma A_1 A_2 \exp[-i\alpha x] - \gamma A_1 A_2 \exp[i\alpha x] \quad \text{або}$$

$$D(x) \approx 2A_1^2 - \gamma A_2^2 - 2A_1 A_2 \cos(\alpha x).$$

Під час просвічування негативу плоскою хвилею, перпендикулярною до площини негативу, за голограмою будуть поширюватися три плоскі хвилі, одна з яких буде поширюватися нормально (перпендикулярно до неї), а дві інші – симетрично, утворюючи кути $\pm \theta$ з нормаллю.

Значить дифракційна ґратка із синусоїдальним розподілом прозорості дає три дифракційні максимуми: нульового і ± 1 -го порядків. Для визначення умов їх спостереження отримаємо: $d \sin \varphi = \frac{\lambda}{\sin \theta} \sin \varphi = m\lambda$, де $m = 0, \pm 1$, звідки $\varphi = 0, \pm \theta$.

При цьому слід врахувати відмінність голографічної дифракційної ґратки від плоскої релеєвської. Голографічним ґраткам не властиві дефекти, які спостерігаються в результаті повтору з певним періодом помилок при виготовленні ґраток шляхом нанесення штрихів. Голографічні дифракційні ґратки не дають розсіяного світла.

Умова утворення дифракційних максимумів у випадку синусоїдальної ґратки, якою є голографічна, має вигляд $d \sin \varphi = \lambda$ (на відміну від умови $d \sin \varphi = m\lambda$ для звичайної релеєвської ґратки).

Інтенсивність дифракційних максимумів залежить від кута падіння пучка світла на голографічну дифракційну ґратку. Дифракційні максимуми найбільш яскраві, якщо освітлювати голографічну ґратку плоскою хвилею, що падає на неї під такими ж кутами, як і світлові хвилі на фотопластинку під час реєстрації голограми.

Опис установки

Для виготовлення голографічних дифракційних ґраток використовується установка, схема якої зображена на рис. 4.10.

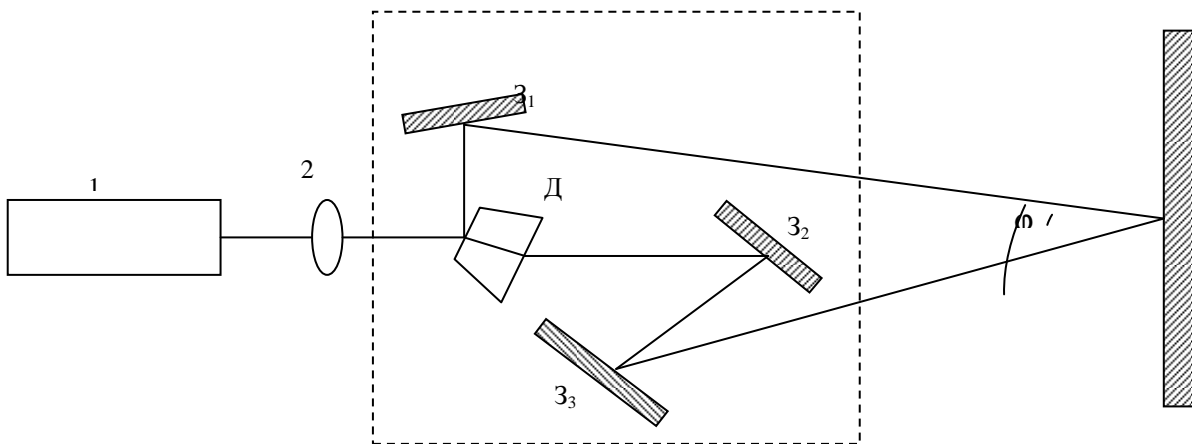


Рис.4.9 Установка для виготовлення голографічних дифракційних ґраток

Випромінювання лазера 1 з допомогою короткофокусної лінзи 2 розширюється, а потім розділяється на два пучка: відбитий від дільника Д пучок дзеркалом Z_1 направляється на фотопластинку 4; частина випромінювання, що проходить через дільник дзеркалами Z_2 і Z_3 також відбивається на фотопластинку. Обидва пучка, накладаючись один на одного, інтерферують. Після експонування фотопластинки в місцях розміщення світлих смуг інтерференції на фото шарі виділяється срібло, яке при проявленні негатива утворює чорні смуги, а в місцях темних смуг інтерференції фотошар залишається прозорим. Така відзнята і оброблена фотопластина є голографічною дифракційною ґраткою. Відстань між темними і світлими смугами її визначається із рівняння $d \sin \varphi = \lambda$.

Основні вузли установки розміщуються на одній масивній основі і являють собою жорстко з'єднану оптичну систему. Дзеркала Z_1 , Z_2 , Z_3 кріпляться таким чином, що можуть обертатися навколо вертикальної вісі. Крім того, дзеркала можуть зміщуватися відносно вертикальної площини і вздовж направляючих на основі столика.

Це дозволяє накладатись обом пучкам лазерного випромінювання в площині фотопластинки і забезпечує вирівнювання оптичних шляхів обох пучків для отримання контрастної інтерференційної картини.

Обробка експонованих фотопластинок проводиться за відомим процесом обробки фотоматеріалів. Для підвищення дифракційної ефективності голографічної ґратки негатив відбілюють. Найбільш прості рекомендації для цього є в [12]

Методика виконання роботи

1. Завчасно за рекомендованою літературою вивчити теоретичні відомості, інструкції до лабораторної роботи, ознайомитися з установкою для виконання роботи, підготувати відповіді на контрольні питання.

2. Переконатися в готовності установки до виконання роботи: перевірити розміщення і кріплення деталей, наявність фотопластинки в касеті, справність провідників.

3. Отримавши дозвіл викладача або лаборанта і дотримуючись правил техніки безпеки, ввімкнути лазер. При необхідності виконати додаткове налаштування на одержання необхідного зображення.

4. Тримавши в одній руці непрозорий екран, перекрити обидва пучки випромінювання, другою рукою обережно відкрити заслінку касети і через деякий час заекспонувати фотопластинку. Час експонування погодити з викладачем. Після цього перекрити лазерне випромінювання і закрити заслінку касети.

При експонуванні фотопластинки забезпечити стійкість установки.

5. Обережно відкрити фотокасету, вийняти відзняту фотопластинку проявити і закріпити її.

УВАГА! Відкривати фотокасету і обробляти фотопластинку в темноті.

6. Після того, як оброблений негатив висохне, перевірити його дію як дифракційної ґратки і визначити її період.

7. Згідно отриманих результатів зробити відповідні висновки і здати звіт.

Контрольні запитання

1. Яка дифракційна ґратка є синусоїдальною? Що спільного у синусоїдальної дифракційної ґратки і голограми від двох плоских хвиль?

2. Чим відрізняється голографічна дифракційна ґратка від звичайної релєєвської?

3. Чому установка для отримання голографічних дифракційних ґраток повинна бути вібростійкою?

4. Які вам відомі рекомендації, що дозволяють підвищити ефективність голографічних ґраток?

