

**ГОО ВПО Российско-Армянский (Славянский)  
университет**

Директор Института

**А.К. Агаронян**

«30» апреля 2025г., протокол № 05

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ**

**Наименование дисциплины: Б1.В.ДВ.06.01 Лаборатория по квантовой оптике**

**Автор (ы) к.ф.-м.н., преподаватель Манташян Пайцар Агвановна**  
*Ф.И.О, ученое звание (при наличии), ученая степень (при наличии)*

**Направление подготовки: 11.04.04 Электроника и наноэлектроника**  
**Наименование образовательной программы: Квантовая и оптическая электроника**

**Согласовано:**

Заведующий Кафедрой общей физики и квантовых наноструктур

Айрапетян Д.Б.

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'D.B. Ayrapetyan', written over a horizontal line.

(подпись)

# 1. АННОТАЦИЯ

## 1.1. Краткое описание содержания данной дисциплины;

Данный магистерский курс посвящен изучению экспериментальных аспектов квантовой оптики, обеспечивая студентам глубокое понимание основных принципов и методов этой захватывающей области науки. В ходе обучения студенты будут изучать фундаментальные явления и эффекты, проявляющиеся при взаимодействии света с атомами, молекулами и другими квантовыми системами. С помощью лабораторных работ и практических занятий студенты овладеют умениями и навыками в проведении экспериментов, использовании специализированного оптического оборудования и анализе результатов. Они также будут заниматься исследовательской работой, реализуя собственные опыты, что позволит им углубить свои знания и расширить понимание сложных физических процессов.

Курс состоит из двух основных частей:

### 1. Теоретическая подготовка

- Основы когерентного и некогерентного излучения;
- Квантовая природа света и фотонов;
- Взаимодействие света с атомами, молекулами и наноструктурами;
- Применение квантовой оптики в современных технологиях, включая квантовую криптографию и квантовые вычисления.

### 2. Практическая работа

- Проведение лабораторных экспериментов с использованием лазеров, интерферометров и поляриметров;
- Изучение процессов спонтанного и вынужденного излучения;
- Анализ поляризации света и его воздействия на различные квантовые системы;
- Работа с современным оптическим оборудованием, таким как детекторы фотонов, спектрометры и модуляторы.

Студенты также занимаются исследовательской деятельностью, проводя самостоятельные эксперименты, что позволяет им закрепить полученные знания, развить критическое мышление и получить опыт в постановке научных задач. В результате освоения дисциплины студенты будут готовы к решению прикладных и научных задач в области квантовой оптики, а также к участию в исследованиях, связанных с развитием технологий на базе квантовых явлений.



		УК-1.3	<p>информации, работать с противоречивой информацией из разных источников; Разрабатывать и содержательно аргументировать стратегию решения проблемной ситуации на основе системного и междисциплинарных подходов</p> <p>Владеет навыками использования логико-методологического инструментария для критической оценки современных концепций философского и социального характера в своей предметной области.</p>
ПК-3	<p>Готов осваивать принципы планирования и методы автоматизации эксперимента на основе информационно-измерительных комплексов как средства повышения точности и снижения затрат на его проведение, овладевать навыками измерений в реальном времени</p>	<p>ПК-3.1</p> <p>ПК-3.2</p> <p>ПК-3.3</p>	<p>Знает способы организации и проведения экспериментальных исследований</p> <p>Умеет самостоятельно проводить экспериментальные исследования</p> <p>Владеет навыками проведения исследования с применением современных</p>

			средств и методов
ПК-5	Способен делать научно-обоснованные выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований, давать рекомендации по совершенствованию устройств и систем, готовить научные публикации и заявки на изобретения	ПК-5.1  ПК-5.2  ПК-5.3	Знает принципы проведения анализа полноценности и эффективности экспериментальных исследований  Умеет подготавливать научные публикации на основе результатов исследований  Владеет навыками подготовки заявок на изобретения

## 2. УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА

### 2.1. Цели и задачи дисциплины

#### Цель дисциплины:

Целями освоения дисциплины лаборатория по квантовой оптике являются: - Овладение экспериментальными техниками: Студенты будут обучаться различным экспериментальным методикам, применяемым в исследованиях квантовой оптики. Практические занятия в лаборатории помогут приобрести практические навыки в настройке и выполнении опытов, а также в анализе полученных результатов. Исследование явлений и процессов в квантовой оптике: В рамках курса студенты будут исследовать различные явления и процессы, связанные с взаимодействием света с атомами, молекулами и квантовыми системами. Это поможет им углубить понимание квантовых явлений и их приложений в оптике.

