

Рабочая программа дисциплины

1. Название дисциплины: Физика полупроводниковых мезоскопических систем

2. Уровень высшего образования – магистратура

3. Направление подготовки: 03.04.02 Физика (магистратура)

4. Аннотация:

Курс «Физика полупроводниковых мезоскопических систем» является профильной дисциплиной магистерской программы «Квантовые и оптические технологии». Дисциплина обеспечивает теоретическую подготовку студентов в области исследования особенностей электронного транспорта и изучения оптических свойств низкоразмерных полупроводниковых структур с сильными межчастичными корреляциями. В курсе представлены основы электронной теории низкоразмерных структур, обсуждаются основные теоретические подходы, используемые для описания электронных и оптических свойств твердотельных коррелированных наноструктур, описаны наиболее значимые эффекты, наблюдаемые в низкоразмерных структурах, обусловленные наличием межчастичных корреляций и ролью границ. Также рассмотрены основные методы экспериментального исследования твердотельных наноструктур. Все понятия, подходы и эффекты физики твердотельных наноструктур рассматриваются на уровне курса общей физики с тем, чтобы при дальнейшем изучении отдельных разделов у обучающихся уже имелось представление об этом направлении физики в целом.

5. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается согласно рабочему плану):

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (18 часов занятия лекционного типа, 16 часов занятия семинарского типа, 2 часа коллоквиумов), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

6. Формируемые компетенции и входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

НАЗВАНИЕ КОМПЕТЕНЦИЙ:

СПК-1 Способность свободно владеть профессиональными знаниями для анализа и синтеза физической информации в области физики квантовых и оптических технологий.

СПК-2 Способность к поиску, критическому анализу, обобщению и систематизации научной информации в области физики квантовых и оптических технологий.

СПК-3 Способность организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области физики квантовых и оптических технологий, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования.

ПОРОГОВЫЙ (ВХОДНОЙ) УРОВНЬ ЗНАНИЙ, УМЕНИЙ, ОПЫТА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, ТРЕБУЕМЫЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ

Для того чтобы формирование данных компетенций было возможно, обучающийся, приступивший к освоению образовательной программы, должен:

- **ЗНАТЬ:** основные методы научно-исследовательской деятельности.
- **УМЕТЬ:** выделять и систематизировать основные идеи в научных текстах; критически оценивать любую поступающую информацию, вне зависимости от источника; избегать автоматического применения стандартных формул и приемов при решении задач.
- **ВЛАДЕТЬ:** навыками сбора, обработки, анализа и систематизации информации по теме исследования; навыками выбора методов и средств решения задач исследования.

Для освоения дисциплины необходимы знания и умения, приобретаемые в рамках дисциплин общей физики «Оптика», «Электромагнетизм» и теоретической физики «Электродинамика», а также дисциплины «Введение в квантовую физику», «Атомная физика», «Квантовая теория». Желательно освоение курсов «Атомная структура полупроводников», «Квазичастицы в конденсированных средах», «Физика полупроводников».

7. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего, часы	В том числе						
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них				Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости коллоквиумы, практические контрольные занятия и др.*	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего
1. Введение Обзор основных особенностей свойств мезоскопических систем. Их отличие от макроскопических систем. Отсутствие самоусредняемости, ограниченность применимости эргодической гипотезы, роль процедуры измерений. Первые эксперименты.		1			1	1 час Знакомство с обзорами по мезоскопическим явлениям.		1

<p>2. Интерференционные эффекты и межчастичное взаимодействие в мезоскопических системах</p> <p>§1. Особенности упругого рассеяния на примесях в ограниченных системах. Интерференционные поправки к плотности состояний.</p> <p>§2. Слабая и сильная локализация в мезоскопических системах. Хвосты плотности состояний при наличии сильной локализации. Модель сильной связи и приближение эффективной массы. Слабая локализация в присутствии кулоновского взаимодействия. Базовые эксперименты, демонстрирующие аномальную проводимости в мезоскопических системах различной размерности.</p> <p>§3. Кулоновская блокада в мезоскопических системах и наноструктурах. Режим баллистического транспорта. Роль неравновесного распределения электронов в мезо- и наноструктурах при анализе вольт-амперных характеристик. Режимы кулоновской блокады и переменной валентности. Учет вклада от флуктуаций в плотность состояний.</p> <p>§4. Спиновые корреляции в мезоскопических полупроводниковых структурах. Эффект Кондо. Особенности плотности состояний при низких температурах. Температурная зависимость проводимости, обусловленная эффектом Кондо. Характерные энергетические масштабы.</p>	8	5		13	<p>1 час Найти связь между эффективной массой и амплитудой межзельных перескоков в модели сильной связи при заданной величине постоянной решетки.</p> <p>1 час Определить положение пиков проводимости в режиме кулоновской блокады для четного и нечетного числа электронов на мезоскопической грануле.</p> <p>4 часа Повторение лекционного материала по теме «Интерференционные эффекты и межчастичное</p>		6
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---	---	--	----	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	---

