

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра квантової радіофізики

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Декан факультету радіофізики,
біомедичної електроніки та
комп'ютерних систем



Сергій ШУЛЬГА

“ 24 ” червня 2024 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

КВАНТОВА МЕХАНІКА ТА ЕЛЕКТРОНІКА

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень вищої освіти

галузь знань 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації
(шифр і назва)

спеціальність 176 – мікро- та наносистемна техніка
(шифр і назва)

освітня програма Мікро- та наносистемна техніка
(шифр і назва)

спеціалізація _____
(шифр і назва)

вид дисципліни обов'язкова
(обов'язкова / за вибором)

факультет радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем

2024_ / 2025_ навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою факультету радіофізики,
біомедичної електроніки та комп'ютерних систем

“ 24 ” червня 2024 року, протокол № 6

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:

завідувач кафедри квантової радіофізики, д.ф.-м.н., професор Вячеслав МАСЛОВ

Програму схвалено на засіданні кафедри квантової радіофізики

Протокол від “ 20 ” червня 2023 року, протокол № 11

Завідувач кафедри квантової радіофізики



Вячеслав МАСЛОВ

(підпис)

(ім'я та прізвище)

Програму погоджено з гарантом освітньої (професійної/наукової) програми (керівником
проектної групи) Мікро- та наносистемна техніка

назва освітньої програми

Гарант освітньої (професійної/наукової) програми
(керівник проектної групи) доц. Олег БОЦУЛА



Олег БОЦУЛА

(підпис)

(ім'я та прізвище)

Програму погоджено методичною комісією
факультету радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем

Протокол від “ 20 ” червня 2024 року № 6

Голова методичної комісії факультету радіофізики, біомедичної
електроніки та комп'ютерних систем



(проф.Олександр БУТРИМ)

(підпис)

(ім'я та прізвище)

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни “Квантова механіка та електроніка” складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки бакалавр
(назва рівня вищої освіти, освітньо-кваліфікаційного рівня)

спеціальності 176 – Мікро- та наносистемна техніка

освітня програма Мікро- та наносистемна техніка

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Метою викладання навчальної дисципліни – дати базовий виклад фізичних основ і деяких аспектів математичного апарату квантової механіки та його застосування для опису руху частинок в електромагнітному полі і таким чином досягти глибокого розуміння поведінки квантових об'єктів у різних умовах, формування у студентів сучасного уявлення про напрямки розвитку квантової електроніки, принципи функціонування високотехнологічних пристроїв квантової електроніки, їх особливостей та відмінностей від класичних аналогів, а також областей застосування в різних галузях промисловості та в наукових дослідженнях.

1.2. Основними завданнями вивчення дисципліни є дати студенту уяву про місце квантової механіки та електроніки у сучасному технологічному і науковому просторі, допомогти оволодіти мисленням на рівні законів квантової фізики. Виробити навички роботи з різноманітною науковою і навчальною літературою. Навчити студента методиці самостійної роботи при підготовці до занять та підсумкового контролю знань.

Компетентності, що забезпечуються дисципліною:

- Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності. (ЗК-2)
- Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями. (ЗК-6)
- Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями. (ЗК-7)
- Здатність працювати автономно. (ЗК-11)
- Визначеність і наполегливість щодо поставлених завдань і взятих обов'язків. (ЗК-12)
- Здатність зберігати та примножувати моральні, культурні, наукові цінності і досягнення суспільства на основі розуміння історії та закономірностей розвитку предметної області, її місця у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки і технологій, використовувати різні види та форми рухової активності для активного відпочинку та ведення здорового способу життя. (ЗК-14)
- Здатність визначати та оцінювати характеристики та параметри матеріалів мікро- та наносистемної техніки, аналогових та цифрових електронних пристроїв, мікропроцесорних систем. (ФК-8)

1.3. Кількість кредитів – 3

1.4. Загальна кількість годин – 90

1.5. Характеристика навчальної дисципліни

Обов'язкова
Денна форма навчання
Рік підготовки
3-й
Семестр
6-й
Лекції
32 год.
Практичні, семінарські заняття
-
Лабораторні заняття
16 год.
Самостійна робота
42 год.
у тому числі індивідуальні завдання
-
Контрольні роботи –

