

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 № 4 от 26.04.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Избранные главы физики конденсированного состояния

Уровень высшего образования

Магистратура

Направление подготовки / специальность

28.04.01 - Нанотехнологии и микросистемная техника

Направленность образовательной программы

Квантовые и нейроморфные технологии

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2025 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина ФТД.01 Избранные главы физики конденсированного состояния 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-3: Способен разрабатывать физические и математические модели, проводить компьютерное моделирование исследуемых физических процессов в области нанотехнологии, нанoeлектроники и квантовых технологий	<p>ПК-3.1: Имеет представление о физических и математических моделях, а также методах компьютерного моделирования исследуемых физических процессов в области нанотехнологии, нанoeлектроники и квантовых технологий</p> <p>ПК-3.2: Может применять физические и математические модели, а также методы компьютерного моделирования исследуемых физических процессов в области нанотехнологии, нанoeлектроники и квантовых технологий</p> <p>ПК-3.3: Разрабатывает физические и математические модели, а также методы компьютерного моделирования исследуемых физических процессов в области нанотехнологии, нанoeлектроники и квантовых технологий</p>	<p>ПК-3.1:</p> <p>Знать основные принципы использования и области применимости теории многочастичных систем в конкретных задачах физики конденсированного состояния.</p> <p>Уметь самостоятельно анализировать последние достижения современной физики конденсированного состояния.</p> <p>Владеть навыками теории многочастичных систем при решении задач в области физики конденсированного состояния.</p> <p>ПК-3.2:</p> <p>Знать основные свойства сильно коррелированных электронных систем.</p> <p>Уметь не предвзято оценивать последние достижения современной физики конденсированного состояния.</p> <p>Владеть навыками описания квантовых систем с сильными электронными корреляциями.</p>	Тест	Зачёт: Контрольные вопросы

		<p>ПК-3.3: Знать основные свойства неупорядоченных электронных систем.</p> <p>Уметь анализировать физические свойства неупорядоченных электронных систем.</p> <p>Владеть навыками описания неупорядоченных электронных систем.</p>		
--	--	---	--	--

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 взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	0 ф 0	0 ф 0	0 ф 0	0 ф 0	0 ф 0
1. Феноменологическая и микроскопическая теории твердого тела. Электронная зонная структура.	4	2	2	4	0
2. Сильнокоррелированные электронные системы. Модель Хаббарда.	4	2	2	4	0
3. Магнетизм металлов и диэлектриков.	6	4	2	6	0

4. Оптические свойства твердых тел.	7	2	4	6	1
5. Неупорядоченные системы. Переход Мотта.	5	2	2	4	1
6. Нанокристаллические материалы.	9	4	4	8	1
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	36	16	16	33	3

Содержание разделов и тем дисциплины

1. Феноменологическая и микроскопическая теории твердого тела. Электронная зонная структура. Феноменологическая электродинамика твердых тел. Проводники и диэлектрики. Сегнетоэлектрики. Парамагнетики, диамагнетики и вещества с магнитным порядком. Вклад валентных электронов и электронов ионных остовов в свойства твердых тел. Электронные зонные структуры твердых тел. Металлы, полупроводники и диэлектрики с точки зрения электронной теории. Полуметаллы. Кинетические явления в твердых телах. Электрические свойства твердых тел. Связь электрических свойств с зонной структурой. Методы определения зонной структуры твердых тел.
2. Сильнокоррелированные электронные системы. Модель Хаббарда. Зоны d- и f-электронов. Метод сильной связи. Модель Хаббарда с сильными корреляциями. Переход Мотта-Хаббарда.
3. Магнетизм металлов и диэлектриков. Природа магнитного порядка в твердых телах. Магнетизм локализованных и коллективизированных электронов. Магнетизм сильно коррелированных систем. s-d обменная модель с узкими зонами. Электронные состояния и спиновые волны в хаббардовском ферромагнетике с узкими зонами. Ферромагнетизм коллективизированных электронов и модель Стонера. Модель Рудермана-Киттеля. Взаимодействие РККИ. Методы исследования магнитной структуры твердых тел.
4. Оптические свойства твердых тел. Микроскопическая природа оптических свойств металлов и диэлектриков. Кристаллооптика диэлектриков. Нелинейно-оптические свойства и их связь с электронными свойствами. Магнитооптические свойства и их связь с электронной структурой кристалла.
5. Неупорядоченные системы. Переход Мотта. Типы беспорядка в твердых телах. Беспорядок в металлах и диэлектриках. Сильная и слабая локализация. Уровни энергии, связанные с беспорядком. Плотность состояний. Переход Мотта. Аморфные металлы и полупроводники. Их электрические, оптические и магнитные свойства.
6. Нанокристаллические материалы. Изменение свойств твердого тела (электронных, электрических, оптических, магнитных) при переходе от кристаллического к нанокристаллическому состоянию. Свойства уединенных нанокристаллов и массивов нанокристаллов. Нанокристаллические тонкие пленки, их свойства. Методы исследования нанокристаллических материалов. Методы получения нанокристаллических материалов.