						взаимодействие в мезоскопических системах».		
<p>3. Эффект Холла в мезоскопических системах</p> <p>§5. Обычный, квантовый и дробный эффект Холла. Условия возникновения, принципиальная роль двумерной размерности системы, влияние беспорядка.</p> <p>§6. Спиновый эффект Холла. Виды спин-орбитального взаимодействия. Рассеяние носителей с противоположным спином на заряженных примесях при наличии спин-орбитального взаимодействия.</p>		3	3	2 часа Коллоквиум по темам «Интерференционные эффекты и межчастичное взаимодействие в мезоскопических системах» и «Эффект Холла в мезоскопических системах»	6	1 час Оценка радиуса циклотронной орбиты в режиме квантового эффекта Холла.		8
<p>4. Экситоны в низкоразмерных системах</p> <p>§7. Размерное квантование энергии электронов в мезоскопических структурах. Квази-низкоразмерные системы. Экранирование в трехмерных и двумерных структурах.</p> <p>§8. Свободные и связанные экситоны в наносистемах, экситоны в двумерных, одномерных и нульмерных системах. Экситонные комплексы, трионы. Оптические свойства квантовых ям. Оптические свойства квантовых нитей и квантовых точек.</p> <p>§9. Механизмы поглощения в мезоскопических структурах. Зонное и межзонное поглощение.</p>		3	3		6	1 час Оценка характерного радиуса экситона Ванье-Мотта и энергии связи в полупроводнике.		4
						1 час Изучить отличие коэффициента поглощения для прямых и		

Поглощение на экситонах.						непрямых межзонных переходов		
						2 часа Повторение лекционного материала по теме «Экситоны в низкоразмерных системах».		
5. Методы локального исследования электронных и оптических свойств мезоскопических систем §10. Методы экспериментального исследования электронных свойств мезоскопических структур. Принципы работы сканирующего туннельного микроскопа (СТМ), атомного силового микроскопа (АСМ), физические эффекты на которых основано действие приборов. §11. Методы экспериментального исследования оптических свойств мезоскопических структур. Принципы работы сканирующего оптического микроскопа ближнего поля (СОМБП), фотолюминесценция мезоскопических систем.		3	3		6	2 часа Повторение лекционного материала по теме «Методы локального исследования электронных и оптических свойств мезоскопических систем».		2
Промежуточная аттестация - зачет			4		4	15 часов Подготовка к промежуточной аттестации (зачету).		15
Итого		18	16	2	36			36

* Текущий контроль успеваемости в рамках занятий семинарского типа реализуется в форме обсуждения.

8. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине:

8.1 Основная и дополнительная литература доступная студентам через Интернет или по запросу лектору.

8.2 Электронные презентации основных тем дисциплины доступные через сайт квантового центра.

9. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

1. Отличительные свойства мезоскопических систем и подходы, используемые для их описания.
2. Особенности отклика мезоскопических систем на внешнее воздействие.
3. Роль когерентных и интерференционных процессов в ограниченных структурах.
4. Роль межчастичных взаимодействий и границ в формировании отклика мезоскопических систем на внешнее воздействие.
5. Слабая и сильная локализация в наносистемах, влияние типа локализации на вид плотности состояний в трехмерном, двумерном, одномерном и нульмерном случаях.
6. Учет вклада от флуктуаций в плотность состояний. Зависимость флуктуационного вклада от размеров образца и размерности системы.
7. Эффект кулоновской блокады, условия наблюдения, одноэлектронный транспорт. Роль спина в системах малых размеров (эффект Кондо). Баллистический транспорт.
8. Методы исследования наноструктур (сканирующая зондовая микроскопия, оптические методы).
9. Экранирование в трехмерных и двумерных структурах. Свободные и связанные экситоны в наносистемах, экситоны в двумерных, одномерных и нульмерных системах (квантовых ямах, квантовых проволоках и квантовых точках).
10. Оптические свойства мезоскопических систем. Межзонное поглощение, внутризонное поглощение, оптическая ионизация квантовых ям, деполяризация.
11. Условия наблюдения целочисленного квантового эффекта Холла и спинового эффекта Холла.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ (ПОКАЗАТЕЛИ ДОСТИЖЕНИЯ ЗАДАННОГО УРОВНЯ ОСВОЕНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ)

ВЛАДЕТЬ: профессиональными знаниями для анализа и синтеза физической информации в области физики квантовых и оптических технологий (В1, СПК-1).

