

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Факультет приборостроения, информационных технологий и электроники



«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ПИ

Д. В. Артамонов

октябрь 2014г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
МЕТОД ПОТЕНЦИАЛА НУЛЕВОГО РАДИУСА

ФТД.1.1

Направление подготовки: **03.06.01 — «Физика и астрономия»**

Направленность (профиль) **Физика полупроводников**

Квалификация: **Исследователь. Преподаватель-исследователь**

Форма обучения: **очная**

Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению 03.06.01 — «Физика и астрономия» подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре (уровень подготовки кадров высшей квалификации)

Программу составил:

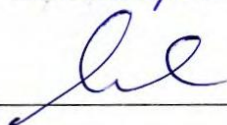
Грунин А. Б., д. ф.-м. н., профессор



Программа обсуждена на заседании кафедры «Физика»

Протокол № 1.1 от « 1 » октября 2014 года

Зав. кафедрой _____



Семенов М. Б.

Программа согласована с деканом факультета ФПИТЭ

Декан факультета _____



Кревчик В. Д.

Программа одобрена методической комиссией факультета ФПИТЭ

Протокол № 1

от « 1 » октября 2014 года

Председатель методической комиссии факультета ФПИТЭ



Задера А. В.

Настоящая программа не может быть воспроизведена ни в какой форме без предварительного письменного разрешения кафедры - разработчика программы.

1. Цели и задачи дисциплины, ее место в системе подготовки аспиранта, требования к уровню освоения содержания дисциплины

1.1. Цели и задачи изучения дисциплины

Цель изучения дисциплины – представить аспирантам класс аналитически решаемых квантовомеханических задач с использованием метода потенциала нулевого радиуса применительно к примесным состояниям в полупроводниковых наноструктурах.

Задачи дисциплины:

- изучить технику расчета энергии связи $D^{(-)}$ - и $D_2^{(-)}$ – состояний с использованием метода потенциала нулевого радиуса в квантовых ямах, квантовых точках и квантовых проволоках;
- изучить методы оценки интегралов (получать приближенные значения интегралов путем разложения в ряд подынтегральной функции, получать приближенные значения интегралов от осциллирующих функций путем оценки далеких членов ряда Фурье, получать приближенные значения интегралов методом перевала)
- освоение компетенций в соответствии с требованиями ФГОС ВО, подготовка к сдаче экзамена кандидатского минимума.

1.2. Место дисциплины в структуре ООП аспиранта

Дисциплина «Метод потенциала нулевого радиуса» относится к модулю «Факультативы» учебного плана ООП по направлению подготовки 03.06.01 – Физика и астрономия, профилю – Физика полупроводников.

Научно-исследовательская работа аспиранта осуществляется в каждом семестре всего периода обучения.

1.3.Связь с предшествующими и последующими дисциплинами

Курс предполагает наличие у аспирантов знаний по курсам «Методы и средства информатики и вычислительной техники в современных научных исследованиях», «Основы полупроводниковой наноэлектроники», «Физические основы оптики полупроводниковых наноструктур». Знания и навыки, полученные аспирантами при изучении данного курса, могут быть применены при подготовке и написании диссертации по специальности – Физика полупроводников.

2. Компетенции аспиранта, формируемые в результате освоения программы педагогической практики

Процесс педагогической практики направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО по данному направлению подготовки:

Коды компетенции	Наименование компетенции	Структурные элементы компетенции (в результате освоения дисциплины обучающийся должен знать, уметь, владеть)
1	2	3
ПК-6	Способность использовать в теоретических и экспериментальных исследованиях достижения современной квантовой теории, а также разрабатывать и применять современные перспективные приборы нанoeлектроники и фотоники.	Знать: структуру, свойства и применения основных наноструктур и наноматериалов в технике, медицине, биологии, вычислительной технике.
		Уметь: применять теоретические и экспериментальные методы исследования квантовой теории к расчетам характеристик полупроводниковых структур.
		Владеть: современными методами теоретических и экспериментальных исследований свойств наноматериалов для разработки современных приборов нанoeлектроники и фотоники.
ПК-7	Способность свободно владеть фундаментальными разделами квантовой физики, необходимыми для решения научно-исследовательских задач.	Знать: методы создания наноразмерных сверхпроводниковых и полупроводниковых структур, основы тонкопленочной технологии и микроэлектроники, особенности применения сверхпроводниковых и полупроводниковых наноструктур в электронике.
		Уметь: обобщать знания, полученные при изучении программных курсов по физике и данного курса.
		Владеть: фундаментальными разделами квантовой физики, необходимыми для решения научно-исследовательских задач.
ПК-8	Способность использовать знания современной квантовой теории для решения прикладных задач физики низкоразмерных систем	Знать: области применения метода потенциала нулевого радиуса в модельных задачах полупроводниковой нанoeлектроники.
		Уметь: решать задачи о связанных состояниях электрона, локализованного на короткодействующем потенциале примесного центра в полупроводниковой наноструктуре при наличии внешнего электрического и магнитного полей.
		Владеть: техникой расчета энергии связи $D^{(-)}$ - и $D_2^{(-)}$ – состояний с использованием метода потенциала нулевого радиуса в квантовых ямах, квантовых точках и квантовых проволоках

3. Структура и содержание дисциплины «Метод потенциала нулевого радиуса»

3.1. Структура дисциплины «Метод потенциала нулевого радиуса»

Общая трудоемкость дисциплины 2 зачетные единицы, 72 часов, в т.ч. 54 часа подготовки к зачету.

