



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Физический факультет
Кафедра инженерной физики

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

Кафедра инженерной физики физического факультета

Образовательная программа магистратуры
11.04.04- Электроника и наноэлектроника

Направленность (профиль) программы:
Материалы и технологии электроники и наноэлектроники

Форма обучения:
Очная

Статус дисциплины:
**Входит в часть, формируемую участниками образовательных
отношений**

Махачкала, 2022 г

Рабочая программа дисциплины «Физические основы нанoeлектроники» составлена в 2022 году в соответствии с требованиями ФГОС ВО – магистратура по направлению подготовки **11.04.04 Электроника и нанoeлектроника** от 22 сентября 2017 г. № 959 (с изменениями и дополнениями №1456 от 26.11.2020 г.).

Разработчик: *кафедра инженерной физики, д.ф.м.н., проф. Садыков С.А.*

Рабочая программа дисциплины одобрена:
на заседании кафедры Инженерная физика от «22» 03 2022 г., протокол № 7

Зав. кафедрой  Садыков С.А.

на заседании Методической комиссии физического факультета от
« 23 » 03. 2022 г., протокол № 7

Председатель  Мурлиева Ж.Х.

Рабочая программа дисциплины согласована с учебно-методическим

управлением « 30 » 03 2022 г.  Гасангаджиева А.Г.

СОДЕРЖАНИЕ

Аннотация рабочей программы

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре ОПОП магистратуры
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины
4. Объем, структура и содержание дисциплины
5. Образовательные технологии
6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов
7. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины
 - 7.1. Типовые контрольные задания
 - 7.2. Методические материалы, определяющие процедуру оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.
8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины
9. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины
10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины
11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем
12. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Аннотация рабочей программы дисциплины

Дисциплина «Физические основы наноэлектроники» входит в часть, формируемую участниками образовательных отношений основной профессиональной образовательной программы магистратуры по направлению **11.04.04 Электроника и наноэлектроника**. Дисциплина реализуется на физическом факультете кафедрой инженерной физики.

Содержание дисциплины охватывает вопросы физики систем пониженной размерности, такие как особенности энергетического спектра и переноса носителей заряда в квантово-размерных структурах, магнитные квантовые эффекты, основы одноэлектроники и спинтроники, фотоники и др.

Дисциплина нацелена на формирование следующих *профессиональных* компетенций выпускника:

ПК-1.1. Способен проводить анализ и выбор перспективных материалов, технологических процессов и оборудования производства изделий микро- и наноэлектроники;

ПК-2.1. Способен согласовать техническое задание на технологический маршрут изготовления изделий "система в корпусе";

ПК-3.2. Способен согласовать и утверждать технические задания на модернизацию и внедрение новых методов и оборудования для измерений параметров и модификации свойств наноматериалов и аноструктур.

Преподавание дисциплины предусматривает проведение следующих видов контроля успеваемости в форме тестирования, индивидуального собеседования, письменных контрольных заданий и пр. и промежуточный контроль в форме дифференцированного зачета.

Объем дисциплины 4 зачетных единиц, в том числе в академических часах по видам учебных занятий.

Семестр	Учебные занятия								Форма промежуточной аттестации (зачет, дифференцированный зачет, экзамен)
	в том числе:								
	всего	Контактная работа обучающихся с преподавателем					СРС, в том числе экзамен		
		всего	из них						
			Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	КСР	консультации		
1	144	50	16	18	16			94	диф. зачет

1. Цели освоения дисциплины

Цель освоения дисциплины «Физические основы наноэлектроники» являются формирование фундаментальных знаний физики систем пониженной размерности, лежащих в основе работы современных приборов и устройств наноэлектроники, ознакомление с достижениями и перспективами использования этих систем в высоких технологиях.

В результате изучения курса магистры должны:

- владеть базовыми теоретическими знаниями в области физики низкоразмерных систем и связанные с ними эффекты;
- понимать современные тенденции в развитии физики полупроводников наноструктур, приборов и устройств на их основе;
- уметь использовать специализированные знания физики низкоразмерных систем для освоения профильных физических дисциплин и применять их при решении прикладных задач наноэлектроники;
- быть готовыми к самостоятельному освоению и грамотному использованию результатов новых экспериментальных и теоретических исследований в области физики наноструктур, к самостоятельному выбору методов и объектов исследования.