ВЛАДЕТЬ: навыками поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области физики квантовых и оптических технологий (В2, СПК-2).

ВЛАДЕТЬ: навыками анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области физики квантовых и оптических технологий (В3, СПК-3).

УМЕТЬ: анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области физики квантовых и оптических технологий и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов (У1, СПК-1).

УМЕТЬ: осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области физики квантовых и оптических технологий (У2, СПК-2).

УМЕТЬ: организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области физики квантовых и оптических технологий, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования (У3, СПК-3).

ЗНАТЬ: методы анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новой физической информации при решении исследовательских и практических задач в области физики квантовых и оптических технологий (З1, СПК-1).

ЗНАТЬ: способы критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области физики квантовых и оптических технологий (З2, СПК-2).

ЗНАТЬ: методы организации и планирования исследований в области физики квантовых и оптических технологий, включая способы решения задач с помощью современной аппаратуры и оборудования (З3, СПК-3).

Планируемые результаты	Критерии оценивания результатов обучения
------------------------	------------------------------------------

обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	1	2	3	4	5
<i>ВЛАДЕТЬ:</i> профессиональными знаниями для анализа и синтеза физической информации в области физики квантовых и оптических технологий (B1, СПК-1).	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков анализа и синтеза физической информации в области физики квантовых и оптических технологий	В целом успешное, но не систематическое применение навыков анализа и синтеза физической инфор- мации в области физики квантовых и оптических технологий	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков анализа и синтеза физической информации в области физики квантовых и оптических технологий	Успешное и систематическое применение навыков анализа и синтеза физической информации в области физики квантовых и оптических технологий
<i>ВЛАДЕТЬ:</i> навыками поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области физики квантовых и оптических технологий (B2, СПК-2).	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области физики квантовых и оптических технологий	В целом успешное, но не систематическое применение навыков поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области физики квантовых и оптических технологий	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков поиска, критического анализа, обобщения и сис- тематизации научной информации в области физики квантовых и оптических технологий	Успешное и систематическое применение навыков поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области физики квантовых и оптических технологий
<i>ВЛАДЕТЬ:</i> навыками анализа методологических	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков анализа методологи-	В целом успешное, но не систематическое применение навыков	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков	Успешное и систематическое применение навыков анали- за методологических

<p>проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области физики квантовых и оптических технологий (ВЗ, СПК-3).</p>		<p>ческих проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области физики квантовых и оптических технологий</p>	<p>анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области физики квантовых и оптических технологий</p>	<p>анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области физики квантовых и оптических технологий</p>	<p>проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области физики квантовых и оптических технологий</p>
<p><i>УМЕТЬ:</i> анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области физики квантовых и оптических технологий и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов (У1, СПК-1).</p>	<p>Отсутствие умения</p>	<p>Фрагментарное проявление умения анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области физики квантовых и оптических технологий и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое проявление умения анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области физики квантовых и оптических технологий и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов</p>	<p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы проявление умения анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области физики квантовых и оптических технологий и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов</p>	<p>Успешное и систематическое проявление умения анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области физики квантовых и оптических технологий и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов</p>

<p><i>УМЕТЬ:</i> осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области физики квантовых и оптических технологий (У2, СПК-2).</p>	<p>Отсутствие умения</p>	<p>Фрагментарное проявление умения осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области физики квантовых и оптических технологий</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое проявление умения осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области физики квантовых и оптических технологий</p>	<p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы проявление умения осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области физики квантовых и оптических технологий</p>	<p>Успешное и систематическое проявление умения осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области физики квантовых и оптических технологий</p>
<p><i>УМЕТЬ:</i> организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области физики квантовых и оптических технологий, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования (У3, СПК-3)</p>	<p>Отсутствие умения</p>	<p>Фрагментарное проявление умения организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области физики квантовых и оптических технологий, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое проявление умения организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области физики квантовых и оптических технологий, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования</p>	<p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы проявление умения организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области физики квантовых и оптических технологий, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования</p>	<p>Успешное и систематическое проявление умения организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области физики квантовых и оптических технологий, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования</p>

