

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

Физический факультет

УТВЕРЖДЕНО
решением Ученого совета ННГУ
протокол № 15 от 24.12.2025 г.

Рабочая программа дисциплины

Дополнительные главы квантовой механики

Уровень высшего образования
Бакалавриат

Направление подготовки / специальность
03.03.02 - Физика

Направленность образовательной программы
Физика конденсированного состояния

Форма обучения
очная

г. Нижний Новгород

2026 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина ФТД.04 Дополнительные главы квантовой механики является факультативом в образовательной программе.

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
ПК-1: Способен использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин	ИД ПК-1: Демонстрация способности использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин	ИД ПК-1: Владение аппаратом квантовой механики применительно к многочастичным системам.	Задачи	Зачёт: Контрольные вопросы

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	1
Часов по учебному плану	36
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	16
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	16
- КСР	1
самостоятельная работа	3
Промежуточная аттестация	0 Зачёт

3.2. Содержание дисциплины

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

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе	
		Контактная работа (работа во	Самостоятельная

		взаимодействия с преподавателем), часы из них			работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/ лабора торные работы), часы	Всего	
	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0
Раздел 1. Адиабатическое приближение	4	2	2	4	0
Раздел 2. Вторичное квантование	5	2	2	4	1
Раздел 3. Уравнения Хартри-Фока	9	4	4	8	1
Раздел 4. Взаимодействие как возмущение	5	2	2	4	1
Раздел 5. Корреляции	4	2	2	4	0
Раздел 6. Функционалы электронной плотности	4	2	2	4	0
Раздел 7. Молекула водорода	4	2	2	4	0
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	36	16	16	33	3

Содержание разделов и тем дисциплины

Раздел 1.

Полное адиабатическое приближение. Разделение задач на электронную и ядерную части. Оператор неадиабатичности.

Раздел 2.

Операторы вторичного квантования для бозонов и фермионов. Операторы рождения, уничтожения и числа частиц; перестановочные соотношения для. Операторы внешних полей и парных взаимодействий в представлении вторичного квантования. Гамильтониан системы с учетом парных взаимодействий.

Раздел 3.

Вывод уравнений Хартри-Фока. Сведение уравнения Хартри-Фока для двухкомпонентных функций-спиноров к чисто пространственному уравнению для функций координат. Спиновая поляризация в уравнениях Хартри-Фока. Слагаемое Хартри и обменное взаимодействие – нелинейность и нелокальность в уравнениях Хартри-Фока. Инвариантность уравнений Хартри-Фока относительно блоховских преобразований. Параметры Хартри-Фока, их связь с полной энергией системы и с энергиями переходов – теорема Купмэнса. Зоммерфельдовское решение уравнений Хартри-Фока в рамках модели «желе»: собственные функции и энергии.

Раздел 4.

Электронный газ с кулоновским взаимодействием. Теория возмущений для моделей с дискретным и непрерывным спектром: поправка первого порядка к энергии основного состояния системы; одночастичный спектр – недостатки модели. Другие модели взаимодействия.

Раздел 5.

Понятие о корреляционной дырке. Модель Томаса-Ферми. Корреляционные эффекты. Экранирование поля точечного заряда в модели Томаса-Ферми. Радиус экранирования Томаса-Ферми. Корреляционная дырка в модели Томаса-Ферми. Корреляционная энергия.

Раздел 6.

Обменная дырка и обменная плотность заряда. Гипотезы Слэйтера – усреднение обменного взаимодействия – выражение для потенциальной энергии обменного взаимодействия через плотность заряда. Электронная плотность – общее выражение, и к чему оно сводится в приближении Хартри-Фока. Оператор электронной плотности. Потенциальная энергия системы электронов во внешнем поле; энергия хартриевского взаимодействия – связь с электронной плотностью.

Раздел 7.

