

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

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы физики
и исследований им. Ландау
А.В. Рогачев**

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Транспорт в мезоскопических системах
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра проблем теоретической физики
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составил: Я.В. Фоминов, д-р физ.-мат. наук, доцент

Программа обсуждена на заседании кафедры проблем теоретической физики 17.04.2023

Аннотация

Курс формирует базовые знания по разделу современной физики твердого тела, связанному с изучением переноса заряда (токовых состояний) в мезоскопических структурах, в частности, об актуальных задачах физики мезоскопического квантового транспорта, об основных экспериментальных результатах в данной области, о теоретическом способе описания задач, а также даёт базовые навыки решения теоретических задач.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

Целью дисциплины является формирование базовых знаний по разделу современной физики твердого тела, связанному с изучением переноса заряда (токовых состояний) в мезоскопических структурах.

Задачи дисциплины

- формирование базовых знаний о ряде актуальных задач физики мезоскопического квантового транспорта;
- формирование базовых знаний об экспериментальных результатах в данной области;
- формирование базовых знаний о теоретическом способе описания задач в данной области;
- формирование базовых навыков решения теоретических задач в данной области.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними
	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
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-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-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
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)
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений

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-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.1 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в составе научного коллектива

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- Эффект квантования проводимости (кондактанса) в контактах типа плавного сужения. Его физическое происхождение, теоретическое описание в простейших случаях. Методы экспериментального изучения;
- эффект кулоновской блокады в одноэлектронном транзисторе. Его физическое происхождение, теоретическое описание в простейших случаях. Методы экспериментального изучения;
- эффект слабой локализации в неупорядоченных системах. Упрощенное теоретическое описание интерференции на возвратных траекториях и вычисления поправок к проводимости. Методы экспериментального изучения;
- эффекты андреевского отражения и андреевской проводимости. Их физическое происхождение, теоретическое описание в простейших случаях;
- эффект возникновения андреевских уровней в SNS-контакте. Его физическое происхождение, теоретическое описание в простейших случаях. Эффект Джозефсона в этой системе;
- эффект многократного андреевского отражения в идеальном SNS-контакте. Его физическое происхождение, теоретическое описание в простейших случаях. Методы экспериментального изучения;
- стационарный эффект Джозефсона в SIS- и SINIS-контактах. Его физическое происхождение, теоретическое описание в простейших случаях.

уметь:

- Применять подход Ландауэра для описания транспортных свойств низкоразмерных электронных систем;
- применять ортодоксальный метод для описания переноса электронов в одноэлектронном транзисторе с кулоновской блокадой;
- применять уравнения Боголюбова – де Жена для описания андреевского отражения на NS-границе;
- применять подход Блондера-Тинкхама-Клапвайка для описания андреевской проводимости неидеальной NS-границы;
- применять уравнения Гинзбурга-Ландау для описания эффекта близости и эффекта Джозефсона в SINIS-контакте.

владеть:

- Базовыми методами теоретического описания мезоскопического квантового транспорта.

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	Квантовые контакты.	6	6		9
2	Кулоновская блокада	6	6		9

3	Квантовая интерференция.	6	6		9
4	Андреевское отражение.	6	6		9
5	Стационарный эффект Джозефсона. Уравнения Гинзбурга-Ландау.	6	6		9
Итого часов		30	30		45
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		135 час., 3 зач.ед.			

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

Семестр: 1 (Осенний)

1. Квантовые контакты.

Квантование проводимости (кондактанса) в контактах типа плавного сужения. Аналогия с волноводами. Подход Ландауэра: проводящие каналы, матрица рассеяния, transmission eigenvalues. Формула Шарвина.

2. Кулоновская блокада

Одноэлектронное туннелирование через конденсатор. Одноэлектронный транзистор (SET), управление зарядом островка с помощью затвора, точки вырождения. Кулоновские алмазы (Coulomb diamonds) при нулевой температуре. Ортодоксальный метод (orthodox theory) и вычисление линейного кондактанса при малых температурах вблизи точек вырождения.

3. Квантовая интерференция.

Слабая локализация в неупорядоченных системах. Интерференция на возвратных траекториях, удвоение вероятности возврата. Поправки к проводимости в трёхмерном, двумерном и одномерном случаях. Подавление слабой локализации магнитным полем, отрицательное магнетосопротивление. Экспериментальные результаты для тонких плёнок.

4. Андреевское отражение.

Основные факты про сверхпроводимость и теорию БКШ. Уравнения Боголюбова – де Жена. Андреевское отражение от идеальной NS границы. Тезисно: перекрёстное андреевское отражение, нелокальная проводимость, point-contact Andreev reflection spectroscopy и измерение спиновой поляризации. Андреевская проводимость неидеальной NS-границы, подход BTK (Blonder, Tinkham, Klapwijk). Андреевские уровни в коротком SNS-контакте (метод матрицы рассеяния). Джозефсоновский ток в этой системе. Общие факты об эффекте Джозефсона. MAR (многократное андреевское отражение) в идеальном SNS-контакте. Диссипативный ток и ВАХ.

5. Стационарный эффект Джозефсона. Уравнения Гинзбурга-Ландау.

Граничные условия. Туннельный SIS-контакт. Эффект близости в SINIS-контакте. Эффект Джозефсона в SINIS-контакте. Теория Асламазова-Ларкина для контакта с сужением.

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

Учебная аудитория, оснащенная классной доской, при необходимости - медиапроектор с экраном.

