

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 межузельных 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</p>		6
---	---	---	--	----	--	--	---

						лекционного материала по теме «Интерференционные эффекты и межчастичное 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. 7 часов Подготовка к коллоквиуму		8
<p>4. Экситоны в низкоразмерных системах</p> <p>§7. Размерное квантование энергии электронов в мезоскопических структурах. Квазинизкоразмерные системы. Экранирование в трехмерных и двумерных структурах.</p> <p>§8. Свободные и связанные экситоны в</p>		3	3		6	1 час Оценка характерного радиуса экситона Ванье-Мотта и энергии связи в полупроводнике.		4

<p>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. Поглощение на экситонах.</p>						<p>1 час Изучить отличие коэффициента поглощения для прямых и непрямых межзонных переходов</p> <p>2 часа Повторение лекционного материала по теме «Экситоны в низкоразмерных системах».</p>		
<p>5. Методы локального исследования электронных и оптических свойств мезоскопических систем</p> <p>§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.</p> <p>§11. Методы экспериментального исследования оптических свойств мезоскопических структур. Принципы работы сканирующего оптического микроскопа ближнего поля (СОМБП),</p>	3	3		6		<p>2 часа Повторение лекционного материала по теме «Методы локального исследования электронных и оптических свойств мезоскопических систем».</p>		2

фотолюминесценция мезоскопических систем.								
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 обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
<i>ВЛАДЕТЬ:</i> профессиональными знаниями для анализа и синтеза физической информации в области физики квантовых и оптических технологий (В1, 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 информации 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 (В2, 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 систематизации 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>	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков	В целом успешное, но не систематическое	В целом успешное, но содержащее отдельные	Успешное и систематическое применение

<p>навыками анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области физики квантовых и оптических технологий (ВЗ, СПК-3).</p>		<p>анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области физики квантовых и оптических технологий</p>	<p>применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области физики квантовых и оптических технологий</p>	<p>пробелы применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области физики квантовых и оптических технологий</p>	<p>навыков анализа методологических 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 (ЗЗ, 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.