



МИНОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ФГБОУ ВО «ИГУ»

Кафедра общей и экспериментальной физики



УТВЕРЖДАЮ
Декан Физического факультета Н.М. Буднев
«31» марта 2022 г.

Рабочая программа дисциплины

Наименование дисциплины: Б1.О.11 Физика низкоразмерных структур

Направление подготовки: 03.04.02 Физика

Профиль подготовки: Физика конденсированного состояния.

Квалификация выпускника: Магистр

Тип образовательной программы: Академическая магистратура

Форма обучения: очная.

Согласовано с УМК:
физического факультета
Протокол № 33 от «31» марта 2022 г.

Председатель: д.ф.-м.н., профессор
Н.М. Буднев

Рекомендовано кафедрой:
общей и экспериментальной физики
Протокол № 6 от «24» марта 2022 г.

Зав.кафедрой д.ф.-м.н.
/ А.А. Гаврилюк

Иркутск 2022 г.

Содержание

I	Цели и задачи дисциплины (модуля).....	3
II	Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО.....	3
III	Требования к результатам освоения дисциплины.....	3
IV	Содержание и структура дисциплины (модуля).....	4
4.1	Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов.....	4
4.2	План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.....	5
4.3	Содержание учебного материала.....	6
4.3.1	Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ.....	7
4.3.2	Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС).....	8
4.4	Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.....	9
4.5	Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии).....	9
V	Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля).....	9
	а) перечень литературы.....	9
	б) периодические издания.....	9
	в) список авторских методических разработок.....	9
	г) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы.....	9
VI	Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля).....	10
6.1	Учебно-лабораторное оборудование.....	10
6.2	Программное обеспечение.....	10
6.3	Технические и электронные средства.....	10
VII	Образовательные технологии.....	11
VIII	Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации.....	11

I. Цели и задачи дисциплины (модуля):

Программа разработана в соответствии с основной образовательной программой ФГОС по направлению 03.04.02 Физика и предназначена для обеспечения курса «Физика низкоразмерных структур», изучаемого студентами в течение второго семестра.

Основная цель курса:

-формирование у обучающихся знаний о фундаментальных физических эффектах, имеющих место в наноструктурах и обусловленные их пониженной размерностью.

Для достижения данной цели были поставлены задачи:

-систематическое изложение способов и методов применения основных принципов физического материаловедения и квантовой теории к исследованию свойств наноструктур.

Программа ориентирована на развитие у студентов интереса к познанию физических явлений, приобретение навыков самостоятельного изучения фундаментальных основ науки и их приложений.

II. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО:

Дисциплина «Физика низкоразмерных структур» входит в модуль Б1.О.11, относящийся к обязательной части профессионального цикла основной образовательной программы по направлению 03.04.02 Физика

III. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля) :

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

ОПК-1.

Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Компетенция	Индикаторы компетенций	Результаты обучения
ОПК–1. Способен применять фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности;	ОПК 1.1. Применяет полученные фундаментальные знания в области физики для решения поставленных задач научно-исследовательской деятельности. ОПК 1.2. В процессе осуществления преподавательской деятельности применяет знания основ педагогики, необходимых для её осуществления.	знает: теоретические основы физики низкоразмерных структур; понимает, излагает и критически анализирует базовую общефизическую информацию при помощи современных цифровых инструментов; использует возможности интернет ресурсов и программных продуктов при решении профессиональных задач. умеет: пользоваться теоретическими основами, основными понятиями, законами и моделями физики; при коммуникациях с преподавателем и сокурсниками для ускорения процесса передачи, обработки и интерпретации информации. владеет: методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической информации с помощью соответствующих программных продуктов; навыками поиска информации на электронных ресурсах оригинальных сайтов с электронными публикациями научных работ.

IV. Содержание и структура дисциплины

Объем дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 часа, в том числе 83 часа контактной работы. Занятия проводятся только в очной форме обучения с применением дистанционного контроля самостоятельной работы студентов через ЭИОС факультета. На практическую подготовку отводится 40 аудиторных часов (во время выполнения практических заданий). Форма промежуточной аттестации: экзамен.

