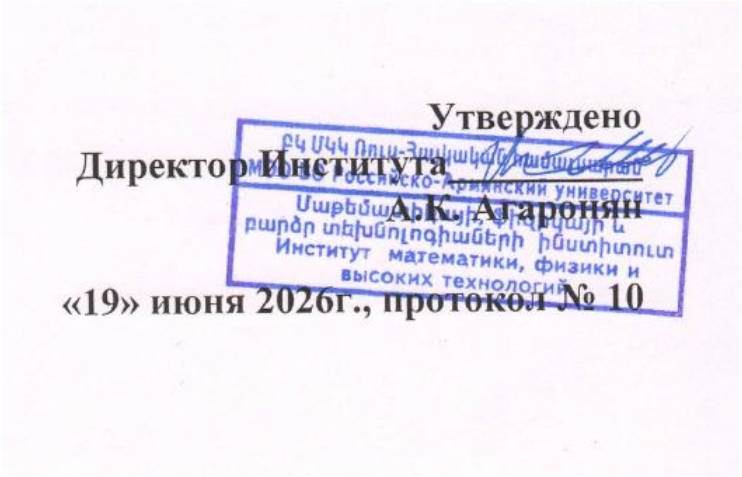
Межгосударственная образовательная организация высшего образования
«Российско-Армянский университет»



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

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины: Б1.О.11 Введение в квантовую механику

Автор (ы) Казарян Эдуард Мушегович, д.ф.-м.н., профессор
Ф.И.О, ученое звание (при наличии), ученая степень (при наличии)

Направление подготовки: 11.03.04 Электроника и наноэлектроника
Наименование образовательной программы: Квантовая информатика

Согласовано:

Заведующий Кафедрой общей физики и квантовых наноструктур

Айрапетян Д.Б.



(подпись)

1. АННОТАЦИЯ

1.1. Краткое описание содержания данной дисциплины;

Дисциплина **"Введение в квантовую механику"** знакомит студентов с основными принципами и математическим аппаратом квантовой теории. Рассматриваются ключевые концепции, такие как волновая функция, принцип неопределенности, постулаты квантовой механики и уравнение Шрёдингера.

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

7 з.е. (252ч.), экзамен

1.3. Взаимосвязь дисциплины с другими дисциплинами учебного плана специальности (направления)

Теоретическая механика, Углубленный курс квантовой механики, Квантовая информатика.

1.4. 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)*
ОПК-1	Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности	ОПК-1.1	Знает фундаментальные законы природы и основные физические и математические законы
		ОПК-1.2	Умеет применять физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера
		ОПК-1.3	Владеет навыками использования знаний физики и математики при решении практических задач

2. УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА

2.1. Цели и задачи дисциплины

Цель – Формирование у студентов базовых представлений о принципах квантовой механики, освоение математического аппарата и методов описания квантовых систем, а также развитие навыков решения фундаментальных задач квантовой физики.

Задачи:

1. Ознакомить студентов с историей развития и экспериментальными основаниями квантовой механики.
2. Изучить основные постулаты квантовой механики и их математическое формулирование.
3. Развить навыки работы с волновыми функциями и операторным формализмом.
4. Рассмотреть уравнение Шрёдингера и его применение к простым квантовым системам.
5. Исследовать принципы квантования энергии, углового момента и спина.
6. Изучить явления туннелирования и основные приложения квантовой механики.
7. Подготовить студентов к дальнейшему изучению современных разделов квантовой физики и технологий.

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.:	**252**	**252**
1.1. Аудиторные занятия, в т. ч.:	**64**	**64**
1.1.1. Лекции	**32**	**32**
1.1.2. Практические занятия, в т. ч.	**32**	**32**
1.2. Самостоятельная работа, в т. ч.:	**152**	**152**
1.3. Консультации		
Итоговый контроль (Экзамен, Зачет, диф. зачет - указать)	**Экзамен**	**36**

