

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины Квантовая механика в наносистемах

Рекомендуется для направления подготовки/специальности

28.04.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

(указываются код и наименование направления подготовки специальности)

Направленность программы (профиль)

Инженерно-физические технологии в наноиндустрии (совместно с Евразийским
национальным университетом им. Л.Н. Гумилева)

(наименование образовательной программы в соответствии с направленностью (профилем))

1. Цели и задачи дисциплины:

Целью освоения дисциплины Квантовая механика в наносистемах является получение знаний, умений, навыков и опыта деятельности в области нанотехнологий, физических процессах, происходящих в полупроводниковых материалах и приборных структурах; развитие физического мышления и технологических навыков, характеризующих этапы формирования компетенций и обеспечивающих достижение планируемых результатов освоения образовательной программы.

Основными **задачами** дисциплины являются:

- изучение основ физики твердого тела;
- изучение физических и химических свойств и особенностей наноматериалов;
- изучение закономерности проявления физико-химических свойств материалов в зависимости от размерных характеристик, кристаллической структуры, физической модели

2. Место дисциплины в структуре ОП ВО:

Дисциплина Квантовая механика в наносистемах относится к вариативной части блока 1 учебного плана.

В таблице № 1 приведены предшествующие и последующие дисциплины, направленные на формирование компетенций дисциплины в соответствии с матрицей компетенций ОП ВО.

Таблица № 1

Предшествующие и последующие дисциплины, направленные на формирование компетенций

№ п/п	Шифр и наименование компетенции	Предшествующие дисциплины	Последующие дисциплины (группы дисциплин)
Общепрофессиональные компетенции			
1	ОПК-1 Способность ставить и решать инженерные и научно-технические задачи в области нанотехнологий и микросистемной техники и новых междисциплинарных направлениях на основе естественнонаучных и математических моделей.		Материалы наноструктурных установок Государственная итоговая аттестация Государственный экзамен Выпускная квалификационная работа
2	ОПК-3 Способность управлять жизненным циклом создания инженерных продуктов в области нанотехнологий и микросистемной техники с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений		Материалы наноструктурных установок Надежность устройств нанoeлектронной и микросистемной техники Государственная итоговая аттестация Государственный экзамен Выпускная квалификационная работа
Профессиональные компетенции (вид профессиональной деятельности научно-исследовательский)			
3	ПК-7 Способность разрабатывать современные технологические процессы		Материалы наноструктурных установок

изготовления нанoeлектронных изделий		Технология изготовления устройств нано- и микросистемной техники Технология производства гетероструктурных интегральных схем Технологии производства оптоэлектронной базы Технологии изготовления лазеров на основе наноструктур Государственная итоговая аттестация Государственный экзамен
--------------------------------------	--	---

3. Требования к результатам освоения дисциплины:

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

- способность ставить и решать инженерные и научно-технические задачи в области нанотехнологий и микросистемной техники и новых междисциплинарных направлениях на основе естественнонаучных и математических моделей. (ОПК-1)
- способность управлять жизненным циклом создания инженерных продуктов в области нанотехнологий и микросистемной техники с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений (ОПК-3)
- способность разрабатывать современные технологические процессы изготовления нанoeлектронных изделий (ПК-7)

В результате изучения дисциплины студент должен:

Знать:

- методы создания наноструктурированных покрытий;
- методы контроля качества наноструктурированных покрытий;
- основные методы получения различных типов наноматериалов, принцип работы, ограничения;
- контроль качества приборов и структур на основе наноматериалов;
- основные физико-химические свойства материалов;
- основные термины и аббревиатуры, в данной области исследования;
- основные технологические операции используемые на этапе разработки и технологии производства наноматериалов.

Уметь:

- выбирать необходимые подходы и методы для составления технологического маршрута производства и создания нанообъектов, модулей и изделий на их основе;
- выбирать необходимые методы исследования наноматериалов, исходя из поставленных задач проектной работы.