4.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов

№ п/п	Раздел дисциплины/тема	Семестр	Всего часов	Из них практическая подготовка обучающихся	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся, практическую подготовку и трудоемкость (в часах)			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости; Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
					Контактная работа преподавателя с обучающимися				
					Лекции	Семинарские/практические/лабораторные занятия	Консультации		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Раздел 1. Размерные эффекты в кристаллах.	2	2	1	1	1		1	Опрос
2	Раздел 2. Потенциальные ямы и барьеры в наноструктурах.	2	20	16	4	16		2	Решение задач
3	Раздел 3. Энергетическая плотность электронных состояний в низкоразмерных структурах.	2	6	4	2	4		2	Решение задач
4	Раздел 4. Квантовые резисторы и квантовые контакты.	2	5	4	1	4		2	Решение задач
5	Раздел 5. Влияние электрического поля на энергетические зоны электронов.	2	4	2	2	2		2	Решение задач
6	Раздел 6. Контактные явления в кристаллических структурах.	2	2	1	1	1		2	Опрос
7	Раздел 7. Гетеропереходы и гетероструктуры.	2	3	2	1	2		2	Опрос
8	Раздел 8. Двумерный электронный газ в магнитном поле.	2	4	2	2	2		2	Решение задач
9	Раздел 9. Векторный потенциал в квантовой механике.	2	6	4	2	4		2	Опрос
10	Раздел 10. Электропроводность двумерного электронного газа в магнитном поле.	2	4	2	2	2		2	Опрос
11	Раздел 11. Нанокластеры.	2	2	1	1	1		2	Опрос
12	Раздел 12. Перенос заряда в квантовых точках.	2	2	1	1	1		2	Опрос
	Подготовка к экзамену	2	36				1		
	Экзамен	2	8						Тестирование
	КСР	2	14						
	Итого часов	2	144	40	20	40	1	25	

4.2 План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Трудоемкость (час.)		
2	Разделы 2,3,4,8,9	Решение домашних задач	В течение семестра	12	Задачи и упражнения	Из списка основной и дополнительной литературы.
2	Разделы 1,5,6,7,10	Подготовка к контрольной работе	После завершения лекций по данным разделам	8	Контрольная работа	Из списка основной и дополнительной литературы.
2	Разделы 11,12	Подготовка кратких докладов	В течение семестра	4	Доклад	Из списка основной и дополнительной литературы.
2	Подготовка к экзамену	Работа с лекционным материалом и учебной литературой	В конце семестра	36	Тест	Из списка основной и дополнительной литературы.
Общий объем самостоятельной работы по дисциплине (час)				48		

4.3 Содержание учебного материала

Содержание разделов и тем дисциплины

Раздел 1. Размерные эффекты в кристаллах. Понятие размерных эффектов. Классические размерные эффекты. Баллистический транспорт. Квантовые размерные эффекты. Понижение размерности системы.

Раздел 2. Потенциальные ямы и барьеры в наноструктурах. Описание одноэлектронных квантовых состояний в низкоразмерных структурах. Потенциальные ямы. Одномерная яма. Локализованные состояния частицы. Одномерная яма. Прохождение частицы над ямой. Двумерные и трехмерные потенциальные ямы. Компьютерное моделирование низкоразмерных структур.

Раздел 3. Энергетическая плотность электронных состояний в низкоразмерных структурах. Трехмерные металлы и полупроводники. Двумерный электронный газ. Одномерный электронный газ. Энергия Ферми в низкоразмерных электронных газах.

Раздел 4. Квантовые резисторы и квантовые контакты.

Проводимость квантового резистора. Проводимость квантового точечного контакта. Последовательное соединение квантовых резисторов. Резонансное туннелирование. Использование компьютерного моделирования для расчёта параметров квантовых резисторов.

Раздел 5. Влияние электрического поля на энергетические зоны электронов. Уровень Ферми (электрохимический потенциал). Некоторые понятия зонной теории. Структура зон в заряженном металле. Приближение "искривленных зон" для полупроводников. Электрическое поле в равновесном полупроводнике.

Раздел 6. Контактные явления в кристаллических структурах. Контакт металл-металл. Контакт металл-полупроводник. Контакт металл - диэлектрик - полупроводник.

Раздел 7. Гетеропереходы и гетероструктуры. Понятие гетероперехода. Одиночный гетеропереход. Гетероструктуры. Гетеролазер. Компьютерное моделирование гетеропереходов.

