

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 № 13 от 30.11.2022 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Избранные главы физики конденсированного состояния

---

Уровень высшего образования  
Магистратура

---

Направление подготовки / специальность  
03.04.02 – Физика

---

Направленность образовательной программы  
Физика конденсированного состояния

---

Форма обучения  
очная

---

г. Нижний Новгород

2023 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.08.03 Избранные главы физики конденсированного состояния относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

## 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 свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной и проектной деятельности	ПК-3.1: Знание основных законов физики ПК-3.2: Умение решать научно-инновационные задачи в своей инновационной и проектной деятельности ПК-3.3: Навыки применения результатов научных исследований в инновационной и проектной деятельности	ПК-3.1: Знать основные принципы использования и области применимости теории многочастичных систем в конкретных задачах физики конденсированного состояния.  ПК-3.2: Уметь самостоятельно анализировать, не предвзято оценивать последние достижения современной физики конденсированного состояния.  ПК-3.3: Владеть навыками теории многочастичных систем при решении задач в области физики конденсированного состояния.	Тест	Экзамен: Контрольные вопросы

## 3. Структура и содержание дисциплины

### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	3
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	16

- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	16
- КСР	2
самостоятельная работа	38
Промежуточная аттестация	36 Экзамен

### 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/ лабора- торные работы), часы	Всего	
	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о
1. Феноменологическая и микроскопическая теории твердого тела. Электронная зонная структура.	12	2	2	4	8
2. Сильнокоррелированные электронные системы. Модель Хаббарда.	12	2	2	4	8
3. Магнетизм металлов и диэлектриков.	12	4	2	6	6
4. Оптические свойства твердых тел.	10	2	4	6	4
5. Неупорядоченные системы. Переход Мотта.	12	2	2	4	8
6. Нанокристаллические материалы.	12	4	4	8	4
Аттестация	36				
КСР	2				2
Итого	108	16	16	34	38

#### 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.

Самостоятельная работа обучающихся предполагает изучение конспектов лекций, выделенных разделов основной литературы, а также дополнительной литературы, выполнение практических заданий, отвечающих изучаемым разделам дисциплины, подготовку к промежуточной аттестации.

#### **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.

Правильный ответ – б).

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

**Ответ:**

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

Правильный ответ – б).

**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.

Правильный ответ – а).

**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.

Правильный ответ – в).

**Вопрос 5.** Хвосты плотности состояний возникают в системе

**Ответ:**

- а) с межэлектронным взаимодействием;
- б) с электрон-фононным взаимодействием;
- в) со статическим беспорядком

Правильный ответ – в).

**Вопрос 6.** Фазовый переход Мотта-Хаббарда в твердом теле обусловлен:

**Ответ:**

- а) беспорядком;
- б) повышением температуры;
- в) электронными корреляциями.

Правильный ответ – в).

**Вопрос 7.** При низкой температуре полуметаллом из ниже перечисленных веществ является

**Ответ:**

- а) висмут;
- б) нитрид бора;
- в) натрий.

Правильный ответ – а).

**Критерии оценивания (оценочное средство - Тест)**

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Обучающийся успешно показал умения и навыки выполнения практических заданий базового уровня сложности
не зачтено	Обучающийся не показал минимально допустимый уровень умений и навыков выполнения практических заданий

## 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	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место	Минимально допустимый уровень знаний.	Уровень знаний в объеме, соответствующем	Уровень знаний в объеме, соответствующем	Уровень знаний в объеме, соответствующем	Уровень знаний в объеме, превышающем программу

	оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	грубые ошибки	Допущено много негрубых ошибок	программе подготовки . Допущено несколько негрубых ошибок	программе подготовки . Допущено несколько несущественных ошибок	программе подготовки и. Ошибок нет.	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 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	<b>превосходно</b>	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
	<b>отлично</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	<b>очень хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	<b>хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	<b>удовлетворительно</b>	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.
6. Ферромагнетизм коллективизированных электронов и модель Стонера.
7. Модель Рудермана-Киттеля. Взаимодействие РККИ.
8. Методы исследования магнитной структуры твердых тел.
9. Оптические свойства магнитных диэлектриков. Магнитооптические эффекты.
10. Локализация Андерсона.
11. Слабая локализация.
12. Плотность состояний в неупорядоченных системах.
13. Особенности электрических и оптических свойств аморфных полупроводников в сравнении с кристаллическими аналогами.
14. Методы получения нанокристаллических полупроводников.
15. Электрические и оптические свойства аморфных металлов и полупроводников.

#### Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	обучающийся продемонстрировал уровень знаний в объеме, превышающем стандартную программу подготовки, и продемонстрировал творческий подход к выполнению практических заданий повышенного уровня сложности
отлично	обучающийся продемонстрировал связное изложение всех теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения практических заданий повышенного уровня сложности
очень хорошо	обучающийся продемонстрировал связное изложение практически всех теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки



Оценка	Критерии оценивания
	выполнения стандартных практических заданий
хорошо	обучающийся продемонстрировал связное изложение основных теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения стандартных практических заданий
удовлетворительно	обучающийся продемонстрировал изложение формулировок основных теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения практических заданий базового уровня сложности
неудовлетворительно	обучающийся не продемонстрировал представления об основных теоретических разделах курса, не показал минимально допустимый уровень умений и навыков выполнения практических заданий
плохо	обучающийся не продемонстрировал никаких знаний об основных теоретических разделах курса, не показал никаких умений и навыков выполнения практических заданий

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

Основная литература:

1. Физика твердого тела. Электронные свойства твердых тел : Учебное пособие / Сибирский федеральный университет. - Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2022. - 256 с. - ВО - Бакалавриат. - ISBN 978-5-7638-4653-9., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=876077&idb=0>.
2. Квазичастицы в физике конденсированного состояния / Брандт Н.Б., Кульбачинский В.А. - Москва : Физматлит, 2007., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=634760&idb=0>.
3. Пейсахович Ю. Г. Физика конденсированного состояния. Фазовые переходы. Магнетики. Свойства диэлектриков : учеб. пособие / Пейсахович Ю. Г., Филимонова Н. И. - Новосибирск : НГТУ, 2018. - 163 с. - Утверждено Редакционно-издательским советом университета в качестве учебного пособия. - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции НГТУ - Физика. - ISBN 978-5-7782-3612-7., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=720937&idb=0>.
4. Нанокристаллические материалы / Гусев А.И., Ремпель А.А. - Москва : Физматлит, 2000., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=645525&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. Мотт Невилл Фрэнсис. Электронные процессы в некристаллических веществах : [в 2 т.]. Т. 1 / пер. с англ. под ред. Б. Т. Коломийца. - 2-е перераб. и доп. изд. - М. : Мир, 1982. - 368 с. : ил. - 2.90., 4 экз.
2. Мотт Невилл Фрэнсис. Электронные процессы в некристаллических веществах : [в 2 т.]. Т. 2 / пер. с англ. под ред. Б. Т. Коломийца. - 2-е перераб. и доп. изд. - М. : Мир, 1982. - 294 с. : ил. - 2.60., 5 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 03.04.02 - Физика.

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

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

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 09.01.2024, протокол № б/н.