

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 ДИСЦИПЛИНЫ**

### **ДЕФЕКТЫ В ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ**

Укрупненная группа направлений подготовки	28.00.00 Нанотехнологии и наноматериалы
Программа высшего образования	Программа бакалавриата
Направление подготовки	28.03.03 Наноматериалы
Направленность (профиль) образовательной программы	Наноматериалы
Квалификация	Бакалавр
Форма обучения	Очная

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

Донецк 2025

Рабочая программа дисциплины «**Дефекты в твердых телах**» для обучающихся по направлению подготовки 28.03.03 Наноматериалы (Профиль: Наноматериалы), составлена на основании Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – бакалавриат по направлению подготовки 28.03.03 Наноматериалы, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 22 сентября 2017 г. № 968 (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,  
канд. физ.-мат. наук, проф.

Н. П. Иваницын

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: Математический анализ, Механика и молекулярная физика, Аналитическая геометрия и линейная алгебра.

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

Дифракционные методы исследования вещества, Курсовая работа по Дифракционным методам исследования вещества, Производственная практика: научно-исследовательская работа.

## 2. ОПИСАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 2.1. Общая характеристика

Наименование показателя	Значение показателя
Название образовательной программы (далее – ОП)	28.03.03 Наноматериалы (Профиль: Наноматериалы)
Шифр и название в соответствии с учебным планом	Б1.В.ДВ.3.2 Дефекты в твердых телах
Часть образовательной программы	Вариативная часть: выбор обучающегося
Количество зачетных единиц / всего часов	3 / 108

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	2	4	32	-	32	44	108	зачет

## 3. ЦЕЛИ ДИСЦИПЛИНЫ

Углубление знаний студентов в области реального строения кристаллических веществ: классификацией дефектов в кристаллах (точечные дефекты (вакансии и атомы внедрения), линейные дефекты - дислокации различного типа, планарные дефекты), механизмами образования и свойствами дефектов, а также с влиянием дефектов на физические и химические свойства кристаллов.

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

Компетенции	Индикаторы	Результаты обучения
ПК-2. Способен предлагать рациональное расходование основных, вспомогательных и расходных материалов в производственном процессе	ПК-2.5. Использует знания влияния дефектов структуры на формирование свойств кристаллов	ПК-2.5.1. Знает классификацию дефектов в кристаллах, строение, механизмы и условия образования точечных дефектов и дислокаций, механизмы диффузии в кристаллах ПК-2.5.2. Умеет объяснить влияние дефектов на различные физические и химические процессы в кристаллах ПК-2.5.3. Владеет методиками, позволяющими оценить концентрацию и подвижность дефектов в кристаллах и предсказать условия их образования
	ПК-2.6. Сравнивает результаты влияния дефектов на формирование свойств кристаллов	ПК-2.6.1. Знает механизмы пластической деформации и разрушения кристаллов ПК-2.6.2. Умеет сравнивать результаты влияния дефектов на формирование свойств кристаллов ПК-2.6.3. Владеет навыками грамотной интерпретации результатов влияния дефектов на свойства кристаллов

**5. ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

Название темы	Краткое содержание темы (вопросы темы)
Раздел 1. Точечные и линейные дефекты в кристаллах	
Точечные дефекты в кристаллах.	Энергия образования точечных дефектов. Оценка концентрации точечных дефектов
Дислокации в кристаллах	Виды дислокаций. Общее определение дислокации. Контур Бюргерса и его построение. Дислокации в кристаллах кубической структуры. Понятие дислокационных сеток
Поля напряжений около дислокаций	Тензоры напряжения и деформации. Обобщенный закон Гука. Дислокации в теории упругости
Взаимодействие между дефектами	Сила, которая действует на дислокацию. Механизмы взаимодействия между дислокациями. Простая двухдислокационной модель пластично деформированного кристалла
Раздел 2. Влияние дефектов на физические процессы в кристаллах	
Источники дислокаций и упрочнения кристаллов	Динамические теории размножения дислокаций. Источники Франка-Рида. Источники дислокаций при деформации. Остаточная деформация при сдвиге. Упрочнение деформированных кристаллов

Кристаллическая структура	Типы границ и оценка энергии границ. Экспериментальные данные проверки. Влияние температуры на дефекты в кристаллах.
Структурно-чувствительные свойства кристаллов	Механические свойства, электрическое сопротивление и теплопроводность в материалах. Магнитное сопротивление дислокаций, ЯМР и оптические свойства кристаллов. Энергия, которая запасается в процессе деформации, облучения и закаливании
Структурные переходы в кристаллах	Фазовые переходы 1 и 2 рода. Структурные фазовые переходы в реальных материалах

