

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Донецкий государственный университет»

Физико-технический факультет
Кафедра теоретической физики и нанотехнологий

УТВЕРЖДАЮ
проректор

_____ П. А. Машаров
«17» апреля 2025 г.
МП

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

РАЗМЕРНЫЕ ЭФФЕКТЫ В НАНОМАТЕРИАЛАХ

Укрупненная группа направлений подготовки	28.00.00 Нанотехнологии и наноматериалы
Программа высшего образования	Программа магистратуры
Направление подготовки	28.04.03 Наноматериалы
Направленность (профиль) образовательной программы	Наноматериалы и нанотехнологии
Квалификация	Магистр
Форма обучения	Очная

Рабочая программа может быть адаптирована для лиц
с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Рабочая программа дисциплины «Размерные эффекты в наноматериалах» для обучающихся по направлению подготовки 28.04.03 Наноматериалы (Профиль: Наноматериалы и нанотехнологии), составлена на основании Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – магистратура по направлению подготовки 28.04.03 Наноматериалы, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 22 сентября 2017 г. № 966 (с изм. и доп.), Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры, утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 06 апреля 2021 г. № 245 (с изм. и доп.), в соответствии с учебным планом, утвержденным Ученым советом ФГБОУ ВО «ДонГУ» для набора 2025 года.

Разработчик:

профессор кафедры теоретической
физики и нанотехнологий,
д-р. физ.-мат. наук, проф.

В.М. Юрченко

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры теоретической физики и нанотехнологий.

Протокол от 10.04.2025 г. № 18.

Заведующий кафедрой

А. Г. Петренко

СОГЛАСОВАНО:

И.о. декана физико-технического факультета
16.04.2025 г.

С. А. Фоменко

Учебно-методическая комиссия физико-технического факультета.

Протокол от 16.04.2025 г. № 4

Председатель

В. Н. Котенко

Руководитель основной образовательной
программы, д-р физ.-мат. наук, проф.
10.04.2025 г.

А. Г. Петренко

1. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

1.1. Требования к предварительной подготовке обучающихся, предшествующие и сопутствующие дисциплины, на которых основывается изучение данной:

дисциплины программы бакалавриата: Введение в специальность, Явления переноса в кристаллах и тонких пленках, Физика гетероэпитаксиальных наноструктур, Квантовая и оптическая электроника.

1.2. Дисциплины, курсовые работы и практики, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее:

Процессы получения наночастиц и наноматериалов, Современные функциональные материалы, Производственная практика: научно-исследовательская работа.

2. ОПИСАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

2.1. Общая характеристика

Наименование показателя	Значение показателя
Название образовательной программы (далее – ОП)	28.04.03 Наноматериалы (Профиль: Наноматериалы и нанотехнологии)
Шифр и название в соответствии с учебным планом	Б1.Б.11. Размерные эффекты в наноматериалах
Часть образовательной программы	Базовая часть
Количество зачетных единиц / всего часов	4 / 144

В случае предъявления от обучающегося или его родителя (законного представителя) заявления на обучение по адаптированной образовательной программе высшего образования, подкрепленного заключением психолого-медико-педагогической комиссии (ПМПК) или медико-социальной экспертизы (МСЭ) с рекомендациями создания индивидуальной программы реабилитации и абилитации (ИПРА), данная рабочая программа может быть адаптирована с учетом индивидуальных особенностей здоровья обучающегося.

2.2. Распределение часов по формам и периодам обучения

Форма обучения	курс	семестр	Общее количество часов					Форма контроля
			лекционных	лабораторных	практических	самостоятельной работы + контроль	всего	
Очная	1	2	14	–	14	116	144	экзамен

3. ЦЕЛИ ДИСЦИПЛИНЫ

Получение углубленных знаний в области физических основ формирования структуры и «особых» свойств наноразмерных и наноструктурированных материалов: формировании у будущих специалистов умений для использования этих эффектов для создания новых функциональных материалов и технологий их изготовления

**4. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ
ОСВОЕНИЯ КОМПОНЕНТА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ, ИХ ИНДИКАТОРЫ
И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ**

