

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»**

---

УТВЕРЖДАЮ  
Директор ИБСиБ  
\_\_\_\_\_ А.В. Васин  
«30» мая 2025 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**«Квантовая механика биологических систем»**

Разработчик	Высшая школа биомедицинских систем и технологий
Направление (специальность) подготовки	06.05.01 Биотехнология и биоинформатика
Наименование ООП	06.05.01_01 Биотехнология и биоинформатика
Квалификация (степень) выпускника	<b>биотехнолог и биоинформатик</b>
Образовательный стандарт	<b>СУОС</b>
Форма обучения	<b>Очная</b>

**СОГЛАСОВАНО**

Руководитель ОП

\_\_\_\_\_ Д.И. Богомаз

«15» апреля 2025 г.

Соответствует СУОС

Утверждена протоколом заседания  
высшей школы "ВШБСиТ"

от «15» апреля 2025 г. № 6

РПД разработал:

Доцент, к.б.н. Д.И. Богомаз

# 1. Цели и планируемые результаты изучения дисциплины

## Цели освоения дисциплины

1. ознакомление студентов со специфическими квантовыми свойствами и закономерностями микрообъектов, с применением законов квантовой механики для анализа физических явлений и процессов
2. изучение фундаментальных принципов квантовой механики и ее наиболее важных проблем

## Результаты обучения выпускника

Код	Результат обучения (компетенция) выпускника ООП
ОПК-2	Способен использовать специализированные знания фундаментальных разделов математики, физики, химии и биологии для проведения исследований в области биоинженерии, биоинформатики и смежных дисциплин (модулей)
ИД-8 ОПК-2	Использует специализированные знания фундаментальных разделов квантовой химии для проведения исследований в области биоинженерии, биоинформатики и смежных дисциплин (модулей)

## Планируемые результаты изучения дисциплины

### знания:

- Знание специализированных знаний фундаментальных разделов квантовой химии для проведения исследований в области биоинженерии, биоинформатики и смежных дисциплин (модулей)

### умения:

- Умение использовать специализированные знания фундаментальных разделов квантовой химии для проведения исследований в области биоинженерии, биоинформатики и смежных дисциплин (модулей)

### навыки:

- Владение специализированными знаниями фундаментальных разделов квантовой химии для проведения исследований в области биоинженерии, биоинформатики и смежных дисциплин (модулей)

## **2. Место дисциплины в структуре ООП**

В учебном плане дисциплина «Квантовая механика биологических систем» относится к модулю «Теоретическая физика».

Изучение дисциплины базируется на результатах освоения следующих дисциплин:

- Физика

### 3. Распределение трудоёмкости освоения дисциплины по видам учебной работы и формы текущего контроля и промежуточной аттестации

#### 3.1. Виды учебной работы

Виды учебной работы	Трудоёмкость по семестрам
	Очная форма
Лекционные занятия	14
Практические занятия	14
Самостоятельная работа	53
Часы на контроль	16
Промежуточная аттестация (экзамен)	11
Общая трудоёмкость освоения дисциплины	108, ач
	3, зет

#### 3.2. Формы текущего контроля и промежуточной аттестации

Формы текущего контроля и промежуточной аттестации	Количество по семестрам
	Очная форма
Промежуточная аттестация	
Экзамены, шт.	1

### 4. Содержание и результаты обучения

#### 4.1 Разделы дисциплины и виды учебной работы

№ раздела	Разделы дисциплины, мероприятия текущего контроля	Очная форма		
		Лек, ач	Пр, ач	СР, ач
1.	Экспериментальные основы и математический аппарат квантовой механики	2	2	9
2.	Точно решаемые квантово-механические задачи. Частица в потенциальной яме. Движение в поле центральных сил.	4	4	16
3.	Приближенные методы квантовой механики. Теория возмущений.	4	4	10

4.	Элементы теории излучения.	2	2	10
5.	Спин и системы тождественных частиц	2	2	8
<b>Итого по видам учебной работы:</b>		14	14	53
Экзамены, ач				16
<b>Часы на контроль, ач</b>				16
<b>Промежуточная аттестация (экзамен)</b>		11		
<b>Общая трудоёмкость освоения: ач / зет</b>		108 / 3		