№ п / п	Наименование разделов и тем дисциплины (модуля)	Семестр Недели семестра		Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)						Формы текущего контроля успеваемости (неделя)	
				Аудиторная работа			Самостоятельная Работа				
				Всего	Лекция	Практические занятия	Всего	Подготовка к семинару	Подготовка к зачету		Оценка работы на семинаре
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
	Раздел 1. Метод потенциалов нулевого радиуса в приложении к магнитооптике двумерных $D^{(-)}$-состояний										
	Тема 1.1 $D^{(-)}$ -состояния в полупроводниковых многоямных квантовых структурах.	7	1	2	1		4		4		1
	Тема 1.2 Плазменные эффекты и управляемая модуляция энергии связи примесных состояний в квантовых ямах	7	2	2	1		4		4		2
	Раздел 2. Дихроизм магнитооптического поглощения в полупроводниковых многоямных квантовых структурах с $D^{(-)}$-центрами.										
	Тема 2.1 Энергетический спектр и энергия связи $D^{(-)}$ -центра в квантовой яме при наличии внешнего магнитного поля.	7	3	2	1		4		4		3
	Тема 2.2 Коэффициенты	7	4	2	1		4		4		4

примесного магнитооптического поглощения в многоямной квантовой структуре.									
Раздел 3. Фактор геометрической формы в спектрах примесного магнитооптического поглощения квазиодномерных структур с $D^{(-)}$-центрами.									
Тема 3.1 Сечения фотоионизации $D^{(-)}$ - центров в квантовой проволоке.	7	5-6	4	2		4		4	6
Тема 3.2 Сечение фотоионизации $D^{(-)}$ -центра в микросужении.	7	7-8	4	2		4		4	8
Тема 3.3 Плотность тока фотонного увлечения одномерных электронов.	7	9	2	1		4		4	9
Раздел 4. Дихроизм магнитооптического поглощения в полупроводниковых квазиульмерных структурах с $D^{(-)}$-центрами.									
Тема 4.1 Расчет матричных элементов оптического перехода электрона из основного состояния $D^{(-)}$ -центра в гибридно-квантованные состояния квантовой точки.	7	10-11	4	2		4		4	11
Тема 4.2 Расчёт коэффициента примесного поглощения системой квантовых точек, синтезированных в прозрачной диэлектрической матрице.	7	12	2	1		4		4	12
Раздел 5. Анизотропия									

магнитооптического поглощения в полупроводниковых многоямных квантовых структурах с примесными молекулами.									
Тема 5.1 Дисперсионные уравнения, описывающие g и u - термы $D_2^{(-)}$ -центра в квантовой яме.	7	13	2	1		4		4	13
Тема 5.2 Расчет матричных элементов оптического перехода электрона из s -состояния $D_2^{(-)}$ -центра в гибридно-квантованные состояния квантовой ямы.	7	14-15	4	2		6		6	15
Раздел 6. Интерференционные эффекты в спектрах магнитооптического поглощения квазиодномерных структур с примесными молекулами.									
Тема 6.1 Дисперсионное уравнение электрона, локализованного на $D_2^{(-)}$ -центре в сечении узкого горла микросужения.	7	16-17	4	2		4		4	17
Тема 6.2 Сечения фотоионизации $D_2^{(-)}$ -центра в квантовой проволоке.	7	18	2	1		4		4	18
Общая трудоемкость, в часах			18	18	–	54	–	54	Пром. аттест.
									Форм а
									Зач
									Экз
									–

3.2. Содержание дисциплины (Метод потенциала нулевого радиуса)

Раздел 1. Метод потенциалов нулевого радиуса в приложении к магнитооптике двумерных $D^{(-)}$ -состояний

Тема 1.1 $D^{(-)}$ -состояния в полупроводниковых многоямных квантовых структурах

$D^{(-)}$ -состояния в полупроводниковых многоямных квантовых структурах и метод потенциала нулевого радиуса. Магнитооптика $D^{(-)}$ -центров в многоямных квантовых структурах.

Тема 1.2 Плазменные эффекты и управляемая модуляция энергии связи примесных состояний в квантовых ямах

Плазменные эффекты в магнитопоглощении света $D^{(-)}$ -центрами в квантовых ямах. Управляемая модуляция энергии связи примесных состояний в системе квантовых ям.

Раздел 2. Дихроизм магнитооптического поглощения в полупроводниковых многоямных квантовых структурах с $D^{(-)}$ -центрами

Тема 2.1 Энергетический спектр и энергия связи $D^{(-)}$ -центра в квантовой яме при наличии внешнего магнитного поля

Энергетический спектр $D^{(-)}$ -центра в продольном по отношению к оси роста квантовой ямы магнитном поле. Зависимость энергии связи $D^{(-)}$ -центра от величины магнитного поля в квантовой яме на основе $CaAs/AlGaAs$ (сравнение с экспериментом).

Тема 2.2 Коэффициенты примесного магнитооптического поглощения в многоямной квантовой структуре

Коэффициент примесного магнитооптического поглощения в многоямной квантовой структуре (поперечная и продольная поляризация света). Дихроизм поглощения и его эволюция с изменением величины магнитного поля.

Раздел 3. Фактор геометрической формы в спектрах примесного магнитооптического поглощения квазиодномерных структур с $D^{(-)}$ -центрами

Тема 3.1 Сечения фотоионизации $D^{(-)}$ -центров в квантовой проволоке

Энергетический спектр $D^{(-)}$ -центра в квантовой проволоке в продольном магнитном поле. Сечение фотоионизации $D^{(-)}$ -центров в квантовой проволоке в случае продольной поляризации света. Сечение фотоионизации $D^{(-)}$ -центров в квантовой проволоке в случае поперечной поляризации света.

Тема 3.2 Сечение фотоионизации $D^{(-)}$ -центра в микросужении

Дисперсионное уравнение электрона, локализованного на $D^{(-)}$ -центре в сечении узкого горла микросужения. Расчет сечения фотоионизации $D^{(-)}$ -центра в микросужении. Спектральная зависимость сечения фотоионизации. Фактор геометрической формы микросужения.