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)	Практ. Занятия (ак. часов)
1	2=3+4+5+6+7	3	4
Раздел 1. Основные положения квантовой механики.			
Тема 1. Пределы точности измерений.	2	1	1
Тема 2. Принцип суперпозиции.	2	1	1
Тема 3. Математический аппарат квантовой механики.	4	2	2
Тема 4. Постулаты квантовой механики.	2	1	1
Тема 5. Уравнение непрерывности.	2	1	1
Тема 6. Стационарные состояния.	2	1	1
Тема 7. Одномерное движение.	2	1	1
Тема 8. Соотношение неопределенностей	4	2	2
Тема 9. Предельный переход к классической механике.	4	2	2
Тема 10. Оператор момента импульса.	4	2	2
Тема 11. Частица в электромагнитном поле.	2	1	1
Раздел 2. Квантовая механика конкретных систем.			
Тема 12. Гармонический осциллятор.	4	2	2
Тема 13. Движение в центральном поле.	4	2	2
Тема 14. Атом водорода.	2	1	1
Тема 15. Теория возмущений для стационарных задач, невырожденный случай.	4	2	2
Тема 16. Теория возмущений для стационарных задач, вырожденный случай.	4	2	2
Тема 17. Теория рассеяния.	2	1	1
Тема 18. Теория нестационарных возмущений.	2	1	1
Тема 19. Квантовая теория дисперсии.	4	2	2
Раздел 3. Спин. Системы тождественных частиц.			
Тема 20. Спин электрона.	4	2	2
Тема 21. Тождественность микрочастиц.	4	2	2
ИТОГО	**64**	**32**	**32**

2.3.2. Краткое содержание разделов дисциплины в виде тематического плана

Раздел 1. Основные положения квантовой механики.

Тема 1. Пределы точности измерений. Основное предположение современного естествознания о том, что свойства вещества однозначно определяются поведением составных частей. Несостоятельность этого предположения в случае отсутствия предела делимости материи. Проблема процесса измерения как сравнения одного объекта с другим (стандартом). Уменьшении размеров стандартного объекта как единственная возможность повышения точности измерения. Наличие предела делимости как причина невозможности бесконечного повышения точности измерений. Неизбежность возмущения состояния измеряемого объекта в процессе измерения. Возможность пренебрежения этим возмущением как критерий классичности системы. (Дирак, Принципы квантовой механики).

Тема 2. Принцип суперпозиции. Противоречие между корпускулярным и волновым описанием света. Невозможность объяснения явлений интерференции или дифракции в рамках корпускулярных представлений. Невозможность объяснения фотоэффекта и эффекта Комптона на основе волновых представлений. Опыты с предельно слабыми пучками света: опыт Юнга, прохождение света через поляризатор. Необходимость новой системы законов природы для объяснения результатов этих опытов и устранения корпускулярно-волнового противоречия. Невозможность предсказания результата однократного опыта с одним отдельным фотоном. Вероятностный характер предсказаний результатов опыта в квантовом мире. Принцип суперпозиции состояний как новый закон природы. (Дирак, Принципы квантовой механики).

Тема 3. Математический аппарат квантовой механики. Понятие оператора. Линейные операторы. Эрмитовы операторы. Представление операторов матрицами. Собственные функции и собственные значения эрмитовых операторов, их свойства: ортогональность и полнота системы собственных функций, действительность собственных значений. Произведение двух операторов, его эрмитовое сопряжение. Теорема о коммутирующих операторах. (Ферми, Лекции по квантовой механике.)

Тема 4. Постулаты квантовой механики. Первый постулат: уравнение Шредингера, волновая функция. Второй постулат: физический смысл волновой функции и вытекающие из него математические требования, накладываемые на волновую функцию. Третий постулат: описание физических величин с помощью эрмитовых операторов. Четвертый постулат: постулат о разложении любой функции по собственным функциям эрмитова оператора и о смысле коэффициентов разложения. Примеры эрмитовых операторов: оператор кинетической энергии, оператор Гамильтона. (Барабанов, Квантовая механика, часть 1)

Тема 5. Уравнение непрерывности. Вывод уравнения непрерывности из УШ. Плотность потока вероятности, ее свойства в случае различных волновых функций: действительная волновая функция, волновая функция свободной частицы. Оператор импульса.

Тема 6. Стационарные состояния. Разделение переменных в УШ в случае, когда потенциальная энергия не зависит от времени. Стационарное УШ. Свойства стационарных состояний. Два типа задач и два типа волновых функций, нормировка на единицу и нормировка на единичный поток. (Мартинсон, Смирнов. Квантовая физика).

Тема 7. Одномерное движение. Одномерная потенциальная яма конечной глубины. Волновые функции дискретного спектра и непрерывного спектра. (Абаренков, Загуляев. Простейшие модели в квантовой механике). Общие свойства одномерного движения, примеры: осциллятор, потенциальная яма. Осцилляционная теорема. (Ландау, Квантовая механика).

