

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

(факультет)

УТВЕРЖДАЮ:

Декан ВШОПФ _____ Е.Д. Господчиков

«_____» _____ 2020 г.

Рабочая программа дисциплины

Квантовая механика

Уровень высшего образования

бакалавриат

Направление подготовки / специальность

03.03.02 Физика

Направленность образовательной программы

профиль: Фундаментальная физика

Квалификация (степень)

бакалавр

Форма обучения

очная

Нижний Новгород

2020

1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Квантовая механика» входит в модуль «Теоретическая физика», который относится к базовой части Блока 1 «Дисциплины, модули» ОПОП. Дисциплина является обязательной для освоения в пятом и шестом семестрах третьего года обучения в бакалавриате.

Целями освоения дисциплины являются:

- формирование у студентов современного представления об основных методах квантово-механического описания свойств равновесных и неравновесных систем;
- освоение студентами методов теоретического расчета на примере простейших квантовых систем;
- формирование у студентов в ходе лекционных, практических и семинарских занятий понимания основных проявлений квантовой механики в измеримых величинах и предельного перехода к классической физике;
- формирование у студентов общепрофессиональных и профессиональных компетенций в соответствии с требованиями ОС ВО ННГУ по направлению подготовки 03.03.02 «Физика».

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
ОПК-3 способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач (этап освоения – завершающий)	<i>31 (ОПК-3) Знать</i> основы квантовой механики микроскопических систем; операторы основных физических величин, уравнение Шредингера и основные приближения, используемые при его решении в различных физических ситуациях. <i>У1 (ОПК-3) Уметь</i> пользоваться Шредингеровским и Гейзенберговским подходами для решения стационарных квантовомеханических задач и вычисления измеримых величин. <i>В1 (ОПК-3) Владеть</i> навыками решения задач, основанных на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях.
ПК-1 способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин (этап освоения – базовый)	<i>32 (ПК-1) Уметь</i> использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин. <i>У2 (ПК-1) Владеть</i> навыками решения задач, основываясь на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях и умениях.
ПК-4 способность применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин (этап освоения – базовый)	<i>У3 (ПК-4) Уметь</i> применять полученные знания при проведении научных исследований в избранной области.. <i>В3 (ПК-4) Владеть</i> статистическими методами описания макроскопических систем и использовать их при необходимости при проведении теоретических и/или экспериментальных физических исследований.

3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 8 зачетных единиц, всего 288 часов, из которых 134 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (64 часа занятия лекци-

онного типа, 64 часа занятия семинарского типа (семинары, научно-практические занятия), 6 часов мероприятия промежуточной аттестации), 81 час подготовка к экзамену, 73 часа составляет самостоятельная работа обучающегося.

Содержание дисциплины (модуля)

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе				
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		из них				
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
Тема 1. Проблемы классической физики и необходимость квантовой теории	13	4	4		8	5
Тема 2. Волновая функция и операторы в квантовой механике	13	4	4		8	5
Тема 3. Представления в квантовой механике	13	4	4		8	5
Тема 4. Импульс и момент импульса	13	4	4		8	5
Тема 5. Квантовая механика одномерных систем	13	4	4		8	5
Тема 6. Гармонический осциллятор	13	4	4		8	5
Тема 7. Атом водорода	13	4	4		8	5
Тема 8. Теория возмущений в квантовой механике (стационарная и нестационарная)	14	4	4		8	6
в т.ч.текущий контроль			4			
Промежуточная аттестация – Зачет					1	
Промежуточная аттестация – Экзамен					2	36
Тема 9. Квазиклассическое приближение	18	6	6		12	6
Тема 10. Основы теории рассеяния	12	4	4		8	4
Тема 11. Калибровочная инвариантность. Взаимодействие электромагнитного поля с ве-	18	6	6		12	6

ществом						
Тема 12 Спин	12	4	4		8	4
Тема 13. Тожественные частицы. Вторичное квантование	18	6	6		12	6
Тема 14. Уравнение Дирака	18	6	6		12	6
в т.ч.текущий контроль			4			
Промежуточная аттестация – Зачет					1	
Промежуточная аттестация – Экзамен					2	45

Текущий контроль успеваемости осуществляется в виде решений и последующей проверки домашних контрольных работ, а также в рамках занятий практического и семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций. Итоговый контроль осуществляется на зачетах и экзамене.

