

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**и.о. директора физтех-школы  
физики и исследований им.  
Ландау**

**А.А. Воронов**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Кинетические явления в неупорядоченных средах и наноматериалах
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра лазерных систем и структурированных материалов
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 15 час.

семинары: 45 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составил: С.В. Демишев, д-р физ.-мат. наук, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры лазерных систем и структурированных материалов 04.06.2020

## Аннотация

Основная задача курса – это сравнительный анализ кинетических явлений в кристаллах и неупорядоченных средах, изучение методов теоретического описания перехода металл-диэлектрик и кинетических явлений в неупорядоченных средах и наноматериалах, ознакомление с методами теории неупорядоченных сред, обучение принципам анализа кинетических явлений в неупорядоченных средах и наноматериалах. Изучение кинетических свойств гетерогенных сред (поведение проводимости при разном типе включений, прыжковая проводимость, суперлокализация волновой функции). Проблема корреляций (короткодействующие (хаббардовские) корреляции, влияние на прыжковую проводимость, дальнодействующие (кулоновские) корреляции, кулоновская щель и прыжковая проводимость). Локализованные и делокализованные состояния. Модели Андерсона и Мотта. Скейлинг. Отрицательное магнитосопротивление в теории квантовых поправок, квантовые интерференционные эффекты. Асимптотики функции Гелл-Манна - Лоу в двумерном и трехмерном случаях. Длина когерентности. Квантовые поправки к проводимости на металлической стороне перехода. Окрестность порога подвижности, решение Аронова-Альтшулера. Диэлектрическая сторона перехода, неоптимальные прыжки Звягина. Эффект Холла, угол Холла, холловская подвижность, коэффициент Холла. Магнитосопротивление. Отрицательное магнитосопротивление в теории квантовых поправок. Отрицательное магнитосопротивление в области прыжковой проводимости. Эффект Холла в области прыжковой проводимости. Описание термоэдс с помощью кинетического уравнения Больцмана. Термоэдс в области прыжковой проводимости. Формула Звягина. Термоэдс в гетерогенных средах.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

- освоение студентами фундаментальных знаний в области физики неупорядоченных сред и наноматериалов, сравнительный анализ кинетических явлений в кристаллах и неупорядоченных средах, изучение методов теоретического описания перехода металл-диэлектрик и кинетических явлений в неупорядоченных средах и наноматериалах.

### Задачи дисциплины

- формирование базовых знаний в области физики неупорядоченных сред как дисциплины, интегрирующей общефизическую и общетеоретическую подготовку физиков и обеспечивающей фундаментальные основы современных инновационных сфер деятельности;
- ознакомление с методами теории неупорядоченных сред;
- обучение принципам анализа кинетических явлений в неупорядоченных средах и наноматериалах;
- формирование у студентов подходов к исследованиям в области физики неупорядоченных сред в рамках выпускных работ на степень магистра.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых задач в области профессиональной деятельности	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения

и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- ☐ место и роль общих вопросов науки в научных исследованиях в области исследования кинетических явлений в неупорядоченных средах и наноматериалах;
- ☐ современные проблемы физики, химии, математики;
- ☐ теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике и ее приложениях применительно к исследованиям кинетических явлений в неупорядоченных средах и наноматериалах;
- ☐ принципы симметрии и законы сохранения;
- ☐ новейшие открытия естествознания;
- ☐ постановку проблем физико-химического моделирования;
- ☐ о взаимосвязях и фундаментальном единстве естественных наук.

уметь:

- ☐ эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;
- ☐ представить панораму универсальных методов и законов современного естествознания;
- ☐ абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций;
- ☐ планировать оптимальное проведение эксперимента.

владеть:

- ☐ планированием, постановкой и обработкой результатов физического эксперимента применительно к исследованию кинетических явлений в неупорядоченных средах и наноматериалах;
- ☐ научной картиной мира;
- ☐ математическим моделированием физических задач.

### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

#### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Теория протекания.	3	9		10
2	Прыжковая проводимость.	4	12		12
3	Переход металл-изолятор.	4	12		10
4	Гальваномагнитные и термоэлектрические явления.	4	12		13
Итого часов		15	45		45
Подготовка к экзамену		30 час.			