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Электроны в неупорядоченных средах [Текст]/В. Ф. Гантмахер, -М., Физматлит, 2005
- [2] Yu.V. Nazarov, Ya.M. Blanter, "Quantum transport".
- [3] В.Ф. Гантмахер, «Электроны в неупорядоченных средах».

Дополнительная литература

- [1] S. Datta, "Electronic transport in mesoscopic systems". (доступно в электронном виде)
- [2] "Single charge tunneling: Coulomb blockade phenomena in nanostructures", под редакцией Н. Grabert, М.Н. Devoret.
- [3] М. Tinkham, "Introduction to superconductivity" (2nd edition).

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

http://mipt.ru/education/chair/theoretical_physics/biblio/metodichki.php

- методические пособия по теме курса

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

Не используются.

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

Студент, изучающий дисциплину "Транспорт в мезоскопических системах", должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике.

В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения дисциплины, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к преподавателю.

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра проблем теоретической физики
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Экзамен

Разработчик: Я.В. Фоминов, д-р физ.-мат. наук, доцент

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними
	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
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-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-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
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)
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
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-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.1 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в составе научного коллектива

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Транспорт в мезоскопических системах» обучающийся должен:

знать:

- Эффект квантования проводимости (кондактанса) в контактах типа плавного сужения. Его физическое происхождение, теоретическое описание в простейших случаях. Методы экспериментального изучения;
- эффект кулоновской блокады в одноэлектронном транзисторе. Его физическое происхождение, теоретическое описание в простейших случаях. Методы экспериментального изучения;
- эффект слабой локализации в неупорядоченных системах. Упрощенное теоретическое описание интерференции на возвратных траекториях и вычисления поправок к проводимости. Методы экспериментального изучения;
- эффекты андреевского отражения и андреевской проводимости. Их физическое происхождение, теоретическое описание в простейших случаях;
- эффект возникновения андреевских уровней в SNS-контакте. Его физическое происхождение, теоретическое описание в простейших случаях. Эффект Джозефсона в этой системе;
- эффект многократного андреевского отражения в идеальном SNS-контакте. Его физическое происхождение, теоретическое описание в простейших случаях. Методы экспериментального изучения;
- стационарный эффект Джозефсона в SIS- и SINIS-контактах. Его физическое происхождение, теоретическое описание в простейших случаях.

уметь:

- Применять подход Ландауэра для описания транспортных свойств низкоразмерных электронных систем;
- применять ортодоксальный метод для описания переноса электронов в одноэлектронном транзисторе с кулоновской блокадой;
- применять уравнения Боголюбова – де Жена для описания андреевского отражения на NS-границе;
- применять подход Блондера-Тинкхама-Клапвайка для описания андреевской проводимости неидеальной NS-границы;
- применять уравнения Гинзбурга-Ландау для описания эффекта близости и эффекта Джозефсона в SINIS-контакте.

владеть:

- Базовыми методами теоретического описания мезоскопического квантового транспорта.

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

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия или в конце занятия по пройденной теме.

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

1. Эффект квантования проводимости (кондактанса) в контактах типа плавного сужения. Его физическое происхождение, теоретическое описание в простейших случаях. Методы экспериментального изучения.
2. Эффект кулоновской блокады в одноэлектронном транзисторе. Его физическое происхождение, теоретическое описание в простейших случаях. Методы экспериментального изучения.
3. Эффект слабой локализации в неупорядоченных системах. Упрощенное теоретическое описание интерференции на возвратных траекториях и вычисления поправок к проводимости. Методы экспериментального изучения.
4. Эффекты андреевского отражения и андреевской проводимости. Их физическое происхождение, теоретическое описание в простейших случаях.
5. Эффект возникновения андреевских уровней в SNS-контакте. Его физическое происхождение, теоретическое описание в простейших случаях. Эффект Джозефсона в этой системе.
6. Эффект многократного андреевского отражения в идеальном SNS-контакте. Его физическое происхождение, теоретическое описание в простейших случаях. Методы экспериментального изучения.
7. Стационарный эффект Джозефсона в SIS- и SINIS-контактах. Его физическое происхождение, теоретическое описание в простейших случаях.

Примеры экзаменационных билетов:

Билет 1.

Эффект квантования проводимости (кондактанса) в контактах типа плавного сужения. Его физическое происхождение, теоретическое описание в простейших случаях. Методы экспериментального изучения.

Билет 2.

Эффект кулоновской блокады в одноэлектронном транзисторе. Его физическое происхождение, теоретическое описание в простейших случаях. Методы экспериментального изучения.

Критерии оценивания

Оценка "отлично" (10 баллов) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка "отлично" (9 баллов) 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 "отлично" (8 баллов) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочётами.

Оценка "хорошо" (7 баллов) выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка "хорошо" (6 баллов) выставляется студенту, если он твёрдо 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 "хорошо" (5 баллов) выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка "удовлетворительно" (4 балла) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка "удовлетворительно" (3 балла) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка "неудовлетворительно" (2 балла) выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка "неудовлетворительно" (1 балл) выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

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

При проведении оценивания знаний обучающемуся предоставляется время на подготовку на усмотрение экзаменатора. Опрос обучающегося по билету на устном экзамене не должен превышать одного астрономического часа. Оценивание знаний производится в соответствии с вышеуказанными критериями в соответствии с содержанием дисциплины.