Основные разделы программы курса: энергетический спектр частиц в системах пониженной размерности, транспортные явления, основы одноэлектроники, спинтроники, нанофотоники, органической наноэлектроники.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП магистратуры

Дисциплина «Физические основы нано электроники» входит в часть, формируемую участниками образовательных отношений основной профессиональной образовательной программы магистратуры (Модуль профильной направленности). Для освоения дисциплины требуются знания и умения, приобретенные обучающимися в результате освоения ряда предшествующих дисциплин (разделов дисциплин), таких как:

- Квантовая механика и статфизика
- Физика конденсированного сосотояния
- Наноструктурные материалы
- Технология наноматериалов и структур
- Новые направления физического материаловедения,

а также знание английского языка для чтения научной литературы, необходимой для подготовки докладов на семинарах и в области математики.

Дисциплина «Физические основы наноэлектроники» позволяет дать понимание физических принципов работы приборов на основе наноструктур, использующихся (или перспективных для использования) в современной наноэлектронике. Магистры должны обладать навыками, необходимыми для решения конкретных физических проблем с использованием приёмов и методов математической физики; для описания разнообразных физических процессов и состояний в структурах пониженной размерностью.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (перечень планируемых результатов обучения)

Код компетенции из ФГОС ВО	Наименование компетенции из ФГОС ВО	Планируемые результаты обучения	Процедура освоения
ПК-1. <i>Способен раз-работать и внедрить со-временные технологиче-ские процессы</i>	ПК-1.1. <i>Способен про-водить анализ и выбор пер-спективных материалов, технологиче-</i>	Знает: • средства поиска информации в информа-ционных сетях; • мировые достижения в области наноэлек-троники; • характеристики продукции лидеров в об-ласти производства техники в данной об-	Устный опрос. Письменны й опрос (тестирован ие) Проверка

и программы выпуска изделий микро- и наноэлектроники	ских процессов и оборудования производства изделий микро- и наноэлектроники	ласти; • основные подходы к описанию реальных физических процессов и явлений в наноструктурах; • материаловедческие проблемы наноэлектроники; • инновационные материалы, перспективы их применения в связи с развитием многоуровневой многослойных наноструктур; • основные закономерности формирования свойств наноразмерных структур на основе квантовой теории; • квантоворазмерные эффекты и физические свойства систем пониженной размерности; • структура существующих производственного и технологического процессов производства изделий наноэлектроники; Умеет: • искать информацию в различных печатных и электронных источниках; • систематизировать найденную информацию; • выявлять тенденции развития научных исследований и разработок, связанных с перспективными материалами, технологическими процессами и оборудованием; • определять существенные для выпускаемых изделий параметры и характеристики перспективных материалов, технологических процессов и оборудования; • определять критерии сравнения существующих и перспективных материалов, технологических процессов и оборудования; • использовать специализированные знания в области физики систем пониженной размерности для обеспечения технологической реализации материалов и элементов электронной техники в приборах и устройствах наноэлектроники; • оценивать пределы применимости классического подхода, роль и важность квантовых эффектов при описании физических процессов в элементах наноэлектроники; Владет: • навыками сбора и систематизации информации о перспективных материалах, технологических процессах и оборудовании, используемых в производстве изделий наноэлектроники; • навыками анализа полученной информации с целью улучшения качественных и	рефератов Выступления на семинарах. Презентации Промежуточный контроль по модулю
--	---	--	--

		количественных показателей выпускаемых изделий нанoeлектроники; • навыками оценки направлений научного развития исследований и разработок, связанных с перспективными наноматериалами, технологическими процессами и оборудованием; • навыками проводить сравнительный анализ характеристик и параметров существующих наноматериалов; • основами теоретических знаний для решения практических задач как в области физики полупроводников и диэлектриков, так и на междисциплинарных границах физики нанoeлектроники; • навыками оценки технологической и экономической целесообразности внедрения новых материалов, технологических процессов и оборудования в существующий цикл производства изделий нанoeлектроники.	
ПК-2. Способен разрабатывать, контролировать и корректировать технологические маршруты и технологические процессы изготовления изделий "система в корпусе"	ПК-2.1. Способен согласовать техническое задание на технологический маршрут изготовления изделий "система в корпусе"	Знает: • технико-экономические и прогнозные исследования в области технологии производства изделий "система в корпусе"; • эксплуатационные и ресурсные характеристики основных материалов, используемых для изготовления изделий "система в корпусе"; • технологии изготовления изделий "система в корпусе"; • технический английский язык в области микро- и нанoeлектроники; Умеет: • оставлять техническое задание на разработку технологического маршрута на изготовление изделий "система в корпусе"; • согласовывать техническое задание на разработку технологического маршрута на изготовление изделий "система в корпусе"; • внедрять прикладное программное обеспечение для разработки технической и технологической документации по технологии изготовления изделий "система в корпусе". Владеет: • навыками анализа нормативно-технической и технико-экономической документации по технологии изготовления изделий "система в корпусе"; • навыками определения технического уровня проектируемого технологического маршрута на изготовление изделий	Устный опрос. Письменный опрос (тестирование) Проверка рефератов Выступления на семинарах. Презентации Промежуточный контроль по модулю

