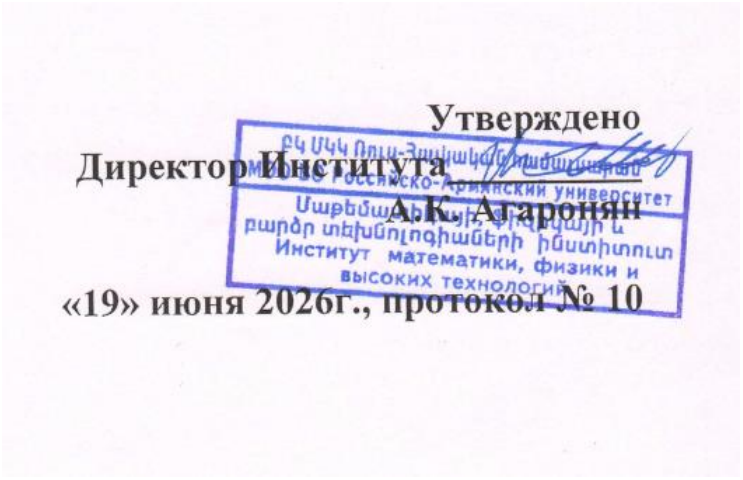
Межгосударственная образовательная организация высшего образования
«Российско-Армянский университет»



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

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины: Б1.О.12 Углубленный курс квантовой механики

Автор (ы) Арамян Карен Саркисович, к.ф.-м.н., доцент
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;

Углубленный курс квантовой механики изучает современные концепции и математический аппарат квантовой теории, выходя за рамки базового курса. Включает детальный разбор операторного формализма, теории возмущений, квантовой теории рассеяния, симметрий и их роли в квантовой механике. Рассматриваются многочастичные системы, теория вторичного квантования, методы квантовой электродинамики и квантовой теории поля. Курс направлен на формирование глубокого понимания принципов квантовой механики и их применения в современных научных исследованиях.

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

6 з.е. (216ч.), экзамен

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

Теоретическая механика, Введение в квантовую механику, 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 – Развитие у студентов углубленного понимания принципов квантовой механики, овладение современными методами расчета и анализа квантовых систем, необходимых для проведения теоретических и прикладных исследований в области квантовой физики и технологий.

Задачи:

- **Расширить теоретическую базу студентов** – изучение математического аппарата квантовой механики, включая операторный формализм, теорию возмущений и симметрии.
- **Освоить методы решения сложных квантовых задач** – рассмотрение многочастичных систем, вторичного квантования, теории рассеяния и квантовой динамики.
- **Изучить современные аспекты квантовой механики** – квантовые корреляции, запутанность, квантовые вычисления и квантовая информация.
- **Развить навыки практического применения теории** – применение методов квантовой механики к реальным задачам физики конденсированных сред, квантовой оптики и квантовой теории поля.
- **Подготовить студентов к научно-исследовательской деятельности** – работа с актуальными научными статьями, моделирование квантовых процессов и участие в научных проектах.

Этот курс формирует у студентов комплексные знания, необходимые для работы в передовых областях квантовой науки 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.:	**216**	**216**
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.:	**116**	**116**
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. Квантовая динамика	12	6	6
1 Временная эволюция системы	4	2	2
2 Теория возмущений	4	2	2
3 Теория рассеяния	4	2	2
Раздел 2. Квантовая механика систем с несколькими частицами	8	4	4
1 Принцип тождественности частиц	4	2	2
2 Запутанность и корреляции	4	2	2
Раздел 3. Релятивистская квантовая механика	16	8	8
1 Уравнение Клейна–Гордона	4	2	2
2 Уравнение Дирака	6	3	3
3 Взаимодействие квантовых частиц с электромагнитным полем	6	3	3
Раздел 4. Вторичное квантование и квантовая теория поля	14	7	7
1 Вторичное квантование	4	2	2
2 Диаграммы Фейнмана	4	2	2
3 Калибровочные теории и калибровочная инвариантность	6	3	3

Раздел 5. Квантовые технологии и современные аспекты квантовой механики	14	7	7
1 Квантовая информация и квантовые вычисления	6	3	3
2 Декогеренция и квантово-классический переход	4	2	2
3 Применение квантовой механики в современной науке	4	2	2
ИТОГО	**64**	**32**	**32**