Общая трудоёмкость	135 час., 3 зач.ед.
--------------------	---------------------

#### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 2 (Весенний)

##### 1. Теория протекания.

Теория протекания. Задача узлов на упорядоченных решетках. Кластеры. Порог протекания. Задачи на конечных решетках. Задачи на бесконечных решетках. Бесконечный кластер. Инвариант задачи узлов. Черное и белое протекание. Структура бесконечного кластера (на примере задачи узлов). Модель Шкловского-де Женна. Радиус корреляции, критическое поведение, физический смысл для  $x > x_c$  и  $x < x_c$ . Функция  $P(x)$  для вероятности принадлежности к бесконечному кластеру. Задача связей и ее инвариант. Решетка Бете. Точное решение для  $P(x)$  и  $x_c$  на решетке Бете. Континуальные задачи. Инвариант континуальной задачи. Задачи на случайных узлах. Задача сфер, критерий связности. Инварианты задачи сфер. Кинетические свойства гетерогенных сред. Проводимость для случая малой концентрации включений. Металлические включения в диэлектрической матрице. Идеально проводящие (сверхпроводящие) включения в диэлектрической матрице. Эффект формы включений. Критическое поведение проводимости в окрестности порога протекания для металлических и сверхпроводящих включений. Интерполяционные формулы.

##### 2. Прыжковая проводимость.

Постановка задачи о проводимости по локализованным состояниям. Прыжковая проводимость. Сетка сопротивлений Миллера-Абрахамса. Метод решения задачи о прыжковой проводимости, основанный на теории протекания. Закон Мотта. Прыжковая проводимость с переменной длиной прыжка, оптимальные прыжки. Влияние особенностей в плотности состояний на прыжковую проводимость. Суперлокализация волновой функции. Решение задачи о прыжковой проводимости по Мотту. Проводимость на постоянном и переменном токе. Оптимальные прыжки. Проблема корреляций. Короткодействующие (хаббардовские) корреляции. D- -состояния. Влияние хаббардовских корреляций на прыжковую проводимость. Дальнодействующие (кулоновские) корреляции. Кулоновская щель. Элементарные возбуждения в модели кулоновской щели. Кулоновская щель и прыжковая проводимость. Экранировка в модели кулоновской щели.

##### 3. Переход металл-изолятор.

Переход металл-изолятор. Случайный потенциал, порог подвижности Ферми-стекло. Локализованные и делокализованные состояния. Теорема Андерсона. Модели Андерсона и Мотта. Переход металл-изолятор в легированном полупроводнике. Критерий Мотта. Скейлинг. Проблема описания перехода металл-изолятор, порог подвижности как особая точка. Модель Андерсона, безразмерная проводимость как мера беспорядка. Гипотеза масштабной инвариантности. Вывод уравнения однопараметрического скейлинга. Квантовые поправки к проводимости. Отрицательное магнитосопротивление в теории квантовых поправок, квантовые интерференционные эффекты. Асимптотики функции Гелл-Манна - Лоу в двумерном и трехмерном случаях. Окрестность порога подвижности. Локализация состояний в двумерных системах. Критическое поведение радиуса локализации и проводимости в модели однопараметрического скейлинга. Температурные зависимости в модели однопараметрического скейлинга. Длина когерентности. Квантовые поправки к проводимости на металлической стороне перехода. Окрестность порога подвижности, решение Аронова-Альтшулера. Диэлектрическая сторона перехода, неоптимальные прыжки Звягина. Смена режима оптимальных и неоптимальных прыжков. Неоптимальные прыжки на постоянном и переменном токе. Переход металл-изолятор в Ферми-стекле по Мотту. Минимальная металлическая проводимость. Активация на порог подвижности. Анализ экспериментальных данных с точки зрения различных моделей: модели Мотта, скейлинга и квазиклассической теории протекания. Особенности проводимости и критического поведения в двумерных системах с точки зрения модели однопараметрического скейлинга. Проблема определения положения порога подвижности. Эффект сдвига порога подвижности в результате квантовых интерференционных эффектов.

#### 4. Гальваномагнитные и термоэлектрические явления.

Описание гальваномагнитных эффектов с помощью кинетического уравнения Больцмана. Эффект Холла. Угол Холла, холловская подвижность, коэффициент Холла. Расчет эффекта Холла с помощью кинетического уравнения Больцмана. Случаи слабого и сильного поля, Холл-фактор. Случай нескольких групп носителей заряда. Сравнение с моделью Друде. Магнитосопротивление. Коэффициент магнитосопротивления. Расчет поперечного магнитосопротивления с помощью кинетического уравнения Больцмана. Случаи слабого и сильного поля. Насыщение магнитосопротивления. Роль поля Холла. Магнитосопротивление в образце конечных и бесконечных размеров. Отрицательное магнитосопротивление в теории квантовых поправок. Влияние магнитного поля на прыжковую проводимость. Сетка сопротивлений Миллера-Абрахамса в магнитном поле. Решение для случаев слабого и сильного поля. Сжатие волновой функции. Влияние хаббардовских корреляций. Спин-поляризационный и зеемановский механизмы магнитосопротивления. Отрицательное магнитосопротивление в области прыжковой проводимости. Эффект Холла в области прыжковой проводимости. Описание термоэдс с помощью кинетического уравнения Больцмана. Характеристики пары и материала. Вырожденный и невырожденный случаи. Формула Мотта. Вклад электрон-фононного взаимодействия в термоэдс. Фононное увлечение. Случай нескольких групп носителей заряда. Термоэдс в области прыжковой проводимости. Формула Звягина. Термоэдс в гетерогенных средах.