		"система в корпусе"; • навыками корректировки технического задания на разработку технологического маршрута на изготовление изделий "система в корпусе"; • навыками согласования и утверждение технического задания на разработку технологического маршрута на изготовление изделий "система в корпусе".	
ПК-3. Способен руководить подразделениями по измерениям параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур	ПК-3.2. Способен согласовать и утверждать технические задания на модернизацию и внедрение новых методов и оборудования для измерений параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур	Знает: • углубленные знания о структуре, физико-химических свойствах, конструкции и назначении модифицируемых наноматериалов и наноструктур; • основные методы измерений параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур; • технический английский язык в области наноматериалов и нанотехнологий; Умеет: • оценивать технические и экономические риски при выборе методов и оборудования для измерения параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур; • анализировать и обрабатывать результаты измерений параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур на основе теоретических представлений в области физики систем пониженной размерности; • оценивать временные затраты на стандартные и нестандартные методы измерения параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур; Владет: • навыками анализа планов перспективного развития предприятия в области измерения параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур; • навыками оценки рисков внедрения новых методов и оборудования измерения параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур; • основными методами измерений параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур; • навыками анализа и обработки результатов измерений параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур на основе теоретических представлений в области физики квантовых размерных систем.	Круглый стол Устный опрос. Письменный опрос (тестирование) Проверка рефератов Выступления на семинарах. Презентации Промежуточный контроль по модулю

4. Объем, структура и содержание дисциплины.

4.1. Объем дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 академических часа.

4.2. Структура дисциплины.

№ п/п	Разделы и темы дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятель- ную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успева- емости (по неде- лям семестра) Форма промежу- точной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лаборатор- ные занятия	Контроль самост. раб.		
	Модуль 1								
1	Квантовые поведе- ние электронов в структурах пони- женной размерно- сти.	1		4	4	8		20	Домашнее зада- ние (ДЗ) Собеседование (С) Рейтинговая си- стема (РС)
	Итого по модулю 1: 36 ч			4	4	8		20	
	Модуль 2								
2	Транспортные явле- ния.	1		4	4	4		24	(ДЗ), (С), (РС)
	Итого по модулю 2: 36 ч			4	4	4		24	
	Модуль 3								
3	Магнитные кванто- вые эффекты.	1		4	4	6		10	(ДЗ), (С), (РС)
4	Основы одноэлек- троники и спинтро- ники.	1		2	2			8	(ДЗ), (С), (РС)
	Итого по модулю 3:			6	6	6		18	
	Модуль 4								
5	Нанопотоника.			2	2			24	(ДЗ), (С), (РС)
	Итого по модулю 4:			2	2			32	
	ИТОГО: 144			16	16	18		94	Диф. зачет

4.3. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам).

Модуль 1

Квантовое поведение электронов в структурах пониженной размерности.

Введение. Квантовое ограничение. Особенности энергетического спектра частиц в системах пониженной размерности. Размерное квантование электронных состояний в квантовых ямах, проволоках, точках. Изолированные квантовые ямы, нити, точки. Сво-

бодный одномерный и двумерный электронный газ. Плотность состояний. Квантовые структуры с одномерным электронным газом. Квантовые структуры с двумерным электронным газом. Квантовые структуры с нульмерным электронным газом.

Модуль 2

Транспортные явления.

Частица в трехмерной прямоугольной потенциальной яме. Движение электронов над ямами и барьерами. Пролет электрона над потенциальным барьером.

Стационарная дрейфовая скорость. Баллистический транспорт в полупроводниках и субмикронных структурах. Подвижность электронов в системах с селективным легированием. Особенности электрон-фононного взаимодействия в системах пониженной размерности.

Особенности переноса в квантовых проволоках. Осцилляции дрейфовой скорости электронов.