Лабораторна робота №9. Отримання елементарної голограми і вивчення її властивостей

Обладнання: лазер ЛГ-52, оптична лава, окуляр від мікроскопа 15^x, об'єкт голографування, матовий екран, фотокамера, фотоплівка типу «Мікрат 300-600» або фотопластинка типу ВР-Л, фотоматеріали – кювети (3 шт.), розчин проявника і закрійника (фіксажу), посудина з водою.

Короткі теоретичні відомості

Голографія – новий метод отримання зображення об'єктів, заснований на реєстрації інтерференційної картини, що утворюється в результаті накладання предметної і опорної хвиль на світлочутливому матеріалі. Отримана інтерфероґрафа називається голограмою, бо на ній записана повна інформація про амплітуду і фазу хвиль, що розсіюються об'єктом.

Метод голографії був вперше запропонований англійським фізиком Д.Габором, який в 1948 році, займаючись покращенням якості зображення в електронних мікроскопах, відкрив новий метод відтворення амплітуди і фази світлових хвиль. Суть цього методу полягає в тому, щоб зареєструвати голограму за допомогою електронного пучка, а для отримання зображення - освітлювати її пучком видимого світла. Але очікувану якість зображення з розширенням порядку 1Å так і не було отримано, оскільки використовувані джерела світла не задовольняли умови когерентності, і як наслідок, якісні голограми отримати не вдалося.

Друге народження голографії відноситься до 1962-1963 років, коли Ю.Денисюк, Е. Лейт, Ю.Упатнієкс застосували для неї лазери і методи лазерної техніки. Лазери сприяли розвитку голографії і поставили голографію на міцний практичний фундамент.

Дифракція опорного випромінювання на голограмі призводить до відтворення предметної хвилі, тобто зображення об'єкта. Наявність інформації про фазу і амплітуду хвилі характеризує відмінність голографії від методу фотографії, де реєструється інформація тільки про амплітуду.

Розглянемо коротко математичну модель процесу голографування, а також найпростішу модель голограми.

Нехай на світлочутливий шар фотопластини падають дві хвилі: опорна \bar{E}_0 і предметна \bar{E}_n . Тоді комплексні амплітуди цих хвиль в площині фотопластини записуються у вигляді:

$$\bar{E}_0 = A_0(x, y)e^{j\varphi_0(x, y)}; \bar{E}_n = A_n(x, y)e^{j\varphi_n(x, y)}; \quad (9.1)$$

Сумарна комплексна амплітуда поля випромінювання в площині голограми: $\bar{E}_0 + \bar{E}_n = A_0(x, y)e^{j\varphi_0(x, y)} + A_n(x, y)e^{j\varphi_n(x, y)}$.

Оскільки розподіл освітленості ε інтерференційної картини пропорційний квадрату модуля комплексної амплітуди, тобто

$$\varepsilon(x, y) = a[E_0 + E_n]^2 = a(E_0 + E_n)(E_0 + E_n)^* = a(E_0E_0^* + E_0E_n^* + E_0E_n^* + E_nE_n^*),$$

то враховуючи (9.1), отримуємо:

$$\varepsilon = a[A_0^2 + A_n^2 + A_0A_n e^{j(\varphi_n - \varphi_0)} + A_0A_n e^{-j(\varphi_n - \varphi_0)}] \quad (9.2)$$

$$a[A_0^2 + A_n^2 + 2A_0A_n \cos(\varphi_n - \varphi_0)]$$

Залежність (9.2) називається рівнянням голограми. Мінімальну і максимальну освітленість інтерферограми можна визначити із умов: $\varphi_n - \varphi_0 = 2\pi$; $\varphi_n = \varphi_0$.

Тоді $\varepsilon_{\min} \approx a(A - A_n)^2$, а $\varepsilon_{\max} \approx a(A_0 + A_n)^2$ (a - коефіцієнт пропорційності).

Контрастність інтерферограми можна визначити, якщо відомі ε_{\min} і ε_{\max} ,

$$K = \frac{\varepsilon_{\max} - \varepsilon_{\min}}{\varepsilon_{\max} + \varepsilon_{\min}} = \frac{2A_0A_n}{A_0^2 + A_n^2}.$$

Відстань між інтерференційними смугами у випадку запису найпростішої голограми (тобто голографічної дифракційної ґратки з рівномірно розподіленими світлими і темними смугами), отриманої при реєстрації двох плоских хвиль, визначається за формулою: $\Lambda = \frac{\lambda_0}{2\sin\theta}$, де θ - кут між опорним і предметним пучками.

Величина експозиції (взаємодія випромінювання з фоточутливим матеріалом називають зовнішньою експозицією, а внутрішня експозиція визначається розсіюванням випромінювання у фотоемульсії) $H_0 = \varepsilon t$, або $H_0 = a[A_0^2 + A_n^2 + 2A_0A_n \cos(\varphi_n - \varphi_0)]t_e = at_e(A_0^2 + A_n^2)[1 + k \cos(\varphi_n - \varphi_0)]$, де t_e - час експонування; k - стала величина.

Якщо використовувати лінійну ділянку характеристики чутливості фотоемульсії пластинки, то під час встановлення зображення об'єкта коефіцієнт пропускання τ проявленої голограми буде лінійною функцією експозиції $\tau = \tau_0 + \tau \varepsilon t$.

При освітленні голограми опорною хвилею одержимо:

$$\tau E_0 = [\tau_0 + \tau'_1 (A_0^2 + A_n^2)]E_0 + \tau'_1 A_0^2 E_n + \tau'_1 A_0^2 E_n^* = W_0 + W_{+1} - W_{-1}, \quad (9.3)$$

де $\tau'_1 = a\tau_1 t_e$.

Визначимо, яким джерелам випромінювання відповідає знайдений розподіл поля?

Перший доданок $W_0 = [\tau_0 + \tau'_1 (A_0^2 + A_n^2)]E_0$ являє собою хвилю, яка поширюється в напрямі опорної хвилі. Це так звана хвиля нульового порядку, яка поширюється в напрямі опорної хвилі 1, і проходить через голограму без будь-яких змін (рис.4.11).