Тема 3.3 Плотность тока фотонного увлечения одномерных электронов

Спектральная зависимость плотности тока фотонного увлечения одномерных электронов и его зависимость от величины магнитного поля.

Раздел 4 Дихроизм магнитооптического поглощения в полупроводниковых квазиульмерных структурах с $D^{(-)}$ -центрами

Тема 4.1. Расчет матричных элементов оптического перехода электрона из основного состояния $D^{(-)}$ -центра в гибридно-квантованные состояния квантовой точки

Анизотропия энергии связи $D^{(-)}$ -состояния в квантовой точке в магнитном поле. Расчет матричного элемента оптического перехода электрона из основного состояния $D^{(-)}$ -центра в гибридно-квантованные состояния квантовой точки в случае продольной поляризации света. Расчет матричного элемента оптического перехода электрона из основного состояния $D^{(-)}$ -центра в гибридно-квантованные состояния квантовой точки в случае поперечной поляризации света. Дихроизм примесного магнитооптического поглощения в квазиульмерных структурах.

Тема 4.2 Расчёт коэффициента примесного поглощения системой квантовых точек, синтезированных в прозрачной диэлектрической матрице

Спектральная зависимость коэффициента примесного поглощения системой квантовых точек, синтезированных в прозрачной диэлектрической матрице.

Раздел 5. Анизотропия магнитооптического поглощения в полупроводниковых многоямных квантовых структурах с примесными молекулами

Тема 5.1 Дисперсионные уравнения, описывающие g и u -термы $D_2^{(-)}$ -центра в квантовой яме

Дисперсионные уравнения, описывающие g и u -термы в случае продольной и поперечной ориентации оси $D_2^{(-)}$ -центра в квантовой яме.

Тема 5.2 Расчет матричных элементов оптического перехода электрона из s -состояния $D_2^{(-)}$ -центра в гибридно-квантованные состояния квантовой ямы

Анизотропия энергии связи $D_2^{(-)}$ -состояния в квантовой яме. Волновая функция $D_2^{(-)}$ -состояния для случаев продольной и поперечной ориентации оси $D_2^{(-)}$ -центра в квантовой яме. Расчет матричных элементов оптического перехода электрона из s -состояния $D_2^{(-)}$ -центра в гибридно-квантованные состояния квантовой ямы (продольная ориентация оси $D_2^{(-)}$ -центра). Расчет матричных элементов оптического перехода электрона из s -состояния $D_2^{(-)}$ -центра в гибридно-квантованные состояния квантовой ямы (поперечная ориентация оси $D_2^{(-)}$ -центра). Дихроизм примесного магнитооптического поглощения и фактор пространственной конфигурации $D_2^{(-)}$ -центра.

Раздел 6. Интерференционные эффекты в спектрах магнитооптического поглощения квазиодномерных структур с примесными молекулами

Тема 6.1 Дисперсионное уравнение электрона, локализованного на $D_2^{(-)}$ -центре в сечении узкого горла микросужения

Энергетический спектр $D_2^{(-)}$ -центра в квантовой проволоке: g и u -термы. Эволюция g и u -термов с изменением магнитного поля и эффективной длины микросужения. Дисперсионное уравнение электрона, локализованного на $D_2^{(-)}$ -центре в сечении узкого горла микросужения.

Тема 6.2 Сечения фотоионизации $D_2^{(-)}$ -центра в квантовой проволоке

Сечения фотоионизации $D_2^{(-)}$ -центра в квантовой проволоке в случае продольной и поперечной поляризации света. Спектральная зависимость сечений фотоионизации и их зависимость от расстояния между $D_2^{(-)}$ -центрами и величины магнитного поля.

3.3. Особенности организации изучения дисциплины для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья

Организация изучения дисциплины для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется в соответствии с:

1. ст.79, 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации»
2. Раздел IV, п.п. 46-51 приказа Минобрнауки России от 19.11.2013 № 1259 «Об утверждении Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре)»

3. Методические рекомендации по организации образовательного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в образовательных организациях высшего образования, в том числе оснащённости образовательного процесса (утверждены заместителем Министра образования и науки РФ А.А.Климовым от 08.04.2014 г. № АК-44/05 вн)

4. Образовательные технологии

В ходе освоения дисциплины «Квантовая теория» при проведении аудиторных занятий используются следующие образовательные технологии:

1. Технология развития критического мышления реализуется в ходе проведения следующих видов учебной работы:

1.1. *Проблемные лекции*, которые предполагают диалоговый тип лекционного преподавания, предметом которого выступает вводимый лектором материал и система познавательных задач, отражающих основное содержание темы. В виде проблемных лекций реализуется темы 1.1, 2.1, 3.1, 4.1, 5.1, 6.1.

1.2. *Семинары-круглые столы*, в ходе которых происходит групповое обсуждение аспирантами учебной проблемы под руководством преподавателя. В ходе проведения круглого стола аспиранты приобретают навыки устного изложения заранее подготовленного материала, умение выслушивать коллег-сокурсников, делать заключения. В виде семинаров-круглых столов реализуются темы 1.1, 2.1, 3.1, 4.1, 5.1, 6.1.

1.3. *Семинары-дискуссии*, в ходе которых обсуждается проблемная ситуация, поставленная преподавателем, а аспиранты защищают различные точки зрения на поставленную проблему. В ходе проведения дискуссии аспиранты приобретают умение излагать и аргументировано отстаивать точку зрения, обоснованно критиковать оппонентов, сопоставлять различные подходы к решению проблемной ситуации, делать выводы. В виде семинаров-дискуссий реализуются темы 1.2, 2.2, 3.2, 3.3, 4.2, 5.2, 6.2.