#### Задачи дисциплины:

Познакомиться с современными тенденциями в квантовой оптике: Курс также охватывает актуальные направления в области квантовой оптики, такие как квантовая информация, квантовые вычисления и квантовые технологии. Студенты будут знакомиться с последними

достижениями и возможностями применения квантовой оптики в современных исследованиях и технологиях.

**2.2. Трудоемкость дисциплины и виды учебной работы (в академических часах и зачетных единицах) (удалить строки, которые не будут применены в рамках дисциплины)**

Виды учебной работы	Всего, в акад. часах	Распределение по семестрам
		1 сем
1	2	3
<b>1. Общая трудоемкость изучения дисциплины по семестрам, в т. ч.:</b>	<b>72</b>	<b>72</b>
1.1. Аудиторные занятия, в т. ч.:	<b>16</b>	<b>16</b>
1.1.1. Лекции	<b>16</b>	<b>16</b>
1.1.2. Практические занятия, в т. ч.		
1.1.3. Лабораторные работы		
1.2. Самостоятельная работа, в т. ч.:	<b>56</b>	<b>56</b>
1.3. Консультации		
Итоговый контроль (Экзамен, Зачет, диф. зачет - указать)	<b>Зачет</b>	<b>Зачет</b>

**2.3. Содержание дисциплины**

**2.3.1. Тематический план и трудоемкость аудиторных занятий (модули, разделы дисциплины и виды занятий) по рабочему учебному плану**

Разделы и темы дисциплины	Всего (ак. часов)	Лекции (ак. часов)
1	$2=3+4+5+6+7$	3
Раздел 1. Квантовый ластик	8	8
Раздел 2. Квантовая криптография	8	8
<b>ИТОГО</b>	<b>16</b>	<b>16</b>

**2.3.2. Краткое содержание разделов дисциплины в виде тематического плана**

**Раздел 1. Квантовый ластик**

*Тема 1.1. Информация о пути в квантовой физике*

*Тема 1.2. Квантовый ластик*

### Тема 1.3. Мысленный эксперимент

## Раздел 2. Квантовая криптография

Тема 2.1. Протокол шифрования без Евы

Тема 2.2. Протокол шифрования с Евой

### 2.3.3. Краткое содержание лабораторного практикума

1. Исследование поляризации света и работа с поляризационными фильтрами
2. Моделирование квантового бита (кубита) с помощью поляризации фотонов
3. Эксперимент по квантовому протоколу BB84 (Алиса и Боб)
4. Квантовый ластик: наблюдение и стирание "информации" о пути
5. Корреляции и квантовая запутанность (демонстрационная установка)
6. Влияние измерения на квантовое состояние
7. Визуализация квантовых состояний и протоколов

### 2.3.4. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- Лаборатория для проведения занятий

## 2.4. Модульная структура дисциплины с распределением весов по формам контролей

Формы контролей	Вес формы (форм) текущего контроля в результирующей оценке текущего контроля (по модулям)		Вес формы промежуточного контроля в итоговой оценке промежуточного контроля		Вес итоговой оценки промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей		Вес итоговой оценки промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей (семестровой оценке)	Вес результирующей оценки промежуточных контролей и оценки итогового контроля в результирующей оценке итогового контроля
	M1 <sup>1</sup>	M2	M1	M2	M1	M2		
Вид учебной работы/контроля	M1 <sup>1</sup>	M2	M1	M2	M1	M2		
Контрольная работа (при наличии)			0.5	0.5				
Устный опрос (при наличии)								
Лабораторные работы (при наличии)	0.5	0.5						
Письменные домашние задания (при наличии)								
Решение задач	0.5	0.5						
Весы результирующих оценок текущих контролей в итоговых оценках промежуточных контролей					0.5	0.5		

<sup>1</sup> Учебный Модуль

Весы оценок промежуточных контролей в итоговых оценках промежуточных контролей								
Вес итоговой оценки 1-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей							0.5	
Вес итоговой оценки 2-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей							0.5	
Вес результирующей оценки промежуточных контролей в результирующей оценке итогового контроля								0.5
<b>Вес итогового контроля (Экзамен/зачет)</b> в результирующей оценке итогового контроля								0.5
	$\Sigma = 1$							

### 3. Теоретический блок *(указываются материалы, необходимые для освоения учебной программы дисциплины)*

#### 3.1. Материалы по теоретической части курса

##### 3.1.1. Учебник(и);

1. ThorLabs, Quantum Cryptography Demonstration Kit User guide and Manual.
2. ThorLabs, Quantum Eraser Demonstration Kit User guide and Manual.
3. Scully, Marlan O., and M. Suhail Zubairy. "Quantum optics." (1999): 648-648.