## 4.2. Содержание разделов и результаты изучения дисциплины

Раздел дисциплины	Содержание
<b>1. Экспериментальные основы и математический аппарат квантовой механики</b>	<p>Введение. Основные этапы становления квантовой теории.</p> <p>Экспериментальные основы квантовой механики.</p> <p>Несостоятельность классической физики при объяснении атомных явлений (распределение энергии в спектре излучения абсолютно черного тела; модель атома Резерфорда и проблема ее устойчивости; линейчатый характер атомных спектров).</p> <p>Постулаты</p> <p>Бора и их экспериментальное подтверждение. Квантование круговых орбит в атоме водорода. Уровни энергии и спектральные серии водородоподобного атома. Трудности теории Бора.</p> <p>Элементарная квантовая теория света и объяснение на ее основе фотоэлектрического эффекта, эффекта Комптона. Гипотеза де Бройля о корпускулярно-волновой природе микрочастиц и ее экспериментальные подтверждения (опыты по дифракции электронов, нейтронов, атомов и молекул). Математический аппарат квантовой механики. Понятие о волновой функции квантово-механической системы.</p> <p>Статистическое толкование волн де Бройля. Вероятностный характер</p> <p>законов квантовой механики. Уравнение Шрёдингера для свободной частицы и частицы во внешнем потенциальном поле.</p> <p>Стационарные состояния. Уравнение Шрёдингера для стационарных состояний. Уравнение непрерывности в квантовой механике. Вектор плотности потока вероятности. Принцип суперпозиции состояний в квантовой механике. Изображение физических величин линейными самосопряженными операторами.</p> <p>Операторы координаты, импульса, момента количества движения, энергии. Теоремы о собственных функциях и</p> <p>собственных значениях линейных самосопряженных операторов.</p> <p>Средние значения физических величин и вероятности их</p> <p>дозволённых значений. Соотношения коммутации. Понятие о полном наборе физических величин. Соотношение неопределенностей для координаты и импульса. Неравенство Гейзенберга. Дифференцирование операторов по времени и законы сохранения в квантовой механике. Связь законов сохранения с симметрией пространства и времен</p>

<p><b>2. Точно решаемые квантово-механические задачи. Частица в потенциальной яме. Движение в поле центральных сил.</b></p>	<p>Взаимосвязь квантовой и классической механики. Обобщение уравнения Гамильтона-Якоби в квантовой механике. Предельный переход к классической механике. Теоремы Эренфеста. Принцип причинности в квантовой механике. Одномерные квантово-механические задачи. Задача о частице в одномерном, абсолютно непроницаемом ящике. Линейный гармонический осциллятор, его энергетический спектр и волновые функции. Взаимодействие микрочастицы с потенциальной ступенькой. Надбарьерное рассеяние. Прохождение частицы через потенциальный барьер прямоугольной и произвольной формы. Туннельный эффект. Общие свойства одномерного движения микрочастицы. Движение в центрально-симметричных полях. Проблема двух тел в квантовой механике и ее сведение к задаче о движении одной частицы в центрально-симметрическом поле. Интегралы движения. Операторы момента импульса, их собственные функции и собственные значения. Радиальное уравнение Шредингера. Поведение радиальной волновой функции на больших и малых расстояниях от центра поля. Водородоподобный атом (энергетические уровни и структура волновых функций дискретного спектра; «случайное» вырождение; радиальная и угловая плотности электронного облака; спектроскопическая классификация состояний; круговые токи в атоме и магнитный момент орбитального движения электрона). Квантование энергии вращения (пространственный ротатор)</p>
<p><b>3. Приближенные методы квантовой механики. Теория возмущений.</b></p>	<p>Теория возмущений. Понятие о различных представлениях состояния квантово-механической системы. Матричное представление операторов. Уравнение Шредингера в матричной форме. Постановка задач, решаемых методами теории возмущения. Теория стационарного возмущения при отсутствии и наличии вырождения. Силы Ван-дер-Ваальса. Изотопический сдвиг уровней водородоподобного атома. Теория вынужденных квантовых переходов. Вариационный принцип. Применение теории возмущений и вариационного принципа для расчета энергии атома гелия.</p>

<b>4. Элементы теории излучения.</b>	Вероятность вынужденных электродипольных переходов. Коэффициенты Эйнштейна для индуцированных и спонтанных переходов. Соотношение неопределенности для энергии и времени. Интенсивность и естественная ширина спектральных линий. Правила отбора для электрического дипольного излучения осциллятора и оптического электрона в атоме.
<b>5. Спин и системы тождественных частиц</b>	Принцип тождественности одинаковых микрочастиц. Оператор перестановки частиц. Симметричные и асимметричные состояния. Бозоны и фермионы. Принцип Паули. Приближенная теория атома гелия. Синглетные и триплетные уровни (орто- и парагелий). Обменное взаимодействие. Многоэлектронные атомы. Понятие о методе самосогласованного поля; правила сложения моментов; типы связей электронов в атомах.

## 5. Образовательные технологии

В процессе изучения дисциплины предусматривается использование в учебном процессе следующих активных и интерактивных форм проведения занятий: • лекции; • семинарские занятия.