#### 5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Необходимое оборудование для лекций и практических занятий: учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

Необходимое программное обеспечение: офисный пакет OpenOffice для рефератов и презентаций, программа Origin (при наличии технической возможности).

Обеспечение самостоятельной работы – доступ в Интернет, базы данных по журналам American Physical Society, American Institute of Physics, Institute of Physics, Nature, Springer Verlag, библиотека ИОФ РАН.

#### 6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Электроны в неупорядоченных средах [Текст] / В. Ф. Гантмахер - М. Физматлит, 2005
2. С.В. Демишев, А.А. Пронин. ФТТ, в. 7 (2006).

#### Дополнительная литература

1. Электронные свойства легированных полупроводников [Текст]/Б. И. Шкловский, А. Л. Эфрос, -М., Наука, 1979
2. Физика и геометрия беспорядка [Текст]/А. Л. Эфрос, -М., Наука, 1982
3. Кинетические явления в неупорядоченных полупроводниках [Текст]/И. П. Звягин, -М., МГУ, 1984
4. Электронные процессы в некристаллических веществах [Текст]. В 2 т. Т. 1, Electron processes in non-grystalline materials, монография/Н. Мотт, Э. Дэвис, -М., Мир, 1982
5. Электронная теория неупорядоченных полупроводников [Текст] / В. Л. Бонч-Бруевич, И. П. Звягин, Р. Кайпер [и др.] - М.Наука,1981
6. Модели беспорядка. Теоретическая физика однородно неупорядоченных систем [Текст] = Models of disorder.The theoretical physics of homogeneously disordered systems/Дж. Займан, -М., Мир, 1982

#### **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

Web-сайты журналов по физике твердого тела и магнитных явлений (Физика твердого тела, ЖЭТФ, Письма в ЖЭТФ, Успехи физических наук, Physica Status Solidi b, Physical Review B и др.).

#### **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций. В процессе самостоятельной работы обучающихся возможно использование таких программных средств, как OpenOffice.

#### **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Студент, изучающий курс «Кинетические явления в неупорядоченных средах и наноматериалах», должен иметь базовую подготовку в области физики конденсированного состояния, например, в объеме курса «Кинетические явления в кристаллах». Поскольку в ходе лекций для иллюстрации общих принципов проводится обсуждение современных актуальных проблем физики конденсированного состояния, неупорядоченных сред и наноматериалов, которые не в полной мере отражены в существующих учебниках, посещение лекций является абсолютно необходимым для успешного усвоения изучаемого материала.

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы,
- проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения, доказательство отдельных утверждений, свойств;
- решение задач, предлагаемых студентам на лекциях и практических занятиях,
- подготовку к практическим занятиям, экзамену.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций. С целью углубленного изучения тех или иных разделов курса студентам могут быть предложены специальные темы для самостоятельной работы.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра лазерных систем и структурированных материалов
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен

**Разработчик:** С.В. Демишев, д-р физ.-мат. наук, профессор

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Кинетические явления в неупорядоченных средах и наноматериалах» обучающийся должен:

### знать:

- ☐ место и роль общих вопросов науки в научных исследованиях в области исследования кинетических явлений в неупорядоченных средах и наноматериалах;
- ☐ современные проблемы физики, химии, математики;
- ☐ теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике и ее приложениях применительно к исследованиям кинетических явлений в неупорядоченных средах и наноматериалах;
- ☐ принципы симметрии и законы сохранения;
- ☐ новейшие открытия естествознания;
- ☐ постановку проблем физико-химического моделирования;
- ☐ о взаимосвязях и фундаментальном единстве естественных наук.

### уметь:

- ☐ эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;
- ☐ представить панораму универсальных методов и законов современного естествознания;
- ☐ абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций;
- ☐ планировать оптимальное проведение эксперимента.

### владеть:



- ☐ планированием, постановкой и обработкой результатов физического эксперимента применительно к исследованию кинетических явлений в неупорядоченных средах и наноматериалах;
- ☐ научной картиной мира;
- ☐ математическим моделированием физических задач.