1.6. Заплановані результати навчання

знати:

- основні експериментальні основи квантової механіки, математичний апарат квантової механіки Шредінгера та його застосування для опису руху мікрочастинок в полях, потенціал яких має різну залежність від координати, для опису електронних становищ атомів та процесів коливань в молекулах;
 - характеристики лазерного випромінювання; метод розрахунку характеристик лазера за допомогою балансних рівнянь;
 - необхідність застосування відкритих резонаторів у більшості лазерів, їхні типи та характеристики власних коливань;
 - методи збудження лазерного середовища;
 - властивості лазерів неперервної дії;
 - методи одержання потужних надкоротких лазерних імпульсів;
 - розповсюдженні типи лазерів;
- області застосування лазерів

вміти:

- розраховувати характеристики лазерів безперервної дії базуючись на балансних рівняннях;
- розрахувати резонансну частоту та дифракційні збитки відкритого резонатора та перелічити методи селекції мод;
- пояснити способи одержання коротких лазерних імпульсів та вміти розрахувати їх тривалість і потужність;
- пояснити принципи роботи різноманітних пристроїв квантової електроніки;

Програмні результати навчання, що забезпечуються дисципліною:

- Показувати знання в галузі сучасної прикладної фізики та математики. (ПРН-1)
- Застосовувати знання і розуміння математичних методів для розв'язання теоретичних і прикладних задач мікро- та наносистемної техніки.. (ПРН-2)
- Застосовувати знання і розуміння фізики, відповідні теорії, моделі та методи для розв'язання практичних задач синтезу пристроїв мікро- та наносистемної техніки (ПРН-3)
- Оцінювати характеристики та параметри матеріалів пристроїв мікро- та наносистемної техніки, знати та розуміти основи твердотільної та оптичної електроніки, наноелектроніки, електротехніки, аналогової та цифрової схемотехніки, мікропроцесорної техніки. (ПРН-4)
- Використовувати інформаційні та комунікаційні технології, прикладні та спеціалізовані програмні продукти для розв'язання задач проектування та налагодження обладнання геліоенергетики, приладів фізичної та біомедичної електроніки (ПРН-5)
- Застосовувати навички планування та проведення експерименту для перевірки гіпотез та дослідження явищ мікро- та наноелектроніки, вміти використовувати стандартне обладнання, складати схеми пристроїв, аналізувати, моделювати та критично оцінювати отримані результати. (ПРН-6)
- Досліджувати характеристики і параметри мікро- та наносистемної техніки, приладів фізичної та біомедичної електроніки з урахуванням цілей дослідження, вимог та специфіки вибраних технічних засобів. (ПРН-7)
- Будувати та ідентифікувати математичні моделі технологічних об'єктів, використовувати їх при розробці нової мікро- та наносистемної техніки та виборі оптимальних рішень.(ПРН-8)
- Проектувати пристрої мікро- та наносистемної техніки у відповідності до вимог замовника і наявних ресурсних обмежень. (ПРН-9)
- Розробляти технічні засоби діагностування технічного стану мікро- та наносистемної техніки, приладів фізичної та біомедичної електроніки (ПРН-10)
- Організовувати та проводити планові та позапланові технічні обслуговування, налагодження технологічного устаткування у відповідності до поточних вимог виробництва. (ПРН-11)
- Аналізувати нормативно-правові засади впровадження мікро- та наносистемної техніки; оцінювати переваги інженерних розробок, їх екологічність та безпечність. (ПРН-12)
- Вільно спілкуватися усно і письмово державною та іноземною мовами з професійних питань з дотриманням норм сучасної української ділової та професійної мови. (ПРН-13)
- Вміти засвоювати нові знання, прогресивні технології та інновації, знаходити нові нешаблонні рішення і засоби їх здійснення (ПРН-14)
- Застосовувати розуміння теорії стохастичних процесів, методи статистичної обробки та аналізу даних при розв'язанні професійних завдань. (ПРН-15)

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. КВАНТОВА МЕХАНІКА: ОСНОВИ ТЕОРІЇ ТА МЕТОДИ

Тема 1. Квантові властивості електромагнітного випромінювання

Теплове випромінювання, та його закони. Формула Планка. Фотоелектричний ефект. Фотони. Тиск світла. Рентгенівське випромінювання. Ефект Комптона.