4. Образовательные технологии

При изучении дисциплины используются современные образовательные технологии. Предусматривается широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий (разбор конкретных ситуаций, тренинги по решению практических задач) в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.

Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) по дисциплине проходит в форме лекций и практических занятий, а также в виде коллективных и индивидуальных консультаций. На занятиях лекционного типа используются мультимедийные средства поддержки образовательного процесса, часть занятий проводятся в виде лекций с проблемным изложением материала. На занятиях практического типа разбираются решения задач различной степени сложности, проводятся обсуждения рассматриваемых проблем в свете последних научных достижений в данной области. Студенты работают как индивидуально, так и коллективно.

Самостоятельная работа включает в себя выполнение домашних контрольных работ и теоретическую подготовку к занятиям по материалам лекций и рекомендованной литературе, приведенной в конце данной программы. Кроме того, студенты имеют возможность принимать участие в семинарах с представителями российских и зарубежных научных организаций, проводимых в Федеральном исследовательском центре Институт прикладной физики Российской академии наук.

Формой итогового контроля знаний студентов по дисциплине являются зачеты, проводимые по окончании каждого семестра, и экзамен, в ходе которого оценивается уровень теоретических знаний и навыки решения практических задач.

5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа студента – неотъемлемая часть подготовки высококвалифицированного специалиста в соответствующей области. Ее цель – формирование у студентов способностей и навыков к непрерывному самообразованию и профессиональному совершенствованию.

Самостоятельная работа студентов подразумевает проработку лекционного и дополнительного материала, решение домашних контрольных работ с последующей проверкой навыков решения задач.

Проработка лекционного материала осуществляется еженедельно после проведения аудиторных занятий в рамках часов, отведенных студентам на самостоятельную работу. Кроме того, работа с лекционным и дополнительным материалом (рекомендованной литературой, приведенной в конце данной программы) проводится в период сессии при подготовке к экзамену по дисциплине.

Выполнение домашних контрольных работ осуществляется еженедельно или раз в две недели в соответствии с графиком изучения соответствующего лекционного материала и проведения практических занятий по соответствующей тематике.

Задачи для выполнения самостоятельных контрольных работ по каждому разделу дисциплины составляются преподавателем самостоятельно при ежегодном обновлении банка тестовых заданий. Количество вариантов зависит от числа обучающихся.

Типовые задачи, предлагаемые студентам в качестве домашних контрольных работ:

Задача 1.

Для плоского изотропного осциллятора найти в первом неисчезающем приближении теории возмущений поправку к основному состоянию под действием возмущения $V = a \times y$. Сравнить полученный результат с точным.

Задача 2

Решить задачу рассеяния на прямоугольной яме/барьере. Найти коэффициенты отражения и прохождения.

Задача 3.

Вывести правило квантования Бора-Зоммерфельда для одномерной потенциальной ямы, у которой одна из стенок имеет вид бесконечного потенциального скачка.

Задача 4

Найти решения уравнения Дирака для свободной частицы.

6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине, включающий:

6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования.

ОПК-3: способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)						
	«незачет»		«зачет»				
	«плохо»	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«очень хорошо»	«отлично»	«превосходно»
<u>Знания</u> Знать основы квантовой механики микроскопиче-	Отсутствие знаний теоретических	Уровень знаний ниже минимального	Минимально допустимый уровень	Уровень знаний в объеме	Уровень знаний в объеме	Уровень знаний в объеме	Уровень знаний в объеме

ских систем; операторы основных физических величин, уравнение Шредингера и основные приближения, используемые при его решении в различных физических ситуациях.	тического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	нимальных требований. Имели место грубые ошибки.	мый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок.	соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	соответствующем программе подготовки, без ошибок.	превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u> Уметь пользоваться Шредингеровским и Гейзенберговским подходами для решения стационарных квантовомеханических задач и вычисления измеримых величин.	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 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> Владеть навыками решения задач, основанных на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях.	Отсутствие владения материалом. 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 некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми 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 оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	0 – 20 %	20 – 50 %	50 – 70 %	70-80 %	80 – 90 %	90 – 99 %	100%

ПК-1: способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)						
	«незачет»		«зачет»				
	«плохо»	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«очень хорошо»	«отлично»	«превосходно»
<u>Умения</u> использовать специа-	Полное отсутствие	Неумение использо-	Умение использо-	Умение использо-	Умение использо-	Умение использо-	Умение использо-

лизированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин.	умения использовать основные подходы квантовой механики для решения задач	вать основные подходы квантовой механики для решения задач (демонстрация грубых ошибок, противоречащих основным законам)	вать основные подходы квантовой механики для решения стандартных задач с негрубыми ошибками	вать все изученные подходы квантовой механики для решения стандартных задач с негрубыми ошибками	вать все изученные подходы квантовой механики для решения стандартных задач с незначительными погрешностями	вать все изученные подходы квантовой механики для решения стандартных задач и задач повышенной сложности с незначительными погрешностями	вать все изученные подходы квантовой механики для решения стандартных задач и задач повышенной сложности
<u>Навыки</u> Владеть навыками решения задач, полученных на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях.	Полное отсутствие навыка решения стандартных задач	Не владение навыками решения стандартных задач (демонстрация грубых ошибок, противоречащих основным утверждениям квантовой теории)	Владение навыками решения стандартных задач по основным разделам курса с негрубыми ошибками	Владение навыками решения стандартных задач по всем разделам курса с негрубыми ошибками	Владение навыками решения стандартных задач по всем разделам курса с незначительными погрешностями	Владение навыками решения стандартных задач и задач повышенной сложности с незначительными погрешностями	Владение навыками решения стандартных задач и задач повышенной сложности
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	0 – 20 %	20 – 50 %	50 – 70 %	70-80 %	80 – 90 %	90 – 99 %	100%

ПК-4: применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)	
	«незачет»	«зачет»
<u>Умения</u> Уметь применять полученные знания при проведении научных исследований в избранной области	Отсутствие умения применять полученные знания при проведении научных исследований в избранной области (демонстрация грубых ошибок, противоречащих основным утверждениям квантовой теории)	Умение применять полученные знания при проведении научных исследований в избранной области
<u>Навыки</u> Владеть квантовомеханическими методами описания микроскопических систем и использовать их при необходимости при проведении теоретических и/или экспериментальных физических исследований.	отсутствие ряда важнейших навыков, предусмотренных данной компетенцией	наличие основных навыков, продемонстрированное в стандартных ситуациях при проведении теоретических и/или экспериментальных физических исследований
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	0 – 50 %	50 – 100%

6.2. Описание шкал оценивания

Итоговый контроль качества усвоения студентами содержания дисциплины проводится в виде экзамена, на котором определяется:

- уровень усвоения студентами основного учебного материала по дисциплине;
- уровень понимания студентами изученного материала
- способности студентов использовать полученные знания для решения конкретных задач.

Экзамен проводится в устной форме. Устная часть экзамена заключается в ответе студентом на теоретические вопросы курса (с предварительной подготовкой) и последующем собеседовании в рамках тематики курса. Собеседование проводится в форме вопросов, на которые студент должен дать краткий ответ. Практическая часть экзамена предусматривает решение двух задач по различным разделам курса.

Оценка	Уровень подготовки
Превосходно	Высокий уровень подготовки, безупречное владение теоретическим материалом. Студент дает полный и развернутый ответ на все теоретические вопросы билета; точно отвечает на дополнительные вопросы; приводит исчерпывающие, аргументированные решения всех сформулированных в билете задач. Изложение решений и полученные ответы отличаются логической последовательностью, четкостью в выражении мыслей и обоснованностью выводов, демонстрирующих знание общефизических и профессиональных дисциплин, умение уверенно применять на практике приобретенные навыки, владение в полной мере методиками решения задач. 100 %-ное выполнение контрольных экзаменационных заданий
Отлично	Высокий уровень подготовки с незначительными ошибками. Студент дает полный и развернутый ответ на все теоретические вопросы билета; точно отвечает на дополнительные вопросы; приводит почти полные, аргументированные решения всех сформулированных в билете задач с незначительными недочетами. Изложение решений и полученные ответы отличаются логической последовательностью, четкостью в выражении мыслей и обоснованностью выводов, демонстрирующих знание общефизических и профессиональных дисциплин, умение применять на практике приобретенные навыки, владение методиками решения задач. Выполнение контрольных экзаменационных заданий на 90% и выше
Очень хорошо	Хорошая подготовка. Студент дает ответ на все теоретические вопросы билета с небольшими неточностями; неполно отвечает на дополнительные вопросы; приводит достаточно аргументированные и почти полные решения всех сформулированных в билете задач с незначительными недочетами; или исчерпывающее решение приводится только для одной из двух задач билета, а вторая задача решена с заметными недочетами. Изложение решений и полученные ответы отличаются логической последовательностью, четкостью в выражении мыслей и обоснованностью выводов, демонстрирующих знание общефизических и профессиональных дисциплин, умение применять на практике приобретенные навыки, владение основными методиками решения задач. Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 80 до 90%.