## 6. Лабораторный практикум

Не предусмотрено

## 7. Практические занятия

№ раздела	Наименование практических занятий (семинаров)	Трудоемкость, ач
		Очная форма
1.	Задачи на темы: Собственные функции и собственные значения операторов. 1.Собственные функции и собственные значения операторов импульса, проекции момента импульса и его квадрата. 2. Коммутаторы. Коммутационные соотношения для координат и импульсов, проекций момента количества движения.	2
2.	Задачи на темы: Частица в одномерном потенциальном ящике. Линейный гармонический осциллятор. Вычисление энергии нулевых колебаний на основе неравенства Гейзенберга. Вычисление амплитуд вероятностей с помощью условия нормировки волновых функций.	4
3.	Задачи на темы: Применение теории возмущений и вариационного принципа для расчета энергии атомов.	4
4.	Задачи на темы: Квантовые переходы в условиях нестационарного возмущения. 1.Вероятность квантовых переходов под влиянием периодического возмущения. Электрические дипольные переходы. 2.Правила отбора для орбитального и магнитного квантовых чисел. 3.Вычисление коэффициентов Эйнштейна. 4.Естественная ширина энергетического уровня. 5.Упругое рассеяние частиц в первом приближении теории возмущений.	2
5.	Задачи на темы: 1.Перестановочные соотношения для операторов спина. 2. Матрицы Паули. 3.Операторы повышения и понижения проекции спина.4. Применение теории возмущений двухкратно вырожденного уровня для определения энергетического спектра двухэлектронной системы. 5.Определение вида триплетных и синглетных волновых функций.	2
Итого часов		14

## 8. Организация и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы

## Примерное распределение времени самостоятельной работы студентов

Вид самостоятельной работы	Примерная трудоемкость, ач
	Очная форма
<b>Текущая СР</b>	
работа с лекционным материалом, с учебной литературой	4
опережающая самостоятельная работа (изучение нового материала до его изложения на занятиях)	4
самостоятельное изучение разделов дисциплины	6
выполнение домашних заданий, домашних контрольных работ	19
подготовка к лабораторным работам, к практическим и семинарским занятиям	8
подготовка к контрольным работам, коллоквиумам	12
<b>Итого текущей СР:</b>	<b>53</b>
<b>Творческая проблемно-ориентированная СР</b>	
выполнение расчётно-графических работ	0
выполнение курсового проекта или курсовой работы	0
поиск, изучение и презентация информации по заданной проблеме, анализ научных публикаций по заданной теме	0
работа над междисциплинарным проектом	0
исследовательская работа, участие в конференциях, семинарах, олимпиадах	0
анализ данных по заданной теме, выполнение расчётов, составление схем и моделей на основе собранных данных	0
<b>Итого творческой СР:</b>	<b>0</b>
<b>Общая трудоемкость СР:</b>	<b>53</b>

## 9. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

### 9.1. Адрес сайта курса

<https://ruz.spbstu.ru/>

## 9.2. Рекомендуемая литература

### Основная литература

№	Автор, название, место издания, издательство, год (годы) издания	Год изд.	Источник
1	Лыков С.Н., Ипатова И.П. Квантовая механика, 2008. URL: <a href="http://elib.spbstu.ru/dl/2379.pdf">http://elib.spbstu.ru/dl/2379.pdf</a>	2008	ЭБ СПбПУ
2	Лыков С.Н. и др. Квантовая механика. Задачи с решениями, 2008. URL: <a href="http://elib.spbstu.ru/dl/2380.pdf">http://elib.spbstu.ru/dl/2380.pdf</a>	2008	ЭБ СПбПУ

### Дополнительная литература

№	Автор, название, место издания, издательство, год (годы) издания	Год изд.	Источник
1	Ватажок Ю.Я., Рудской А.И., Глухов В.В. "Что такое жизнь?"- понимание жизни Э.Шредингером // XXXIV неделя науки СПбПУ. 2006. Физико-механический факультет URL: <a href="http://elib.spbstu.ru/dl/007020.pdf">http://elib.spbstu.ru/dl/007020.pdf</a>	2006	ЭБ СПбПУ

### Ресурсы Интернета

1. Ресурс по изучению квантовой механики: <https://www.khanacademy.org/science/physics/quantum-physics>

## 9.3. Технические средства обеспечения дисциплины

Операционная система Windows XP (или выше);

Программа для создания и проведения презентаций Microsoft Power Point

## 10. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Лекционная аудитория, оснащенная презентационной

техникой (проектор, экран, компьютер) и соответствующим программным обеспечением (PowerPoint)

## 11. Критерии оценивания и оценочные средства

### 11.1. Критерии оценивания

Для дисциплины «Квантовая механика биологических систем» формой аттестации является экзамен. Оценивание качества освоения дисциплины производится с использованием рейтинговой системы.

Зачет с оценкой проводится в конце семестра. На зачете оцениваются полученные теоретические и практические знания, их прочность, развитие творческого мышления, приобретение навыков самостоятельной работы, умение синтезировать полученные знания и применять их.