### 4. Фонды оценочных средств *(указываются материалы, необходимые для проверки уровня знаний в соответствии с содержанием учебной программы дисциплины).*

#### 4.1. Вопросы и задания для самостоятельной работы студентов

- ✓ Объясните принцип суперпозиции в квантовой механике.
- ✓ Что такое коллапс волновой функции?
- ✓ В чём отличие классической частицы от кубита?
- ✓ Постройте аналогию между монеткой и кубитом.
- ✓ Нарисуйте и поясните сферу Блоха.
- ✓ Изобразите состояния  $|0\rangle$ ,  $|1\rangle$ ,  $|+\rangle$ ,  $|-\rangle$  на сфере Блоха.
- ✓ Опишите действие операторов X, Z, H на кубит.

- ✓ Объясните измерение кубита в разных базисах.
- ✓ Опишите виды поляризации света: линейная, круговая, эллиптическая.
- ✓ Как поляризация используется для моделирования кубита?
- ✓ Рассчитайте интенсивность прохождения света через два поляризатора при угле  $45^\circ$ .
- ✓ Составьте таблицу выбора базисов Алисы и Боба в протоколе BB84 (на 20 бит).
- ✓ Опишите процесс формирования общего ключа в BB84.
- ✓ Как можно обнаружить подслушателя в квантовой криптографии?
- ✓ Почему квантовая криптография считается защищённой?
- ✓ Что такое квантовый ластик и как он работает?
- ✓ Нарисуйте схему эксперимента с квантовым ластиком.
- ✓ Объясните, как наличие или отсутствие информации влияет на интерференционную картину.
- ✓ Смоделируйте простую квантовую схему с гейтами  $H \rightarrow X \rightarrow H$ .
- ✓ Что происходит при действии гейта  $Z$  на состояние  $|+\rangle$ ?
- ✓ Смоделируйте в симуляторе передачу кубита с помехами.
- ✓ Подготовьте мини-проект на тему: «Квантовый протокол передачи зашифрованного сообщения».

#### 4.2. Образцы вариантов контрольных работ, тестов и/или других форм текущих и промежуточных контролей

##### Вариант 1

Объясните принцип суперпозиции.

Нарисуйте и прокомментируйте сферу Блоха.

Рассчитайте прохождение света через два поляризатора (угол  $45^\circ$ ).

Опишите выполнение протокола BB84 на примере 8 бит.

Объясните принцип действия квантового ластика.

##### Вариант 2

Что такое кубит и как он отличается от классического бита?

Описать действие квантовых гейтов  $X$ ,  $H$ ,  $Z$ .

Как реализовать кубит с помощью поляризации света?

Составить таблицу базисов Алисы и Боба (BB84, 10 бит).

Как наличие или отсутствие информации влияет на интерференцию в квантовом ластике?

Вариант 3

Объясните коллапс волновой функции.

Нарисуйте схему:  $H \rightarrow X \rightarrow H$  и укажите итоговое состояние.

Как определить наличие подслушивателя в BB84?

Рассчитайте вероятность прохождения фотона через поляризаторы с углом  $30^\circ$ .

Чем опыт с квантовым ластиком отличается от классических представлений?

Вариант 4

Дайте определение квантовой запутанности.

Объясните роль гейта Hadamard в квантовых алгоритмах.

Смоделируйте простую схему шифрования с использованием BB84.

Проанализируйте ошибки в ключе (по заданной таблице базисов).

Нарисуйте и прокомментируйте схему квантового ластика.

### 4.3. Перечень вопросов для зачетов

1. Понятие суперпозиции и измерения в квантовой механике
2. Определение кубита и его геометрическое представление на сфере Блоха
3. Квантовые гейты: X, Z, H — действие и матричное представление
4. Принцип неопределённости и его роль в квантовых экспериментах
5. Что такое интерференция? Как она проявляется в квантовом эксперименте с одним фотоном?
6. Опыт с поляризаторами: физическая интерпретация и расчёт интенсивности
7. Принципы квантовой криптографии. Основы протокола BB84
8. Сравнение классических и квантовых методов шифрования
9. Квантовый ластик: описание эксперимента и его философское значение
10. Как стирание информации влияет на интерференционную картину?
11. Запутанные состояния: определение, свойства и примеры
12. Обнаружение подслушивателя в протоколе BB84: методика и анализ
13. Роль случайности в квантовой механике и квантовых коммуникациях
14. Фотон как носитель информации: квантовое описание
15. Моделирование квантовых схем: логика, блоки, назначение
16. Роль наблюдателя в квантовой системе: физика и интерпретации
17. Основы квантовой телепортации: схема и принципы
18. Практическое применение квантовой криптографии в современных технологиях
19. Опыт Алисы и Боба: как интерпретировать обмен данными через квантовый канал

## 20. Перспективы развития квантовых коммуникаций и квантовых лабораторий