Тема 8. Соотношение неопределенностей. Вывод соотношения неопределенностей для произвольных эрмитовых операторов из УШ. Примеры: координата-импульс, угол-момент импульса. Некоторые применения соотношения неопределенностей. (Барабанов, Квантовая механика, часть 1)

Тема 9. Предельный переход к классической механике. Формальный предельный переход в УШ при стремлении к нулю постоянной Планка, уравнение Гамильтона-Якоби. Оптико-механическая аналогия: волновая оптика-квантовая механика, лучевая (геометрическая оптика) оптика – классическая механика. Квазиклассическое приближение, обоснование предельного перехода к классической механике. Свойства квазиклассических волновых функций.

Тема 10. Оператор момента импульса. Определение оператора момента импульса. Коммутационные соотношения для компонент и для квадрата оператора момента. Оператор квадрата момента в сферических координатах, его собственные функции - сферические функции. Ортогональность и полнота сферических функций. Оператор кинетической энергии в сферических координатах.

Тема 11. Частица в электромагнитном поле. Оператор Гамильтона частицы в электромагнитном поле. Частные случаи: а) частица в поле плоской волны; б) частица в постоянном однородном магнитном поле; в) частица в постоянном однородном электрическом поле.

Раздел 2. Квантовая механика конкретных систем.

Тема 12. Гармонический осциллятор. Решение УШ для осциллятора методом разложения в ряд, получение формул для спектра и волновых функций. Графики собственных функций для больших значений энергии.

Тема 13. Движение в центральном поле. Разделение переменных в УШ для частицы в центральном поле в сферических координатах. Сферическая потенциальная яма. Функции Бесселя полуцелого порядка, сферические функции Бесселя.

Тема 14. Атом водорода. Анализ поведения волновых функций на бесконечности. Нахождение волновых функций методом разложения в ряд. Радиальное квантовое число, главное квантовое число. Степень вырождения состояний электрона в кулоновском поле. (Астахов, Квантовая физика).

Тема 15. Теория возмущений для стационарных задач, невырожденный случай. Метод последовательных приближений. (Н.Я. Виленкин, Метод последовательных приближений). Теория возмущений для УШ, вывод формул до второго порядка для спектра и первого порядка для волновых функций. Возмущение в случае близких уровней. (Ландау, Квантовая механика).

Тема 16. Теория возмущений для стационарных задач, вырожденный случай. Уравнения нулевого приближения, секулярное уравнение. Полное и частичное снятие вырождения, примеры: эффект Зеемана, эффект Штарка первого и второго порядка по полю. (Ландау, Квантовая механика).

Тема 17. Теория рассеяния. Постановка задачи, физические условия реализации процесса рассеяния. Асимптотический вид волновой функции, амплитуда рассеяния. Эффективное сечение рассеяния, полное сечение рассеяния. Нахождение амплитуды рассеяния и эффективного сечения в борновском приближении. Случай рассеяния центральным полем. (Ландау, Квантовая механика).

Тема 18. Теория нестационарных возмущений. Вывод формулы поправки первого порядка для волновой функции. Импульсное возмущение - возбуждение атома пролетающей тяжелой частицей. Периодическое возмущение – атом в поле монохроматической электромагнитной волны, начальное условие на минус бесконечности (проблема включения взаимодействия). Соотношение неопределленности для энергии. (Ландау, Квантовая механика).

Тема 19. Квантовая теория дисперсии. Вывод формулы для дипольного момента атома в поле монохроматической волны, поляризуемость атома, диэлектрическая проницаемость

атомарной среды. Резонансное возмущение, модель двухуровневого атома, резонансное приближение, пределы его применимости (Ландау, Квантовая механика).

Раздел 3. Спин. Системы тождественных частиц.

Тема 20. Спин электрона. Спиновая переменная, принимающая всего два значения. Операторы, воздействующие на спиновое состояние – матрицы 2x2. Общий вид таких матриц. Матрицы Паули и спиновая матрица. Коммутационные соотношения для матриц Паули и спиновых матриц. Спиновый механический момент. Волновая функция частицы со спином. Спин-орбитальное взаимодействие. Спиновый магнитный момент.

Тема 21. Тождественность микрочастиц. Волновая функция системы двух одинаковых частиц. Оператор перестановки координат тождественных частиц, два возможных типа частиц. Принцип Паули для волновой функции двух тождественных частиц. Сложение спиновых моментов. Обменное взаимодействие.

Список Литературы

1. Дирак, Принципы квантовой механики.
2. Ферми, Лекции по квантовой механике
3. Астахов, Широков. Квантовая физика
4. Абаренков, Загуляев. Простейшие модели в квантовой механике
5. Барабанов, Квантовая механика ч.1.