Модуль 3

Магнитные квантовые эффекты.

Влияние магнитного поля на плотность состояний. Влияние магнитного поля на квантование энергии. Квантовый эффект Холла в квантовых ямах. Эффект Аронова-Бома. Эффект Шубникова-де Гааза.

Основы одноэлектроники и спинтроники.

Одноэлектронный транспорт. Квантово-размерный туннельный эффект. Кулоновская блокада.

Спин электрона. Приборы спинтроники.

Модуль 4

Нанопотоника.

Приборы нанопотоники: светодиоды, лазеры с квантовыми ямами и точками, фотоприемники на квантовых ямах Перспективные материалы и устройства.

Фотонные кристаллы.

4.3.1. Содержание лекционных занятий

модуль	Содержание темы
1.	<u>Лекция 1.</u> Квантовое поведение электронов в структурах пониженной размерности. <u>Лекция 1.</u> Пространственные масштабы нанoeлектроники. Квантовое ограничение. Особенности энергетического спектра частиц в системах пониженной размерности. Размерное квантование электронных состояний в квантовых ямах, проволоках, точках. Изолированные квантовые ямы, нити, точки. Свободный одномерный и двумерный электронный газ. <u>Лекция 2.</u> Плотность состояний. Квантовые структуры с одномерным электронным газом. Квантовые структуры с двумерным электронным газом. Квантовые структуры с нульмерным электронным газом.
2	<u>Лекция 3.</u> Транспортные явления. Стационарная дрейфовая скорость. Баллистический транспорт в полупроводниках и субмикронных структурах. Подвижность электронов в системах с селективным легированием.

	<u>Лекция 4.</u> Особенности электрон-фононного взаимодействия в системах пониженной размерности.
3.	Магнитные квантовые эффекты. <u>Лекция 5.</u> Влияние магнитного поля на плотность состояний. Влияние магнитного поля на квантование энергии. <u>Лекция 6.</u> Квантовый эффект Холла в квантовых ямах. Эффект Аронова-Бома. Эффект Шубникова-де Гааза. Основы одноэлектроники и спинтроники. <u>Лекция 7.</u> Одноэлектронный транспорт. Квантово-размерный туннельный эффект. Кулоновская блокада. Основы спинтроники. Приборы спинтроники.
4.	Нанопотоника. <u>Лекция 8.</u> Приборы нанопотоники: светодиоды, лазеры с квантовыми ямами и точками, фотоприемники на квантовых ямах Перспективные материалы и устройства. Фотонные кристаллы.

4.3.2. Содержание практических занятий

мо- дуль	Содержание темы
1.	Квантовое поведение электронов в структурах пониженной размерности. <u>Занятие 1.</u> • Пространственные масштабы нанoeлектроники. Квантовое ограничение. Особенности энергетического спектра частиц в системах пониженной размерности. • Размерное квантование электронных состояний в квантовых ямах, проволоках, точках. Изолированные квантовые ямы, нити, точки. Свободный одномерный и двумерный электронный газ. <u>Занятие 2.</u> • Плотность состояний. Плотность дискретного и непрерывного спектра двумерной системы. Квантовые структуры с двумерным электронным газом. • Квантовые структуры с одномерным электронным газом. Квантовые структуры с нульмерным электронным газом. .
2	Транспортные явления. <u>Занятие 3.</u> • Частица в трехмерной прямоугольной потенциальной яме. Движение электронов над ямами и барьерами. Пролет электрона над потенциальным барьером. • Стационарная дрейфовая скорость. Баллистический транспорт в полупроводниках и субмикронных структурах. Подвижность электронов в системах с селективным легированием.

	<u>Занятие 4.</u> Особенности электрон-фононного взаимодействия в системах пониженной размерности. Особенности переноса в квантовых проволоках. Осцилляции дрейфовой скорости электронов.
3.	Магнитные квантовые эффекты. <u>Занятие 5</u> - Влияние магнитного поля на плотность состояний. Влияние магнитного поля на квантование энергии. Уровни Ландау. - Квантовый эффект Холла в квантовых ямах. Дробный квантовый эффект Холла. <u>Занятие 6</u> - Эффект Аронова-Бома. Эффект Шубникова-де Гааза.
3.	Основы одноэлектроники и спинтроники. <u>Занятие 7</u> - Одноэлектронный транспорт. Квантово-размерный туннельный эффект. Кулоновская блокада. - Спин электрона. Спиновые эффекты. Спиновая инжекция. Эффект гигантского магнетосопротивления. Эффект колоссального магнетосопротивления. Приборы спинтроники.
4.	Нанопотоника. <u>Занятие 8</u> - Приборы нанопотоники: светодиоды, лазеры с квантовыми ямами и точками, фотоприемники на квантовых ямах Перспективные материалы и устройства. - Фотонные кристаллы.