Владеть:

- методами расчета свойств материалов в зависимости от их физико-химических характеристик;
- методами создания наноструктурированных покрытий, наноматериалов и приборов на их основе.

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет **5** зачетных единиц.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры	
		1	2
Аудиторные занятия (всего)		36	24

В том числе:		-	-	-
Лекции		26	18	8
Практические занятия (ПЗ)		34	18	16
Семинары (С)		-	-	-
Лабораторные работы (ЛР)		-	-	-
Самостоятельная работа (всего)		120	72	48
Общая трудоемкость	час	180	108	72
	зач. ед.	5	3	2

5. Содержание дисциплины

5.1. Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела (темы)
1.	Раздел №1. Корпускулярно – волновой дуализм.	Спектр излучения абсолютно черного тела, фотоэффект, эффект Комптона, гипотеза Л. Де Бройля и опыты по дифракции электронов.
2.	Раздел №2. Спин и тождественность частиц.	Открытие спина. Магнетон Бора. Оператор спина. Уравнение Паули. Свойства матриц Паули. Принцип тождественности частиц. Многоэлектронные атомы. Элементарная теория химических сил.
3.	Раздел №3. Законы дисперсии для свободных электронов и пустой решетки.	Законы дисперсии для свободных электронов и пустой решетки. Квазиимпульс и квазичастица. Непрерывность и разрывность закона дисперсии. Прохождение и отражение волн от решетки. Малый периодический решеточный потенциал. Разложение потенциала в ряд Фурье. Разрешенные и запрещенные области энергии.
4.	Раздел №4. Построение зоны Бриллюэна, понятие эффективной массы	Полное внутреннее отражение на границах зон Бриллюэна. Параболичность закона дисперсии около дна зоны проводимости и потолка валентной зоны. Эффективная масса и кривизна закона дисперсии. Действие электрического поля на электрон около потолка валентной зоны. Свободные электроны и дырки. Связь ширины запрещенной зоны с эффективной массой и прочностью кристалла.
5.	Раздел №5. Туннелирование	Свободный электрон как плоская волна. Туннелирование (подбарьерное прохождение). Надбарьерное отражение. Резонансное туннелирование. Самофокусировка. Принцип неопределенностей Гейзенберга.

(Содержание указывается в дидактических единицах. По усмотрению разработчиков материал может излагаться не в форме таблицы)

5.2. Разделы дисциплин и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины/темы занятия	Лекц.	Практ. / семинар.	Лаб.	СРС	Всего час.
1 СЕМЕСТР						
1.	Раздел №1. Корпускулярно – волновой дуализм.	6	6	-	24	36
	Тема 1.1. Спектр излучения абсолютно черного тела, фотоэффект, эффект Комптона	2	2	-	8	12
	Тема 1.2. Гипотеза Л. Де Бройля	2	2	-	8	12
	Тема 1.3. Дифракция электронов	2	2	-	8	12

№ п/п	Наименование раздела дисциплины/темы занятия	Лекц.	Практ. / семинар.	Лаб.	СРС	Всего час.
2.	Раздел №2. Спин и тождественность частиц.	6	6	-	24	36
	Тема 2.1. Открытие спина. Магнетон Бора. Оператор спина.	2	2	-	8	12
	Тема 2.2. Уравнение Паули. Свойства матриц Паули.	2	2	-	8	12
	Тема 2.3. Принцип тождественности частиц. Многоэлектронные атомы.	2	2	-	8	12
3.	Раздел №3. Законы дисперсии для свободных электронов и пустой решетки.	6	6	-	24	36
	Тема 3.1. Законы дисперсии для свободных электронов и пустой решетки. Квазиимпульс и квазичастица. Непрерывность и разрывность закона дисперсии.	2	2	-	8	12
	Тема 3.2. Прохождение и отражение волн от решетки. Малый периодический решеточный потенциал. Разложение потенциала в ряд Фурье.	2	2	-	8	12
	Тема 3.3. Разрешенные и запрещенные области энергии	2	2	-	8	12
2 СЕМЕСТР						
4.	Раздел №4. Построение зоны Бриллюэна, понятие эффективной массы	4	8	-	20	32
	Тема 4.1. Полное внутреннее отражение на границах зон Бриллюэна	2	4	-	10	16
	Тема 4.2. Эффективная масса и кривизна закона дисперсии	2	4	-	10	16
5.	Раздел №5. Туннелирование	4	8	-	28	40
	Тема 5.1. Свободный электрон как плоская волна. Туннелирование (подбарьерное прохождение). Надбарьерное отражение. Резонансное туннелирование.	2	3	-	10	15
	Тема 5.2. Самофокусировка. Принцип неопределенностей Гейзенберга.	2	3	-	10	15
	Экзамен	-	2	-	8	10