2.3.3. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Для эффективного изучения дисциплины необходимо следующее материально-техническое оснащение:

- Мультимедийный проектор и экран для проведения лекций и практических занятий.
- Доска (меловая или маркерная) для объяснения теоретических концепций.
- Базы данных научных публикаций и учебных материалов (arXiv, Scopus, Web of Science).
- Доступ к электронным библиотекам и онлайн-курсам по квантовой механике.

Эти ресурсы обеспечивают комплексный подход к изучению квантовой механики, сочетая теоретические знания с практическими навыками.

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)*								
Тест *(при наличии)*								
Лабораторные работы *(при наличии)*	0.5	0.5						
Письменные домашние задания *(при наличии)*								
Реферат *(при наличии)*								
Эссе *(при наличии)*								
Проект *(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] Учебный Модуль

1. Дирак, Принципы квантовой механики.
2. Ферми, Лекции по квантовой механике
3. Астахов, Широков. Квантовая физика
4. Абаренков, Загуляев. Простейшие модели в квантовой механике
5. Барабанов, Квантовая механика ч.1.

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

4.1. Планы практических занятий

1. Пределы точности измерений.
2. Принцип суперпозиции.
3. Математический аппарат квантовой механики.
4. Постулаты квантовой механики.
5. Уравнение непрерывности.
6. Стационарные состояния.
7. Одномерное движение.
8. Соотношение неопределенностей
9. Предельный переход к классической механике.
10. Оператор момента импульса.
11. Частица в электромагнитном поле.
12. Гармонический осциллятор.
13. Движение в центральном поле.
14. Атом водорода.
15. Теория возмущений для стационарных задач, невырожденный случай.
16. Теория возмущений для стационарных задач, вырожденный случай.
17. Теория рассеяния.
18. Теория нестационарных возмущений.
19. Квантовая теория дисперсии.
20. Спин электрона.
21. Тождественность микрочастиц.

4.2. Материалы по практической части курса

4.2.1. Задачники (практикумы);

1. Флюгге, "Задачи по квантовой механике"(2 тома)
2. Коган, Галицкий, "Сборник задач по квантовой механике"

4.3. Вопросы и задания для самостоятельной работы студентов

Вопросы:

1. Основные постулаты квантовой механики.
2. Физический смысл волновой функции.

3. Уравнение Шрёдингера и его решения.
4. Принцип неопределенности.
5. Квантование энергии и момент импульса.
6. Туннельный эффект.
7. Спин и принцип Паули.

Задания:

1. Решение уравнения Шрёдингера для простой системы.
2. Вычисление вероятностей нахождения частицы.
3. Анализ движения в потенциальной яме.
4. Расчет энергии и волновых функций.
5. Применение операторов квантовой механики.

Эти вопросы и задания помогут закрепить ключевые концепции курса.

4.4. Перечень вопросов для экзамена

1. Исторические предпосылки возникновения квантовой теории.
2. Пределы точности измерений.
3. Принцип суперпозиции.
4. Линейные операторы.
5. Произведение двух операторов.
6. Основные постулаты квантовой механики.
7. Уравнение непрерывности.
8. Оператор импульса.
9. Уравнение Шредингера для стационарных состояний.
10. Соотношения неопределенностей.
11. Соотношения неопределенностей для энергии и времени.
12. Предельный переход к классической механике.
13. Квазиклассическое приближение.
14. Свойства квазиклассических волновых функций.
15. Оптико-механическая аналогия в квантовой механике.
16. Уравнение Шредингера для частицы в электромагнитном поле.
17. Общие свойства одномерного движения.
18. Потенциальная яма конечной глубины.

19. Теория стационарных возмущений.
20. Возмущение в случае близких уровней.
21. Теория рассеяния.
22. Возмущение при наличии вырождения.
23. Теория нестационарных возмущений.
24. Периодическое возмущение.
25. Резонансное приближение.
26. Переходы в непрерывный спектр.
27. Оператор момента импульса.
28. Движение в центрально-симметричном поле.
29. Атом водорода.
30. Вырождение состояний в атоме водорода.
31. Спектр атома в магнитном поле.
32. Спин электрона.
33. Спин-орбитальное взаимодействие.
34. Тождественные частицы.
35. Обменное взаимодействие.

4.5. Образцы экзаменационных билетов

МОО ВО РОССИЙСКО-АРМЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ, ФИЗИКИ И ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ
Кафедра общей физики и квантовых наноструктур

Направление: Электроника и наноэлектроника
Дисциплина: Введение в квантовую механику
(бакалавриат III-ий курс, I-ый семестр)

Экзаменационный билет № **

1. Линейные операторы.
2. Квантовая теория дисперсии.
3. Задача.

Зав. кафедройОФКН _____Д.Б. Айрапетян