4.3.3. Содержание лабораторных занятий

	Содержание темы
Модуль 2	<u>Лабораторная работа 1.</u> Использование операторов матричного исчисления в среде MatLab. - 4 ч. <u>Лабораторная работа 2.</u> Работа с графиками MatLab. - 4 ч.
Модуль 3	<u>Лабораторная работа 3.</u> Расчет распределения электронной плотности в нанотранзисторе - 4 ч.
Модуль 4	<u>Лабораторная работа 4.</u> Расчет характеристик нанотранзистора – 4 ч. <u>Лабораторная работа 5.</u> Итоговое занятие. Описание нанотранзистора - 2 ч.

4.3.4. Содержание разделов самостоятельной работы

Модуль	Содержание темы
1	Тема 1. Квантовое поведение электронов в структурах пониженной размерности. - Введение. Основные понятия наномира. Базовые термины и понятия. - Основные классы наноразмерных систем. Место наноразмерных объектов в окружающем нас мире. - Определение понятий: нанотехнология, наноматериалы, наносистемные

	устройства, наноструктура. Нанообъекты. • Критерии определения наноматериалов: критический размер и функциональные свойства. Квантовые наноструктуры различной размерности: 0D-, 1D-, 2D-структуры. • Квантовые точки. Основные типы наноразмерных систем. • Углеродные наноструктуры (фуллерены и нанотрубки). Неуглеродные наноструктуры. • Нанокompозиты и наножидкости. • Степень интеграции и перспективы нанотехнологий.
2.	Тема 2. Транспортные явления. • Частица в трехмерной прямоугольной потенциальной яме. • Движение электронов над ямами и барьерами. • Пролет электрона над потенциальным барьером. • Стационарная дрейфовая скорость. • Баллистический транспорт в полупроводниках и субмикронных структурах. Подвижность электронов в системах с селективным легированием. Особенности электрон-фононного взаимодействия в системах пониженной размерности. • Особенности переноса в квантовых проволоках. Осцилляции дрейфовой скорости электронов.
3.	Тема 3. Магнитные квантовые эффекты. • Влияние магнитного поля на плотность состояний. • Влияние магнитного поля на квантование энергии. • Квантовый эффект Холла в квантовых ямах. • Эффект Аронова-Боме. • Эффект Шубникова-де Гааза. Тема 4. Основы одноэлектроники и спинтроники. • Одноэлектронный транспорт. Одноэлектронные устройства. • Квантово-размерный туннельный эффект. Кулоновская блокада. • Реализация одноэлектронного транзистора в полупроводниковой, углеродной, молекулярной электронике. • Спин электрона. Приборы спинтроники.
4.	Тема 5. Нанофотоника. • Приборы нанофотоники: светодиоды, лазеры с квантовыми ямами и точками, фотоприемники на квантовых ямах • Перспективные материалы и устройства. • Фотонные кристаллы.

5. Образовательные технологии

Основными видами образовательных технологий с применением, как правило, компьютерных и технических средств, учебного и научного оборудования являются:

- Информационные технологии.
- Проблемное обучение.
- Индивидуальное обучение.
- Междисциплинарное обучение.
- Опережающая самостоятельная работа.

Для достижения определенных компетенций используются следующие формы организации учебного процесса: лекция (информационная, проблемная, лекция-визуализация, лекция-консультация и др.), практическое занятие, лабораторные занятия, семинарские занятия, самостоятельная работа, консультация. Допускаются комбинированные формы проведения занятий, такие как лекционно-практические занятия.

Преподаватель самостоятельно выбирают наиболее подходящие методы и формы проведения занятий из числа рекомендованных и согласуют выбор с кафедрой.

Реализация компетентностного подхода предусматривает широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий и организации внеаудиторной работы (компьютерных симуляций, деловых и ролевых игр, разбора конкретных ситуаций, психологических и иных тренингов) с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся. Интерактивное обучение – метод, в котором реализуется постоянный мониторинг освоения образовательной программы, целенаправленный текущий контроль и взаимодействие (интерактивность) преподавателя и студента в течение всего процесса обучения.