## 6. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1. Форма обучения – очная, курс – 2, семестр – 4

Наименования разделов и тем	Количество часов				
	Лекц.	Лабор.	Практ.	СРС+К	Всего
Раздел 1. Точечные и линейные дефекты в кристаллах	16		16	22	54
Точечные дефекты в кристаллах.	4		4	5	13
Дислокации в кристаллах	4		4	5	13
Поля напряжений около дислокаций	4		4	6	14
Взаимодействие между дефектами	4		4	6	14
Раздел 2. Влияние дефектов на физические процессы в кристаллах	16		16	22	54
Источники дислокаций и упрочнения кристаллов	4		4	5	13
Кристаллическая структура	4		4	5	13
Структурно-чувствительные свойства кристаллов	4		4	6	14
Структурные переходы в кристаллах	4		4	6	14
ИТОГО ПО КОМПОНЕНТУ ОПОП	32	–	32	44	108

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

### 7.1. Контрольные вопросы

1. Определение атомного дефекта.
2. Причины образования дефектов.
3. Классификация дефектов по причинам их образования.
4. Классификация дефектов по размерности.
5. Точечные дефекты (простые и сложные).
6. Равновесие дефектов.
7. Дефекты Шоттки, дефекты Френкеля.
8. Связанные и резонансные дефектные состояния.
9. Идеальные и неидеальные дефекты.
10. Линейные дефекты.
11. Типы дислокаций.
12. Смешанные дислокации.

13. Скольжение и переползание дислокаций.

14. Вектор Бюргерса.

Раздел 2

15. Барьер Пайерлса.

16. Размножение и аннигиляция дислокаций.

17. Влияние дислокаций на электронные и рекомбинационные свойства полупроводников.

18. Двумерные дефекты.

19. Дефекты упаковки.

20. Поверхность полупроводника.

21. Двойники.

22. Объемные дефекты.

23. Мелкие и глубокие состояния в полупроводниках.

24. Уравнение электронейтральности.

25. Уровень зарядовой нейтральности (локальный химпотенциал).

26. Законы стехиометрии.

7.2. Темы письменных работ (типы задач)

- Точечные дефекты в кристаллах
- Дислокации в кристаллах
- Поля напряжений около дислокаций
- Взаимодействие между дефектами
- Источники дислокаций и упрочнения кристаллов
- Кристаллическая структура
- Структурно-чувствительные свойства кристаллов
- Структурные переходы в кристаллах

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

## 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 4

Номера разделов	Виды работ	Максимальное количество баллов
1-2	Организационно-учебная работа в аудитории	20
	Самостоятельная работа	10
	Контрольные работы по практике	10
	Контрольная работа по теоретическому материалу	20
ИТОГО		60
Промежуточная аттестация (зачет)		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. Дефекты в твердых телах и их моделирование на ЭВМ : [сб. ст.] / АН СССР, Физ.-техн. ин-т им. А.Ф. Иоффе ; [отв. ред. Ю.А. Осипьян]. - Ленинград : Наука, Ленингр. отделение, 1980. - 213 с.

2. Новиков, И. И. Кристаллография и дефекты кристаллической решетки : [Учебник для вузов по специальности "Металловедение, оборуд. и технология терм. обраб. металлов"] / И. И. Новиков, К. М. Розин. - М. : Metallurgiya, 1990. - 336 с.

3. Иванов-Шиц, А. К. Ионика твердого тела : [В 2 т.]. Т. 1 / А. К. Иванов-Шиц, И. В. Мурин ; С.-Петерб. гос. ун-т ; Ин-т кристаллографии РАН. - СПб. : Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2000. - 616 с.

4. Хирт, Д. П. Теория дислокаций : Пер. с англ. / Д. П. Хирт, И. Лоте ; Под ред. Э. М. Надгорного, Ю. А. Осипьяна. - М. : Атомиздат, 1972. - 599 с.

#### 10.2. Дополнительная литература

1. Гинзбург, И. Ф. Введение в физику твердого тела. Основы квантовой механики и статистической физики с отдельными задачами физики твердого тела : учеб. пособие / И.Ф. Гинзбург. - СПб. : Лань ; М.; Краснодар, 2007. - 537 с.

2. Миркин, Лев И. Рентгеноструктурный анализ : Справочное руководство / Л. И. Миркин. - М. : Наука, 1976. - 326 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).