2. Медиатехнология реализуется в ходе проведения следующих видов учебной работы:

2.1. *Проблемные лекции*, в ходе которых используются презентации, выполненные в среде Power-Point, и содержащие иллюстрации приводимых положений, видео-фрагменты, элементы работы математических моделей – симуляций экологических закономерностей. В виде проблемных лекций с использованием медиатехнологий реализуется темы 1.1, 2.1, 3.1, 4.1, 5.1, 6.1.

2.2. *Семинары-круглые столы*, в ходе которых аспиранты делают краткие сообщения по рассматриваемой проблематике с использованием презентации. В результате использования этой технологии аспиранты учатся лаконично и ярко представлять информацию в аудитории. В виде семинаров-круглых столов с использованием медиатехнологий реализуются темы 1.1, 2.1, 3.1, 4.1, 5.1, 6.1.

3. Кейс-технология реализуется в ходе проведения следующих видов учебной работы:

3.1. *Семинары-дискуссии*, в ходе которых в качестве одной из технологий используются такие приемы как мозговой штурм и дебаты. Мозговой штурм позволяет, используя групповую форму работы смоделировать процесс получения абсолютно новых для аспирантов знаний. Дебаты позволяют сопоставлять существующие в экологии сообществ и экосистем противоположные подходы для решения одной и той же проблемы. В виде семинаров-дискуссий с использованием кейс-технологий реализуются темы 1.2, 2.2, 3.2, 3.3, 4.2, 5.2, 6.2.

При организации **самостоятельной работы** используются следующие технологии:

1. Технология систематизации имеющейся информации (работа с конспектом лекции для подготовки к экзамену; темы 1.1 – 6.2)

2. Технология поиска и сбора новой информации (работа на компьютере с целью поиска информации в базах данных, работа с учебной, справочной и научной литературой с целью подготовки к семинарам: темы 1.1 – 6.2);

3. Технология анализа и представления новой информации (работа по подготовке устных сообщений на семинарах-круглых столах (темы 1.1, 2.1, 3.1, 4.1, 5.1, 6.1.), по подготовке для выступлений презентациями на семинарах-дискуссиях (темы 1.2, 2.2, 3.2, 3.3, 4.2, 5.2, 6.2.), по подготовке к экзамену).

В целях реализации индивидуального подхода к обучению аспирантов, осуществляющих учебный процесс по собственной траектории в рамках индивидуального рабочего плана, изучение данной дисциплины базируется на следующих возможностях: обеспечение внеаудиторной работы с аспирантами, в том числе в электронной образовательной среде с использованием соответствующего программного оборудования, дистанционных форм обучения, возможностей интернет-ресурсов, индивидуальных консультаций.

5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов

5.1. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости:

Виды самостоятельной работы по темам:

Тема 1.1. *Подготовка к семинару-круглому столу (1 час). Подготовка к экзамену (1 час).*

Примерные вопросы семинара:

1. $D^{(-)}$ -состояния в полупроводниковых многоямных квантовых структурах и метод потенциала нулевого радиуса.
2. Магнитооптика $D^{(-)}$ -центров в многоямных квантовых структурах.

Тема 1.2. *Подготовка к семинару-дискуссии (1 час). Подготовка к экзамену (1 час).*

Примерные вопросы семинара:

1. Плазменные эффекты в магнитопоглощении света $D^{(-)}$ -центрами в квантовых ямах.
2. Управляемая модуляция энергии связи примесных состояний в системе квантовых ям.

Тема 2.1. *Подготовка к семинару-круглому столу (1 час). Подготовка к экзамену (1 час).*

Примерные вопросы семинара:

1. Энергетический спектр $D^{(-)}$ -центра в продольном по отношению к оси роста квантовой ямы магнитном поле.
2. Зависимость энергии связи $D^{(-)}$ -центра от величины магнитного поля в квантовой яме на основе CaAs/AlGaAs (сравнение с экспериментом).

Тема 2.2 *Подготовка к семинару-дискуссии (1 час). Подготовка к экзамену (1 час).*

Примерные вопросы семинара:

1. Коэффициент примесного магнитооптического поглощения в многоямной квантовой структуре (поперечная поляризация света).
2. Коэффициент примесного магнитооптического поглощения в многоямной квантовой структуре (продольная поляризация света).
3. Дихроизм поглощения и его эволюция с изменением величины магнитного поля.

Тема 3.1 Подготовка к семинару-круглому столу (2 часа). Подготовка к экзамену (2 часа).

Примерные вопросы семинара:

1. Энергетический спектр $D^{(-)}$ -центра в квантовой проволоке в продольном магнитном поле.
2. Сечение фотоионизации $D^{(-)}$ -центров в квантовой проволоке в случае продольной поляризации света.
3. Сечение фотоионизации $D^{(-)}$ -центров в квантовой проволоке в случае поперечной поляризации света.

Тема 3.2 Подготовка к семинару-дискуссии (2 часа). Подготовка к экзамену (2 часа).

Примерные вопросы семинара:

1. Дисперсионное уравнение электрона, локализованного на $D^{(-)}$ -центре в сечении узкого горла микросужения.
2. Расчет сечения фотоионизации $D^{(-)}$ -центра в микросужении.
3. Спектральная зависимость сечения фотоионизации. Фактор геометрической формы микросужения.

Тема 3.3 Подготовка к семинару-дискуссии (1 час). Подготовка к экзамену (1 час).

Примерные вопросы семинара:

1. Спектральная зависимость плотности тока фотонного увлечения одномерных электронов и его зависимость от величины магнитного поля.

Тема 4.1 Подготовка к семинару-круглому столу (2 часа). Подготовка к экзамену (2 часа).