Самостоятельная работа организована в соответствии с технологией проблемного обучения и предполагает следующие формы активности:

- самостоятельная проработка учебно-проблемных задач, выполняемая с привлечением основной и дополнительной литературы;
- поиск научно-технической информации в открытых источниках с целью анализа и выявления ключевых особенностей.

Основные аспекты применяемой технологии проблемного обучения:

- постановка проблемных задач отвечает целям освоения дисциплины «Физика конденсированного состояния» и формирует необходимые компетенции;
- решаемые проблемные задачи стимулируют познавательную деятельность и научно-исследовательскую активность студентов.

По лекционному материалу подготовлено учебное пособие, конспекты лекций в электронной форме и на бумажном носителе, большая часть теоретического материала излагается с применением слайдов (презентаций) в программе **Power Point**, а также с использованием интерактивных досок.

Методика проведения практических занятий способствует выполнению расчетов, решению задач по нанoeлектронике, умению пользования нормативной и справочной литературой. Закрепление знаний путем решения разного рода учебно-практических задач осуществляется с применением системы компьютерной математики MathCad и Origin Graph, предоставляющей высокую степень визуализации всего процесса вычислений, его наглядность, а также минимальные сроки выполнения расчетов. Применяемые электронные средства обучения способствуют увеличению объема выполнения рабочего задания по сравнению с традиционными практическими занятиями.

Выполнение лабораторных работ, обработки результатов измерений, редактирования схем, изображений и чертежей с использованием современных программных средств Origin Graph, MathCad, Microsoft Visio, LabView.

Обучающие и контролирующие модули внедрены в учебный процесс и размещены на Образовательном сервере Даггосуниверситета (<http://edu.icc.dgu.ru>), к которым студенты имеют свободный доступ.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.

Самостоятельная работа магистров имеет целью подготовку к семинарским и практическим занятиям по отдельным разделам дисциплины, а также к выполнению лабораторных работ по предмету. Разделы дисциплины для самостоятельной работы приведены в п.п. 4.3.4.

В течение семестра магистры самостоятельно готовятся по отдельным разделам дисциплины, представляют рефераты и презентации, обсуждают выбранные темы на практических занятиях.

7. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.

7.1. Типовые контрольные задания

7.1.1. Вопросы к дифференциальному зачету.

1. Пространственное квантование
2. Примеры наноструктур различной мерности.
3. Типы структур с низкоразмерным электронным газом.
4. Применение низкоразмерных структур в электронике.
5. Свободный одномерный электронный газ. Плотность состояний. Связь энергии Ферми с концентрацией электронов. Полная энергия при $T=0$.
6. Свободный двумерный электронный газ. Зависимость химического потенциала от температуры. Полная энергия при конечной температуре.
7. Плотность состояний систем различной размерности.
8. Размерное квантование электронных состояний в квантовых ямах, проволоках, точках.
9. Полупроводниковые квантовые ямы. Энергетическая диаграмма.
10. Энергетический спектр электронов и дырок в полупроводниковых квантовых ямах. Плотность состояний.
11. Статистика носителей заряда.
12. Энергетический спектр электронов в низкоразмерных структурах в присутствии постоянного магнитного поля.
13. Переход от дискретного к непрерывному спектру в направлении квантования для систем различной размерности. Квази- низкоразмерные системы.
14. Размерное квантование во внешних полях.
15. Квантовые ямы и сверхрешетки в электрическом поле.
16. Двумерный электронный газ. Потенциальная энергия электрона в двумерном электронном газе.
17. Полупроводниковые квантовые нити. Энергетический спектр и плотность состояний.
18. Энергетический спектр электронов в квантовых нитях, полученных методом зарывания поверхности скола.
19. Полупроводниковые квантовые точки. Энергетический спектр кубических квантовых точек.
20. Квантовый эффект Холла.
21. Влияние магнитного поля на плотность состояний. Влияние магнитного поля на квантование энергии. Уровни Ландау.
22. Квантовый эффект Холла в квантовых ямах.
23. Дробный квантовый эффект Холла.
24. Эффект Аронова-Бома.
25. Эффект Шубникова-де Гааза.
26. Баллистический транспорт.
27. Баллистическая проводимость квантовых нитей.
28. Кулоновская блокада.
29. Туннельные эффекты.
30. Прохождение электронов в структурах с одиночными квантовыми ямами и потенциальными барьерами.

