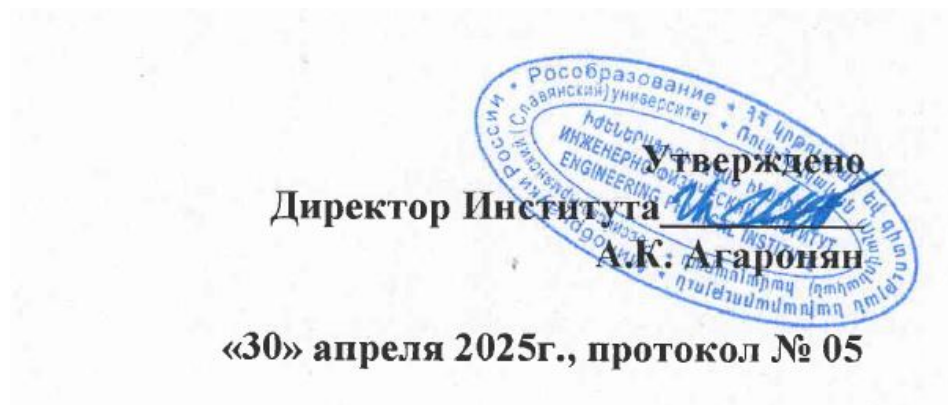


ГОУ ВПО Российско-Армянский (Славянский) университет



УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ

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

Автор (ы) Саркисян Айк Араевич, 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;

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 ОПК-1.2 ОПК-1.3	Знает фундаментальные законы природы и основные физические и математические законы Умеет применять физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера Владеет навыками

			использования знаний физики и математики при решении практических задач
ОПК-2	Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных	ОПК-2.1 ОПК-2.2 ОПК-2.3	Знает основные методы и средства проведения экспериментальных исследований, системы стандартизации и сертификации Умеет выбирать способы и средства измерений и проводить экспериментальные исследования Владеет способами обработки и представления полученных данных и оценки погрешности результатов измерений
ОПК-3	Способен применять методы поиска, хранения, обработки, анализа и представления в требуемом формате информации из различных источников и баз данных, соблюдая при этом основные требования информационной безопасности	ОПК-3.1 ОПК-3.2 ОПК-3.3	Знает, как использовать информационно-коммуникационные технологии при поиске необходимой информации и современные принципы поиска, хранения, обработки, анализа и представления в требуемом формате информации Умеет решать задачи обработки данных с помощью современных средств автоматизации Владеет навыками обеспечения информационной безопасности
ПК-1	Готов формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач	ПК-1.1 ПК-1.2 ПК-1.3	Знает принципы построения и функционирования изделий микро- и нанoeлектроники Умеет рассчитывать предельно-допустимые и предельные режимы работы изделий микро- и нанoeлектроники Владеет навыками выбора теоретических и экспериментальных методов исследования изделий

			микро- и наноэлектроники
ПК-6	Способен анализировать состояние научно-технической проблемы путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников	ПК-6.1	Знает современные технические требования к выбору конструктивно-технологического базиса изделий микро- и наноэлектроники
		ПК-6.2	Умеет анализировать литературные и патентные источники при разработке изделий микро- и наноэлектроники
		ПК-6.3	Владеет навыками конструирования изделий микро- и наноэлектроники

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- $\frac{1}{2}$ 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 Лалоз. 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
	M1 ¹	M2	M1	M2	M1	M2		
Вид учебной работы/контроля								
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
	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$

¹ Учебный Модуль

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 Лалоз. 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- $\frac{1}{2}$ 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**
 - о Теория возмущений (статическая и динамическая).
 - о Квазиклассическое приближение (метод ВКБ).
- 2. Квантовая динамика**
 - о Уравнение Шрёдингера во временной зависимости.
 - о Теория рассеяния.
- 3. Многочастичные системы**
 - о Симметрия волновых функций.
 - о Вторичное квантование и статистика частиц.
- 4. Современные аспекты квантовой механики**
 - о Запутанность и квантовые корреляции.
 - о 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

ГОУ ВПО РОССИЙСКО-АРМЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНЖЕНЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
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