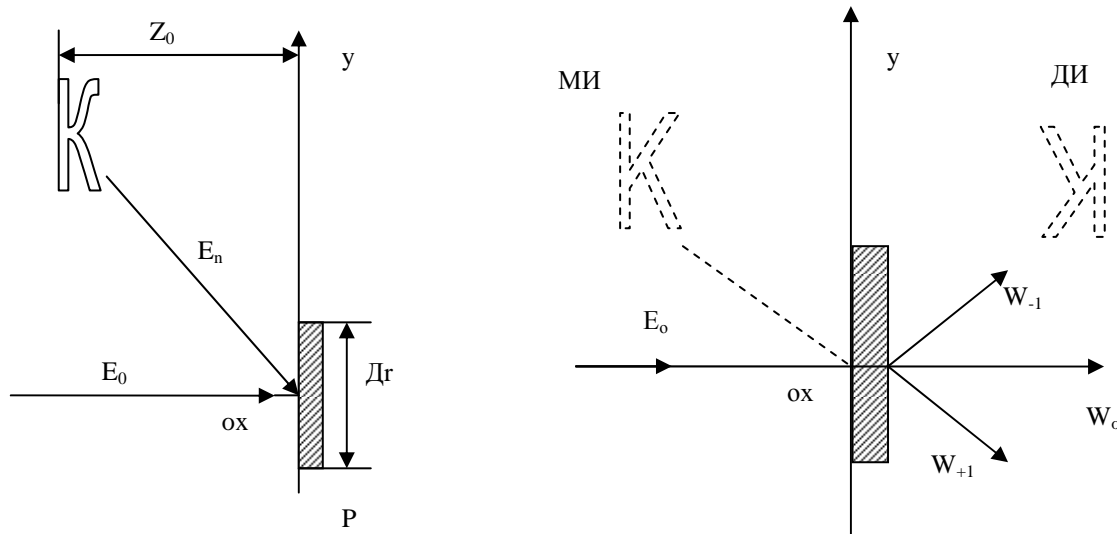


Рис.4.11 Схема запису і відтворення голограми об'єкта **К**.

Другий доданок $W_{+1} = \tau'_1 A_0^2 E_n$ - це хвиля плюс першого порядку, яка утворює уявне зображення об'єкта (УЗ) в тому місці, де він знаходився в момент реєстрації голограми. Спостерігач буде бачити об'єкт за голограмою як в звичайному дзеркалі.

Третій доданок $W_{-1} = \tau'_1 A_0^2 E_n^*$ є хвилею мінус першого порядку, спряженою з вихідною предметною хвилею. Вона поширюється під кутом з іншого боку від хвилі нульового порядку і утворює *дійсне зображення* (ДЗ), яке є псевдоскопічним.

На практиці найбільш широко застосовуються голограми Фур'є. В даному методі отримання голограми використовується опорна хвиля, радіус кривизни хвильового фронту якої приблизно співпадає з радіусом кривизни сферичних хвиль, що йдуть від різних точок голографованого об'єкту. Сферична опорна хвиля може створюватися в результаті фокусування лінзою лазерного випромінювання в точці F (рис.4.12). Для простоти будемо вважати об'єкт плоским і одномірним.

Розглянемо формування голограми точки B, що розміщена на відстані r від точки F.

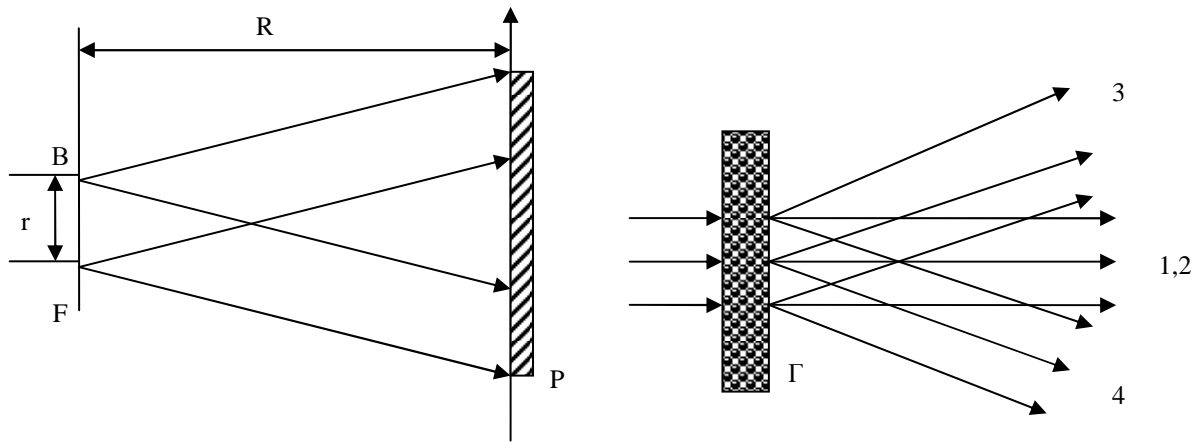


Рис. 4.12 Схема отримання і відтворення голограми Фур'є.

Вираз для результуючої амплітуди і фази двох хвиль – опорної хвилі і хвилі, що виходить з точки В – в площині фотопластинки Р буде мати вигляд:

$$A = A_0 \exp\left[-i \frac{k}{2R} x^2\right] + A(r) \exp\left[-i \frac{k}{2R} (x - r)^2\right],$$

де $A_0 \gg A$, $R \gg r$ і $(x - r)^2 \cong x^2 - 2xr$.

Друга хвиля, амплітуда і фаза якої залежать від r , несе інформацію про хвильове поле, що виходить із точки В.

Під час просвічування голограми плоскою хвилею у хвильовому полі за нею будуть поширюватися чотири плоскі хвилі (див. рис.4.12). Проаналізувавши їх фізичний зміст, бачимо, що хвилі 3, 4 несуть і амплітудну, і фазову інформацію про точку В і відповідно про інші точки об'єкта. Вони є плоскими хвилями, що відхиляються симетрично від світлового пучка, що освітлює голограму. Хвилі 1 і 2 не беруть участі у відтворенні зображення точки В.

Виходячи із схеми запису і товщини шару фотоемульсії, на якому записується інтерференційна картина, голограми поділяють на плоскі, об'ємні і кольорові. В залежності від геометрії пучків, що реєструються, голограми класифікують на голограми Френеля (в розбіжних пучках) і голограми Фраунгофера (в паралельних пучках).

Унікальною властивістю голограми є те, що кожна її ділянка містить всю інформацію про об'єкт. Якщо голограму розбити на декілька ділянок, то кожна з них дозволить відтворити повне зображення об'єкта.

Цікавою властивістю голограми є можливість спостереження зображення

об'єкта, що голографується, на різних довжинах хвиль. Запис голограми відбувається на коротких хвилях (наприклад, на рентгенівських), а відтворення – у видимому діапазоні довжин хвиль, що дуже важливо для мікроскопії, бо дає значне збільшення, яке дорівнює відношенню відповідних довжин хвиль.

Оригінальною властивістю голограми є об'ємність зображення об'єкта – наслідок реєстрації просторової структури хвиль з їх фазами і амплітудами. Причому фаза кодується контрастом інтерференційної картини. Реєстрація фазових співвідношень, що йдуть від різних точок об'єкта, дає інформацію про відносні відстані до різних точок об'єкта. Це і визначає об'ємність зображення.

Цікавою є і така властивість голограми: на одній фотопластинці можна послідовно зафіксувати декілька зображень різних об'єктів і кожне з них відтворювати без особливих перешкод і незалежно від інших.

Опис установки

Установка для голографування прозорих дифузно-розсіюючих об'єктів зображена на рис. 4.13.

