

**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) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 75 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 15.04.2024

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		15
2	Кулоновская блокада	6	6		15

3	Квантовая интерференция.	6	6		15
4	Андреевское отражение.	6	6		15
5	Стационарный эффект Джозефсона. Уравнения Гинзбурга-Ландау.	6	6		15
Итого часов		30	30		75
Подготовка к экзамену		0 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"

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 (теоргруппа Горькова)
курс:	<u>1</u>
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Дифференцированный зачет

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.

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 дифференцированном зачёте не должен превышать одного астрономического часа. Оценивание знаний производится в соответствии с вышеуказанными критериями в соответствии с содержанием дисциплины.