

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет»

Утверждаю:

Проректор по ОДиМП

Сердитова Н.Е.



«30» января 2023 г.

Рабочая программа факультативной дисциплины (с аннотацией)

Дополнительные главы квантовой механики

ООП, реализуемые на физико-техническом, математическом, химико-
технологическом факультетах

Для студентов

3,4 курса бакалавриата, 3-5 специалитета, магистратуры,
очной формы обучения

Составитель: к.ф.-м.н., доцент Зубков В.В.

Тверь, 2023

I. Аннотация

1. Цель и задачи дисциплины

Целью освоения дисциплины является закрепление и углубление студентами фундаментальных основ квантовой механики.

Задачами освоения дисциплины являются:

- подробный разбор фундаментальных принципов, лежащих в основе квантовой механики;
- углубленное изучение математических основ квантовой механики;
- подробный анализ так называемых парадоксов квантовой механики;

2. Место дисциплины в структуре ООП

Факультативная дисциплина «Дополнительные главы квантовой механики» тесно связана с дисциплиной «Квантовая механика». Дисциплина «Дополнительные главы квантовой механики» содержит, с одной стороны, материал, который ввиду ограниченности часов, не может быть в полной мере раскрыт в рамках основного курса «Квантовая механика». С другой стороны, дисциплина «Дополнительные главы квантовой механики» содержит дополнительный материал, выходящий за рамки основного курса «Квантовая механика», и может быть полезен не только студентам-физикам, но также студентам химических и математических направлений обучения.

Теоретические дисциплины (или модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (или модуля) необходимо как предшествующее: курс теоретической механики, электродинамики, а также математических дисциплин, таких как векторный и тензорный анализ, теория функций комплексной переменной и методы математической физики. Некоторые необходимые элементы математического и функционального анализа и алгебры, не входящие в стандартный курс высшей математики, читаемой для физиков (а также химиков), вводятся по мере необходимости.

3. Объем дисциплины: 2 зачетные единицы, 72 академических часа, в том числе:

контактная аудиторная работа: лекции 36 часов

самостоятельная работа: 36 часов.

4. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Планируемые результаты освоения образовательной программы (формируемые компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
УК-1. Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1. Анализирует задачу, выделяя ее базовые составляющие; УК-1.2. Определяет, интерпретирует и ранжирует информацию, требуемую для решения поставленной задачи;
ОПК-1. Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности.	ОПК-1.2. Применяет знания в области физико-математических наук при решении практических задач в сфере профессиональной деятельности.

5. Форма промежуточной аттестации и семестр прохождения

Зачет

6. Язык преподавания: русский.

II. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий.

1. Для студентов очной формы обучения

Учебная программа – наименование разделов и тем	Всего (час.)	Контактная работа (час.)				Самостоятельная работа, в том числе Контроль (час.)
		Лекции		Семинарские/Практические занятия/Лабораторные работы (<i>оставить нужное</i>)		
		всего	в т.ч. практичес	всего	в т.ч. практичес	

			кая ПОДГОТОВК а		кая ПОДГОТОВК а		
1. Понятие состояния в квантовой механике. Матрица плотности и вектор состояния. Чистое и смешанное состояния.		3					3
2. Уравнения эволюции системы в квантовой теории. Уравнение Гайзенберга, Шредингера и фон-Неймана.		2					2
3. Теория измерений. Декогеренция. Квантовый парадокс Зенона. Теорема Халфина. Составные системы.		3					3
4. Принцип неопределенностей Гайзенберга и Робертсона- Шредингера. Мысленный эксперимент Фейнмана и его экспериментальна я проверка. Эксперимент Тономуры. Принцип дополнительности.		2					2
5. Двухуровнев ые системы. Осцилляции Раби. Кубит.		3					3
6. Квантовый осциллятор.		3					3

Спектр. Матричное представление.							
7. Когерентные состояния. Сжатые состояния света.		3					3
8. Парадокс Эйнштейна- Подольского- Розена. Нелокальность квантовой теории. Квантовый Чеширский кот.		2					2
9. Эксперимент с отложенным выбором. Мысленный эксперимент Элицура и Вайдмана и его проверка.		2					2
10. Неравенства Белла и их проверка. GHZ – парадокс.		3					3
11. Обратная задача в квантовой механике. Сдвиги квантовых уровней и их уничтожение.		3					3
12. Пропагатор. Интегралы по траекториям.		3					3
13. Элементы квантовой информатики. Теорема о запрете квантового клонирования. Понятие квантового компьютера. Квантовая телепортация.		4					4
ИТОГО	72	36					36

III. Образовательные технологии

Образовательные технологии по каждой теме: традиционная лекция, и активное слушание.

Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

- тематика рефератов и методические рекомендации по их написанию;
- методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов;
- мультимедийные презентации.

IV. Оценочные материалы для проведения текущей и промежуточной аттестации

Для проведения текущей и промежуточной аттестации:

ОПК-1. Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности

Примеры задач к зачёту:

Задание 1: Пусть система находится в состоянии

$$|\psi\rangle = \frac{1}{6} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 4 \end{pmatrix}.$$

Даны две наблюдаемые

$$\hat{A} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 2 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & i \\ 0 & -i & 1 \end{pmatrix}, \quad \hat{B} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -i \\ 0 & i & 0 \end{pmatrix}.$$

- a. Проводим измерения. Сначала измеряем наблюдаемую \hat{A} , затем тут же наблюдаемую \hat{B} . Найти вероятность получить значение 0 для наблюдаемой \hat{A} и значение 1 для наблюдаемой \hat{B} .
- b. Привели систему в исходное состояние. Теперь сначала измеряем наблюдаемую \hat{B} , затем тут же наблюдаемую \hat{A} . Найти вероятность получить значение 1 для наблюдаемой \hat{B} и значение 0 для наблюдаемой \hat{A} .
- c. Проанализируйте результаты пунктов a. и b.

Способ аттестации: Беседа со студентом

Критерии оценки: Ориентируется в теории и методах решения задач подобного типа – зачет.

Задание 2: Гамильтониан двухуровневой системы в матричном представлении имеет вид:

$$H = \hbar \begin{pmatrix} \omega_1 & \omega_2 \\ \omega_2 & \omega_1 \end{pmatrix}.$$

Пусть базисные векторы есть

$$|0\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad |1\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}.$$

В начальный момент $|\psi(0)\rangle = |0\rangle$. Найти а) собственные значения и собственные векторы гамильтониана, записав последние в виде разложения по базисным векторам;

- а) эволюцию состояния, используя оператор эволюции
- б) эволюцию состояния, решив уравнение Шредингера

$$i\hbar \frac{d}{dt} |\psi\rangle = \hat{H} |\psi\rangle$$

Способ аттестации: Беседа со студентом

Критерии оценки: Ориентируется в теории и методах решения задач подобного типа – зачет.

Задание 3: Даны три базиса. Первый, который будем называть *каноническим*,

$$|H\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad |V\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix},$$

второй

$$|+\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|H\rangle + |V\rangle) = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix},$$
$$|-\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|H\rangle - |V\rangle) = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 \\ -1 \end{pmatrix},$$

отвечающий диагональной поляризации света (под углами 45° и -45° соответственно), и базис

$$|R\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|H\rangle + i|V\rangle) = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 \\ i \end{pmatrix},$$
$$|L\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|H\rangle - i|V\rangle) = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 \\ -i \end{pmatrix},$$

отвечающий круговой поляризации света (правой и левой соответственно).

а) Разложите векторы канонического базиса по векторам второго и третьего базисов.

б) Найдите матрицу оператора $|+\rangle\langle-|$ в каноническом базисе и базисе круговом.

в) Найдите в каноническом базисе матрицу линейного оператора, отображающего вектор $|H\rangle$ на $|R\rangle$ и вектор $|V\rangle$ на вектор $2|H\rangle$.

Способ аттестации: Беседа со студентом

Задание 4: Рассмотрим пример так называемого квантового вентиля – преобразование (ворота) Адамара:

$$H = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix}.$$

Проверьте, является ли матрица Адамара эрмитовой, унитарной. Найдите собственные векторы и собственные значения этой матрицы. Осуществите спектральное разложение оператора Адамара.

Способ аттестации: Беседа со студентом.

УК-1. Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач.