2.3.2. Краткое содержание разделов дисциплины в виде тематического плана

Раздел 1. Квантовая динамика

1.1 Временная эволюция системы

- Унитарные операторы эволюции
- Уравнение Шрёдингера в зависимости от времени
- Оператор Гамильтониана

1.2 Теория возмущений

- Стационарная теория возмущений
- Метод вариационного принципа
- Возмущения во времени и правило Ферми

1.3 Теория рассеяния

- Дифференциальное и полное сечение
- Разложение по парциальным волнам
- Приближение Борна

Раздел 2. Квантовая механика систем с несколькими частицами

2.1 Принцип тождественности частиц

- Симметричные и антисимметричные волновые функции
- Фермионы и бозоны

2.2 Запутанность и корреляции

- Опыт Эйнштейна, Подольского и Розена
- Теоремы Белла

Раздел 3. Релятивистская квантовая механика

3.1 Уравнение Клейна–Гордона

- Проблема отрицательной энергии

3.2 Уравнение Дирака

- Описание спин-½ частиц
- Симметрии уравнения Дирака
- Антиположительно заряженные состояния

3.3 Взаимодействие квантовых частиц с электромагнитным полем

- Минимальное сопряжение
- Магнитный момент электрона

Раздел 4. Вторичное квантование и квантовая теория поля

4.1 Вторичное квантование

- Операторы рождения и уничтожения
- Алгебра бозонных и фермионных операторов

4.2 Диаграммы Фейнмана

- Виртуальные частицы
- Вероятности переходов

4.3 Калибровочные теории и калибровочная инвариантность

- Принцип калибровочной симметрии
- Введение в квантовую электродинамику

Раздел 5. Квантовые технологии и современные аспекты квантовой механики

5.1 Квантовая информация и квантовые вычисления

- Кубиты и квантовые гейты
- Квантовые алгоритмы (алгоритм Шора, алгоритм Гровера)

5.2 Декогеренция и квантово-классический переход

- Взаимодействие системы с окружением
- Квантовая теория измерения

5.3 Применение квантовой механики в современной науке

- Квантовые материалы
- Сверхпроводимость и сверхтекучесть
- Квантовые сенсоры.

Список Литературы

1. David Griffiths. Introduction to Quantum Mechanics. 2004
2. Jean-Louis Basdevant, Jean Dalibard. Quantum Mechanics. 2002
3. Jun John Sakurai. Advanced Quantum Mechanics. 1967

4. Клод Коэн-Таннуджи, Бернар Диу, Франк Лалоэ. Квантовая механика в 3-х томах. 2020

2.3.3. Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. Лекционные аудитории с мультимедийным оборудованием (проектор, интерактивная доска, компьютер с доступом в интернет).
2. Компьютеры с установленными специализированными программами:
   - **MATLAB**, **Mathematica**, **Maple** – для аналитических и численных расчетов.
   - **Python (NumPy, SciPy, QuTiP)** – для моделирования квантовых систем.
   - **Quantum Toolbox for MATLAB (QuTiP)** – для симуляций квантовых процессов.
   - **LaTeX** – для подготовки отчетов и научных публикаций.
3. Доступ к научным базам данных и литературе:
   - **arXiv.org** – для доступа к последним публикациям в области квантовой механики.
   - **Springer, Wiley, Elsevier, IOPScience** – ведущие научные журналы по квантовой механике и физике.
   - **Web of Science, Scopus** – базы данных научных публикаций.

Такое обеспечение позволит студентам эффективно изучать углубленный курс квантовой механики и применять полученные знания на практике.

.

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	**M1[1]**	**M2**	**M1**	**M2**	**M1**	**M2**		
Контрольная работа *(при наличии)*			0.5	0.5				

[1] Учебный Модуль

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. David Griffiths. Introduction to Quantum Mechanics. 2004
2. Jean-Louis Basdevant, Jean Dalibard. Quantum Mechanics. 2002
3. Jun John Sakurai. Advanced Quantum Mechanics. 1967
4. Клод Коэн-Таннуджи, Бернар Диу, Франк Лалоэ. Квантовая механика в 3-х томах. 2020