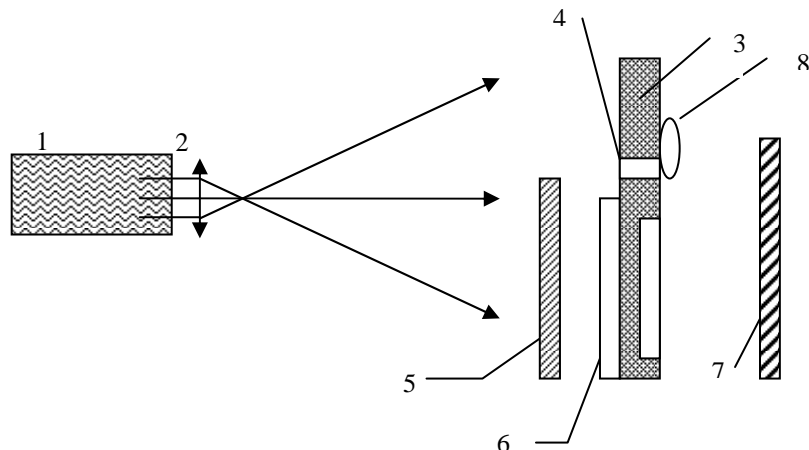


Рис.4.12 Схема установки: 1- лазер ЛГ-52; 2 –окуляр від мікроскопа 15^x; 3 – світлонепроникний екран; 4 – щілина 1 мм; 5 – тонко відшліфований матовий екран; 6 – об'єкт голографування; 7 – фотоплівка; 8 – короткофокусна лінза.

Випромінювання від лазера 1 проходить через отвір 4 та розширюється короткофокусною лінзою 8 і направляється на світлонепроникний екран. Отвір 4 слугує для створення опорного пучка. Короткофокусна лінза 8 прикріплена до кронштейна, який дозволяє розширити опорний пучок і направити його на фотопластинку 7. Предметний пучок одержується в результаті освітлення прозорого об'єкта 6 через скляний матовий екран 5.

Опорний і предметний пучки інтерферують і реєструються фотоплівкою, що має високу роздільну здатність. Експозицію вибирають такою, щоб час проявлення фотоматеріалу в рекомендованому проявнику був в 1,5-2 рази більший за вказаний для даної фотоемульсії.

Для відтворення зображення фотоплівку після фотохімічної обробки поміщають у випромінювання лазера і на екрані спостерігають два спряжених зображення об'єкта. Далі досліджують властивості голограми і виконують дослід з нею.

Методика виконання роботи

1. Згідно рекомендованої літератури вивчити теорію, інструкцію до лабораторної роботи, ознайомитися з установкою для виконання роботи, підготувати відповіді на контрольні запитання.

2. Завчасно підготувати об'єкт голографування, вирізавши в шматку чорного паперу букву або цифру розміром 1,5x1 см.

3. Перевірити розміщення деталей вузлів установки, переконатися в наявності фотопластинки і готовності фотокамери до роботи.

4. Переконавшись у налаштуванні всіх приладів і отримавши дозвіл викладача або лаборанта, дотримуючись правил техніки безпеки, ввімкнути лазер.

5. Зняти на фотопластинку голограму об'єкта. Витримку погодити з викладачем. ***При експонуванні пластини уникати різких рухів і поштовхів установки.***

6. Обережно зняти фотокамеру, відкрити її, вийняти фотопластинку, проявити і закріпити її. ***Час проявки фотопластини погодити з викладачем.***
Увага! Відкривати фотокамеру і обробляти фотоплівку в темноті.

7. Після того, як оброблена голограма просохне, дослідити окремі її властивості.

8. За результатами виконаної роботи зробити відповідні висновки, оформити і здати звіт.

Контрольні запитання

1. У чому полягає суть голографічного методу запису інформації про об'єкт?
2. Розкрити фізичну сутність рівняння голограми.
3. Чим відрізняється голограма Френеля від голограми Фраунгофера?
4. Яке призначення матового скла, що використовується в установці для виконання лабораторної роботи?
5. Які основні властивості голограми? Які із них ви можете встановити, досліджуючи свою голограму?

Додаток А. НОРМИ ОЦІНЮВАННЯ ЗНАНЬ, УМІНЬ ТА НАВИЧОК СТУДЕНТІВ

Оцінювання знань та вмінь студентів складають такі елементи:

1. Знання теоретичного матеріалу: явищ, законів, понять і їх ознак, пояснення з теоретичними і математичними викладками, доведеннями, експериментальне підтвердження.
2. Зміст навчального експерименту у вищій школи.
3. Зміст і структуру шкільного курсу фізики.
4. Зміст навчальних підручників і посібників.
5. Зміст системи навчального експерименту з фізики.
6. Зміст позаурочної роботи.
7. Вміння аналізувати зміст навчального матеріалу за підручниками і посібниками.
8. Уміння виконувати навчальний експеримент з використанням лазера, творчо оцінювати рівень його ефективності і напрямки удосконалення.
9. Уміння розв'язувати фізичні експериментальні завдання задачі всіх видів.
10. Планувати фрагменти навчально-виховного процесу з фізики.

Оцінювання усних відповідей та виконання лабораторного практикуму

Оцінка „в і д м і н н о”

- правильне викладання теоретичного матеріалу;
- визначення змісту, структури і місця матеріалу в шкільному курсі фізики;
- визначення мети і методики вивчення матеріалу в школі;
- аналіз навчального фізичного експерименту з використанням лазера.

На лабораторному занятті:

- розкриття змісту навчального експерименту в контексті до відповідного теоретичного матеріалу шкільного курсу фізики;
- знання демонстраційного і лабораторного обладнання;
- належна теоретична підготовка, заготовка звіту;
- дотримання дидактичних вимог і норм безпеки та санітарії в процесі виконання експерименту;

- остаточне оформлення звіту, формування аналізу і висновків до кожного досліду, визначення рівня ефективності експерименту.

На „**д о б р е**” оцінюється відповідь, характерна частковою неповнотою висвітлення окремих елементів, допущенням 2-3 неточностей, дидактичних вимог чи технології виконання експерименту, використання неефективних прийомів, методів, шляхів відтворення елементів навчально-виховного процесу.

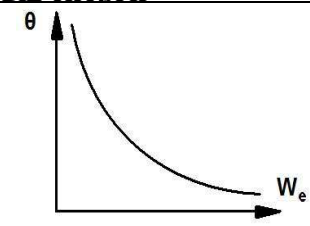
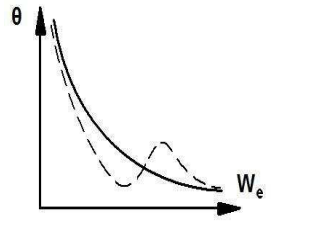
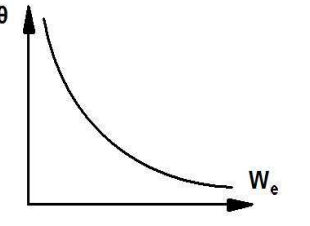
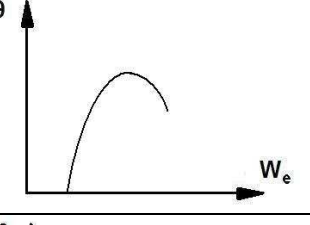
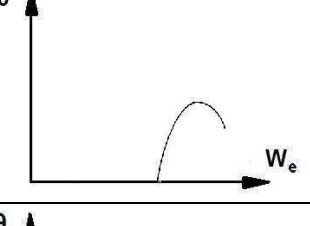
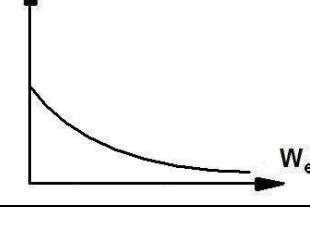
„**З а д о в і л ь н о**” оцінюють знання студентів стосовно основних положень теоретичного матеріалу з посереднім аналізом, вмінням визначати його місце в шкільному курсі фізики, аналізувати з використанням програм і підручників, виконувати експеримент в разі допуску, виконання і оформлення лабораторних робіт і виконання завдань з урахуванням критичних вказівок викладача.

