|  |  |
| --- | --- |
| Название | **Электроны в неупорядоченных средах** |
| Департамент | **базовая кафедра физики конденсированных сред Института физики твердого тела РАН** |
| ОП | **–** |
| Период реализации | **3 модуль 2022/2023 - 4 модуль 2022/2023** |
| Язык | **Русский** |
| Охват аудитории | **–** |
| Объем дисциплины | **5 кр., 190 ч. (50 ч. контактной работы, из них: 32 ч. лекции, 18 ч. семинары, 140 ч. самостоятельная работа)** |
| Онлайн курс | **–** |
| Технологии реализации | **–** |
| Разработчики | **–** |
| Утверждение | **Департамент базовая кафедра физики конденсированных сред Института физики твердого тела РАН. Номер протокола –. Дата заседания –.** |

АННОТАЦИЯ

Целями освоения дисциплины «Электроны в неупорядоченных средах» являются: • формирование у студентов профессиональных компетенций, связанных с использова-нием современных представлений в области физики конденсированных сред, • приобретение студентами навыков самостоятельной исследовательской работы, • формирование подходов, основанных на полученных знаниях, позволяющих прово-дить научные исследования и анализировать полученные результаты, • развитие умений, позволяющих развивать качественные и количественные физические модели электронных процессов в твердых телах.

ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ

* формирование у студентов профессиональных компетенций, связанных с использованием современных представлений в области физики конденсированных сред,
* приобретение студентами навыков самостоятельной исследовательской работы,
* формирование подходов, основанных на полученных знаниях, позволяющих проводить научные исследования и анализировать полученные результаты,
* развитие умений, позволяющих развивать качественные и количественные физические модели электронных процессов в твердых телах.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

* знает и умеет применять к решению задач фундаментальные понятия физики твердого тела: квантовый фазовый переход металлизолятор, квантовые поправки к проводимости, баллистический, диффузионный и прыжковый транспорт заряда, теория скейлинга, квантовый эффект Холла, формализм Ландауэра
* знает и умеет применять к решению задач фундаментальные понятия физики твердого тела: частота межэлектронных столкновений в грязном пределе.
* знает фундаментальные понятия физики твердого тела: квантовый фазовый переход металлизолятор, квантовые поправки к проводимости, баллистический, диффузионный и прыжковый транспорт заряда, теория скейлинга, квантовый эффект Холла
* умеет пользоваться полученными знаниями для решения экспериментальных и теоретических задач, делать качественные выводы при получении новых результатов исследований, производить оценки параметров и характеристик материалов

РАЗДЕЛЫ

**Переход металл-изолятор. Перенос заряда в изоляторе**

Лекционные 8 ч

Семинарские 6 ч

Самостоятельная работа 32 ч

Переходы металл-изолятор. Переходы под влиянием беспорядка: модель Андерсона и модель структурного беспорядка. Переход Мотта. Минимальная металлическая проводимость. Физические аспекты теории перколяции. Аппроксимация эффективной среды. Задачи узлов и связей. Перколяция в системе случайных узлов. Континуальные задачи. Перколяцонные пороги и критические индексы. Электронная структура примесной зоны в полупроводниках при слабом легировании. Кулоновская щель. Измерение электронного спектра при помощи туннельной спектроскопии. Переходы между локализованными состояниями. Разные типы прыжковой проводимости: прыжки на ближайших соседей и с переменной длиной прыжка. Законы Мотта и Шкловского-Эфроса.

**Квантовые поправки к металлической проводимости и теория скейлинга.**

Лекционные 8 ч

Семинарские 6 ч

Самостоятельная работа 38 ч

Слабая локализация и квантовые поправки к проводимости. Оптический аналог слабой локализации. Антилокализация. Частота межэлектронных столкновений в грязном пределе. Эффект Аронова-Альтшулера. Скейлинговая гипотеза. Проводимость в критической области вблизи перехода металл-изолятор в трехмерных системах. Квантовый фазовый переход. Двумерные и одномерные системы. Скейлинг и спин-орбитальное взаимодействие.

**Квантовый транспорт и локализация в одномерных системах.**

Лекционные 8 ч

Семинарские 2 ч

Самостоятельная работа 38 ч

Формализм Ландауэра для одномерных систем. Матрица рассеяния, собственные значения, кондактанс. Роль интерференции и сбоя фазы в сложении амплитуд рассеяния на дефектах. Задача о двухбарьерном рассеивателе. Усреднение по реализациям беспорядка. Локализация и роль корреляций беспорядка в одномерных системах.

**Двумерные электронные системы. Квантовый эффект Холла.**

Лекционные 8 ч

Семинарские 4 ч

Самостоятельная работа 32 ч

Двумерные электронные системы в гетероструктурах и полевых транзисторах, зонная структура. Квазиклассические орбиты в перпендикулярном магнитном поле. Дрейф в скрещенных полях. Целочисленный квантовый эффект Холла. Спектр двумерных электронов в перпендикулярном магнитном поле. Механизм образования плато. Протяженные состояния в квантующем магнитном поле в присутствии длиннопериодного потенциала беспорядка. Дробный квантовый эффект Холла.