31. Туннелирование электронов через двухбарьерную квантовую структуру.
32. Лазеры на основе квантовых ям.
33. Фотоприемники на квантовых ямах.
34. Резонансный туннельный диод.
35. Подвижность электронов в системах с селективным легированием.
36. Особенности электрон-фононного взаимодействия в системах пониженной размерности.
37. Основы спинтроники.
38. Теоретические основы одноэлектроники.
39. Фотонные кристаллы.
40. Приборы нанофотоники.

7.2. Методические материалы, определяющие процедуру оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

Общий результат выводится как интегральная оценка, складывающаяся из текущего контроля – 50 % и промежуточного контроля – 50 %.

Текущий контроль по дисциплине включает:

- посещение занятий - 10 баллов,
- участие на практических занятиях - 15 баллов,
- выполнение лабораторных заданий – 25 баллов,
- выполнение домашних (аудиторных) контрольных работ - 10 баллов.

Промежуточный контроль по дисциплине включает:

- устный опрос - 5 баллов,
- письменная контрольная работа - 15 баллов,
- тестирование - 20 баллов.

8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины.

1. Борисенко В.Е, Воробьева., А. И. Нанoeлектроника : учеб. пособие. – М.: БИНОМ. Лаб. знаний, 2009. - 223 с. - (15 экз.).
2. Шишкин Г. Г., Агеев И. М. Нанoeлектроника: Элементы, приборы, устройства : учеб. пособие. - М. : БИНОМ. Лаб. знаний, 2011. - 408 с. – (15 экз.).
3. Троян, П.Е. Нанoeлектроника : учебное пособие / П.Е. Троян, Ю.В. Сахаров. - Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2010. - 88 с. ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=208663>.
4. Дробот, П.Н. Нанoeлектроника : учебное пособие / П.Н. Дробот ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Томский Государственный Университет Систем Управления и Радиоэлектроники (ТУСУР). - Томск : ТУСУР, 2016. - 286 с. : ил.,табл., схем. - Библиогр.: с.261-275. ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=480771>

Дополнительная

1. Лозовский В.Н. , Константинова Г. С. Нанотехнология в электронике: Введение в специальность :. - [2-е изд., испр.]. - СПб. : Лань, 2008. – 327 с. – (40 экз.).
2. Рыжонков Д. И., Лёвина В. В. Наноматериалы : учеб. пособие. - 2-е изд. - М. : БИНОМ. Лаб. знаний, 2010. - 365 с. – (10 экз.).
3. Корабельников, Д.В. Физика наноструктур: учебное пособие / Д.В. Корабельников, Н.Г. Кравченко, А.С. Поплавной ; Министерство образования и науки РФ, Кемеровский государственный университет. - Кемерово : Кемеровский государственный университет, 2016. - 161 с. : схем., ил. - ISBN 978-5-8353-2048-6 ;

- То же [Электронный ресурс].
URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=481557>.
4. Неволин, В.К. Зондовые нанотехнологии в электронике : монография / В.К. Неволин. - Изд. 2-е, испр. - Москва : Техносфера, 2014. - 174 с. : ил., схем., табл. - (Мир электроники). - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-94836-382-0 ; То же [Электронный ресурс].
URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=260697>(08.06.2018).

9. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

1. Электронно-библиотечная система (ЭБС) IPRbooks (www.iprbookshop.ru). Лицензионный договор № 6984/20 на электронно-библиотечную систему IPRbooks от 02.10.2020 г.
2. Лицензионное соглашение № 6984/20 на использование адаптированных технологий ЭБС IPRbooks (www.iprbookshop.ru) для лиц с ОВЗ от 02.10.2020.
3. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотекаонлайн» www.biblioclub.ru. Договор об оказании информационных услуг № 131-09/2010 от 01.10.2020г. 537наименований.
4. Электронно-библиотечная система «ЭБС ЛАНЬ <https://e.lanbook.com/>. Договор №СЭБ НВ-278 на электронно-библиотечную систему ЛАНЬ от 20.10.2020 г. Срок действия договора со 20.10.2020 г. по 31.12.2023г.
5. Научная электронная библиотека <http://elibrary.ru>. Лицензионное соглашение № 844 от 01.08.2014 г. Срок действия соглашения с 01.08.2014 г. без ограничения срока.
6. Национальная электронная библиотека №101/НЭБ/101/НЭБ/1597 о предоставлении доступа к Национальной электронной библиотеке от 1 августа 2016 г. Срок действия договора с 01.08.2016 г. без ограничения срока.
7. Scopus издательства Elsevier B.V. Письмо РФФИ от 19.10.2020 г. № 1189 о предоставлении лицензионного доступа к содержанию базы данных Scopus издательства Elsevier B.V. в 2022 г. <https://www.scopus.com>
8. Международное издательство Springer Nature. Коллекция журналов, книг и баз данных издательства Springer Nature. Письмо РФФИ от 17.07.2020 г. № 743 о предоставлении лицензионного доступа к содержанию баз данных издательства Springer Nature в 2022 г. на условиях национальной подписки <https://link.springer.com/>
9. Журналы Royal Society of Chemistry. База данных RSC DATABASE издательства Royal Society of Chemistry Письмо РФФИ от 20.10.2020 г. № 1196 о предоставлении лицензионного доступа к содержанию баз данных Royal Society of Chemistry в 2022 г. <http://pubs.rsc.org/>
10. Электронный каталог НБ ДГУ[Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о всех видах лит, поступающих в фонд НБ ДГУ/Дагестанский гос. ун-т. – Махачкала, 2010 – Режим доступа: <http://elib.dgu.ru>.
11. Федеральное хранилище «Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов» <http://school-collection.edu.ru>.
12. Сайт образовательных ресурсов Даггосуниверситета <http://edu.icc.dgu.ru>

10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

Студент в процессе обучения должен не только освоить учебную программу, но и приобрести навыки самостоятельной работы. Студент должен уметь планировать и выполнять свою работу. Удельный вес самостоятельной работы составляет по времени 30% от всего времени изучаемого цикла. Это отражено в учебных планах и графиках учебного процесса, с которым каждый студент может ознакомиться у преподавателя дисциплины.

Главное в период обучения своей специальности - это научиться методам самостоятельного умственного труда, сознательно развивать свои творческие способности и

овладевать навыками творческой работы. Для этого необходимо строго соблюдать дисциплину учебы и поведения.

Каждому студенту следует составлять еженедельный и семестровый планы работы, а также план на каждый рабочий день. С вечера всегда надо распределять работу на завтра. В конце каждого дня целесообразно подводить итог работы: тщательно проверить, все ли выполнено по намеченному плану, не было ли каких-либо отступлений, а если были, по какой причине это произошло. Нужно осуществлять самоконтроль, который является необходимым условием успешной учебы. Если что-то осталось невыполненным, необходимо изыскать время для завершения этой части работы, не уменьшая объема недельного плана.

Вид учебных занятий	Организация деятельности студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначить вопросы, термины, материал, который вызывает трудности, пометить и попытаться найти ответ в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на консультации, на практических работах.
Практические занятия	Проработка рабочей программы, уделяя особое внимание целям и задачам структуре и содержанию дисциплины. Конспектирование источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы, работа с текстом. Решение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму и др.
Реферат	Поиск литературы и составление библиографии, использование от 3 до 5 научных работ, изложение мнения авторов и своего суждения по выбранному вопросу; изложение основных аспектов проблемы. Кроме того, приветствуется поиск информации по теме реферата в Интернете, но с обязательной ссылкой на источник, и подразумевается не простая компиляция материала, а самостоятельная, творческая, аналитическая работа, с выражением собственного мнения по рассматриваемой теме и грамотно сделанными выводами и заключением. Ознакомиться со структурой и оформлением реферата.
Подготовка к зачету	При подготовке к зачету необходимо ориентироваться на конспекты лекций, рекомендуемую литературу и др.

11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем.

Чтение лекций с использованием мультимедийных презентаций. Использование анимированных интерактивных компьютерных демонстраций и практикумов-тренингов по ряду разделов дисциплины.

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

Материально – техническая база кафедры экспериментальной физики, которая осуществляет подготовку по направлению 11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника», позволяет готовить магистров, отвечающих требованиям ФГОС. На кафедре имеются 3 учебных и 5 научных лабораторий, оснащенных современной технологической, измерительной и диагностической аппаратурой; в том числе функционирует проблемная НИЛ

«Твердотельная электроника». Функционируют специализированные учебные и научные лаборатории: Физика и технология керамических материалов для твердотельной электроники, Физика и технология тонкопленочных структур, Электрически активные диэлектрики в электронике, Физическая химия полупроводников и диэлектриков.

Лекционные занятия проводятся в аудитории, оснащенной мультимедийным проекционным оборудованием и интерактивной доской.