6. Лабораторный практикум не предусмотрен

7. Практические занятия (семинары) (при наличии)

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика практических занятий (семинаров)	Трудо- емкость (час.)
1	Раздел №1. Корпускулярно – волновой дуализм	Спектр излучения абсолютно черного тела, фотоэффект, эффект Комптона	2
2		Гипотеза Л. Де Бройля	2
3		Дифракция электронов	2

4	Раздел №2. Спин и тождественность частиц	Открытие спина. Магнетон Бора. Оператор спина.	2
5		Уравнение Паули. Свойства матриц Паули.	2
6		Принцип тождественности частиц. Многоэлектронные атомы.	2
7	Раздел №3. Законы дисперсии для свободных электронов и пустой решетки.	Законы дисперсии для свободных электронов и пустой решетки. Квазиимпульс и квазичастица. Непрерывность и разрывность закона дисперсии.	2
8		Прохождение и отражение волн от решетки. Малый периодический решеточный потенциал. Разложение потенциала в ряд Фурье.	2
9		Разрешенные и запрещенные области энергии	2
10	Раздел №4. Построение зоны Бриллюэна, понятие эффективной массы	Полное внутреннее отражение на границах зон Бриллюэна	4
11		Эффективная масса и кривизна закона дисперсии	4
12	Раздел №5. Туннелирование	Свободный электрон как плоская волна. Туннелирование (подбарьерное прохождение). Надбарьерное отражение. Резонансное туннелирование.	3
13		Самофокусировка. Принцип неопределенностей Гейзенберга.	3

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Контрольные вопросы, сценарии к проведению лекций и практических занятий, подбор вопросов для докладов. Компьютерный класс, оснащенный видеопроектором.

9. Информационное обеспечение дисциплины

(указывается перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости))

а) программное обеспечение: Стандартное программное обеспечение ЭВМ.

б) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:

- поисковая система Яндекс <https://www.yandex.ru/>
- поисковая система Google <https://www.google.ru/>
- реферативная база данных SCOPUS <http://www.elsevierscience.ru/products/scopus/>
- РИНЦ - национальная библиографическая база данных научного цитирования <https://elibrary.ru/authors.asp>
- Электронно-библиотечная система РУДН – ЭБС РУДН <http://lib.rudn.ru/MegaPro/Web>
- ЭБС «Университетская библиотека онлайн» <http://www.biblioclub.ru>
- ЭБС Юрайт <http://www.biblio-online.ru>
- ЭБС «Консультант студента» www.studentlibrary.ru
- ЭБС «Лань» <http://e.lanbook.com/>

10. Учебно-методическое обеспечение дисциплины:

(указывается наличие печатных и электронных образовательных и информационных ресурсов)

Основная литература:

1. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники : учебное пособие для вузов / В. И. Старосельский. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 463 с. — (Бакалавр. Академический курс). — ISBN 978-5-9916-0808-4; Режим доступа: <https://www.biblio->

[online.ru/bcode/425163](https://www.biblio-online.ru/bcode/425163).