Раздел 8. Двумерный электронный газ в магнитном поле. Квазиклассическое движение электрона в кристалле. Квантовое движение электрона в магнитном поле. Гамильтониан электрона в магнитном поле. Стационарные состояния электрона. Уровни Ландау.

Раздел 9. Векторный потенциал в квантовой механике. Калибровочные преобразования в электродинамике. Калибровочные преобразования в квантовой механике. Влияние калибровки на состояния электрона в магнитном поле. Эффект Ааронова-Бома. Векторный потенциал магнитного поля соленоида. Волновая функция электрона в поле векторного потенциала. Простой пример эффекта Ааронова-Бома. Эффект Ааронова-Бома в нанoeлектронике.

Раздел 10. Электропроводность двумерного электронного газа в магнитном поле. Тензоры проводимости и сопротивлений. Тензоры проводимости и сопротивлений в квазиклассическом приближении. Элементарная теория классического эффекта Холла. Квантовый эффект Холла. Целочисленный квантовый эффект Холла. Дробный квантовый эффект Холла.

Раздел 11. Нанокластеры. Основные типы нанокластеров. Физические особенности нанокластеров. Термодинамика нанокластеров. Электронные состояния в нанокластерах. Металлические нанокластеры. Магические числа. Модель "желе" для металлических нанокластеров. Электронные оболочки в металлических нанокластерах.

Раздел 12. Перенос заряда в квантовых точках. Типы квантовых точек. Проводимость квантовых точек. Кулоновская блокада. Различные режимы кулоновской блокады.

4.3.1 Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

№ п/п	№ раздела	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудоемкость (час.)		Оценочные средства	Формируемые компетенции
			Всего часов	Из них практическая подготовка		
1	2	3	4	5	6	7
1.	1	Размерные эффекты в кристаллах.	1	1	опрос, контрольное задание	ОПК-1
2.	2	Потенциальные ямы и барьеры в наноструктурах.	16	16	опрос, контрольное задание	
3.	3	Энергетическая плотность электронных состояний в низкоразмерных структурах.	4	4	опрос, контрольное задание	
4.	4	Квантовые резисторы и квантовые контакты.	4	4	опрос, контрольное задание	
5.	5	Влияние электрического поля на энергетические зоны электронов.	2	2	опрос, контрольное задание	
6.	6	Контактные явления в кристаллических структурах.	1	1	опрос, контрольное задание	
7.	7	Гетеропереходы и гетероструктуры.	2	2	опрос, контрольное задание	
8.	8	Двумерный электронный газ в магнитном поле.	2	2	опрос, контрольное задание	
9.	9	Векторный потенциал в квантовой механике.	4	4	опрос, контрольное задание	
10.	10	Электропроводность двумерного электронного газа в магнитном поле.	2	2	опрос, контрольное задание	
11.	11	Нанокластеры.	1	1	Доклад	
12.	12	Перенос заряда в квантовых точках.	1	1	Доклад	

4.3.2 Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС)

№ нед.	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература	Количество часов
1.	Способы понижения размерности системы	Внеаудиторная работа.	Изучение литературы.	Из списка литературы. Интернет источники.	1
2.	Потенциальные ямы.	Внеаудиторная работа.	Изучение литературы. Решение задач	Из списка литературы. Интернет источники.	2
3.	Частица в яме.		Изучение литературы. Решение задач	Из списка литературы. Интернет источники.	2
4.	Частица над ямой.		Изучение литературы. Решение задач	Из списка литературы. Интернет источники.	2
5.	Потенциальные барьеры.		Изучение литературы. Решение задач	Из списка литературы. Интернет источники.	2
6.	Коэффициенты прохождения и отражения частицы.		Изучение литературы. Решение задач	Из списка литературы. Интернет источники.	2
7.	Энергия Ферми в низкоразмерных электронных газах.	Внеаудиторная работа.	Изучение литературы. Решение задач	Из списка литературы. Интернет источники.	2
8.	Использование компьютерного моделирования для расчёта параметров квантовых резисторов.	Внеаудиторная работа.	Изучение литературы. Моделирование.	Из списка литературы. Интернет источники.	2
9.	Контакт металл - диэлектрик - полупроводник.	Внеаудиторная работа.	Изучение литературы.	Из списка литературы. Интернет источники.	2
10.	Гетеролазер. Компьютерное моделирование гетеропереходов.	Внеаудиторная работа.	Изучение литературы. Моделирование.	Из списка литературы. Интернет источники.	2
11.	Основные типы нанокластеров. Физические особенности нанокластеров.	Внеаудиторная работа	Изучение литературы.	Из списка литературы. Интернет источники.	2
12.	Типы квантовых точек.	Внеаудиторная работа	Изучение литературы.	Из списка литературы. Интернет источники.	2
10.	Текущие консультации				1
11.	Подготовка к экзамену			Вся литература. Интернет источники.	36