### 3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Примерные темы заданий для самостоятельной работы (рефераты):

1. Эксперименты по наблюдению кулоновской щели.
2. Прыжковая проводимость на переменном токе. Эксперимент и теория.
3. Спиновые эффекты в прыжковой проводимости.
4. Переход металл-изолятор в двумерных системах.
5. Квантовый эффект Холла.
6. Модель Хаббарда в физике неупорядоченных сред.
7. Кинетические явления в окрестности порога подвижности.
8. Методы создания сверхсильных магнитных полей.
9. Транспортные явления в углеродных наноматериалах.
10. Аморфные полупроводники.
11. Быстрые фазовые превращения в некристаллических твердых телах.
12. Промежуточный порядок в некристаллических твердых телах.
13. Методы исследования структуры неупорядоченных сред.
14. Гранулированные металлы.
15. Фононы в неупорядоченных средах и наноматериалах.
16. Фракталы в физике неупорядоченных сред.
17. Оптика неупорядоченных сред.

### 4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Промежуточная аттестация по дисциплине «Кинетические явления в неупорядоченных средах и наноматериалах» осуществляется в форме экзамена. Экзамен проводится в устной форме.

Перечень контрольных вопросов для сдачи экзамена в 10-ом семестре:

1. Теория протекания. Задача узлов на упорядоченных решетках. Кластеры. Порог протекания. Задачи на конечных решетках. Задачи на бесконечных решетках. Бесконечный кластер. Инвариант задачи узлов. Черное и белое протекание. Структура бесконечного кластера (на примере задачи узлов). Модель Шкловского-де Женна. Радиус корреляции, критическое поведение, физический смысл для  $x > x_c$  и  $x < x_c$ . Функция  $P(x)$  для вероятности принадлежности к бесконечному кластеру. Задача связей и ее инвариант. Решетка Бете. Точное решение для  $P(x)$  и  $x_c$  на решетке Бете. Континуальные задачи. Инвариант континуальной задачи. Задачи на случайных узлах. Задача сфер, критерий связности. Инварианты задачи сфер.
2. Кинетические свойства гетерогенных сред. Проводимость для случая малой концентрации включений. Металлические включения в диэлектрической матрице. Идеально проводящие (сверхпроводящие) включения в диэлектрической матрице. Эффект формы включений. Критическое поведение проводимости в окрестности порога протекания для металлических и сверхпроводящих включений. Интерполяционные формулы.
3. Постановка задачи о проводимости по локализованным состояниям. Прыжковая проводимость. Сетка сопротивлений Миллера-Абрахамса. Метод решения задачи о прыжковой проводимости, основанный на теории протекания. Закон Мотта. Прыжковая проводимость с переменной длиной прыжка, оптимальные прыжки. Влияние особенностей в плотности состояний на прыжковую проводимость. Суперлокализация волновой функции.
4. Решение задачи о прыжковой проводимости по Мотту. Проводимость на постоянном и переменном токе. Оптимальные прыжки.