Тема 2. Хвильові властивості речовини.

Хвиля де Бройля. Співвідношення невизначеностей Гейзенберга. Хвильова функція. Рівняння Шредінгера

Тема 3. Апарат квантової механіки.

Оператори фізичних величин. Властивості операторів, властивості операторів фізичних величин. Стаціонарні задачі квантової механіки.

Тема 4. Квантова теорія атома. Спектри випромінювання молекул

Квантові властивості атомів. Теорія Бора атома водню. Спектри воднеподібних атомів. Квантові числа і їх фізичний сенс. Експеримент Штерна і Герлаха. Спін електрона. Багатоелектронні атоми. Молекула. Обертальні та коливальні стани двоатомних молекул.

Розділ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ КВАНТОВОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ

Тема 1. Вступ до квантової електроніки

Задачі квантової електроніки. Фотони. Матеріальні тіла, їхні стани й рівні енергії. Загальний опис взаємодії фотонів електромагнітного поля з речовиною. Спонтанне й вимушене випромінювання, поглинання. Імовірність переходу. Загальні принципи дії квантових генераторів (лазерів і мазерів) і квантових підсилювачів. Інверсна заселеність рівнів, накачування, підсилення, втрати. Резонатор, зворотний зв'язок. Баланс амплітуд і фаз.

Тема 2. Властивості лазерного випромінювання.

Монохроматичність. Когерентність у часі. Просторова когерентність. Спрямованість (розбіжність). Можливість одержання надкоротких потужних імпульсів.

Тема 3. Резонатори лазерів.

Щільність мод закритого і відкритого резонаторів. Подовжні і поперечні моди. Спектр відкритого резонатора. Дифракційні втрати. Амплітудний розподіл поля моди на дзеркалах. Поширені типи відкритих резонаторів. Хвилеводні резонатори.

Тема 4. Фотони. Закони взаємодії фотонів з атомами.

Фотон. Його властивості. Моди електромагнітного поля. Спонтанне і вимушене (індуковане) випромінювання атома в одну моду. Поглинання фотона атомом з моди. Щільність вірогідності переходу. Перетин поглинання. Форма лінії з природним розширенням. Природний час життя рівня. Взаємодія атома з декількома модами. Коефіцієнти Ейнштейна.

Тема 5. Балансові рівняння. Трирівнева і чотирирівнева системи.

Три підходи до розрахунку характеристик лазера (квантова, полукласична, кінетична). Балансні рівняння і їх складання. Вірогідність і швидкості переходів. Часи життя. Релаксація. Переходи з випромінюванням і безвипромінювальні переходи. Фізичний сенс перетину поглинання атома. Трирівнева і чотирирівнева схеми лазера в стаціонарному режимі. Створення інверсної різниці населеностей.

Тема 6. Безперервний режим роботи лазера.

Підсилення середовища з інвертованою різницею населеності. Коефіцієнт підсилення. Насичення. Розвиток лазерної генерації. Порогова різниця населеності. Зміна різниці населеності і щільності внутрішнього потоку фотонів в залежності від величини накачування. Одномодовий і багатомодовий режими. Вихідна потужність.

Тема 7. Імпульсний режим роботи лазера. Модуляція добротності. Области використання імпульсних лазерів. Наочний опис здобуття гігантських імпульсів. Графічне зображення процесів в лазерному середовищі при Q-модуляції. Балансні рівняння, що описують формування лазерного імпульсу. Максимальна пікова вихідна потужність. Способи реалізації режиму Q-модуляції. Розвантаження резонатора.

Тема 8. Імпульсний режим роботи лазера. Синхронізація мод. Теоретичний опис синхронізації мод в частотній і тимчасовій шкалі. Основні співвідношення для тривалості імпульсу, його енергії і частоти дотримання імпульсів. Методи реалізації режиму синхронізації мод. Спеціальні методи укорочення імпульсів.