Основное состояние ионизованной молекулы водорода. Энергия основного состояния как функция расстояния между протонами. Молекула водорода Гайтлера-Лондона – синглетное и триплетное состояния. Обменная энергия в молекуле водорода в модели Гайтлера-Лондона.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

нет

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 ПК-1:

Задача 1. Найти скорость Ферми и плотность состояний на поверхности Ферми в модели Зоммерфельда.

Задача 2. N скалярных одномерных невзаимодействующих бозонов находятся в бесконечно глубокой прямоугольной потенциальной яме ширины a . Как изменится энергия перехода из основного в первое возбужденное состояние такой многочастичной системы при наложении на нее однородного поля F . Ответ дать в рамках теории возмущений.

Задача 3. В адиабатическом приближении найти волновую функцию основного состояния ядер и полную энергию двухатомной молекулы, центр масс которой покоится. Считать, что «электронная» энергия, с учетом межъядерного взаимодействия, имеет вид: $E(R) =$

$k(R - R_0)^2/2$, где $R = |\mathbf{R}_1 - \mathbf{R}_2|$ – межъядерное расстояние, а R_0 – его равновесное значение.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Предложенная задача решена с использованием оригинального подхода.

Оценка	Критерии оценивания
отлично	Предложенная задача решена полностью.
очень хорошо	Предложенная задача решена с небольшими недочетами.
хорошо	Предложенная задача решена с подсказками преподавателя.
удовлетворительно	Предложенная задача решена с существенной помощью преподавателя.
неудовлетворительно	Предложенная задача не решена.
плохо	Отсутствует понимание условий задачи.

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 знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<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 несущественными недочетами, выполнены все	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов

						задания в полном объеме	
<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 с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-1

1. Модель Томаса-Ферми.
2. Адиабатическое приближение.
3. Вторичное квантование. Бозоны.
4. Решение Зоммерфельда уравнений Хартри-Фока в рамках модели «желе»: собственные функции и энергии.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Проявлено понимание сути заданных вопросов и даны обоснованные ответы на них.
не зачтено	Отсутствуют ответы на предложенные вопросы.

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

Основная литература:

1. Займан Дж. М. Современная квантовая теория / пер. с англ. И. П. Звягина и А. Г. Миронова ; под ред. В. Л. Бонч-Бруевича. - М. : Мир, 1971. - 288 с. : черт. - 1.40., 2 экз.
2. Ландау Лев Давидович. Теоретическая физика : [учеб. пособие для физ. специальностей ун-тов] : в 10 т. Т. 3. Квантовая механика. Нерелятивистская теория / при участии Л. П. Питаевского. - Изд. 4-е, испр. - М. : Наука, 1989. - 767 с. : ил. - ISBN 5-02-014421-5 (в пер.) : 1.90., 174 экз.
3. Левич Вениамин Григорьевич. Курс теоретической физики : [для физ.-техн. вузов и фак.]. Т. 2. Квантовая механика. Квантовая статистика и физическая кинетика / под ред. В. Г. Левича. - 2-е изд., перераб. - М. : Наука, 1971. - 936 с. : с черт. - 2.19., 58 экз.

Дополнительная литература:

1. Фок Владимир Александрович. Начала квантовой механики. - 2-е изд., доп. - М. : Наука, 1976. - 376 с. - 1.52., 25 экз.
2. Харрисон У. Теория твердого тела / пер. с англ. Г. Л. Краско ; под ред. Р. А. Суриса. - М. : Мир , 1972. - 616 с. : ил. - 2.85., 6 экз.

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

Интернет-ресурсы Фундаментальной библиотеки ННГУ <http://www.lib.unn.ru/>.

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения.

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 подготовки/специальности 03.03.02 - Физика.

Автор(ы): Бурдов Владимир Анатольевич, доктор физико-математических наук, доцент.

Рецензент(ы): Хомицкий Денис Владимирович, доктор физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Бурдов Владимир Анатольевич, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 23.12.2025, протокол № б/н.