5. Проблема корреляций. Короткодействующие (хаббардовские) корреляции. D- -состояния. Влияние хаббардовских корреляций на прыжковую проводимость. Дальнодействующие (кулоновские) корреляции. Кулоновская щель. Элементарные возбуждения в модели кулоновской щели. Кулоновская щель и прыжковая проводимость. Экранировка в модели кулоновской щели.
6. Переход металл-изолятор. Случайный потенциал, порог подвижности Ферми-стекло. Локализованные и делокализованные состояния. Теорема Андерсона. Модели Андерсона и Мотта. Переход металл-изолятор в легированном полупроводнике. Критерий Мотта.
7. Скейлинг. Проблема описания перехода металл-изолятор, порог подвижности как особая точка. Модель Андерсона, безразмерная проводимость как мера беспорядка. Гипотеза масштабной инвариантности. Вывод уравнения однопараметрического скейлинга. Квантовые поправки к проводимости. Отрицательное магнитосопротивление в теории квантовых поравок, квантовые интерференционные эффекты.
8. Асимптотики функции Гелл-Манна - Лоу в двумерном и трехмерном случаях. Окрестность порога подвижности. Локализация состояний в двумерных системах. Критическое поведение радиуса локализации и проводимости в модели однопараметрического скейлинга. Температурные зависимости в модели однопараметрического скейлинга. Длина когерентности. Квантовые поправки к проводимости на металлической стороне перехода. Окрестность порога подвижности, решение Аронова-Альтшулера. Диэлектрическая сторона перехода, неоптимальные прыжки Звягина. Смена режима оптимальных и неоптимальных прыжков. Неоптимальные прыжки на постоянном и переменном токе.
9. Переход металл-изолятор в Ферми-стекле по Мотту. Минимальная металлическая проводимость. Активация на порог подвижности. Анализ экспериментальных данных с точки зрения различных моделей: модели Мотта, скейлинга и квазиклассической теории протекания. Особенности проводимости и критического поведения в двумерных системах с точки зрения модели однопараметрического скейлинга. Проблема определения положения порога подвижности. Эффект сдвига порога подвижности в результате квантовых интерференционных эффектов.
10. Описание гальваномагнитных эффектов с помощью кинетического уравнения Больцмана. Эффект Холла. Угол Холла, холловская подвижность, коэффициент Холла. Расчет эффекта Холла с помощью кинетического уравнения Больцмана. Случаи слабого и сильного поля, Холл-фактор. Случай нескольких групп носителей заряда. Сравнение с моделью Друде.
11. Магнитосопротивление. Коэффициент магнитосопротивления. Расчет поперечного магнитосопротивления с помощью кинетического уравнения Больцмана. Случаи слабого и сильного поля. Насыщение магнитосопротивления. Роль поля Холла. Магнитосопротивление в образце конечных и бесконечных размеров.
12. Отрицательное магнитосопротивление в теории квантовых поправок.
13. Влияние магнитного поля на прыжковую проводимость. Сетка сопротивлений Миллера-Абрахамса в магнитном поле. Решение для случаев слабого и сильного поля. Сжатие волновой функции. Влияние хаббардовских корреляций. Спин-поляризационный и зеемановский механизмы магнитосопротивления. Отрицательное магнитосопротивление в области прыжковой проводимости. Эффект Холла в области прыжковой проводимости.
14. Описание термоэдс с помощью кинетического уравнения Больцмана. Характеристики пары и материала. Вырожденный и невырожденный случаи. Формула Мотта. Вклад электрон-фононного взаимодействия в термоэдс. Фононное увлечение. Случай нескольких групп носителей заряда.
15. Термоэдс в области прыжковой проводимости. Формула Звягина. Термоэдс в гетерогенных средах.

...

Пример экзаменационного билета из трех вопросов, используемого для проведения экзамена:

Билет №1

1. Континуальные задачи теории протекания. Инвариант континуальной задачи. Задачи на случайных узлах. Задача сфер, критерий связности. Инварианты задачи сфер.
2. Описание эффекта Холла с помощью кинетического уравнения Больцмана. Сравнение с моделью Друде. Эффект Холла в области прыжковой проводимости.
3. Вычислить критическое поведение радиуса локализации и проводимости в модели однопараметрического скейлинга.

отлично

10 Получены ответы на три вопроса в экзаменационном билете, нет замечаний.

9 Получены ответы на три вопроса в экзаменационном билете, есть отдельные замечания.

8 Получены ответы на три вопроса в экзаменационном билете, есть существенные замечания и (или) ошибки в вычислениях.

хорошо

7 Получены ответы на два вопроса в экзаменационном билете, нет замечаний

6 Получены ответы на два вопроса в экзаменационном билете, есть отдельные замечания

5 Получены ответы на два вопроса в экзаменационном билете, есть существенные замечания и (или) ошибки в вычислениях.

удовлетворительно

4 Получен ответ на один вопрос в экзаменационном билете, нет замечаний

3 Получен ответ на один вопрос в экзаменационном билете, есть замечания

неудовлетворительно

2 Правильные ответы на вопросы экзаменационного билета отсутствуют.

1 Правильные ответы на вопросы экзаменационного билета отсутствуют, студент не может объяснить смысл заданных вопросов.

Примечание:

оценка «отлично (10)» выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений;

оценка «хорошо (7)» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности;

оценка «удовлетворительно (4)» выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;

оценка «неудовлетворительно (2)» выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины и не умеет использовать полученные знания при решении типовых практических задач.

## **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

При проведении устного экзамена обучающемуся предоставляется 1 астрономический час на подготовку. Опрос обучающегося по билету на устном экзамене не должен превышать одного астрономического часа.

Во время проведения экзамена обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также справочной литературой, конспектом лекций и персональными компьютерами.

При проведении экзамена один из вопросов билета может включать в себя расчетную задачу. Предполагается, что в ходе самостоятельной работы в семестре студент выполняет решение задач, предлагаемых преподавателем на лекциях или семинарах. Проверка правильности решения задач, отнесенных к самостоятельной подготовке осуществляется в форме индивидуальных консультаций.