Розділ 3. ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА РЕЖИМИ РОБОТИ ЛАЗЕРІВ.

Тема 1. Електронний парамагнітний резонанс (ЕПР). Ядерний магнітний резонанс (ЯМР).

Визначення магнітного моменту. Момент кількості руху. Зв'язок магнітного моменту з орбітальним і спіновим моментом кількості руху. Магнетон Бора. g-фактор Ланде. Гіромагнітне відношення. Енергія магнітного моменту в магнітному полі. Кутовий момент у квантовій механіці. Рівні енергії магнітного моменту в постійному магнітному полі у квантовій механіці. ЕПР вільного електрона з орбітальним кутовим моментом рівним 0. Магнітний момент системи з ненульовими орбітальним і спіновим моментами. Рівні енергії іона хрому Cr^{3+} в кристалі рубіна. ЕПР кристала рубіна. Спінової гамільтониан. Пристрої для спостереження ЕПР.

Тема 2. Твердотільні лазери.

Лазери на іонах перехідних металів і рідкоземельних елементів: лазери на іонах Cr^{3+} (рубін) і Nd^{3+} (YAG-лазери).

Тема 3. Газові лазери на атомних і молекулярних переходах.

Гелій-неоновий лазер і CO_2 лазер.

Тема 4. Застосування лазерів.

У промисловості та медицині. Приклади використання лазерів для вирішення наукових і практичних завдань. Моніторинг навколишнього середовища. Лідари. Вимір відстані від Землі до Місяця. Термоядерна реакція, що підпалюється лазерним випромінюванням. Голографія. Запис і читання з лазерних дисків. Інші застосування. Адаптивна оптика в телескопах з використанням штучних зірок, запалюваних лазером.

3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин					
	денна форма					
	усього	у тому числі				
л		п	лаб.	інд.	с. р.	
1	2	3	4	5	6	7
Розділ 1. Квантова механіка: основи теорії та методи						
Тема 1. Квантові властивості електромагнітного випромінювання	7	3				4
Тема 2. Хвильові властивості речовини.	4	2				2

Тема 3. Апарат квантової механіки.	7	4				3
Тема 4. Квантова теорія атома. Спектри випромінювання молекул	7	4				3
Разом за розділом 2	25	13				12
Розділ 2. Теоретичні основи квантової електроніки						
Тема 1. Вступ до квантової електроніки	3	1				2
Тема 2. Властивості лазерного випромінювання.	4	1				3
Тема 3. Резонатори лазерів.	5	2				3
Тема 4. Фотони. Закони взаємодії фотонів з атомами.	5	2				3
Тема 5. Балансові рівняння. Трирівнева і чотирирівнева системи.	5	2				3
Тема 6. Безперервний режим роботи лазера.	5	2				3
Тема 7. Модуляція добротності.	4	1				3
Тема 8. Синхронізація мод.	4	1				3
Разом за розділом 2	35	12				23
Розділ 3. Характеристики та режими роботи лазерів. Їх розрахунок.						
Тема 1. Електронний парамагнітний резонанс. Ядерний магнітний резонанс.	10	2		6		2
Тема 2. Твердотільні лазери.	10	2		6		2
Тема 3. Газові лазери на атомних і молекулярних переходах.	8	2		4		2
Тема 4. Застосування лазерів.	2	1				1
Разом за розділом 3	30	7		16		7
Усього годин	90	32		16		42

4. Теми практичних занять

Практичних занять не заплановано.

5. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	ЕПР в рубіні.	4
2	ЯМР протонів водню.	2
3	Рубіновий лазер.	4
4	Неодимовий лазер.	2
5	He-Ne лазер.	2
6	CO ₂ – лазер.	2
	Разом	16

6. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи: робота з літературою, підготовка до виконання лабораторних занять	Кількість годин
1.	Розділ 1. Тема 1. Квантові властивості електромагнітного випромінювання	4
2.	Розділ 1. Тема 2. Хвильові властивості речовини	2
3.	Розділ 1. Тема 3. Апарат квантової механіки	3
4.	Розділ 1. Тема 4.. Квантова теорія атома. Спектри випромінювання молекул	3
5.	Розділ 2. Тема 1. Історія квантової електроніки.	2
6.	Розділ 2. Тема 2. Характеристики лазерного випромінювання	3
7.	Розділ 2. Тема 3. Відкриті резонатори.	3
8.	Розділ 2. Тема 4. Форма ліній поглинання та випромінювання.	3
9.	Розділ 2. Тема 5. Принцип дії лазера.	3
10.	Розділ 2. Тема 5. Трирівневі й чотирирівневі лазерні системи.	3
11.	Розділ 2. Тема 6. Лазер у безперервному режимі.	3
12.	Розділ 2. Теми 7, 8. Імпульсний режим лазера.	3
13.	Розділ 3. Тема 1. Спектри ЕПР та ЯМР.	2
14.	Розділ 3. Тема 2. Рубіновий лазер..	1
15.	Розділ 3. Тема 2. Неодімовий YAG лазер.	1
16.	Розділ 3. Тема 3. He-Ne –лазер.	1
17.	Розділ 3. Тема 3. CO ₂ -лазер.	1
18.	Розділ 3. Тема 4. Застосування лазерів.	1
	Разом	42

7. Індивідуальні завдання

Індивідуальні завдання не заплановані.

8. Методи навчання

Навчання проводиться у формі читання лекцій, проведення лабораторних робіт, а також у вигляді самостійної роботи, в процесі якої освоюється новий навчальний матеріал і виконуються завдання і вправи. Засвоєння матеріалу по дисципліні забезпечується циклом лекцій, проведенням лабораторних робіт, розв'язанням задач, які даються на лекціях до дому, а також самостійною роботою. Питання для опрацювання до і після кожної лекції, завдання на виконання домашніх робіт та вивчення розділів, виведених на самостійну роботу, наведені на сайті лектора даного курсу.

9. Методи контролю

Перед виконанням кожної лабораторної роботи студент повинен відповісти на 2-3 питання по темі роботи, що виконується. В разі неналежної підготовки до лабораторної роботи студент не допускається до її виконання. Разом шість лабораторних робіт оцінюються максимум у 36 бала. Домашні завдання повинні виконуватися у десятиденний термін після їх отримання в кінці лекцій. У цьому разі оцінка виконання кожного з них дорівнює двом балам. При затримці виконання більш ніж у десять днів оцінка буде знижена до одного бала.

До заліку студент повинен мати зошит з усіма лекціями та задачами, які розв'язувались вдома.

Схема нарахування балів

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання								Лаб	Разом	Залікова робота	Сума
Розділ 1				Розділ 2							
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	36	60	40	100
1	2	1	2	1	2	1	2				
Розділ 2				Розділ 3							
T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16				
1	2	1	2	1	2	1	2				

T1, T2 ... – теми розділів.

Лаб - лабораторні роботи, передбачені навчальним планом.

Студент не допускається до заліку, якщо набирає протягом семестру менше 10 балів. Студенти з підсумковим рейтингом < 10 вважаються такими, що не допущені до заліку з дисципліни. Їм перед сесією надається можливість підвищити оцінку і отримати допуск до заліку шляхом виправлення оцінок з окремих видів занять і контрольних завдань. Термін і порядок ліквідації заборгованостей установлюється викладачами, котрі проводять відповідні заняття і контрольні заходи.

Критерії оцінювання навчальних досягнень

Виконання кожного завдання залікового білету оцінюється балом за таблицею

№ з/п	Кільк. балів	При оцінці відповіді на теоретичні питання	При оцінці розв'язання задачі
1	0	Виявлено, що студент виявив академічну недобросовісність	
2	1-8	Наведено лише визначення термінів, які входять до формулювання питання	Записано коротку умову, наведено діаграму або рисунок до задачі, записано основні закони з цієї теми
3	9-19	Наведено лише загальні відомості	Додатково до п.2 вказано метод розв'язання задачі
4	20-24	Наведено нечітку відповідь	Додатково до п.3 при правильному виборі методу розв'язання задачі допущено грубі помилки
5	25-32	Наведено відповідь з незначними помилками	Додатково до п.3 при правильному виборі методу розв'язання задачі не доведено до кінця
6	33-36	Наведено правильну в цілому відповідь з порушеннями логіки викладення матеріалу або без належних ілюстрацій чи оформлення	Задачу доведено до правильної кінцевої формули і на тому припинено розв'язання