Примеры тем для самостоятельного изучения:

1. Эвереттовская интерпретация квантовой механики.
2. Квантовый дарвинизм Цурека.
3. Парадокс друга Вигнера и реальность вектора состояния.
4. Вигнеровское представление и квантовая томография.
5. Квантовые вычисления: алгоритм Дойтча-Джоза.
6. Квантовая криптография. Протокол Ч. Беннета и Ж. Brassara (BB84).
7. Концепция «волны-пилота» Дэвида Бома.

Темы может предлагать студент самостоятельно, исходя из своих интересов.

Способ аттестации: беседа со студентом.

Критерии оценки: провел анализ литературы по выбранной тематике, показал знание материала и четко изложил результаты исследования – зачет.

V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

1) Рекомендуемая литература

а) Основная литература:

1. Давыдов А.С. Квантовая механика. М.: Наука, 1973.
https://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=499379
2. Мессиа А. Квантовая механика. Том. 1. М.: Наука, 1978.
https://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=499392
3. Мессиа А. Квантовая механика. Том. 2. М.: Наука, 1979.
https://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=499393
4. Фейнман Р., Хибс А. Квантовая механика и интегралы по траекториям М.: Мир, 1968. 381 с. https://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=499382
5. Белинский А.В. Квантовые измерения. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2008.-182с.
6. Гринштейн Д., Зайонц А. Квантовый вызов. Современные исследования оснований квантовой механики. Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2012. - 432 с. <https://znanium.com/catalog/product/1117883>
7. Львовский А. Отличная квантовая механика. М.: АНФ, 2019. 422с
8. Попов Д. Е. Введение в физику квантовой информации. Кострома: Костромской государственной университет (КГУ), 2012. – 216 с. URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=275646

б) Дополнительная литература:

1. Киселев В.В. Квантовая механика: курс лекций. М.: МЦНМО, 2009.
https://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=62965
2. Копытин И. В., Корнев А. С., Манаков Н. Л., Фролов М. В. Квантовая теория: курс лекций. М.; Берлин: Директ-Медиа, 2018
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=480949>

3. Ведринский Р. В. Квантовая механика. Ростов-на-Дону: Издательство ЮФУ, 2009. <https://znanium.com/catalog/product/553266>
4. Хренников А. Ю. Введение в квантовую теорию информации. М.: Физматлит, 2008. – 141 с. https://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=69478
5. Жизан Н. Квантовая случайность. Нелокальность, телепортация и другие квантовые чудеса. М.: Альпина нон-фикшн, 2016. - 202 с. <https://znanium.com/catalog/product/550060>
6. Менский М.Б. Квантовые измерения и декогеренция. М.: Физматлит, 2001.-232с.
7. Румянцев К. Е. Квантовые технологии в телекоммуникационных системах. Ростов-на-Дону; Таганрог: Южный федеральный университет, 2021. – 346 с. <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=683951>
8. Белокуров В.В., Тимофеевская О.Д., Хрусталеv О.А. Квантовая телепортация - обыкновенное чудо. Ижевск: РХД, 2000,256 с.

2) Программное обеспечение

- а) Лицензионное программное обеспечение
- б) Свободно распространяемое программное обеспечение

3) Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

- 1.ЭБС«ZNANIUM.COM» www.znanium.com
- 2.ЭБС «Университетская библиотека онлайн» <https://biblioclub.ru/>
- 3.ЭБС «Лань» <http://e.lanbook.com>

VI. Методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов:

- 1) Изучить рекомендуемую литературу. Провести поиск дополнительной литературы в интернете.
- 2) Просмотреть задачи, разобранные на аудиторных занятиях. Задачи на зачете будут из тех, что рассматриваются на занятиях.
- 3) Разобрать задачи, рекомендованные преподавателем для самостоятельного решения (как правило, это задания, связанные с развитием рассмотренных на занятии задач), используя, при необходимости, примеры решения аналогичных задач.
- 4) Обсудить проблемы, возникшие при решении задач с преподавателем.

Для получения зачёта необходимо:

- 1) Решить задачи, рекомендуемые преподавателем на занятиях.
- 2) Подготовить исследовательскую реферативную работу по выбранной теме и доложить ее результаты преподавателю.

VII. Материально-техническое обеспечение

VIII. Сведения об обновлении рабочей программы дисциплины

№ п.п.	Обновленный раздел рабочей программы дисциплины	Описание внесенных изменений	Реквизиты документа, утвердившего изменения
1.			
2.			