2. Плотников, Г. С. Микроэлектроника: основы молекулярной электроники : учебное пособие для вузов / Г. С. Плотников, В. Б. Зайцев. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 166 с. — (Авторский учебник). — ISBN 978-5-534-03637-4; Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru/bcode/438394>
3. Кудреватых, Н. В. Физика металлов. Редкоземельные металлы и их соединения : учебное пособие для вузов / Н. В. Кудреватых, А. С. Волегов. — Москва : Издательство Юрайт, 2019 ; Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та. — 197 с. — (Университеты России). — ISBN 978-5-9916-9977-8 ; Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru/bcode/438152>
4. Никитенков, Н. Н. Технология конструкционных материалов. Анализ поверхности методами атомной физики : учебное пособие для бакалавриата и магистратуры / Н. Н. Никитенков. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 202 с. — (Университеты России). — ISBN 978-5-9916-6528-5; Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru/bcode/433936>

Дополнительная литература:

1. Илюшин, А. С. Дифракционный структурный анализ в 2 ч. Часть 2 : учебное пособие для вузов / А. С. Илюшин, А. П. Орешко. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 299 с. — (Авторский учебник). — ISBN 978-5-534-04324-2; Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru/bcode/438750>
2. Рачков, М. Ю. Физические основы измерений : учебное пособие для академического бакалавриата / М. Ю. Рачков. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 146 с. — (Бакалавр. Академический курс). — ISBN 978-5-534-09510-4; Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru/bcode/437556>

Периодические издания:

1. <https://www.nature.com/nmat/>
2. <https://onlinelibrary.wiley.com/journal/15214095>
3. <https://www.journals.elsevier.com/materials-today>
4. <https://www.journals.elsevier.com/nano-today/>
5. <https://pubs.acs.org/journal/nalefd>

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

а) Методические указания для самостоятельной работы.

Рекомендуется использовать следующий перечень вопросов и заданий, охватывающий все темы дисциплины:

- Спектр излучения абсолютно черного тела, фотоэффект
- Эффект Комптона
- Гипотеза Л. Де Бройля
- Опыты по дифракции электронов
- Открытие спина.
- Магнетон Бора.
- Оператор спина.
- Уравнение Паули.
- Свойства матриц Паули.
- Принцип тождественности частиц.
- Многоэлектронные атомы.
- Элементарная теория химических сил.
- Законы дисперсии для свободных электронов и пустой решетки.
- Квазиимпульс и квазичастица.
- Непрерывность и разрывность закона дисперсии.
- Прохождение и отражение волн от решетки.

- Малый периодический решеточный потенциал.
- Разложение потенциала в ряд Фурье.
- Разрешенные и запрещенные области энергии.
- Полное внутреннее отражение на границах зон Бриллюэна.
- Параболичность закона дисперсии около дна зоны проводимости и потолка валентной зоны.
- Эффективная масса и кривизна закона дисперсии.
- Действие электрического поля на электрон около потолка валентной зоны.
- Свободные электроны и дырки.
- Связь ширины запрещенной зоны с эффективной массой и прочностью кристалла
- Свободный электрон как плоская волна.
- Туннелирование (подбарьерное прохождение).
- Надбарьерное отражение.
- Резонансное туннелирование.
- Самофокусировка.
- Принцип неопределенностей Гейзенберга.

б) Методические указания для подготовки доклада

Цель выполнения доклада – закрепление, углубление и обобщение теоретических знаний, практических навыков, полученных студентами во время изучения дисциплины «Квантовая механика в наносистемах», а также создание и развитие навыков исследовательской работы, умения работать с научной литературой, делать на основе ее изучения выводы и обобщения. Студенты овладевают методологией проведения научных исследований; грамотного и логичного изложения материала; аргументированного собственного отношения к рассматриваемой проблеме (теме работы).

Тема доклада студентов должна:

- отвечать содержанию учебной программы для дисциплины «Квантовая механика в наносистемах»;
- иметь четкое и короткое название;
- отвечать сущности задач, которые изучаются.

Структурными элементами доклада являются:

Вводная часть

- титульный лист (образец в приложении А)
- содержание;
- введение.