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.

Авторские презентации по материалам лекций.

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 - Тест) для оценки сформированности компетенции ПК-3:

Вопрос 1. Квазичастицей в твердом теле не является

Ответ:

- а) поляритон;
- б) рипплон;
- в) экситон;
- г) фонон.

Вопрос 2. Какой дисперсией обладает спектр одночастичных квазичастичных возбуждений в нормальной ферми-жидкости?

Ответ:

- а) квадратичной;
- б) кубической;
- в) линейной;
- г) не имеет дисперсии.

Вопрос 3. Базисными функциями в методе сильной связи расчета электронной структуры твердого тела являются

Ответ:

- а) функции Ваннье;
- б) ортогонализированные плоские волны;

- в) присоединенные плоские волны;
- г) функции Кона-Латтинджера.

Вопрос 4. Условие возникновения локализованных состояний в одномерной неупорядоченной электронной системе.

Ответ:

- а) энергетический масштаб беспорядка больше средней кинетической энергии электронов;
- б) энергетический масштаб беспорядка больше средней потенциальной энергии электронов;
- в) все одночастичные состояния в одномерной неупорядоченной системе локализованы;
- г) все одночастичные состояния в одномерной неупорядоченной системе делокализованы.

Критерии оценивания (оценочное средство - Тест)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Не менее 60% правильных ответов на вопросы из теста
не зачтено	Менее 60% правильных ответов на вопросы из теста

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	При решении стандартных задач не продемонстрированы	Продемонстрированы основные умения. Решены	Продемонстрированы все основные умения.	Продемонстрированы все основные умения.	Продемонстрированы все основные умения.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все

	умений вследствие отказа обучающегося от ответа	основные умения. Имели место грубые ошибки	типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	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 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 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-3

1. Особенности электронной структуры магнитных металлов и магнитных полупроводников.
2. Методы исследования зонной структуры твердых тел.
3. Модель Хаббарда с сильными электронными корреляциями.
4. Переход Мотта-Хаббарда.
5. s-d обменная модель с узкими зонами.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Обучающийся продемонстрировал изложение формулировок основных теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения практических заданий базового уровня сложности.
не зачтено	Обучающийся не продемонстрировал представления об основных теоретических разделах курса, не показал минимально допустимый уровень умений и навыков выполнения практических заданий.

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

Основная литература:

1. Гусев Александр Иванович. Нанокристаллические материалы : Монография. - Москва : Издательская фирма "Физико-математическая литература" (ФИЗМАТЛИТ), 2000. - 224 с. - ВО - Магистратура. - ISBN 5-9221-0075-0., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=594883&idb=0>.
2. Прудников В. В. Квантово-статистическая теория твердых тел / Прудников В. В., Прудников П. В., Мамонова М. В. - 4-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2022. - 448 с. - Рекомендовано УМО вузов РФ по образованию в области прикладных математики и физики в качестве учебного пособия для студентов вузов, обучающихся по направлению «Прикладные математика и физика», а также по другим математическим и естественнонаучным направлениям и специальностям и смежным направлениям и специальностям в области техники и технологий. - Книга из коллекции Лань - Физика. - ISBN 978-5-507-44520-2., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=803320&idb=0>.
3. Левитов Л. С. Функции Грина. Задачи и решения / Левитов Л. С., Шитов А. В. - Москва : МЦНМО, 2016. - 401 с. - Рекомендовано Учебно-методическим объединением высших учебных заведений Российской Федерации по образованию в области прикладных математики и физики в качестве учебного пособия для студентов вузов, обучающихся по направлению «Прикладная математика и физика», а также по другим математическим и естественнонаучным направлениям и специальностям в области техники и технологий. - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции МЦНМО - Математика. - ISBN 978-5-4439-2480-9., <https://e->

lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=715677&idb=0.

Дополнительная литература:

1. Долгополов В. Т. Взаимодействующие электроны в нормальных металлах. Методы описания Ферми-жидкости : лекции / Долгополов В. Т. - Черноголовка : ИФТТ РАН!, 2021. - 66 с. - Книга из коллекции ИФТТ РАН! - Физика., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=797735&idb=0>.
2. Электроны в неупорядоченных средах / Гантмахер В.Ф. - Москва : Физматлит, 2013., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=647054&idb=0>.
3. Теоретические методы описания неравновесного критического поведения структурно неупорядоченных систем / Прудников В.В., Прудников П.В., Вакилов А.Н. - Москва : Физматлит, 2013., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=647129&idb=0>.

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

- 1) Интернет-ресурс справочной и математической литературы со свободным доступом www.eqworld.ipmnet.ru;
- 2) 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 28.04.01 - Нанотехнологии и микросистемная техника.

Автор(ы): Конаков Антон Алексеевич, кандидат физико-математических наук.

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

Заведующий кафедрой: Конаков Антон Алексеевич, кандидат физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 15.04.2024, протокол № б/н.