Примерные вопросы семинара:

1. Анизотропия энергии связи $D^{(-)}$ -состояния в квантовой точке в магнитном поле.
2. Расчет матричного элемента оптического перехода электрона из основного состояния $D^{(-)}$ -центра в гибридно-квантованные состояния квантовой точки в случае продольной поляризации света.
3. Расчет матричного элемента оптического перехода электрона из основного состояния $D^{(-)}$ -центра в гибридно-квантованные состояния квантовой точки в случае поперечной поляризации света.
4. Дихроизм примесного магнитооптического поглощения в квазиульмерных структурах.

Тема 4.2 Подготовка к семинару-дискуссии (1 час). Подготовка к экзамену (1 час).

Примерные вопросы семинара:

1. Спектральная зависимость коэффициента примесного поглощения системой квантовых точек, синтезированных в прозрачной диэлектрической матрице.

Тема 5.1 Подготовка к семинару-круглому столу (1 час). Подготовка к экзамену (1 час).

Примерные вопросы семинара:

1. Дисперсионные уравнения, описывающие g и u -термы в случае продольной и поперечной ориентации оси $D_2^{(-)}$ -центра в квантовой яме.

Тема 5.2 Подготовка к семинару-дискуссии (2 часа). Подготовка к экзамену (2 часа).

Примерные вопросы семинара:

1. Анизотропия энергии связи $D_2^{(-)}$ -состояния в квантовой яме. Волновая функция $D_2^{(-)}$ -состояния для случаев продольной и поперечной ориентации оси $D_2^{(-)}$ -центра в квантовой яме.

2. Расчет матричных элементов оптического перехода электрона из s -состояния $D_2^{(-)}$ -центра в гибридно-квантованные состояния квантовой ямы (продольная ориентация оси $D_2^{(-)}$ -центра).

3. Расчет матричных элементов оптического перехода электрона из s -состояния $D_2^{(-)}$ -центра в гибридно-квантованные состояния квантовой ямы (поперечная ориентация оси $D_2^{(-)}$ -центра).

4. Дихроизм примесного магнитооптического поглощения и фактор пространственной конфигурации $D_2^{(-)}$ -центра.

Тема 6.1 Подготовка к семинару-круглому столу (2 часа). Подготовка к экзамену (2 часа).

Примерные вопросы семинара:

1. Энергетический спектр $D_2^{(-)}$ -центра в квантовой проволоке: g и u -термы.

2. Эволюция g и u -термов с изменением магнитного поля и эффективной длины микросужения.

3. Дисперсионное уравнение электрона, локализованного на $D_2^{(-)}$ -центре в сечении узкого горла микросужения.

Тема 6.2 Подготовка к семинару-дискуссии (1 час). Подготовка к экзамену (1 час).

Примерные вопросы семинара:

1. Сечения фотоионизации $D_2^{(-)}$ -центра в квантовой проволоке в случае продольной и поперечной поляризации света.

2. Спектральная зависимость сечений фотоионизации и их зависимость от расстояния между $D_2^{(-)}$ -центрами и величины магнитного поля.

Самостоятельная подготовка по темам:

Раздел 1. Метод потенциалов нулевого радиуса в приложении к магнитооптике двумерных $D^{(-)}$ -состояний

1. Магнитоустойчивые многочастичные связанные состояния в полупроводниках.

Раздел 6. Интерференционные эффекты в спектрах магнитооптического поглощения квазиодномерных структур с примесными молекулами

1. Спектральная зависимость коэффициента примесного магнитооптического поглощения квазиодномерной структуры с $D_2^{(-)}$ – центрами.

2. Расчет g - и- термов $D_2^{(-)}$ -состояния в квантовой точке при наличии внешнего электрического поля.

3. Эффект передислокации электронной волновой функции во внешнем электрическом поле.

5.2. Контрольные работы и промежуточное тестирование

Не предусмотрены.

5.3. Поддержка самостоятельной работы:

Литература и источники для обязательного прочтения. Регулярные консультации.

Интернет-ресурсы: <http://www.elibrary.ru>, <http://www.jetp.ac.ru/cgi-bin/r/index>, <http://journals.ioffe.ru>.

5.4. Тематика рефератов

Не предусмотрены.

5.5. Промежуточный контроль

Вопросы к зачету:

1. $D^{(-)}$ -состояния в полупроводниковых многоямных квантовых структурах и метод потенциала нулевого радиуса.

2. Магнитооптика $D^{(-)}$ -центров в многоямных квантовых структурах.

3. Плазменные эффекты в магнитопоглощении света $D^{(-)}$ -центрами в квантовых ямах

4. Управляемая модуляция энергии связи примесных состояний в системе квантовых ям.

5. Магнитоустойчивые многочастичные связанные состояния в полупроводниках.

6. Энергетический спектр $D^{(-)}$ -центра в продольном по отношению к оси роста квантовой ямы магнитном поле.

7. Зависимость энергии связи $D^{(-)}$ -центра от величины магнитного поля в квантовой яме на основе $CaAs/AlGaAs$ (сравнение с экспериментом).

8. Коэффициент примесного магнитооптического поглощения в многоямной квантовой структуре (поперечная поляризация света).