4.4 Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

К современному специалисту общество предъявляет достаточно широкий перечень требований, среди которых немаловажное значение имеет наличие у выпускников определенных способностей и умения самостоятельно добывать знания из различных источников, систематизировать полученную информацию, давать оценку конкретной финансовой ситуации. Формирование такого умения происходит в течение всего периода обучения через участие студентов в практических занятиях, выполнение контрольных заданий, написание курсовых и выпускных квалификационных работ. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Теоретические знания, полученные студентами на практических занятиях и при самостоятельном изучении курса по литературным источникам, закрепляются при выполнении практических заданий. При выполнении практических заданий обращается особое внимание на выработку у студентов умения грамотно выполнять и оформлять документацию, умения пользоваться научно-технической справочной литературой. Каждый студент должен подготовиться к защите своего отчета, разобравшись с теорией исследуемого явления.

Текущая работа над учебными материалами включает в себя систематизацию теоретического материала каждой практической работы, заполнения пропущенных мест, уточнения схем и выделения главных мыслей основного содержания работы. Для этого используются имеющиеся учебно-методические материалы и другая рекомендованная литература.

Границы между разными видами самостоятельных работ достаточно размыты, а сами виды работы пересекаются. Таким образом, самостоятельная работа студентов может быть как в аудитории, так и вне ее.

Закрепление всего изученного материала осуществляется на контрольной работе. Также может быть проведен опрос по всем темам курса. Преподаватель помогает разобраться с проблемными вопросами и задачами (по мере их поступления) в ходе текущих консультаций.

4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)

Курсовые работы учебным планом не предусмотрены

V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) перечень литературы

1. Морозов В.Г. Физика низкоразмерных структур [Электронный ресурс]: Учебное пособие/ Морозов В.Г. — М.: МИРЭА – Российский технологический университет, 2019, 122 с.
2. Рембеза С.И. Низкоразмерные структуры для микро- и наноэлектроники [Электронный ресурс] : Учебное пособие/С.И. Рембеза, Е.С. Рембеза, Н.Н. Кошелева - Воронежский государственный технический университет, Воронеж 2015. 114 с.
3. Аграфонов Ю.В. Физика конденсированного состояния вещества. Метод функций распределения [Электронный ресурс] : - Иркутский гос. ун-т, Науч. б-ка. – Электрон. текстовые дан. – Иркутск: Изд-во НБ ИГУ, 2005
4. Епифанов Г.И. Физика твердого тела [Электронный ресурс]. – 2011. Режим доступа: ЭБС «Издательство «Лань». – Неогранич. доступ.

б) периодические издания

<http://perst.issp.ras.ru/Control/Inform/perst.htm>

в) список авторских методических разработок

з) Базы данных, поисково-справочные и информационные системы

- Книгафонд - библиотека онлайн чтения. www.knigafund.ru
- ЭЧЗ «БИБЛИОТЕХ» <https://isu.bibliotech.ru/>
- ЭБС «ЛАНЬ» <http://e.lanbook.com/>
- ЭБС «РУКОНТ» <http://rucont.ru>
- Архив научных журналов JSTOR (<http://www.jstor.org>)

VI. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

6.1. Учебно-лабораторное оборудование:

Практические занятия по данной дисциплине проводятся в учебной аудитории по расписанию. Лабораторное оборудование не предусмотрено.

На факультете имеется компьютеризированная аудитория, предназначенная для самостоятельной работы, с неограниченным доступом в Интернет, стандартные средствами просмотра презентаций и других материалов по курсу.