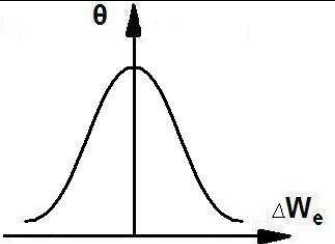
„**Н е з а д о в і л ь н о**” одержує студент, який не володіє знаннями теоретичного матеріалу, не вміє формулювати елементи знань шкільного курсу фізики, не знає його структури, не підготовлений до виконання лабораторної роботи, допускає грубі помилки при розв'язуванні експериментальних завдань.

ДОДАТОК. Б

Таблиця Б.1.

Систематизація фізичних процесів, що відіграють важливу роль у створенні інверсії заселеностей заряджених частинок у газових розрядах

	Найменування процесу	Символічне позначення	Залежність перерізу від енергії	Результати процесу	
ПРУЖНІ ПРОЦЕСИ	Пружна взаємодія між електродами	$\bar{e}_1 + \bar{e}_2 = \bar{e}_1 + \bar{e}$		Встановлення Максвелівського розподілу електронів за енергією (швидкістю)	
	Пружна взаємодія електронів з важкими частинками	$\bar{e} + A = \bar{e} + A$		Встановлення ізотропного, хаотичного характеру руху електронів	
	Пружна взаємодія між важкими частинками	$\bar{A}_1 + A_2 = A_1 + \bar{A}$		Встановлення максвелівського розподілу важких частинок за енергіями (швидкостями)	
НЕПРУЖНІ ПРОЦЕСИ	I роду	Пряме електронне збудження	$\bar{e} + A = e + A^*$		Заселення збуджених станів в умовах великої концентрації електронів
		Ступінчасте електронне збудження	$\bar{e} + A = e + A^{**}$		
		Іонізація електронним ударом	$\bar{e} + A = 2e + A^*$		Утворення заряджених частинок в плазмі
	Проду	Електронне дезбудження	$e + A^* = \bar{e} + A$		Об'єднання збуджених станів

	<p>Передача збудження</p>	$\bar{A}_1 + A_2^* = A_1^* + \bar{A}_2$		<p>Додаткове заселення збуджених станів за рахунок взаємодій з атомами буферного газу</p>
--	---------------------------	---	--	---

Таблиця Б. 2

Деякі параметри оптичних квантових генераторів

№ п/ п	Активна речовина	Режим роботи	Час імпульсу, с	Енергія випромінювання	Потужність, випромінювання, Вт
ТВЕРДОТІЛЬНІ					
1	Скло з неодимом	Імпульсний	$30 \cdot 10^{-9}$	30-80	10^9
2	Скло з неодимом	Імпульсний	$7-8 \cdot 10^{-9}$	40	$4 \cdot 10^9$
3	Скло «Свірель» з 5%-ною присадкою неодиму	Імпульсний	$2 \cdot 10^{-9}$	40	$20 \cdot 10^9$
НАПІВПРОВІДНИКОВІ					
4	Арсенід галію	Імпульсний	$30 \cdot 10^{-9}$	$2 \cdot 10^{-7}$	2-4
5	Арсенід галію	Імпульсний	$100 \cdot 10^{-9}$	$2 \cdot 10^{-5}$	200
6	Арсенід галію	Неперервний	-	-	2
ГАЗОВІ					
7	Вуглекислий газ (CO ₂) (газодинамічний лазер)	Неперервний	-	-	$6 \cdot 10^4$
8	Вуглекислий газ (CO ₂) (електродинамічний)	Неперервний	-	-	10^5
9	Вуглекислий газ (електроаеродинамічний лазер)	Імпульсний	$2 \cdot 10^{-6}$	2000	10^8
10	Водень і фтор, дейтерій і фтор (хімічний лазер)	Неперервний	-	-	$2 \cdot 10^3$

Таблиця Б 3

Програма гуртка „Фізичні основи роботи ОКГ і деяке їх застосування" для учнів старших класів.

№ заняття	Зміст	Кіл-ть годин	Примітки
1	Вступне заняття. Загальна характеристика оптичних квантових генераторів. Демонстрація основних вузлів і елементів ОКГ.	2	
2	Будова оптичних квантових генераторів: активна речовина, блок накачки, резонатор. Роль радянських вчених в створенні лазерів. Обговорення оптичної лави для виконання робіт з ОКГ.	4	
3	Вивчення властивостей активного середовища газового гелій-неонового лазера ЛГ-56 (ЛГ-109, ЛГ-209). Виготовлення вібростійкої установки для виконання робіт з навчальним лазером.	4	
4	Знайомство з роботою резонатора способами і методами юстування дзеркал резонатора. Виготовлення деталей для комплекту вібростійкої оптичної лави.	4	
5	Механічні коливання та хвилі. Електромагнітні коливання та хвилі. Поширення світла в просторі. Демонстрація з хвильовою ванною і шкільним осцилографом.	4	
6	Опис хвильового поля в просторі. Задача запису амплітуди і фази. Основи фотометрії. Виготовлення електромеханічного приладу для додавання електричних коливань.	4	
7	Інтерференція хвиль від двох джерел. Биття, демонстрація додавання коливань за допомогою осцилографа і за допомогою електромеханічного приладу з лазером.	4	
8	Демонстрація інтерференції і дифракції в оптиці. Виготовлення простих приладів для постановки дослідів з навчальним лазером.	4	
9	Експеримент Аббе-Портора. Демонстрація дослідів Аббе-Портора. Обговорення прикладів застосування ОКГ в різних сферах діяльності людини.	4	Вечір „ОКГ в житті людини"
10	Елементи фотографії. Фотографування без об'єктива. Деякі схеми голографування. Вимоги до приладів і установок для виготовлення голограм. Комплексні установки.	4	