СИСТЕМА ОЦЕНИВАНИЯ

**Промежуточная аттестация (2019/2020 учебный год 4 модуль)**

Формула оценивания: Контрольная работа \* 0.5 + Экзамен \* 0.5

* **Контрольная работа 0.5**

Проводится: 4 модуль 2019/2020, Учебный период, Оффлайн

Оценивается: 4 модуль 2019/2020

Критерии оценивания:

Оценка «отлично (10)» выставляется студенту, выполнившему работу без ошибок и недочетов. Оценка «отлично (9)» выставляется студенту, выполнившему работу без ошибок, допустившему не более одного недочета. Оценка «отлично (8)» выставляется студенту, выполнившему работу с не более чем одной негрубой ошибкой или несколько недочетов. Оценка «хорошо (7)» выставляется студенту, выполнившему работу с несколькими негрубыми ошибками и не более одного недочета. Оценка «хорошо (6)» выставляется студенту, выполнившему работу с одной грубой ошибкой или большим числом недочетов. Оценка «удовлетворительно (5)» выставляется студенту, выполнившему работу более чем на 60 % с несколькими грубыми ошибками. Оценка «удовлетворительно (4)» выставляется студенту, выполнившему работу более чем на 40 % с несколькими грубыми ошибками, однако продемонстрировавшему владение основными разделами учебной программы. Оценка «неудовлетворительно (3)» или «неудовлетворительно (2)» или «неудовлетворительно (1)» выставляется студенту, который при выполнении работы систематически допускает грубые ошибки при формулировании основных физических законов или не способен корректно применять физические законы даже для решения простых задач.

Примеры заданий:

Задача 1. Вывод асимптотики мощности бесконечного кластера в перколяционной задаче узлов при $$x \to 1$$

Задача 2. Качественный вывод зависимости химпотенциала в примесной зоне от степени компенсации при нулевой температуре

Задача 3. Вывод удельной проводимости трехмерной сетки с экспоненциально широким разбросом сопротивлений ребер.

Задача 4. Вывод асимптотики функции Гелл-Манна – Лоу $$ \beta ( g ) $$ в пределе $$g \gg 1$$ при помощи теории слабой локализации

Задача 5. Каков критерий двумерности образца с точки зрения слабой локализации?

Задача 6. Вывод коэффициента прохождения электрона через двухбарьерный дефект.

Проверяет планируемые результаты обучения:

* + знает и умеет применять к решению задач фундаментальные понятия физики твердого тела: квантовый фазовый переход металлизолятор, квантовые поправки к проводимости, баллистический, диффузионный и прыжковый транспорт заряда, теория скейлинга, квантовый эффект Холла, формализм Ландауэра
  + знает и умеет применять к решению задач фундаментальные понятия физики твердого тела: частота межэлектронных столкновений в грязном пределе.
  + знает фундаментальные понятия физики твердого тела: квантовый фазовый переход металлизолятор, квантовые поправки к проводимости, баллистический, диффузионный и прыжковый транспорт заряда, теория скейлинга, квантовый эффект Холла
  + умеет пользоваться полученными знаниями для решения экспериментальных и теоретических задач, делать качественные выводы при получении новых результатов исследований, производить оценки параметров и характеристик материалов
* **Экзамен 0.5**

Проводится: 4 модуль 2019/2020, Сессия, Оффлайн

Оценивается: 4 модуль 2019/2020

Является экзаменом

Пересдача: Возможна

Критерии оценивания:

Оценка «отлично (10)» выставляется студенту, показавшему всесторонние систематизированные глубокие знания учебной программы и за её пределами, а также умение уверенно применять их на практике при решении сложных нестандартных задач. Оценка «отлично (9)» выставляется студенту, показавшему всесторонние систематизированные глубокие знания учебной программы и умение уверенно применять их на практике при решении нестандартных задач. Оценка «отлично (8)» выставляется студенту, показавшему всесторонние систематизированные глубокие знания учебной программы и умение уверенно применять их на практике при решении нестандартных задач, однако допустившему некоторые неточности при ответе. Оценка «хорошо (7)» выставляется студенту, если он продемонстрировал твердое знание и уверенное понимание материала учебной программы и умение свободно применять физические законы на практике при решении типовых задач. Оценка «хорошо (6)» выставляется студенту, если он продемонстрировал твердое знание материала учебной программы и умение применять физические законы на практике при решении типовых задач. Оценка «удовлетворительно (5)» выставляется студенту, если он продемонстрировал твердое знание и понимание материала учебной программы и умение применять физические законы на практике при решении типовых задач, однако допустил при ответе ряд грубых неточностей. Оценка «удовлетворительно (4)» выставляется студенту, показавшему фрагментарный характер знаний, допускавшему неточности в формулировке основных законов и базовых понятий, но при этом продемонстрировавшему способность решать простые задачи и владение основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения. Оценка «неудовлетворительно (3)» или «неудовлетворительно (2)» или «неудовлетворительно (1)» выставляется студенту, который не знает значительную часть основного содержания программы, систематически допускает грубые ошибки при формулировании основных физических законов или не способен корректно применять физические законы даже для решения простых задач.