9. Коэффициент примесного магнитооптического поглощения в многоямной квантовой структуре (продольная поляризация света).
10. Дихроизм поглощения и его эволюция с изменением величины магнитного поля
11. Энергетический спектр $D^{(-)}$ -центра в квантовой проволоке в продольном магнитном поле.
12. Сечение фотоионизации $D^{(-)}$ -центров в квантовой проволоке в случае продольной поляризации света.
13. Сечение фотоионизации $D^{(-)}$ -центров в квантовой проволоке в случае поперечной поляризации света.
14. Дисперсионное уравнение электрона, локализованного на $D^{(-)}$ -центре в сечении узкого горла микросужения.
15. Расчет сечения фотоионизации $D^{(-)}$ -центра в микросужении.
16. Спектральная зависимость сечения фотоионизации. Фактор геометрической формы микросужения.
17. Спектральная зависимость плотности тока фотонного увлечения одномерных электронов и его зависимость от величины магнитного поля.
18. Анизотропия энергии связи $D^{(-)}$ -состояния в квантовой точке в магнитном поле.
19. Расчет матричного элемента оптического перехода электрона из основного состояния $D^{(-)}$ -центра в гибридно-квантованные состояния квантовой точки в случае продольной поляризации света.
20. Спектральная зависимость коэффициента примесного поглощения системой квантовых точек, синтезированных в прозрачной диэлектрической матрице.
21. Расчет матричного элемента оптического перехода электрона из основного состояния $D^{(-)}$ -центра в гибридно-квантованные состояния квантовой точки в случае поперечной поляризации света.
22. Дихроизм примесного магнитооптического поглощения в квазиульмерных структурах.
23. Дисперсионные уравнения, описывающие g и u -термы в случае продольной и поперечной ориентации оси $D_2^{(-)}$ -центра в квантовой яме.
24. Анизотропия энергии связи $D_2^{(-)}$ -состояния в квантовой яме.
25. Волновая функция $D_2^{(-)}$ -состояния для случаев продольной и поперечной ориентации оси $D_2^{(-)}$ -центра в квантовой яме.
26. Расчет матричных элементов оптического перехода электрона из s -состояния $D_2^{(-)}$ -центра в гибридно-квантованные состояния квантовой ямы (продольная ориентация оси $D_2^{(-)}$ -центра).
27. Расчет матричных элементов оптического перехода электрона из s -состояния $D_2^{(-)}$ -центра в гибридно-квантованные состояния квантовой ямы (поперечная ориентация оси $D_2^{(-)}$ -центра).
28. Дихроизм примесного магнитооптического поглощения и фактор пространственной конфигурации $D_2^{(-)}$ -центра.

29. Энергетический спектр $D_2^{(-)}$ -центра в квантовой проволоке: g и u -термы.
30. Дисперсионное уравнение электрона, локализованного на $D_2^{(-)}$ -центре в сечении узкого горла микросужения.
31. Эволюция g и u -термов с изменением магнитного поля и эффективной длины микросужения.
32. Сечения фотоионизации $D_2^{(-)}$ -центра в квантовой проволоке в случае продольной и поперечной поляризации света
33. Спектральная зависимость сечений фотоионизации и их зависимость от расстояния между $D_2^{(-)}$ -центрами и величины магнитного поля
34. Спектральная зависимость коэффициента примесного магнитооптического поглощения квазиодномерной структуры с $D_2^{(-)}$ -центрами.
35. Расчет g - и u -термов $D_2^{(-)}$ -состояния в квантовой точке при наличии внешнего электрического поля.
36. Эффект передислокации электронной волновой функции во внешнем электрическом поле.

6. Рекомендуемая литература

6.1. Основная литература

1. [Ансельм А. И.](https://e.lanbook.com/book/71742) Введение в теорию полупроводников : учебное пособие. - 3-е изд., стер. - СПб. : Лань, 2016. - 624 с. <https://e.lanbook.com/book/71742> (20 экз)
2. Байков Ю.А. Физика конденсированного состояния: учеб. пособие / Ю.А. Байков, В.М. Кузнецов. — Москва: Издательство "Лаборатория знаний", 2015. — 296 с. <https://e.lanbook.com/book/70766>
3. Брандт Н. Б. Квазичастицы в физике конденсированного состояния: учеб. пособие / Н.Б. Брандт, В.А. Кульбачинский. — Москва: Физматлит, 2010. — 632 с. <https://e.lanbook.com/book/59598>
4. Владимиров, Г. Г. Физика поверхности твердых тел: учеб. пособие — Санкт-Петербург: Лань, 2016. — 352 с. <https://e.lanbook.com/book/71707>
5. Гантмахер В. Ф. Электроны в неупорядоченных средах — Москва: Физматлит, 2013. — 288 с. <https://e.lanbook.com/book/91178>
6. Епифанов Г. И. Физика твердого тела: учеб. пособие — Санкт-Петербург: Лань, 2011. — 288 с. <https://e.lanbook.com/book/2023>
7. Зегря Г. Г. Основы физики полупроводников: учеб. пособие / Г.Г. Зегря, В.И. Перель.— Москва : Физматлит, 2009. — 336 с. <https://e.lanbook.com/book/2371>
8. Лебедев А. И. Физика полупроводниковых приборов. — Москва: Физматлит, 2008. — 488 с. <https://e.lanbook.com/book/2244>
9. Перлин Е. Ю. Физика твердого тела. Оптика полупроводников, диэлектриков, металлов: учеб. пособие / Е.Ю. Перлин, Т.А. Вартамян, А.В. Федоров. — Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2008. — 216 с. <https://e.lanbook.com/book/43431>