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

4.1. Планы практических занятий

1. Унитарные операторы эволюции

2. Уравнение Шрёдингера в зависимости от времени
3. Оператор Гамильтониана
4. Стационарная теория возмущений
5. Метод вариационного принципа
6. Возмущения во времени и правило Ферми
7. Дифференциальное и полное сечение
8. Разложение по парциальным волнам
9. Приближение Борна
10. Симметричные и антисимметричные волновые функции
11. Фермионы и бозоны
12. Опыт Эйнштейна, Подольского и Розена
13. Теоремы Белла
14. Проблема отрицательной энергии
15. Описание спин-½ частиц
16. Симметрии уравнения Дирака
17. Антиположительно заряженные состояния
18. Минимальное сопряжение
19. Магнитный момент электрона
20. Операторы рождения и уничтожения
21. Алгебра бозонных и фермионных операторов
22. Виртуальные частицы
23. Вероятности переходов
24. Принцип калибровочной симметрии
25. Введение в квантовую электродинамику
26. Кубиты и квантовые гейты
27. Квантовые алгоритмы (алгоритм Шора, алгоритм Гровера)
28. Взаимодействие системы с окружением
29. Квантовая теория измерения
30. Квантовые материалы
31. Сверхпроводимость и сверхтекучесть
32. Квантовые сенсоры.

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. **Квантовые системы и приближенные методы**
   - Теория возмущений (статическая и динамическая).
   - Квазиклассическое приближение (метод ВКБ).
2. **Квантовая динамика**
   - Уравнение Шрёдингера во временной зависимости.
   - Теория рассеяния.
3. **Многочастичные системы**
   - Симметрия волновых функций.
   - Вторичное квантование и статистика частиц.
4. **Современные аспекты квантовой механики**
   - Запутанность и квантовые корреляции.
   - Основы квантовой информации и вычислений.

Задания:

- Решение задач по спектральному разложению операторов.
- Численные расчеты волновых функций с использованием Python/MATLAB.
- Анализ экспериментальных данных по квантовым эффектам.
- Написание рефератов по современным квантовым технологиям.

Эти вопросы и задания помогут закрепить ключевые концепции курса.

4.4. Перечень вопросов для экзамена

1. Что такое унитарные операторы эволюции? Их свойства и физический смысл.
2. Вывод временного уравнения Шрёдингера.
3. Оператор Гамильтониана: спектральные свойства и физическое значение.
4. Основные положения стационарной теории возмущений.
5. Метод вариационного принципа: примеры и область применения.
6. Возмущения во времени: правило Ферми и его следствия.

7. Определение и физический смысл дифференциального и полного сечения рассеяния.
8. Разложение по парциальным волнам: основные идеи и применение.
9. Приближение Борна: условия применимости и примеры.
10. Принцип тождественности частиц: формулировка и примеры.
11. Симметрия волновых функций для бозонов и фермионов.
12. Физический смысл запутанности квантовых состояний.
13. Опыт Эйнштейна, Подольского и Розена: постановка задачи и выводы.
14. Основные положения и следствия теорем Белла.
15. Уравнение Клейна–Гордона: формулировка и проблема отрицательной энергии.
16. Уравнение Дирака: его построение и интерпретация.
17. Симметрии уравнения Дирака: инвариантность и преобразования Лоренца.
18. Антиположительно заряженные состояния и их интерпретация.
19. Минимальное сопряжение в уравнении Дирака: взаимодействие с электромагнитным полем.
20. Магнитный момент электрона и его квантовомеханическое описание.
21. Вторичное квантование: основные идеи и принципы.
22. Операторы рождения и уничтожения: их свойства и применение.
23. Алгебра бозонных и фермионных операторов.
24. Диаграммы Фейнмана: виртуальные частицы и вероятности переходов.
25. Принцип калибровочной симметрии и его роль в физике.
26. Основы квантовой электродинамики: ключевые положения.
27. Квантовые гейты и их реализация в квантовых вычислениях.
28. Основные принципы работы алгоритмов Шора и Гровера.
29. Декогеренция: механизмы и роль в квантово-классическом переходе.
30. Квантовая теория измерения и её фундаментальные аспекты.
31. Квантовые материалы: их особенности и перспективы.
32. Сверхпроводимость и сверхтекучесть с точки зрения квантовой механики.
33. Квантовые сенсоры: принципы работы и области применения.

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: Углубленный курс квантовой механики
(бакалавриат III-ий курс, II -ой семестр)

Экзаменационный билет № **

1. Вывод временного уравнения Шрёдингера.
2. Диаграммы Фейнмана: виртуальные частицы и вероятности переходов.
3. Задача.

Зав. кафедрой ОФКН _____Д.Б. Айрапетян