Примеры заданий:

Билет 1. Вопрос 1. Переход металл – изолятор Андерсона Вопрос 2. Модель эффективной среды

Билет 2. Вопрос 1. Двумерные электронные системы Вопрос 2. Скейлинговая гипотеза

Билет 3. Вопрос 1. Квантовый эффект Холла Вопрос 2. Формализм Ландауэра

Билет 4. Вопрос 1. Локализация в одномерных одноканальных системах Вопрос 2. Слабая локализация и антилокализация

Проверяет планируемые результаты обучения:

* + знает и умеет применять к решению задач фундаментальные понятия физики твердого тела: квантовый фазовый переход металлизолятор, квантовые поправки к проводимости, баллистический, диффузионный и прыжковый транспорт заряда, теория скейлинга, квантовый эффект Холла, формализм Ландауэра
  + знает и умеет применять к решению задач фундаментальные понятия физики твердого тела: частота межэлектронных столкновений в грязном пределе.
  + знает фундаментальные понятия физики твердого тела: квантовый фазовый переход металлизолятор, квантовые поправки к проводимости, баллистический, диффузионный и прыжковый транспорт заряда, теория скейлинга, квантовый эффект Холла
  + умеет пользоваться полученными знаниями для решения экспериментальных и теоретических задач, делать качественные выводы при получении новых результатов исследований, производить оценки параметров и характеристик материалов

ЛИТЕРАТУРА

**Основная литература**

 Yuri M. Galperin. (n.d.). Introduction to Modern Solid State Physics. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&site=eds-live&db=edsbas&AN=edsbas.FB1F97C2>

 Электронные свойства легированных полупроводников, Шкловский, Б. И.1979

 Электроны в неупорядоченных средах, Гантмахер, В. Ф.978-5-922114-87-52013

 Электроны в неупорядоченных средах, Гонтмахер, В. Ф.5-922105-78-72005

**Дополнительная литература**

 Giamarchi, T. (2004). Quantum Physics in One Dimension. Oxford: Clarendon Press. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&site=eds-live&db=edsebk&AN=271799>

 Luo, X.-W., Zhou, X., Li, C.-F., Xu, J.-S., Guo, G.-C., & Zhou, Z.-W. (2015). Quantum simulation of 2d topological physics using orbital-angular-momentum-carrying photons in a 1d array of cavities. https://doi.org/10.1038/ncomms870 <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&site=eds-live&db=edsarx&AN=edsarx.1512.08116>

 Schonhammer, K. (2012). Physics in one dimension: theoretical concepts for quantum many-body systems. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&site=eds-live&db=edsbas&AN=edsbas.AFB0DCC8>

МАТЕРИАЛЫ

Раздел не заполнен

ПО

* **Microsoft Windows 7 Professional RUS**

Операционная система, Операционные системы, Из внутренней сети Университета

* **Microsoft Office Professional Plus 2010**

Пакет офисных программ, Научное, Из внутренней сети Университета

ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ БАЗЫ ДАННЫХ, ИНФОРМАЦИОННЫЕ СПРАВОЧНЫЕ СИСТЕМЫ, ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ

**Система «Гарант»**

[https://agilemanifesto.org](https://agilemanifesto.org/)

Гарант — справочно-правовая система по законодательству Российской Федерации, разрабатываемая ООО НПП «Гарант-Сервис-Университет», первая массовая коммерческая справочно-правовая система в России

**Система «Консультант Плюс»**

<https://www.consultant.ru/>

Справочно-правовая система, содержащая полную базу правовой информации и фирменные обновляемые разъяснения

МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

**Тип аудиторий**

* Лекционные
* Семинарские

**Оснащение аудиторий**

* Персональный компьютер
* Набор демонстрационного оборудования - Может включать в себя: мультимедийный проектор, проекционный экран, интерактивная доска, видео панель, интерактивная видео панель, презентационный ноутбук и другие средства демонстрации учебного контента. Допускается использование для проведения занятий переносного набора демонстрационного оборудования.
* Доска
* Экран
* Специализированная мебель - Доска, столы или парты, стулья.
* Наличие беспроводного доступа в Интернет по сети Wi-Fi

ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

**В случае необходимости, обучающимся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья (по заявлению обучающегося) а для инвалидов также в соответствии с индивидуальной программой реабилитации инвалида, могут предлагаться следующие варианты восприятия учебной информации с учетом их индивидуальных психофизических особенностей, в том числе с применением электронного обучения и дистанционных технологий:**

* для лиц с нарушениями зрения: в печатной форме увеличенным шрифтом; в форме электронного документа; в форме аудиофайла (перевод учебных материалов в аудиоформат); в печатной форме на языке Брайля; индивидуальные консультации с привлечением тифлосурдопереводчика; индивидуальные задания и консультации.
* для лиц с нарушениями слуха: в печатной форме; в форме электронного документа; видеоматериалы с субтитрами; индивидуальные консультации с привлечением сурдопереводчика; индивидуальные задания и консультации.
* для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата: в печатной форме; в форме электронного документа; в форме аудиофайла; индивидуальные задания и консультации.