10. Шалимова К. В. Физика полупроводников: учеб. — Санкт-Петербург: Лань, 2010. — 384 с. <https://e.lanbook.com/book/648>
11. [Медведев С. П.](#) Физика полупроводниковых и микроэлектронных приборов (биполярные приборы): учеб.пособие / Пенз.гос.ун-т. - Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2004. - 160 с.
12. Ландау Л Д., Лифшиц Е. М. Статистическая физика. М.: Наука, 2010. (3 экз)
13. [Демиховский В. Я.](#), Вугальтер Г. А. Физика квантовых низкоразмерных структур. - М. : Логос, 2000. - 248 с. (5 экз)
14. [Гинзбург И. Ф.](#) Введение в физику твердого тела. Основы квантовой механики и статистической физики с отдельными задачами физики твердого тела: учебное пособие / И. Ф. Гинзбург. - СПб. : Лань, 2007. - 544 с. (20 экз)
15. [Смирнов Ю. А.](#) Физические основы электроники: учеб. пособие / Ю. А. Смирнов, С. В. Соколов, Е. В. Титов. - Москва: Лань, 2013. - 560 с. https://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=5856
16. Жуковский В. Ч., Кревчик В. Д.; Семенов М. Б.; Тернов А. И., Маргулис В. А. Квантовые эффекты в мезоскопических системах: учеб. пособие. - М.: Физический факультет МГУ, 2005 - Ч.2: Мезоскопика конденсированного состояния. Транспортные и магнитооптические свойства наноструктур. - 148 с. (5 экз)
17. Жуковский В. Ч., Кревчик В. Д.; Семенов М. Б.; Тернов А. И. Квантовые эффекты в мезоскопических системах: учеб. пособие. - М.: Физический факультет МГУ, 2002 - Ч.1: Квантовое туннелирование с диссипацией. - 108 с. (3 экз)
18. [Кревчик В. Д.](#) Введение в полупроводниковую наноэлектронику: учеб.пособие / Пенз. гос. ун-т. - Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2002. - 96 с. (20 экз)
19. Овчинников А. А. и др. Принципы управляемой модуляции низкоразмерных структур: монография / - М. : УНЦ ДО, 2003. - 510 с. (2 экз)
20. [Кревчик В. Д.](#) Метод потенциала нулевого радиуса в физике низкоразмерных систем: монография / В. Д. Кревчик, А. Б. Грунин ; Пенз. гос. ун-т. - Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2007. - 348 с. (50 экз)
21. Грунин А. Б. Магнитооптические эффекты в многоямных квантовых структурах с примесными центрами атомного типа : учебное пособие / под ред. В. Д. Кревича ; Пенз. гос. ун-т. - Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2008. - 124 с. (70 экз)
22. Брандт Н. Б. Квазичастицы в физике конденсированного состояния: учеб. пособие / Н.Б. Брандт, В.А. Кульбачинский. — Москва: Физматлит, 2010. — 632 с. <https://e.lanbook.com/book/59598>
23. Бурбаева Н. В. Основы полупроводниковой электроники: учеб. пособие— Москва: Физматлит, 2012. — 312 с. <https://e.lanbook.com/book/5261>
24. Владимиров Г. Г. Физика поверхности твердых тел: учеб. пособие — Санкт-Петербург: Лань, 2016. — 352 с. <https://e.lanbook.com/book/71707>

25. Гусев А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии: учеб. пособие — Москва: Физматлит, 2009. — 416 с. <https://e.lanbook.com/book/2173>
26. Лебедев А. И. Физика полупроводниковых приборов. — Москва: Физматлит, 2008. — 488 с. <https://e.lanbook.com/book/2244>
27. Перлин Е. Ю. Физика твердого тела. Оптика полупроводников, диэлектриков, металлов: учеб. пособие / Е.Ю. Перлин, Т.А. Варганян, А.В. Федоров. — Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2008. — 216 с. <https://e.lanbook.com/book/43431>
28. Какушкин И. В., Тимофеев В. Б. Магнитооптика двумерных электронов в ультраквантовом пределе: несжимаемые квантовые жидкости и вигнеровский кристалл // УФН. — 1993. — т. 163. — № 7. — С. 1 — 28.
29. Кулаковский В. Д., Бутов Л. В. Магнитооптика квантовых проволок и квантовых точек в полупроводниковых гетероструктурах // УФН. — 1995. — т. 165. — № 2. — С. 229 — 232.
30. Белявский В. И., Копаев Ю. В., Корняков Н. В. Управляемая модуляция энергии связи примесных состояний в системе квантовых ям // УФН. — 1996. — т. 166. — № 4. — С. 447 — 448.
31. York J. T., Coalson R. D., Dahnovsky Yu. Control of electron current by double-barrier structures using pulsed laser fields // Phys. Rev. B. — 2002. — v. 65. — P. 235321-1 — 235321-8.
32. Маслова Н. С., Моисеев Ю. Н., Панов В. И., Савинов С. В. Влияние локализованных состояний и межчастичных взаимодействий на диагностику наноструктур методами СТМ / СТС и АСМ. // УФН. — 1995. — т. 165. — № 2. — С. 236 — 238.
33. Синявский Э. П., Соковнич С. М. Особенности примесного поглощения света в размерно-ограниченных системах в продольном магнитном поле // ФТП. — 2000. — т. 34. — № 7. — С. 844 — 845.
34. Huant S., Najda S. P. Two-Dimensional D^- Centers // Phys. Rev. Lett. — 1990. — v. 65. — №12. — P. 1486 — 1489.
35. Каган М. С., Алтухов И. В., Королев К. А., Орлов Д. В., Синис В. П., Томас Ш. Дж., Ванг К. Л., Шмальц К., Ясиевич И. Н. Акцепторные состояния в квантовых ямах GeSi, легированных бором // Известия АН (серия физ.). — 1999. — т. 63. — № 2. — С. 359 — 363.
36. Иванов Ю. Л., Агринская Н. В., Петров П. В., Устинов В. М., Цырлин Г. Э. Проявление $A(+)$ центров в люминесценции двумерных структур // ФТП. — 2002. — т. 36. — № 8. — С. 993 — 995.
37. Леденцов Н. Н., Устинов В. М., Шукин В. А., Копьев П. С., Алферов Ж. И., Бимберг Д. Гетероструктуры с квантовыми точками: получение, свойства, лазеры (обзор) // ФТП. — 1998. — т. 32. — № 4. — С. 385 — 410.
38. Берт Н. А., Гуревич С. А., Гладышева Л. Г., Когновицкий С. О., Кохановский С. И., Кочнев И. В., Нестеров С. И., Скопина В. И., Смирницкий В. Б., Травников В. В., Трошков С. И., Усиков А. С. Создание и исследование оптических свойств квантовых проволок InGaAs / GaAs // ФТП. — 1994. — т. 28. — № 9. — С. 1605 — 1612.