		відповіді ускладнює розуміння тексту	
7	37-40	Повна бездоганна відповідь	Здобуто правильну кінцеву формулу та проведено її аналіз, перевірку на розмірність, вірно визначено числове значення

2. Загальна оцінка заліка за 40-бальною шкалою розраховується за формулою:

$$\text{Оцінка} = (\text{П1} + \text{П2} + \text{П3}) / 3 ,$$

де П1, П2, П3 – бали за відповіді на окремі завдання залікового білету.

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка за національною шкалою	
	для екзамену	для заліку
90 – 100	відмінно	зараховано
70-89	добре	
50-69	задовільно	
1-49	незадовільно	не зараховано

10. Рекомендована література

Основна література

1. О. П. Кобушкін. Квантова механіка. НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського». 2016.
2. В. І. Висоцький. Квантова механіка та її використання у прикладній фізиці. Київ. нац. ун-т ім. Т. Шевченка Київ 2019. 183 с.
3. М. В. Висоцький. Атомна, ядерна фізика та елементи квантової механіки. Київ. нац. ун-т ім. Т. Шевченка Київ 2020. 189 с.
4. І. О. Вакарчук. Квантова механіка. ЛДУ ім. І. Франка. Львів. 1998.
5. Дюбко С.П., Баскаков О.І., Перепечай М.П., Тютюнник В.Б. Квантова радіофізика: Методичні вказівки та завдання до практичних занять. - Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2006. - 44 с.
6. М. Г. Находкін, Н. П. Харченко. Атомна фізика. Підручник. Київ. нац. ун-т ім. Т. Шевченка. 2012. - 551 с.
7. О. П. Кобушкін, Атомна фізика. КПІ ім. Ігоря Сікорського Київ 2018 – 310 с.
8. Лазерна фізика: Підруч. для студ. вищ. навч. закл. / В. І. Григорук, П. А. Коротков, А. І. Хижняк. - 2-е вид. - К. : "МП Леся", 1999. - 526 с.
9. Основи квантової електроніки: навч. посіб. / О. О. Птащенко; Одес. нац. ун-т ім. І.І. Мечникова. - О.: Астропринт, 2010. - 390 с.
10. Квантова електроніка : навч. посіб./ О. С. Кривець, О. О. Шматько, О. В. Ющенко. – Суми : Сумський державний університет, 2013. – 340 с.

Допоміжна література

11. Атомна фізика [Текст] : підручник / М. У. Білий, Б. А. Охріменко ; заг. ред. Л. А. Булавін. - К. : Знання, 2009. - 559 с.
12. Siegman A.E.: Lasers. University Science Books, 1986
13. William T. Silfvast: Laser Fundamentals. Cambridge University Press, 2004
14. Svelto O.: Principles of Laser. Springer, 2004
15. Verdeyen J.T.: Laser Electronics, Prentice Hall, 1995
16. Webb C.E.: Handbook of Laser Technology and Applications, Institute of Physics Publishing, 2004

11. Посилання на інформаційні ресурси в Інтернеті, відео-лекції, інше методичне забезпечення

1. <http://cordon.in.ua/>- вибіркові лекції цього курсу.
2. <http://quant.univer.kharkov.ua/oib/quantel.php> - зміст кожної лекції, домашні завдання і література по темі лекції.
3. <http://www.ece.jhu.edu/~khurgin/>
4. Siegman A.E. Lasers. - Stanford University, Mill Valley, California, 1986. – 1304 p.
<http://books.google.com/books?id=1BZVwUZLTkAC&printsec=frontcover&dq=Lasers+Siegman&ei=-fbvSvSGKaCCygTRrsSDAw&hl=ru#v=onepage&q=&f=false>.
5. Encyclopedia of Laser Physics and Technology. <http://www.rp-photonics.com/encyclopedia.html>.