### 11.2. Оценочные средства

Примерные вопросы к экзамену

1. Формула Планка.
  2. Теория фотонов Эйнштейна.
  3. Дискретность атомных состояний. Теория водородоподобного атома по Бору.
  4. Волновые свойства частиц. Гипотеза де Бройля.
  5. Описание состояния с помощью волновой функции. Волновая функция де Бройля для свободной частицы.
  6. Статистическая интерпретация волновой функции.
  7. Уравнение Э. Шредингера.
  8. Стационарные состояния.
  9. Плотность тока вероятности.
  10. Сопоставление операторов физическим величинам в квантовой механике.
  11. Принцип суперпозиции состояний и линейность операторов в квантовой механике.
  12. Собственные функции и собственные значения операторов.
  13. Самосопряженные операторы. Вещественность их собственных значений.
  14. Ортогональность и нормировка собственных функций.
  15. Средние значения физических величин.
  16. Коммутация операторов. Условие совместной определенности физических величин.
  17. Неравенство Гейзенберга. Соотношение неопределенностей.
  18. Изменение во времени средних значений физических величин.
- Дифференцирование операторов по времени.
19. Законы сохранения в квантовой механике и их связь со свойствами симметрии пространства и времени.

20. Теоремы Эрэнфеста. Принцип причинности в квантовой механике.
21. Обобщение уравнения Гамильтона-Якоби в квантовой механике.
22. Предельный переход к классической механике.
23. Частица в потенциальном ящике.
24. Линейный гармонический осциллятор.
25. Взаимодействие микрочастицы с прямоугольной потенциальной ступенькой.
26. Прохождение частицы через потенциальный барьер. Туннельный эффект.
27. Движение в центрально-симметричном поле. Разделение переменных в уравнении Шрёдингера.
28. Собственные функции и собственные значения оператора момента импульса.
29. Радиальное уравнение Шрёдингера. Энергетический спектр водородоподобного атома.
30. Радиальные волновые функции стационарных состояний водородоподобного атома и радиальная плотность вероятности.
31. Классификация состояний в атоме водорода.
32. Стационарная теория возмущений невырожденного уровня.
33. Стационарная теория возмущений при наличии вырождения.
34. Теория возмущения, зависящего от времени. Квантовые переходы под влиянием возмущения, периодически зависящего от времени.
35. Вероятность электрических дипольных переходов при взаимодействии заряженной частицы с электрическим полем электромагнитной волны.
36. Коэффициенты Эйнштейна.
37. Правила отбора для орбитального и магнитного квантовых чисел.
38. Спин электрона. Экспериментальные факты.
39. Операторы спина. Матрицы Паули.
40. Полный момент количества движения электрона. Спин - орбитальное взаимодействие.
41. Тонкая структура спектров водородоподобных атомов.
42. Нормальный эффект Зеемана.
43. Аномальный эффект Зеемана.
44. Принцип неразличимости одинаковых микрочастиц.
45. Симметричные и антисимметричные состояния. Бозоны и фермионы.
46. Принцип Паули.
47. Периодическая система элементов Д.И. Менделеева.
48. Атом гелия. Пара- и ортогелий. Обменное взаимодействие.
49. Молекула водорода. Природа ковалентной химической связи.
50. Спин и валентность

## **12. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины**

Лекции. При изучении предмета очень важно посещать лекции и подробно записывать излагаемый на них материал. Это обусловлено тем, что в учебных пособиях не содержатся детальные математические преобразования. В процессе чтения лекций материал излагается доказательно, подробно, со всеми промежуточными выкладками. Присутствующий на лекции студент становится соучастником процесса получения всех основных физических результатов. Только таким способом, постигая шаг за шагом весьма непростые вопросы, можно понять логику дисциплины и её основное содержание. В процессе самостоятельной работы над курсом лекций необходимо уделить внимание основным понятиям, перечисленным в терминологическом минимуме по каждому разделу, и научиться самостоятельно выводить все главные формулы и уравнения.

Семинары и практические занятия. Подготовка к семинарам и практическим занятиям предполагает работу с конспектом лекций и самостоятельное решение задач из домашних заданий.

Контрольная работа. В процессе подготовки к контрольной работе необходимо обратить внимание на вопросы, сформулированные в заданиях для самостоятельной работы, а также проанализировать решение типичных задач на практических занятиях.

## **13. Адаптация рабочей программы для лиц с ОВЗ**

Адаптированная программа разрабатывается при наличии заявления со стороны обучающегося (родителей, законных представителей) и медицинских показаний (рекомендациями психолого-медико-педагогической комиссии). Для инвалидов адаптированная образовательная программа разрабатывается в соответствии с индивидуальной программой реабилитации.