<p><i>ЗНАТЬ:</i> методы анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новой физической информации при решении исследовательских и практических задач в области физики квантовых и оптических технологий (31, СПК-1)</p>	<p>Отсутствие знаний</p>	<p>Фрагментарное проявление знаний методов анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новой физической информации при решении исследовательских и практических задач в области физики квантовых и оптических технологий</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое проявление знаний методов анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новой физической информации при решении исследовательских и практических задач в области физики квантовых и оптических технологий</p>	<p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы проявление знаний методов анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новой физической информации при решении исследовательских и практических задач в области физики квантовых и оптических технологий</p>	<p>Успешное и систематическое проявление знаний методов анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новой физической информации при решении исследовательских и практических задач в области физики квантовых и оптических технологий</p>
<p><i>ЗНАТЬ:</i> способы критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области физики квантовых и оптических технологий (32, СПК-2).</p>	<p>Отсутствие знаний</p>	<p>Фрагментарное проявление знаний способов критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области физики квантовых и оптических технологий</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое проявление знаний способов критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области физики квантовых и оптических технологий</p>	<p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы проявление знаний способов критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области физики квантовых и оптических технологий</p>	<p>Успешное и систематическое проявление знаний способов критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области физики квантовых и оптических технологий</p>

ЗНАТЬ: методы организации и планирования исследований в области физики квантовых и оптических технологий, включая способы решения задач с помощью современной аппаратуры и оборудования (33, СПК-3)	Отсутствие знаний	Фрагментарное проявление знаний методов организации и планирования исследований в области физики квантовых и оптических технологий, включая способы решения задач с помощью современной аппаратуры и оборудования	В целом успешное, но не систематическое проявление знаний методов организации и планирования исследований в области физики квантовых и оптических технологий, включая способы решения задач с помощью современной аппаратуры и оборудования	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы проявление знаний методов организации и планирования исследований в области физики квантовых и оптических технологий, включая способы решения задач с помощью современной аппаратуры и оборудования	Успешное и систематическое проявление знаний методов организации и планирования исследований в области физики квантовых и оптических технологий, включая способы решения задач с помощью современной аппаратуры и оборудования
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

10. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. Й Имри “Введение в мезоскопическую физику” М.: Физматлит, 2004. - 304 с.
2. В.Л. Миронов “Основы сканирующей зондовой микроскопии” РАН Институт Физики Микроструктур, 2004, 114 с.

Дополнительная литература

3. E.L. Ivchenko “Optical spectroscopy of semiconductor nanostructures”, Springer, 2004 -437p.
4. В.А.Кульбачинский “Двумерные, одномерные, нульмерные структуры и сверхрешетки”, М.: Физический факультет МГУ (НЭВЦ ФИПТ), 1998. - 162 с.
5. G.D. Mahan “Many-Particle Physics“ Springer, 2000 - 1044 p.

11. Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины:

1. архив e-принтов <http://www.arxiv.org>
2. Сайт журналов Американского Физического Общества <http://prola.aps.org>
3. Сайт журнала «Письма ЖЭТФ» <http://www.jetpletters.ac.ru>

12. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Для освоения дисциплины необходимо посещение интерактивных занятий (лекций и семинаров) и регулярная самостоятельная работа в течение семестра. Для большей части тем курса имеются электронные презентации, выложенные на сайте ЦКТ ФФ МГУ. Рекомендуется перед лекцией скачать соответствующую презентацию и иметь ее на интерактивном занятии на ноутбуке или планшете в режиме off-line или в распечатанном виде, используя как основу конспекта для собственных пометок и комментариев.

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

При реализации учебной работы в рамках дисциплины «Физика полупроводниковых мезоскопических систем» используются средства дистанционного сопровождения учебного процесса в форме сайтов с материалами лекций и семинарских занятий. Курс имеет электронные версии (презентации) лекций. Лекции читаются с использованием современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования.

14. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

В соответствии с требованиями п. 5.3. образовательного стандарта МГУ по направлению подготовки «Физика». Любая аудитория, оснащенная проекционным оборудованием с возможностью подключения к ноутбуку, экраном, и учебной доской.