6.2. Программное обеспечение:

Стандартные сервисы сети Интернет, стандартные средствами просмотра презентаций и других материалов по курсу

6.3. Технические и электронные средства:

Для проведения практических и лекционных занятий в качестве демонстрационного оборудования используются проектор, экран и меловая доска. Используются современные образовательные технологии: информационные (лекции и презентации в Power Point), проектные (мультимедиа, видео, документальные фильмы). Использование глобальной компьютерной сети позволяет обеспечить доступность Интернет-ресурсов и реализовать самостоятельную работу студентов, в ходе которой они могут вычитывать научные статьи по темам курса. На лекциях могут использоваться мультимедийные средства: проектор, переносной экран, ноутбук. На факультете имеется компьютеризированная аудитория, предназначенная для самостоятельной работы, с неограниченным доступом в Интернет.

Материалы: научные статьи из рецензируемых журналов и монографии, рассматривающие современные подходы и исследования в области физики низкоразмерных структур.

VII. Образовательные технологии

В соответствии с требованиями ФГОС ВО, в учебном процессе используются активные и интерактивные формы проведения занятий. Интерактивные формы работы на учебных занятиях предусматривают активную позицию студентов при изучении материала, например, самостоятельно подготовить дополнение к теме и вынести его на обсуждение, провести дискуссию, включить элементы собственных научных исследований и сделать краткую презентацию своих выступлений на научных конференциях. Все это формирует способности применять знания, умения и личностные качества для успешной деятельности в области исследований магнитного состояния вещества.

На практических занятиях студенты используют авторские задачи. По материалам наблюдений они приобретают исследовательские навыки, необходимые для работы по междисциплинарным направлениям, после получения базового образования и формируют компетенцию готовности выявить естественнонаучную сущность проблем, компетенцию готовности использовать методы теоретической и экспериментальной физики в профессиональной деятельности для изучения магнитных веществ.

Программа основана на использовании современных образовательных технологий: информационных (лекции и презентации в Power Point), проектных (мультимедиа, видео), дистанционные, научно-исследовательской направленности и т. п.

VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации

Фонд оценочных средств (ФОС) представлен в приложении.

8.1.1. Оценочные средства для входного контроля

Проводится опрос на первом занятии.

8.1.2. Оценочные средства текущего контроля

Содержание учебного материала разделено на дидактические единицы (ДЕ) – предметные темы, подлежащие обязательному изучению и усвоению в процессе обучения. Учитывается промежуточная аттестация по итогам самостоятельной работы, предусмотренной программой курса.

Примерные тестовые задания по физике низкоразмерных структур приведены в фондах оценочных средств.

8.1.3 Оценочные средства для промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена.

Материалы для проведения текущего и промежуточного контроля знаний студентов:

№ п\п	Вид контроля	Контролируемые темы (разделы)	Компетенции, компоненты которых контролируются
1.	Опрос	Размерные эффекты в кристаллах.	ОПК-1
2.	Опрос. Проверка решения домашней задачи	Потенциальные ямы и барьеры в наноструктурах. Потенциальные ямы. Одномерная яма.	ОПК-1
3.	Опрос. Проверка решения домашней задачи	Потенциальные ямы и барьеры в наноструктурах. Потенциальные ямы. Одномерная яма. Частица в яме.	ОПК-1
4.	Опрос. Проверка решения домашней задачи	Потенциальные ямы и барьеры в наноструктурах. Потенциальные ямы. Одномерная яма. Частица над ямой.	ОПК-1
5.	Опрос. Проверка решения домашней задачи	Потенциальные ямы и барьеры в наноструктурах. Потенциальный барьер. Прохождение частиц.	ОПК-1
6.	Опрос. Проверка решения домашней задачи	Энергия Ферми в низкоразмерных электронных газах.	ОПК-1
7.	Доклад	Основные типы нанокластеров. Физические особенности нанокластеров.	ОПК-1
8.	Доклад	Типы квантовых точек.	ОПК-1

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.04.02 Физика.

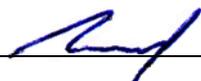
Разработчик:



к.ф.-м.н., доцент Зубрицкий С.М.

Программа рассмотрена на заседании кафедры общей и экспериментальной физики
« 24 » марта _____ 2022 г.

Протокол № 6

Зав. кафедрой  д.ф.-м.н. Гаврилюк А.А.

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