

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Высшая школа общей и прикладной физики

УТВЕРЖДЕНО решением Ученого совета ННГУ
протокол от «31» мая 2023 г. № 6

Рабочая программа дисциплины

Квантовая механика

Уровень высшего образования
Бакалавриат

Направление подготовки / специальность
03.03.02 – Физика

Направленность образовательной программы
Фундаментальная физика

Форма обучения
Очная

Нижний Новгород

2023 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.О.11.03 «Квантовая механика» относится к обязательной части ООП направления подготовки 03.03.02 Физика.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ОПК-1: Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности	ОПК-1.1: Демонстрация способности применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности	ОПК-1.1: Знать основы квантовой механики микроскопических систем; операторы основных физических величин, уравнение Шредингера и основные приближения, используемые при его решении в различных физических ситуациях. Уметь пользоваться Шредингеровским и Гейзенберговским подходами для решения стационарных квантовомеханических задач и вычисления измеримых величин. Владеть навыками решения задач, основанных на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях.	Задачи	Задачи Собеседование
ОПК-3: Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования	ОПК-3.1: Демонстрация способности использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования	ОПК-3.1: Знать основные принципы современных информационных технологий Уметь применять полученные знания о современных информационных технологиях для решения задач профессиональной деятельности.	Задачи	Задачи Собеседование

информационной безопасности.	информационной безопасности	Владеть навыками использования современных информационных технологий для решения задач профессиональной деятельности.		
------------------------------	-----------------------------	---	--	--

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	Очная
Общая трудоемкость	8
Часов по учебному плану	288
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	64
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	64
- КСР	4
самостоятельная работа	84
Промежуточная аттестация	72 Экзамен

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе				
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
	очная	очная	очная	очная	очная	Очная
Проблемы классической физики и необходимость квантовой теории	14	4	4	0	8	6
Волновая функция и операторы в квантовой механике	14	4	4	0	8	6
Представления в квантовой механике	14	4	4	0	8	6

Импульс и момент импульса	14	4	4	0	8	6
Квантовая механика одномерных систем	14	4	4	0	8	6
Гармонический осциллятор	14	4	4	0	8	6
Атом водорода	14	4	4	0	8	6
Теория возмущений в квантовой механике (стационарная и нестационарная)	14	4	4	0	8	6
Квазиклассическое приближение	14	4	4	0	8	6
Основы теории рассеяния	14	4	4	0	8	6
Калибровочная инвариантность. Взаимодействие электромагнитного поля с веществом	18	6	6	0	12	6
Спин	18	6	6	0	12	6
Тождественные частицы. Вторичное квантование	18	6	6	0	12	6
Уравнение Дирака	18	6	6	0	12	6
Аттестация	72					
КСР	4				4	
Итого	288	64	64	0	132	84

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Для самостоятельной работы обучающимся предлагается использовать основную и дополнительную литературу и/или электронные Интернет-ресурсы.

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ОПК-1

Задача 1.1

В квазиклассическом приближении найти коэффициент прохождения через потенциальный барьер произвольной формы.

Задача 1.2

Используя уравнение Дирака, найти спектр релятивистского электрона в однородном магнитном поле. Рассмотреть нерелятивистский предел.

Задача 2.1

Найти коэффициент прохождения через прямоугольный потенциальный барьер.

Задача 2.2

Найти энергию связанного состояния в мелкой одномерной потенциальной яме.

Задача 2.3

Найти оператор поворота в спиновом пространстве (оператор преобразования спиноров при конечных вращениях) для частицы со спином $\frac{1}{2}$.

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ОПК-3

Задача 3.1

Найти расщепление уровня в двух потенциальных ямах, расположенных на конечном расстоянии, считая известными энергию и волновую функцию состояния в одной яме.

Задача 3.2

С помощью квазиклассического приближения получить уравнение Гамильтона-Якоби из уравнения Шредингера.