Компетенции	Индикаторы	Результаты обучения
ОПК-1. Способен ставить и решать инженерные и научно-технические задачи в области получения и исследования наноматериалов и новых междисциплинарных направлений с использованием естественнонаучных и математических моделей	ОПК-1.1. Использует научный инструментарий физики твердого тела для описания, анализа, теоретического и экспериментального исследования и моделирования процессов синтеза и исследования наноматериалов	ОПК-1.1.1. Знает в полном объеме физику твердого тела для описания, анализа, теоретического и экспериментального исследования и моделирования процессов синтеза и исследования наноматериалов ОПК-1.1.2. Умеет выбирать научный инструментарий физики твердого тела для теоретического и экспериментального исследования наноматериалов ОПК-1.1.3. Владеет навыками применения научного инструментария физики твердого тела для теоретического и экспериментального исследования наноматериалов
ОПК-7. Способен разрабатывать и актуализировать научно-техническую документацию в области получения наноматериалов	ОПК-7.1. Составляет отчеты по экспериментальным и теоретическим исследованиям, практической деятельности в соответствии с устанавливаемыми требованиями	ОПК-7.1.1. Знает структуру отчета по научно-исследовательской работе. ОПК-7.1.2. Умеет учитывать результаты исследований при составлении отчетов в соответствии с установленными требованиями. ОПК-7.1.3. Владеет навыками использования программных средств для составления отчетов по теоретическим и экспериментальным исследованиям, практической деятельности в соответствии с устанавливаемыми требованиями.

5. ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Название темы	Краткое содержание темы (вопросы темы)
Раздел 1. Размерные эффекты в наноматериалах	
Особенности структуры наноматериалов.	Классификация веществ по агрегатным состояниям и размерным характеристикам. Терминологические подходы к описанию понятия «наноматериал». Критический размер существования нанокристаллического материала. Доля границ раздела в общем объеме наноматериала. Возникновение новых качеств при уменьшении объема вещества.
Типы наноразмерных систем.	Наноизделия. Микроизделия. Массивные наноматериалы: однофазные и многофазные. Композиты с компонентами из наноматериалов.

Наноматериалы и их свойства.	Особенности свойств наноматериалов.
Нанотехнологии.	Фуллерены, фуллериты, нанотрубки. Основные области применения наноматериалов и нанотехнологий: конструкционные материалы, инструментальные материалы, производственные технологии, триботехника, военное дело, ядерная энергетика, электромагнитная и электронная техника, защита поверхности материалов, медицина и биотехника
Проблемы наноматериаловедения.	Слипание наночастиц при формировании изделий из нанопорошков. Нестабильность структуры наноматериалов. Коррозия наноструктурных конструкционных материалов.
Аморфные металлические сплавы (Часть 1).	Структура и свойства жидких металлов и сплавов. Методы получения металлических сплавов в аморфном состоянии. Методы исследования структуры металлических стекол.
Аморфные металлические сплавы.(Часть 2)	Рентгенографические методы анализа аморфных и нанокомпозитных структур. Применение метода малоуглового рассеяния рентгеновских лучей для анализа структуры аморфных сплавов и нанофазных композитов. Электронно-микроскопические методы исследования структуры сплавов с аморфной и аморфно-кристаллической структурой.
Аморфные металлические сплавы.(Часть 3)	Эффективные коэффициенты диффузии, контролирующие кристаллизацию стекол. Механические свойства металлических стекол. Механизмы диффузии в неупорядоченных структурах. Механизмы и кинетика процессов структурной релаксации в металлических стеклах. Влияние релаксационных процессов на структуру и свойства аморфных сплавов. Стеклообразный переход в расплавах и стеклах.
Механизмы и кинетика кристаллизации аморфных сплавов.	Механизмы и кинетика кристаллизации аморфных сплавов. Механизмы зарождения кристаллов в расплавах и стеклах. Механизмы процессов роста кристаллов в аморфных сплавах. Методы исследования кристаллизации аморфных фаз.
Термодинамика процессов зарождения и роста кристаллов в аморфной матрице.	Термодинамические и кинетические параметры, контролирующие зарождение и рост кристаллов в аморфных сплавах. Закономерности формирования нанокристаллических фаз в аморфных сплавах. Магнитные и механические свойства сплавов с нанокомпозитной структурой. Эвтектическая кристаллизация расплавов и стекол. Механизмы стационарного и нестационарного процесса роста.

6. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Форма обучения – очная, курс – 1, семестр – 2

Наименования разделов и тем	Количество часов				
	Лекц.	Лабор.	Практ.	СРС+К	Всего
Раздел 1. Размерные эффекты в наноматериалах	14		14	116	144
Особенности структуры наноматериалов.	1		1	12	14
Типы наноразмерных систем.	1		1	12	14
Наноматериалы и их свойства.	1		1	12	14
Нанотехнологии.	1		1	12	14
Проблемы наноматериаловедения.	1		1	12	14
Аморфные металлические сплавы (Часть 1).	1		1	12	14
Аморфные металлические сплавы.(Часть 2)	2		2	11	15
Аморфные металлические сплавы.(Часть 3)	2		2	11	15
Механизмы и кинетика кристаллизации аморфных сплавов.	2		2	11	15
Термодинамика процессов зарождения и роста кристаллов в аморфной матрице.	2		2	11	15
ИТОГО ПО КОМПОНЕНТУ ОПОП	14		14	116	144

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ (СРЕДСТВА) ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

7.1. Контрольные вопросы

Раздел 1

1. Классификация веществ по агрегатным состояниям и размерным характеристикам.
2. Терминологические подходы к описанию понятия «наноматериал».
3. Критический размер существования нанокристаллического материала.
4. Доля границ раздела в общем объеме наноматериала.
5. Возникновение новых качеств при уменьшении объема вещества.
6. Наноизделия.
7. Микроизделия.
8. Массивные наноматериалы: однофазные и многофазные.
9. Композиты с компонентами из наноматериалов.
10. Особенности свойств наноматериалов.
11. Фуллерены, фуллериты, нанотрубки.
12. Основные области применения наноматериалов и нанотехнологий.
13. Слипание наночастиц при формировании изделий из нанопорошков.
14. Нестабильность структуры наноматериалов.
15. Коррозия наноструктурных конструкционных материалов.
16. Структура и свойства жидких металлов и сплавов.
17. Рентгенографические методы анализа аморфных и нанокомпозитных структур.
18. Механизмы диффузии в неупорядоченных структурах.
19. Механизмы и кинетика кристаллизации аморфных сплавов.
20. Термодинамика процессов зарождения и роста кристаллов в аморфной матрице.

21. Понятие интегрального преобразования. Примеры.

22. Основные задачи теории интегральных преобразований. Преобразование Фурье интегрируемых функций.

23. Ограниченность и равномерная непрерывность преобразования Фурье. Лемма Римана-Лебега. Преобразование Фурье чётных и нечётных функций.

7.2. Темы докладов (рефератов)

1. Терминологические подходы к описанию понятия «наноматериал».
2. Фуллерены.
3. Фуллериты.
4. Нанотрубки.
5. Основные области применения наноматериалов и нанотехнологий.
6. Конструкционные материалы.
7. Инструментальные материалы.
8. Триботехника.
9. Жидкие металлы и сплавы.
10. Магнитные и механические свойства сплавов с нанокompозитной структурой.

7.3. Темы письменных работ (типы задач)

- Кристаллические структуры и типы кристаллов. Решетки Браве: коэффициент упаковки, индексы Миллера и элементы симметрии.
- Излучения трех типов и закон Брэгга. Метод Лауэ. Метод вращения кристалла. Метод порошка
- Обратная решетка. Зоны Бриллюэна. Структурный фактор базиса и атомный фактор или форм – фактор.
- Температурная зависимость линий отражения - фактор Дебая – Уоллера.
- Кристаллы инертных газов. Силы Ван – дер – Вальса – Лондона. Равновесные постоянные решетки. Энергия связи. Сжимаемость и объемный модуль упругости.
- Ионные кристаллы. Энергия Маделунга или электростатическая энергия. Постоянная Маделунга. Объемный модуль упругости
- Ковалентные кристаллы. Гомополярная связь. Роль спина и принцип Паули. Роль взаимной ориентации спинов в формировании кулоновской энергии - обменная энергия.
- Кристаллы с водородными связями. Основные понятия молекулярной генетики: тимин, аденин, цитазин, гуанин.
- Металлическая связь. Модель Друде. Функция распределения ферми частиц. Ферми- и Бозе- частицы. Электростатическая энергия Эвальда
- Кинетическое уравнение в металлах
- Проводимость и теплопроводность
- Эффект Холла и квантовый эффект Холла.
- Термоэлектрические явления и принцип Онзагера
- Спиновый парамагнетизм. Квантование уровней свободного электрона в магнитном поле. Диамагнетизм Ландау.
- Нормальный и аномальный скин – эффекты.