39. Гапоненко С. В. Оптические процессы в полупроводниковых нанокристаллитах (квантовых точках) (обзор) // ФТП. — 1996. — т. 30. — № 4. — С. 577 — 619.
40. Булаев Д. В., Маргулис В. А. Поглощение электромагнитного излучения электронами наносферы // ФТТ. — 2002. — т. 44. — № 9. — С. 1557 — 1567.
41. Галкин Н. Г., Маргулис В. А., Шорохов А. В. Внутризонное поглощение электромагнитного излучения квантовыми наноструктурами с параболическим потенциалом конфайнмента // ФТТ. — 2001. — т. 43. — № 3. — С. 511 — 519.
42. Шик А. Я. Полупроводниковые структуры с δ -слоями (обзор) // ФТП. — 1992. — т. 26. — № 7. — С. 1161 — 1180.
43. Пахомов А. А., Халипов К. В., Ясиевич И. Н. Локальные электронные состояния в полупроводниковых квантовых ямах // ФТП. — 1996. — т. 30. — № 8. — С. 1387 — 1394.
44. Кревчик В. Д., Евстифеев В. В. Введение в полупроводниковую наноэлектронику. — Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2002.
45. Покутний С. И. Квантово-размерный эффект Штарка в квазиульмерных полупроводниковых структурах // ФТП. — 2000. — т. 34. — № 9. — С. 1120 — 1124.
46. Кревчик В. Д., Зайцев Р. В. Примесное поглощение света в структурах с квантовыми точками // ФТТ. — 2001. — т. 43. — № 3. — С. 504 — 507.
47. Кулиш Н. Р., Кунец В. П., Лисица М. П. Определение параметров полупроводниковых квантовых точек в стеклянных матрицах из спектров поглощения, люминесценции и насыщения оптического поглощения // ФТТ. — 1997. — т. 39. — № 10. — С. 1865 — 1870.

6.2 Дополнительная литература

1. Данишевский А. М., Кастальский А. А., Рывкин С. М., Ярощевский И. Д. Увлечение свободных носителей фотонами при прямых межзонных переходах в полупроводниках // ЖЭТФ. — 1970. — т. 58. — Вып. 2. — С. 544 — 550.
2. Гринберг А. А. Теория фотоэлектрического и фотомагнитного эффектов, обусловленных давлением света // ЖЭТФ. — 1970. — т. 58. — Вып. 3. — С. 989 — 995.
3. Валов П. М., Данишевский А. М., Кастальский А. А., Рывкин Б. С., Рывкин С. М., Ярощевский И. Д. // ЖЭТФ. — 1970. — т. 59. — С. 1919.
4. Агафонов В. Г., Валов П. М., Рывкин Б. С., Ярощевский И. Д. // ФТП. — 1972. — т. 6. — С. 909.
5. Гринберг А. А., Маковский Л. Л. // ФТП. — 1970. — т. 4. — С. 1162.
6. Гринберг А. А., Брынских Н. А., Имамов Э. З. // ФТП. — 1971. — т. 5. — С. 1271.
7. Имамов Э. З., Кревчик В. Д. Теория эффекта фотонного увлечения, обусловленного импульсом фотона при двухфотонных межзонных оптических переходах с участием глубоких примесных центров // ФТП. — 1979. — т. 13. — № 6. — С. 1194 — 1196.

8. Кревчик В. Д., Имамов Э. З. Особенности поглощения света глубокими примесными центрами в тонких полупроводниковых слоях // ФТП. — 1983. — т. 17. — № 7. — С. 1235 — 1241.
9. Васько Ф. Т. Фотонное увлечение двумерных электронов // ФТП. — 1985. — т. 19. — № 7. — С. 760 — 762.
10. Расулов Р. Я., Саленко Ю. Е., Эски Т. Эффект увлечения носителей тока фотонами в квантовой яме // ФТТ. — 1998. — т. 40. — № 9. — С. 1710 — 1711.
11. Гейлер В. А., Маргулис В. А., Филина Л. И. Проводимость квантовой проволоки в продольном магнитном поле // ЖЭТФ. — 1998. — т. 113. — Вып. 4. — С. 1377 — 1396.

6.3 Интернет-ресурсы

1. www.elibrary.ru
2. www.jetp.ac.ru/cgi-bin/r/index
3. www.journals.ioffe.ru

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины «Метод потенциала нулевого радиуса»

Для освоения данной дисциплины необходимы:

– мультимедийные средства обучения (компьютер и проектор; ресурсы Интернета);

– электронные презентации по теме курса в формате программных приложений MS Office Power Point и MS Office Word. Демонстрация ресурсов Интернет (избранных сайтов) по теме лекций и лабораторных занятий, необходим браузер MS Internet Explorer 6.0 и выше. Для подготовки материала к занятиям требуется программный пакет MS Office 2003 и выше, программы для расчетов Mathcad 11.0 и выше, Maple 9.0 и выше, Mathematica 5.0 и выше.

**Сведения о переутверждении программы на очередной учебный год
и регистрации изменений**

Учебный год	Решение кафедры (№ протокола, дата, подпись зав. кафедрой)	Внесенные изменения	Номера листов (страниц)		
			заменен- ных	новых	аннулиро- ванных
2015/16	М.Ш. 2.09.15 <i>me</i>				
2016/17	М.Ш. 9.09.16 <i>me</i>				
2017/18	М.Ш. 14.09.17 <i>me</i>				