Хорошо	<p>В целом хорошая подготовка с заметными ошибками или недочетами. Студент дает полный ответ на все теоретические вопросы билета с небольшими неточностями, допускает ошибки при ответах на дополнительные вопросы; приводит почти полные решения всех сформулированных в билете задач с некоторыми недочетами; или исчерпывающее решение приведено только для одной из двух задач билета, а вторая задача решена со значительными погрешностями. Изложение решений и полученные ответы отличаются логической последовательностью, достаточной четкостью в выражении мыслей и не всегда полной обоснованностью выводов, демонстрирующих, в целом, знание общефизических и профессиональных дисциплин, умение применять на практике приобретенные навыки, владение основными методиками решения задач.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 70 до 80%.</p>
Удовлетворительно	<p>Минимально достаточный уровень подготовки. Студент показывает минимальный уровень теоретических знаний, допускает ошибки при ответах на дополнительные вопросы; приводит неполные, слабо аргументированные решения всех сформулированных в билете задач. Изложение решений и полученные ответы не отличаются стройной логической последовательностью, четкостью в выражении мыслей и обоснованностью выводов, что говорит о не достаточно полном понимании общефизических и профессиональных дисциплин, умении применять на практике лишь некоторые приобретенные навыки, владении не всеми изученными методиками решения задач.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 50 до 70%.</p>
Неудовлетворительно	<p>Подготовка недостаточная и требует дополнительного изучения материала. Студент дает ошибочные ответы, как на теоретические вопросы билета, так и на наводящие и дополнительные вопросы экзаменатора; приводит решения сформулированных в билете задач с грубыми недочетами, что говорит о недостатке знаний по общефизическим и профессиональным дисциплинам, отсутствии умения применять на практике приобретенные навыки, не владение методиками решения задач.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий до 50%.</p>
Плохо	<p>Подготовка абсолютно недостаточная. Студент не отвечает на поставленные вопросы, демонстрирует полное непонимание сформулированных в билете задач.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий менее 20 %.</p>

6.3. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю), характеризующих этапы формирования компетенций.

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:

- индивидуальное собеседование,
- устные и/или письменные ответы на вопросы.

Для оценивания результатов обучения в виде умений и владений используются следующие процедуры и технологии:

- практические контрольные задания (далее – ПКЗ), включающие одну или несколько задач.

По сложности ПКЗ разделяются на простые (стандартные) и комплексные задания. Простые ПКЗ предполагают решение в одно или два действия, применяются для оцен-

ки умений. Комплексные задания (задания повышенной сложности) требуют поэтапного решения и развернутого ответа с применением нестандартных подходов к решению. Комплексные практические задания применяются для оценки владений.

6.4. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций и (или) для итогового контроля сформированности компетенции.

Теоретические вопросы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:

- 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) Тожественность 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 задачи для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:

Для оценки сформированности компетенции ОПК-3: способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач:

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.

Для оценки сформированности компетенции ПК-1: способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин:

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 $\frac{1}{2}$.

Для оценки сформированности компетенции ПК-4: способность применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин:

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.

6.5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания.

Положение «О текущем контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся при реализации образовательных программ высшего образования в ННГУ», утверждённое приказом ректора ННГУ от 29.12.2017 г. №630-ОД.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины «Квантовая механика»

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

Лекции по квантовой механике под авторством А.Л. Барабанов от МФТИ

https://mipt.ru/education/chair/theoretical_physics/biblio/qm-barabanov.php

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

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.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ВО ННГУ с учетом рекомендаций и ОПОП ВПО по направлению 03.03.02 «Физика», профиль «Фундаментальная физика».

Авторы

А.С. Мельников

А.А. Беспалов

Рецензент

Программа одобрена на заседании методической комиссии факультета «Высшая школа общей и прикладной физики»

от _____ года, протокол № _____.

Председатель методической комиссии _____ А.М. Фейгин