11	Запис і відтворення голограми плоскої хвилі. Виготовлення голографічних дифракційних ґраток.	4	
12	Запис і відтворення голограми плоскої і сферичної хвилі. Самофокусуєча дифракційна ґратка. Виготовлення самофокусуєчої голографічної ґратки.	4	
13	Зонна пластинка Френзеля. Виготовлення зонної пластинки Френзеля.	4	
14	Голограма предмету як сукупності елементарних голограм. Виготовлення найпростіших голограм прозорих об'єктів.	4	
15	Голограма предмету як сукупності елементарних голограм. Виготовлення найпростіших голограм непрозорих об'єктів.	4	
16	Запис і відтворення голограми Денисюка. Основні властивості об'ємних голограм.	4	Вечір «Голографі я і перспектив и її розвитку»
17	Заключне засідання. Практичне застосування голографії. Ілюстрація робіт учнів і оцінка гуртка протягом року.	4	

ДОДАТОК В

ТЕМАТИКА ІНДИВІДУАЛЬНИХ ЗАВДАНЬ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ

Лабораторна робота №1

ІНТЗ: Які теоретичні розрахунки, ідеї та міркування дозволяють одержати кінцевий вираз для визначення коефіцієнта поглинання енергії пучка випромінювання, що проходить через прозору речовину? Як на підставі цих положень встановити можливість виявлення вимушеного випромінювання та визначити коефіцієнт підсилення цього випромінювання у речовині?

ІНЕЗ: Під час виконання лабораторної роботи з метою визначення коефіцієнтів поглинання і підсилення речовиною світлового пучка, який проходить через неї, використовується фотоелектричний метод. Чому у роботі не можна скористатися візуальним методом? Які вимірювання слід передбачити для одержання результатів, що найбільшою мірою відповідають інтенсивності пучка, що входить у речовину і виходить з неї?

ІНДЗ: Як дослідити характер дії активної речовини на випромінювання фіксованої частоти та визначити коефіцієнт її підсилення? Яка графічна інтерпретація цієї залежності?

ІНМЗ: Оцінити методичні підходи, яких дотримуються автори підручників з фізики для 11 класу загальноосвітніх навчальних закладів, розкриваючи фізичні основи роботи оптичного квантового генератора. Сформулювати своє найбільш зручне і зрозуміле для одинадцятикласників бачення у з'ясуванні сутності цієї проблеми. Яку роль тут може відігравати графічна інтерпретація законів і залежностей, що при цьому аналізуються?

Лабораторна робота №2

ІНТЗ: Які математичні припущення дозволяють одержати кінцевий вираз для визначення кута розбіжності пучка лазерного випромінювання? У яких найбільш зручних одиницях доцільно виразити одержаний результат для цього експерименту?

ІНЕЗ: Під час виконання лабораторної роботи з метою визначення кута розбіжності лазерного пучка запропонований фотоелектричний метод. Чому у цій роботі не можна скористатися візуальним методом і мікрометром? Які вимірювання слід передбачити як обов'язкові для одержання результатів, що найбільшою мірою будуть наближені до істинних?

ІНДЗ: Яким чином дослідження інтенсивності лазерного випромінювання у його перерізі дає можливість визначити діаметр пучка? Який характер такої залежності? Чому доречно скористатися поняттям «діаметр пучка на рівні половини максимальної інтенсивності»?

ІНМЗ: Обґрунтувати методичну доцільність уведення нових понять: «діаметр на рівні половини максимальної інтенсивності» та «мінімальний кут розходження лазерного пучка». Які підходи є доречними під час розкриття сутності цих понять? Яку роль у цьому може відігравати графічний метод?

Лабораторна робота №3

ІНТЗ: Теоретично обґрунтувати ті обставини, чинники та параметри, які дають можливість стверджувати, що лазерне випромінювання характерне високим рівнем часової і просторової когерентності, монохроматичності і направленості. Як при цьому доречно використати схематичні та модельні представлення окремих варіантів?

ІНЕЗ: Запропонувати варіанти можливих вимірювань, які дозволяють встановити монохроматичність лазерного випромінювання. Які варіанти експериментальних установок та їхніх систем дозволяють виявити часову і просторову когерентність? Які конструктивні елементи будови лазера і як обумовлюють вузьку спрямованість лазерного пучка?

ІНДЗ: Які варіанти установок та схематичні їхні представлення дозволяють виявити

високий рівень монохроматичності генерованого лазером випромінювання й одночасну не монохроматичність випромінювання гелій-неонової суміші у газовому ОКГ?

ІНМЗ: Як методично доцільно використати навчальну модель лазера для доведення високого рівня монохроматичності генерованого лазером випромінювання й одночасно показати не монохроматичність випромінювання гелій-неонової суміші? Як це здійснити, використовуючи навчальну модель ОКГ?

Лабораторна робота № 4

ІНТЗ: Теоретично обґрунтувати можливість запровадження лазерного випромінювання для визначення оптичним способом розмірів малих об'єктів для випадку спостереження дифракційної або інтерференційної картини від об'єкта?

ІНЕЗ: Як експериментально встановлюються відмінності між інтерференційною та дифракційною картинами від малих об'єктів? Які варіанти вимірювань основних параметрів картин доцільно виконувати для одержання результатів, наближених до істинних?

ІНДЗ: Теоретично обґрунтувати та експериментально перевірити варіанти, що дозволяють встановити залежність спостережуваних інтерференційних і дифракційних картин від розмірів відповідних об'єктів?

ІНМЗ: Як доцільно планувати виконання учнями старшої школи лабораторних робіт дослідницького характеру для визначення розмірів малих об'єктів, використовуючи високий рівень когерентності і монохроматичності лазерного випромінювання? Підготувати варіанти інструкцій для учнів для виконання таких завдань?

Лабораторна робота №5

ІНТЗ: Теоретично обґрунтувати і положення, які підтверджують високий рівень поляризованості лазерного випромінювання. Які закономірності і властивості підтверджують поляризацію будь-якого пучка світла?

ІНЕЗ: Чим у даній роботі виокремлюється фотоелектричний метод реєстрації інтенсивності лазерного випромінювання, що пройшло через поляроїд? Які експериментальні результати і як переконують у тому, що лазерне випромінювання має досить високий рівень поляризації? Як уникнути впливу на одержані результати зовнішнього освітлення у кімнаті, коли вимірювання виконувати без затемнення класу?

ІНДЗ: Чим зумовлена залежність інтенсивності лазерного пучка, що пройшов через поляроїд, від кута його повороту? Якою графічною інтерпретацією найбільш характерна така залежність, який вигляд має її графік?

ІНМЗ: Як методично правильно спланувати виконання декількох різних робіт практикуму з використанням одного начального лазера, як доцільно спланувати дослідження ступеня поляризації лазерного випромінювання? Підготувати варіант інструкції для учнів 11 класу з метою дослідження ступеня поляризованості лазерного пучка.

Лабораторна робота №6

ІНТЗ: Обґрунтувати відмінності між шкільними дифракційними ґратками та дифракційними ґратками, що виготовляються голографічним способом. Чим відрізняються умови спостереження головних дифракційних максимумів від звичайних (релеєвських) та голографічних ґраток?

ІНЕЗ: Як дослідним шляхом встановити характер розподілу інтенсивності головних дифракційних ґраток? Які особливості під час вимірювання інтенсивності дифракційних максимумів слід враховувати в даній роботі?