Задача 3.3

В рамках теории возмущений найти поправку второго порядка к волновой функции и поправку третьего порядка к энергии состояния. Все уровни считать невырожденными.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка		Критерии оценивания
Зачтено	Превосходно	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов. Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач.
	Отлично	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме. Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.
	Очень хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.

Оценка		Критерии оценивания
	Хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.
	Удовлетворительно	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибки. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме. Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами.
Не зачтено	Неудовлетворительно	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.
	Плохо	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие минимальных умений . Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа.

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		Зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.

	знаний вследствие отказа обучающегося от ответа		много негрубых ошибок	подготовки . Допущено несколько негрубых ошибок	подготовки . Допущено несколько несущественных ошибок	подготовок и. Ошибок нет.	
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
Зачтено	Превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	Отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	Хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	Удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	Неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	Плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации

5.3.2 Типовые задания, выносимые на промежуточную аттестацию:

Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ОПК-1

Задача 1.1

В квазиклассическом приближении найти коэффициент прохождения через потенциальный барьер произвольной формы.

Задача 1.2

Используя уравнение Дирака, найти спектр релятивистского электрона в однородном магнитном поле. Рассмотреть нерелятивистский предел.

Задача 2.1

Найти коэффициент прохождения через прямоугольный потенциальный барьер.

Задача 2.2

Найти энергию связанного состояния в мелкой одномерной потенциальной яме.

Задача 2.3

Найти оператор поворота в спиновом пространстве (оператор преобразования спиноров при конечных вращениях) для частицы со спином $\frac{1}{2}$.

Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ОПК-3

Задача 3.1

Найти расщепление уровня в двух потенциальных ямах, расположенных на конечном расстоянии, считая известными энергию и волновую функцию состояния в одной яме.

Задача 3.2

С помощью квазиклассического приближения получить уравнение Гамильтона-Якоби из уравнения Шредингера.

Задача 3.3

В рамках теории возмущений найти поправку второго порядка к волновой функции и поправку третьего порядка к энергии состояния. Все уровни считать невырожденными.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
Превосходно	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов.

Оценка	Критерии оценивания
	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач.
Отлично	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок. Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме. Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.
Очень хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок. Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.
Хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок. Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.
Удовлетворительно	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибки. Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме. Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами.
Неудовлетворительно	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продemonстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продemonстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.
Плохо	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие минимальных умений . Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа.

Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ОПК-1

1. Уравнение Шредингера. Оператор Гамильтона. Физический смысл волновой функции.
2. Гармонический осциллятор.

3. Общие свойства одномерного движения в квантовой механике.
4. Атом водорода. Спектр и волновые функции.
5. Операторы импульса и момента импульса.
6. Электрон в магнитном поле.
7. Основы теории представлений в квантовой механике.
8. Представления Шредингера и Гейзенберга.
9. Соотношения неопределенности.
10. Законы сохранения в квантовой механике.
11. Матрица плотности.
12. Стационарная теория возмущений в невырожденном спектре.
13. Уравнение Дирака.
14. Стационарная теория возмущений в вырожденном спектре.
15. Обменное взаимодействие.
16. Нестационарная теория возмущений.
17. Квантование электромагнитного поля.
18. Квазиклассическое приближение.
19. Спин.
20. Вторичное квантование для бозонов.
21. Вариационный метод в квантовой механике.
22. Вторичное квантование для фермионов.
23. Борновское приближение в теории рассеяния.
24. Тождественность частиц. Фермионы и бозоны.
25. Переход к нерелятивистскому пределу в уравнении Дирака. Релятивистские поправки.
26. Теория рассеяния в квантовой механике. Постановка задачи, фазы рассеяния, сечение рассеяния.
27. Плотность энергетических уровней.
28. Взаимодействие электрона с полем излучения. Спонтанное и вынужденное излучение
29. Правило квантования Бора-Зоммерфельда.

Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ОПК-3

1. Уравнение Шредингера. Оператор Гамильтона. Физический смысл волновой функции.
2. Гармонический осциллятор.
3. Общие свойства одномерного движения в квантовой механике.
4. Атом водорода. Спектр и волновые функции.
5. Операторы импульса и момента импульса.
6. Электрон в магнитном поле.
7. Основы теории представлений в квантовой механике.
8. Представления Шредингера и Гейзенберга.
9. Соотношения неопределенности.
10. Законы сохранения в квантовой механике.
11. Матрица плотности.
12. Стационарная теория возмущений в невырожденном спектре.
13. Уравнение Дирака.
14. Стационарная теория возмущений в вырожденном спектре.
15. Обменное взаимодействие.

16. Нестационарная теория возмущений.
17. Квантование электромагнитного поля.
18. Квазиклассическое приближение.
19. Спин.
20. Вторичное квантование для бозонов.
21. Вариационный метод в квантовой механике.
22. Вторичное квантование для фермионов.
23. Борновское приближение в теории рассеяния.
24. Тождественность частиц. Фермионы и бозоны.
25. Переход к нерелятивистскому пределу в уравнении Дирака. Релятивистские поправки.
26. Теория рассеяния в квантовой механике. Постановка задачи, фазы рассеяния, сечение рассеяния.
27. Плотность энергетических уровней.
28. Взаимодействие электрона с полем излучения. Спонтанное и вынужденное излучение
29. Правило квантования Бора-Зоммерфельда.

Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

Оценка	Критерии оценивания
Превосходно	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов. Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач.
Отлично	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме. Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.
Очень хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.
Хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.
Удовлетворительно	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибки. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном

Оценка	Критерии оценивания
	объеме. Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами.
Неудовлетворительно	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.
Плохо	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

а) основная литература:

- 1) Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика (нерелятивистская теория): Учебное пособие. в 10 т. Т. 3. Квантовая механика испр. М Физматлит, 2002. -808 с. — Режим доступа: ЭБС «Консультант студента» <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5922100572.html>
- 2) Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Тома 8, 9: Квантовая механика. М.: Мир, 1978. - 524 с. -24 экз.
- 3) Блохинцев Д.И. Основы квантовой механики, изд. 5, Москва, Наука, 1976. -664 с. -90 экз.
- 4) Мигдал, А. Б. Качественные методы в квантовой теории, Москва : Наука, 1975 -335 с. -16 экз.

б) дополнительная литература:

- 1) Мигдал А.Б., Крайнов В.П. Приближенные методы квантовой механики М.: Наука, 1966 - 152 с. -10 экз.
- 2) Ахиезер А.И., Берестецкий В.Б. Квантовая электродинамика М.: Наука, 1969. -623 с. -8 экз.
- 3) Елютин, Кривченков, Квантовая механика, М. Наука, 1976 -336с -54 экз.
- 4) В.В. Балашов, В.К. Долинов, Курс квантовой механики, изд МГУ, 1982г.-304 с. — Режим доступа: ЭБС «Консультант студента» <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5922100777.html>
- 5) Р.Фейнман, А.Хибс"Квантовая механика и интегралы по траекториям" Пер. с англ. Э.М. Барлита и Ю.Л. Обухова. Под ред. В.С. Барашенкова. М.: "Мир", 1968 -382 с. -12 экз.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины)

Лекции по квантовой механике под авторством А.Л. Барабанов от МФТИ
https://mipt.ru/education/chair/theoretical_physics/biblio/qm-barabanov.php

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами, специализированным оборудованием: для проведения лекций и практических занятий требуется типовое оборудование лекционной аудитории. Для подготовки самостоятельных контрольных работ и для их графического представления (если это необходимо), а также для расширения коммуникационных возможностей студенты имеют возможность работать в компьютерных классах с соответствующим лицензионным программным обеспечением и выходом в Интернет. Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети Интернет и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 03.03.02 - Физика.

Автор(ы): А.С. Мельников, А.А. Беспалов

Заведующий кафедрой: Господчиков Егор Дмитриевич, кандидат физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 30.06.2022 г., протокол № 3.