Контрольная работа по проверке теоретических знаний – по всем темам, с использованием указанных выше контрольных вопросов.

7.4. Образец содержания экзаменационного билета

Донецкий государственный университет
Физико-технический факультет

Кафедра теоретической физики и нанотехнологий

Программа высшего образования	Программа магистратуры
Направление подготовки	28.04.03 Наноматериалы
Профиль	Наноматериалы и нанотехнологии
Форма обучения	Очная
Семестр	Второй
Дисциплина	Размерные эффекты в наноматериалах

Экзаменационный билет № 1

1. Особенности свойств наноматериалов.
2. Механизмы диффузии в неупорядоченных структурах.
3. Фуллерены, фуллериты, нанотрубки.

Утверждено на заседании кафедры теоретической физики и нанотехнологий, протокол № __ от _____ 202_ г.

Заведующий кафедрой

Экзаменатор

В случае ведения учебного процесса с использованием электронного обучения и дистанционных образовательных технологий, содержание билета может отличаться от приведенного.

8. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БАЛЛОВ, КОТОРЫЕ ПОЛУЧАЮТ ОБУЧАЮЩИЕСЯ

Общая оценка знаний обучающихся по дисциплине проводится по 100-балльной шкале исходя из максимума, приведенного в таблице ниже.

Организационно-учебная работа в аудитории оценивается на основе таких критериев как посещаемость занятий, своевременное и качественное выполнение домашних заданий, активность во время проведения лекционных и практических занятий (участие в обсуждении текущего и пройденного материала, решение задач и т.п.).

Самостоятельная работа оценивается на основе предоставленных на проверку выполненных домашних, индивидуальных заданий с учетом своевременности их предоставления и соответствия требованиям к их выполнению.

Количество баллов за контрольную работу вычисляется как сумма баллов за все входящие в её состав задания. Каждое задание оценивается исходя из максимально возможного количества баллов с учетом правильности выполнения задания, полноты приводимых обоснований.

По результатам работы в семестре обучающийся, набравший не менее 60 баллов, имеет право получить оценку. Те, кто претендует на более высокий балл, проходят промежуточную аттестацию. Максимальное количество баллов на промежуточной аттестации – 100. Общее количество баллов за семестр вычисляется как максимальная из полученных за семестр и на промежуточной аттестации и выставляется согласно принятому порядку.

8.1. Семестр 2

Номера разделов	Виды работ	Максимальное количество баллов
1	Организационно-учебная работа в аудитории	20
	Самостоятельная работа	10
	Контрольные работы по практике	10
	Контрольная работа по теоретическому материалу	20
ИТОГО		60
Промежуточная аттестация (экзамен)		40
Общий итог за семестр		100

Соответствие баллов оценке

Количество баллов из 100	ECTS	Оценка по пятибалльной шкале	
		Экзамен, дифференцированный зачет	Зачет
90-100	A	отлично	зачтено
80-89	B	хорошо	зачтено
75-79	C		зачтено
70-74	D	удовлетворительно	зачтено
60-69	E		зачтено
35-59	FX	неудовлетворительно	не зачтено
0-34	F		не зачтено

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА

Учебные занятия проводятся в 4 учебном корпусе ДонГУ (г. Донецк, пр. Театральный, 13). Для проведения занятий требуется аудитория, оборудованная меловой или маркерной доской, мультимедийный проектор и экран, ноутбук, комплект учебной мебели для студентов, рабочее место преподавателя, выход в Интернет – проводной или с использованием Wi-Fi.

Для самостоятельной работы используются текстовые и электронные ресурсы Научной библиотеки университета и других электронных библиотечных баз данных, учебно-методическое обеспечение, представленное в учебно-методическом кабинете кафедры теоретической физики и нанотехнологий (ауд. 256).

Обучающиеся имеют возможность использовать учебные материалы по дисциплине, размещенные на платформе Moodle Центра дистанционного образования ФГБОУ ВО «ДонГУ». При изучении дисциплины могут применяться электронное обучение и дистанционные образовательные технологии.

С использованием ресурсов платформы дистанционного образования осуществляется текущий контроль знаний обучающихся на основе тестирования и проверки результатов самостоятельной работы.

10. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

10.1. Основная литература

1. Юрченко В.М. Размерные эффекты в нанокристаллических материалах [Электронный ресурс]: для студентов, аспирантов, специализирующихся по направлению подготовки 030402 «физика» и специалистов в области физики конденсированных сред, теоретической физики и нанотехнологий. / Н. П. Иваницын, С. В. Терехов, В. М. Юрченко ; ГОУ ВПО "Донецкий национальный университет", Физико-технический

факультет, Кафедра теоретической физики и нанотехнологий. - Донецк : ДонНУ, 2019. - Электронные текстовые данные (1 файл).

2. Милославский А.Г. Конспект лекций по курсу «Основы процессов микро- и нанотехнологий». – Донецк: ДонНУ, 2018. – 246 с.

3. Терехов С. В. Физика нанообъектов: [учебное пособие] / С. В. Терехов, В. Н. Варюхин; ГОУ ВПО «ДонНУ» - Донецк: ДонНУ, 2013. – 418 с.

4. Гусев А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А. И. Гусев. – Изд. 2-е. – Москва: Физматлит, 2009. – 414 с.

10.2. Дополнительная литература

1. Нанотехнологии и специальные материалы : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки 140140 - Техн. физика / Ю. П. Солнцев, Е. И. Пряхин, С. А. Вологжанина, А. П. Петкова ; под ред. Ю. П. Солнцева. - Санкт-Петербург : Химиздат, 2009. - 334, [1] с.

2. Суздалев, И. П. Нанотехнология : физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов / И. П. Суздалев. - 2-е изд. - Москва : URSS : Либроком, 2009. - 589 с.

3. Получение и исследование наноструктур : лабораторный практикум по нанотехнологиям / [А. А. Евдокимов и др.] ; под ред. А. С. Сигова. - Москва : БИНОМ. Лаб. знаний, 2010. - 146 с.

11. ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ

1. **Национальная электронная библиотека (НЭБ):** федеральная государственная информационная система / Министерство Культуры РФ; Российская государственная библиотека. – Москва, 2019- . – URL: <https://rusneb.ru/> (дата обращения: 31.03.2025). – Режим доступа: свободный, подписка. Необходима установка программного обеспечения. – Текст: электронный.

2. **eLIBRARY.RU:** научная электронная библиотека: сайт. – Москва, 2000- . – URL: <https://elibrary.ru> (дата обращения: 31.03.2025). – Режим доступа: для авторизов. пользователей. – Текст: электронный.

3. Научная электронная библиотека **«КиберЛенинка»:** сайт / Ассоциация «Открытая наука». – Москва, 2014- . – URL: <https://cyberleninka.ru/> (дата обращения: 31.03.2025). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.

4. Электронно-библиотечная система **«Лань»:** [сайт]. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 31.03.2025). – Режим доступа: издания Сетевой электронной библиотеки, для авторизов. пользователей. – Текст: электронный.

5. **ЭБС Юрайт:** электронная библиотечная система: сайт. – Москва, 2013. – URL: <https://urait.ru/library/svobodnyy-dostup/> (дата обращения: 31.03.2025). – Режим доступа: издания свободного доступа, для авторизов. пользователей. – Текст: электронный.

6. **Электронно-библиотечная система ДонГУ:** сайт / ФГБОУ ВО «ДонГУ». – Донецк, 2016- . – URL: <http://library.donnu.ru/> (дата обращения: 31.03.2025). – Режим доступа: свободный. – Текст: электронный.

7. **Электронный каталог** Научной библиотеки ДонГУ: раздел сайта / НБ ДонГУ. – Текст: электронный // ЭБС ДонГУ: сайт. – URL: <http://library.donnu.ru/catalog/> (дата обращения: 31.03.2025). – Режим доступа: поиск свободный, электронные документы – для пользователей ДонГУ.

8. **Электронный архив ДонГУ:** раздел сайта / НБ ДонГУ. – Текст: электронный // ЭБС ДонГУ: сайт. – URL: <http://repo.donnu.ru/> (дата обращения: 31.03.2025). – Режим доступа: свободный.

12. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

1. Windows 7 PRO (корпоративная лицензия ДонГУ № 46484614)

2. Microsoft Office (корпоративная лицензия ДонГУ № 46472919)
3. Microsoft Visual Studio (лицензия программы Dream Spark для высших учебных заведений)
4. Антивирус Касперского, Adobe Acrobat Reader, xPDF (лицензии GPL, Apache, BSD для свободного программного обеспечения).