ІНДЗ: Які особливості виконання дослідницького завдання під час вивчення розподілу інтенсивності лазерного випромінювання від звичайних (релеєвських) та голографічних ґраток? Як, використовуючи одержані графічні результати, передбачити можливість порівняння постійної різних дифракційних ґраток?

ІНМЗ: Які методичні особливості у виконанні даної роботи варто враховувати під час виконання дослідження учнями 11 класу? Підготувати варіант інструкції для учнів з метою

дослідження інтенсивності головних дифракційних максимумів від дифракційних ґраток.

Лабораторна робота №7

ІНТЗ: Обґрунтувати можливості рекомендованого комплексу для виконання усіх передбачених програмою демонстраційних дослідів з оптики та постановки демонстрації досліду Аббе для доведення можливостей хвильової оптики у формуванні зображення найпростішого об'єкта у вигляді сітки.

ІНЕЗ: Опрацювати загальну схему установки з лазером для виконання демонстраційних дослідів з хвильових властивостей світла й охарактеризувати призначення кожного із її елементів. Оцінити різні прийоми підвищення ефективності демонстраційних дослідів, представивши їх схематично та показавши переваги кожного з них

ІНДЗ: Відпрацювати серію демонстраційних дослідів, що доводять можливість встановлення залежності одержаного на екрані зображення від розмірів та орієнтації щілини, через яку проходять основні (головні) дифракційні максимуми від об'єкта (сітки). Що за цих обставин впливає на якість зображення та можливість його правильного формування?

ІНМЗ: Як методично доцільно підготувати положення для розуміння учнями сутності досліду Аббе? Підготувати свій варіант пояснення, зробивши схематичні зображення варіантів демонстрації, що розкриває роль явища дифракції при отриманні зображення від сітки.

Лабораторна робота №8

ІНТЗ: Теоретично обґрунтувати можливість одержання дифракційних ґраток інтерференційним методом і довести його аналогічність з голографічним записом інформації при накладанні двох паралельних пучків лазерного випромінювання.

ІНЕЗ: Порівняти прозорість моделей звичайної (релеєвської) та голографічної (синусоїдальної) ґраток і виявити відмінності у їхній дії. Як параметри установки впливають на постійну голографічної ґратки, яка виготовляється інтерференційним способом?

ІНДЗ: Дослідити умови утворення дифракційних максимумів від кута падіння пучка світла на звичайну (релеєвську) та голографічну (синусоїдальну) дифракційну ґратку. Максимуми яких порядків доцільно використовувати під час виконання спостережень спектрів за допомогою голографічної (синусоїдальної) ґратки і чому?

ІНМЗ: Встановити доцільність та можливості ефективного використання голографічних дифракційних ґраток для активізації навчально-пошукової діяльності школярів. Які властивості голографічних ґраток стають досить вагомими у процесі їх використання на уроках та в позаурочний час?

Лабораторна робота №9

ІНТЗ: Теоретично обґрунтувати можливість повного запису інформації про об'єкт голографічним способом. Розкрити роль основних параметрів (амплітуди і фази) електромагнітних хвиль оптичного діапазону у записі голограми та основні їхні властивості

ІНЕЗ: Виявити основні властивості голограми на основі рекомендованих моделей. Як стабільність установки впливає на якість виготовленої голограми. Розкрити призначення кожного елемента в установці для виготовлення елементарних прозорих голограм.

ІНДЗ: Встановити співвідношення і залежність між кутами падіння предметного пучка на фотопластинку і тими ж кутами у процесі відтворення голограми, можливість запису зображення декількох об'єктів на одну фотопластинку. Оцінити призначення кожного елемента в установці для виготовлення елементарних голограм.

ІНМЗ: Довести методично доцільність про можливість виготовлення елементарних голограм у загальноосвітніх навчальних закладах. Запропонувати орієнтовний план роботи фізичного гуртка.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Алешкевич В.А. и др Лазеры в лекционном эксперименте /Под ред Л.В.Левшина.– М.: Изд-во Моск. ун-та, 1985.
2. Базакуца В.А. и др Лабораторный практикум по физике. Ч 2 /Под ред В.А. Базакуцы.– Харьков, 1972
3. Базаров В.К. Полупроводниковые лазеры и их применение. - М: Энергия, 1969. - Массовая библиотека Вып. 705.
4. Байбородин Ю.В. Основы лазерной техники. – К.: Вища школа, 1981
5. Басов Н.Г., Афанасьев Ю.В. Световое чудо века.– М.: Педагогика, 1984.
6. Башкатов М.Н. и Огородников Ю.Ф. Школьные опыты по волновой оптике. - М, Изд-во АПНРСФСР.-1960, с. 19
7. Безопасность труда в промышленности.– К.: Техника, 1982
8. Біленко І.І. Фізичний словник /За ред. О.З.Жмудського. –К.: Вища школа, 1979
9. Величко С.П. і Глазунов А.Т. Экспериментальные задачи по оптике //Физика в школе 1982, №3, с.72-75
- 10.Величко С.П. Розвиток системи навчального експерименту та обладнання з фізики у середній школі [монографія] – Кіровоград, 1998.– 302с.
11. Величко С.П. та ін Лабораторні роботи з фізики з газовим лазером. // Зб.: Методика викладання фізики/ За ред. Є.В. Коршака.–К.: Рад школа, 1980
- 12.Величко С.П. Цец И М. Изготовление учебных дифракционных решеток // Физика в школе.– 1982.–№1.
- 13.Величко С.П., Костенко Л.Д. Вивчення основ квантової фізики: навч. посіб. для студентів вищих навчальних закладів.– Кіровоград: РВЦ КДПУ ім. В.Винниченка, 2002.– 274с.
- 14.Величко С.П., Сальник І.В., Царенко О.М. Вибрані питання загальної фізики: навч. посіб.– Кіровоград: РВВ КДПУ ім. В.Винниченка, 2011.– 263с.
- 15.Величко С.П., Сірик Е.П. Нове навчальне обладнання для спектральних досліджень: Посіб для студ фіз.-мат факультетів пед. вищих навч. закладів.– 2 вид, перероб. – Кіровоград: ТОВ «Імекс-ЛТД», 2006.– 202с.
- 16.Гайдук С.М. Оптика. Лабораторні роботи з використанням лазера і комп'ютерних програм: Посібник для вчителів/ Наук. ред. проф. С.П.Величко.– Кіровоград: ТОВ «Імекс», 2002.– 112с.
- 17.Гончаренко С.У. Фізика: Пробн.навч. посібник для 11-х класів ліцеїв і гімназій природничо-наукового профілю.- К.: Освіта, 1995.- 448с.
- 18.Демонстрационный эксперимент по физике в средней школе /Под ред. А.А.Покровского.– М.: Просвещение, 1979
- 19.Жусь Г.В., Смирнов В.В. Получение голограммы и изучение ее свойств// Физика в школе.–1990.–№1
- 20.Ищенко Е.Ф., Климков Ю.М. Оптические квантовые генераторы.– М.: Сов радио, 1968.