Основная часть

- три (возможно два) раздела;
- заключение

Список использованной литературы

Приложения.

Доклад оформляется в бумажном и электронном виде (в формате .doc), а также оформляется презентация в электронном виде (в формате .ppt), отражающая все структурные элементы доклада.

Титульный лист содержит наименование высшего учебного заведения, департамента, где выполнена работа; фамилия, имя, отчество автора; тема работы; шифр и наименование специальности; шифр группы; ученая степень, ученое звание, фамилия, имя и отчество руководителя работы; город и год.

Текст доклада следует печатать, соблюдая следующие параметры:

- формат бумаги - А4 (210x297 мм) на одной стороне листа,

- размеры полей: левое - 30 мм, правое - 10 мм, верхнее и нижнее - 20 мм,
- абзац - 10 мм,
- шрифт Times New Roman размером 14 пт (с одинарным межстрочным интервалом) или 12 (интервал полуторный),
- форматирование - выравнивание по ширине листа,
- переносы в тексте автоматические,
- отступы и интервалы - 0 см,
- при настройке позиции «Положение на странице» - снять все галочки,
- сквозная нумерация страниц текста арабскими цифрами, включая список использованных источников и приложения (титульный лист не нумеруется). Номер страницы проставлять внизу страницы в средней ее части без точки в конце и не заключая в дефисы. Номер страницы не должен сливаться с текстом. Иллюстрации и таблицы, расположенные на отдельных листах, компьютерные распечатки, приложения включают в общую нумерацию страниц документа. Вне зависимости от способа выполнения работы качество напечатанного текста и оформление иллюстраций (таблиц, графиков и т.п.) должно удовлетворять требованиям: равномерная плотность, контрастность и четкость букв, цифр, знаков и изображения по всей работе. Каждый раздел (Введение, разделы основной части, Заключение) должен начинаться с новой страницы и иметь номер (арабскими цифрами) и заголовок. Раздел можно разбивать на подразделы, пункты и подпункты. Наименования разделов и подразделов должны соответствовать наименованиям, приведенным в Содержании. Разделы могут обозначаться как Главы.

Если заголовок включает несколько предложений, их разделяют точками. Переносы слов в заголовках не допускаются.

Заголовки разделов следует располагать посередине строки, печатать прописными буквами без точки в конце.

Заголовки подразделов и пунктов следует начинать с абзацного отступа и печатать с прописной буквы без точки в конце.

Интервал между заголовками разделов и текстом должен быть не менее 6 пунктов.

Пункты и подпункты основной части следует писать с абзацного отступа.

По окончании работы необходимо тщательно отредактировать рукопись, поскольку наличие орфографических, стилистических, оформительских ошибок может отрицательно сказаться на оценке работы. Все листы работы следует сброшюровать.

Иллюстрации, за исключением иллюстрации приложений, следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией. Все иллюстрации называются Рисунок и нумеруются.

Если рисунок один, то он обозначается «Рис. 1». Слово «рисунок» и его наименование располагают посередине строки. Допускается нумеровать иллюстрации в пределах раздела. В этом случае номер иллюстрации состоит из номера раздела и порядкового номера иллюстрации, разделенных точкой. Например, Рис. 1.1.

Иллюстрации, при необходимости, могут иметь наименование. Слово «Рис.» и наименование помещают после иллюстрации и располагают по центру.

Иллюстрации каждого приложения обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения. Например, Рис. А.3. При ссылках на иллюстрации следует писать «... в соответствии с рис. 2» при сквозной нумерации и «... в соответствии с рис. 1.2» при нумерации в пределах раздела. Сокращения слова рисунок при ссылке в тексте недопустимы.

Приложение оформляют как продолжение работы на последующих его листах или выпускают в виде самостоятельного раздела работы.

В тексте работы на все приложения должны быть даны ссылки. Приложения располагают в порядке ссылок на них в тексте работы. Каждое приложение следует начинать с новой страницы с указанием наверху посередине страницы слова «Приложение».

