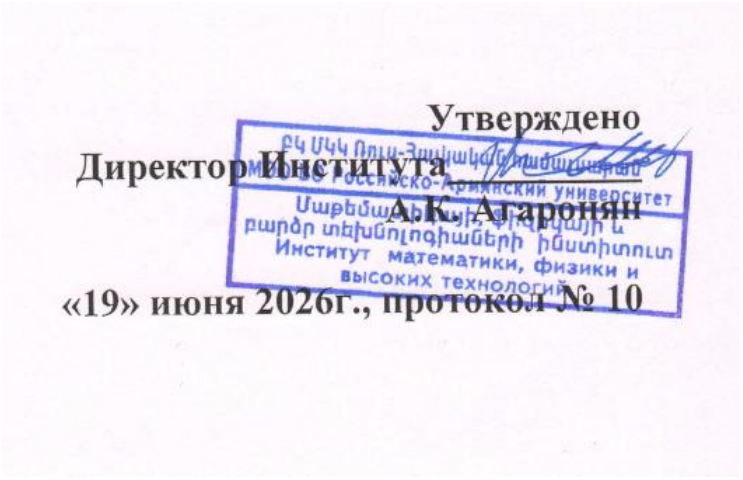
**Межгосударственная образовательная организация высшего образования**
**«Российско-Армянский университет»**




**Утверждено**
**Директор Института _____**
**А.К. Агаронян**
**«19» июня 2026г., протокол № 10**

# 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.



(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.

Курс сочетает фундаментальный подход с практической направленностью, обеспечивая студентов необходимыми навыками для дальнейшего развития в области квантовых технологий и оптической физики.

**1.2.** Трудоемкость в академических кредитах и часах, формы итогового контроля (экзамен/зачет);

2 академических кредита / 72 академических часа. Форма итогового контроля — зачет.

Взаимосвязь дисциплины с другими дисциплинами учебного плана специальности (направления)

Квантоворазмерные системы наноэлектроники, Прикладная квантовая физика, Квантовые наноструктуры во внешних полях.

**1.3.** Результаты освоения программы дисциплины:

| **Код компетенции** *(в соответствии рабочим с учебным планом)* | **Наименование компетенции** *(в соответствии рабочим с учебным планом)* | **Код индикатора достижения компетенций** *(в соответствии рабочим с учебным планом)* | **Наименование индикатора достижений компетенций***(в соответствии рабочим с учебным планом)* |
|---|---|---|---|
| УК-2 | Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла | УК-2.1 | Знает, как формулировать цели, задачи, значимости, ожидаемые результатов проекта. |
| | | УК-2.2 | Умеет определять потребности в ресурсах для реализации проекта; |
| | | УК-2.3 | Разрабатывать план реализации проекта. Владеет навыками контроля реализации проекта; навыками оценки эффективности реализации проекта и разработки плана |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | | действий по его корректировке. |
| УК-3 | Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели | УК-3.1 | Знает способы разработки целей команды в соответствии с целями проекта и методы формирования состава команды, определение функциональных и ролевых |
| | | УК-3.2 | Умеет разрабатывать и корректировать план работы команды; выбирать правила командной работы как основы межличностного взаимодействия. |
| | | УК-3.3 | Владеет методами выбора способов мотивации членов команды с учетом организационных возможностей и личностных особенностей членов команды; владеет навыками оценки эффективности работы команды по достигнутому результату. |

## 2. УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА

**2.1.** Цели и задачи дисциплины

**Цель дисциплины:**

Целями освоения дисциплины лаборатория по квантовой оптике являются: - Овладевание 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** |
| **1. Общая трудоемкость изучения дисциплины по семестрам, в т. ч.:** | **72** | **72** |
| 1.1. Аудиторные занятия, в т. ч.: | **16** | **16** |
| 1.1.1. Лекции | **16** | **16** |
| 1.1.2. Практические занятия, в т. ч. | | |
| 1.1.3. Лабораторные работы | | |
| 1.2. Самостоятельная работа, в т. ч.: | **56** | **56** |
| 1.3. Консультации | | |
| Итоговый контроль (Экзамен, Зачет, диф. зачет - указать) | **Зачет** | **Зачет** |

**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** |
| **ИТОГО** | **16** | **16** |

### 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) | Веса результирующей оценки промежуточных контролей и оценки итогового контроля в результирующей оценке итогового контроля |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Вид учебной работы/контроля** | **М1[1]** | **М2** | **М1** | **М2** | **М1** | **М2** | | |
| 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 | | | | | | |
| Веса результирующих оценок текущих контролей в итоговых оценках промежуточных контролей | | | | | 0.5 | 0.5 | | |
| Веса 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 |
| **Вес итогового контроля (Экзамен/зачет)** в результирующей оценке итогового контроля | | | | | | | | 0.5 |
| | **∑ = 1** | **∑ = 1** | **∑ = 1** | **∑ = 1** | **∑ = 1** | **∑ = 1** | **∑ = 1** | **∑ = 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.


[1] Учебный Модуль

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°.
- ✓ Составьте таблицу выбора базисов Алисы и Боба в протоколе BB84 (на 20 бит).
- ✓ Опишите процесс формирования общего ключа в BB84.
- ✓ Как можно обнаружить подслушивателя 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°).

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 → X → H и укажите итоговое состояние.

Как определить наличие подслушивателя в BB84?

Рассчитайте вероятность прохождения фотона через поляризаторы с углом 30°.

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