21. Кабардин О.Ф. и др. Факультативный курс физики. 10 класс.– М.: Просвещение, 1979.
22. Кабардин О.Ф. и др. Факультативный курс физики. X класс. - М.: Просвещение, 1975, С. 178-180
23. Клос Е.С., Шульга М.С. Оптика в демонстраційних дослідах. –К.: Рад шк., 1984
24. Королев Ф.А. Курс физики. Оптика, атомная и ядерная физика.– 2–е изд, пер. –М.: Просвещение, 1974.
25. Коршак Є.В., Ляшенко О.І., Савченко В.Ф. Фізика, 11 кл.: Підр. для загальноосв. навч.закл. – Ірпінь: ВТФ «Перун», 2004.- 288с.
26. Лазеры в авиации / Под ред. В.М.Сидорина.– Воениздат, 1982.
27. Лазерное излучение / Под ред. В.Я. Гранкина.– М.: Воениздат, 1977.
28. Лансберг Г.С. Оптика. - М: Наука, 1976.
29. Лекционные эксперименты по оптике / Под ред. проф. Н.И. Калитеевского. –Л.: узд–во Ленингр. ин–та, 1981.
30. Мансуров А.Н. Лазеры и их применение в преподавании физики.– М.: Просвещение, 1984.
31. Мачулка Г.А. Лазерная обработка стекла. –М.:Сов радио, 1979.
32. Милер М. Голография. - Л.: Машиностроение, 1979
33. Мякишев Г.Я., Буховцев Б.Б.Физика. Учебник для 10 класса средней школы.– М.: Просвещение, 1987.
34. Оптика и атомная физика. Лабораторный практикум по физике/ Отв. ред Р.И. Солоухин.– Новосибирск, 1976.
35. Практикум по физике в средней школе / Под ред. Покровского А.А., - М: Просвещение, 1982, с. 153-155
36. Савухин Д.В. Общий курс физики. Оптика.– М.:Наука, 1980.
37. Специальный физический практикум.–Ч.3 /Под ред А.А.Харламова.– М.: Изд–во Моск ун–та, 1977.
38. Степанов Б.И. Лазеры на красителях. – М.: Знание, 1979. - В над. заг.; Новое в жизни, науке, технике. Серия "Физика", № 12.
39. Тарасов Л.В. Лазеры: действительность и надежды.– М.: Наука, 1985.
40. Тарасов Л.В. Оптика, рожденная лазером.– М.: Просвещение, 1977.
41. Торкатюк В.И. и др. Лазерная техника в строительстве. - К.: Будівельник, 1981.
42. Физика в школе, 1980, №1, с.45-46
43. Физика в школе, 1982, №1, с.61-62
44. Физический практикум. Электричество и оптика /Под ред. В.И. Ивероной, - М.: Наука, 1968, с.775

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
ПРОГРАМА СПЕЦКУРСУ	6
РОЗДІЛ 1. ФІЗИЧНІ ОСНОВИ РОБОТИ ОКГ	9
1.1 Основні поняття і закони випромінювання. Закони випромінювання фізичних систем.....	9
1.2. Закони розподілу квантових частинок за енергетичними рівнями.....	13
1.3. Процеси випромінювання і поглинання електромагнітних хвиль.....	17
1.4. Резонатори для ОКГ	23
1.5 Деякі типи оптичних квантових генераторів. Особливості їх роботи і конструкції	26
РОЗДІЛ 2. ВЗАЄМОДІЯ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ З РЕЧОВИНОЮ І ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ РОБОТІ З ОКГ.....	38
2.1. Взаємодія лазерного випромінювання з речовиною	38
2.2. Біологічна дія лазерного випромінювання	43
2.3. Захист від лазерного випромінювання.....	44
2.4. Техніка безпеки при роботі з лазерами.....	44
РОЗДІЛ 3. ЗАСТОСУВАННЯ ОКГ У ВИКЛАДАННІ ШКІЛЬНОГО КУРСУ ФІЗИКИ	47
3.1. Вимоги до лазерів, які використовуються у навчальному процесі.....	49
3.2. Демонстраційні досліди з розділу оптики у випускному класі.....	54
3.3 Вимоги до установки для здійснення демонстрацій з лазером.....	58
3.4. Застосування навчального лазера для постановки лабораторного експерименту з курсу фізики середньої школи.....	61
3.5. Використання газового лазера для розробки і постановки експериментальних і творчих задач з оптики	74
3.6. Використання ОКГ в позакласній роботі з фізики в середній школі	81
РОЗДІЛ 4. ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ.....	85
Лабораторна робота №1 Вивчення оптичних властивостей інверсного середовища.....	85
Лабораторна робота №2. Дослідження розподілу енергії в лазерному випромінюванні і визначення кута його розходження.....	91
Лабораторна робота №3 Вивчення спектрального складу випромінювання газового лазера.....	93
Лабораторна робота №4. Вивчення і практичне застосування когерентності випромінювання ОКГ	99
Лабораторна робота №5. Дослідження ступеня поляризації лазерного випромінювання	101
Лабораторна робота № 6. Дослідження інтенсивності лазерного випромінювання в дифракційному спектрі	103

Лабораторна робота № 7. Вивчення комплекту навчального лазера ЛГН-109 і виконання демонстраційних дослідів з ним.....	107
Лабораторна робота №8. Виготовлення і вивчення голографічних дифракційних решіток.....	112
Лабораторна робота №9. Отримання елементарної голограми і вивчення її властивостей.....	116

ДОДАТКИ

Додаток А Норми оцінювання знань, умінь і навичок студентів	124
Додаток Б	126
Таблиця Б.1. Систематизація фізичних процесів, що відіграють важливу роль у створенні інверсії заселеностей заряджених частинок у газових розрядах.....	126
Таблиця Б.2. Деякі параметри оптичних квантових генераторів	128
Таблиця Б.3 Програма гуртка „Фізичні основи роботи ОКГ і деяке їх застосування для учнів старших класів.....	129
Додаток В Тематика індивідуальних завдань для самостійної роботи студентів.....	131
 РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	 134

ДЛЯ НОТАТОК

Навчально-методичне видання

**Величко Степан Петрович,
Слободяник Ольга Володимирівна,
Сірик Петро Васильович,
Слесаренко Микола Вікторович**

**ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ ЗІ СПЕЦКУРСУ
«Застосування навчального лазера у викладанні
шкільного курсу фізики»**

**Посібник для студентів фізико-математичного факультету
За редакцією С.П.Величка**

Підп. до друку _____. Формат $60 \times 84^{1/16}$. Папір офсет.
Друк різнограф. Ум. др. арк.7,0 Тираж 150. Зам. № _____

*Редакційно-видавничий центр
Кіровоградського державного педагогічного
університету імені Володимира Винниченка
25006, Кіровоград, вул. Шевченка, 1
Тел.: (0522) 24–59–84.
Факс: (0522) 24–85–44.
E-Mail: mails@kspu.kr.ua.*