Приложение должно иметь заголовок, который записывают симметрично относительно текста с прописной буквы отдельной строкой.

Приложения обозначают заглавными буквами русского алфавита, начиная с А, за исключением букв Ё, З, И, О, Ч, Ъ, Ы, Ь. После слова «Приложение» следует буква, обозначающая его последовательность.

Допускается обозначение приложений буквами латинского алфавита, за исключением букв I и O.

В случае полного использования букв русского и латинского алфавитов допускается обозначать приложения арабскими цифрами.

Если в выпускной работе одно приложение, оно обозначается «Приложение А».

На все приложения в основном тексте документа должны быть сделаны ссылки, а в содержании перечислены все приложения с указанием их номера и заголовка.

Перечень тем докладов:

- Индексы Миллера. Вектор обратной решетки.
- Ячейки Браве
- Координационное число и способы определения радиуса для разных типов кристаллических решеток.
- Виды межатомных связей
- Состояния вещества
- Сплавы с памятью формы и другие удивительные материалы и их свойства
- Законы симметрии кристаллов
- Метод Лауэ
- Рост кристаллов в природе. Натуральные и синтетические кристаллы
- Энергия связи кристаллов.
- Энергия Маделунга
- Суть метода Эвье
- Сопоставление различных типов связей
- Электрон в идеальном кристалле
- Законы дисперсии для свободных электронов и пустой решетки.
- Квазиимпульс и квазичастица.
- Непрерывность и разрывность закона дисперсии.
- Прохождение и отражение волн от решетки. Малый периодический решеточный потенциал.
- Разрешенные и запрещенные области энергии.
- Полное внутреннее отражение на границах зон Бриллюэна.
- Параболичность закона дисперсии около дна зоны проводимости и потолка валентной зоны.
- Свободные электроны и дырки.
- Связь ширины запрещенной зоны с эффективной массой и прочностью кристалла.
- Металлы, диэлектрики и полупроводники
- Собственные и примесные полупроводники
- Зависимость проводимости полупроводников от температуры
- Примесная проводимость
- Проводимость полупроводников
- Работа выхода электрона из металла
- Термоэлектронная эмиссия
- закон Ричардсона-Дешмана
- Контактная разность потенциалов
- Законы Вольты
- Термоэлектрические явления
- Эффект Томсона
- Фотопроводимость

- Внешний и внутренний фотоэффект
- Понятие p-n-перехода
- Уровни Ферми
- Вентильный фотоэффект
- Построение зонной диаграммы p-n-перехода с прямым и обратным смещением
- Принцип работы светодиода
- Транзистор n-p-n-типа
- Фазовое пространство.
- Функции распределения Больцмана,
- Функции распределения Ферми,
- Функции распределения Бозе
- Вырожденный электронный газ.
- Образование зон из резонансных уровней.
- Эталонные зонные диаграммы металла, полупроводника и диэлектрика.

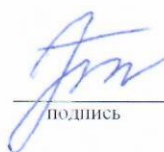
12. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

Материалы для оценки уровня освоения учебного материала дисциплины « Квантовая механика в наносистемах » (оценочные материалы), включающие в себя перечень компетенций с указанием этапов их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания, типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций, разработаны в полном объеме и доступны для обучающихся на странице дисциплины в ТУИС РУДН.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ВО РУДН.

Разработчики:

Доцент,
Кафедра «Нанотехнологии и
микросистемная техника»
должность, название кафедры


подпись

Е.А. Гостева
инициалы, фамилия

Руководитель программы
Доцент,
Кафедра «Нанотехнологии и
микросистемная техника»
должность, название кафедры


подпись

С.В.Агасиева
инициалы, фамилия

ИО заведующего кафедрой
Доцент,
Кафедра «Нанотехнологии и
микросистемная техника»
должность, название кафедры


подпись

С.В.Агасиева
инициалы, фамилия