

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 КРИСТАЛЛАХ**

|  |   |
|--|---|
| 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 кристаллах» 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.3.1 Дефекты в кристаллах                |
| 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.<br>Способен предлагать рациональное расходование основных, вспомогательных и расходных материалов в производственном процессе | ПК-2.5.<br>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<br>ПК-2.5.2. Умеет объяснить влияние дефектов на различные физические и химические процессы в кристаллах<br>ПК-2.5.3. Владеет методиками, позволяющими оценить концентрацию и подвижность дефектов в кристаллах и предсказать условия их образования |
|   | ПК-2.6.<br>Сравнивает результаты влияния дефектов на формирование свойств кристаллов       | ПК-2.6.1. Знает механизмы пластической деформации и разрушения кристаллов<br>ПК-2.6.2. Умеет сравнивать результаты влияния дефектов на формирование свойств кристаллов<br>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. Дефекты в кристаллах                                      |   |
| Точечные дефекты. Диффузия в кристаллах..                           | Ионная проводимость. Суперионники. Материалы для аккумуляторов, топливных элементов, мембран. Эффекты, обусловленные диффузией. Эффекты Киркендела и Френкеля. Методы определения коэффициента диффузии. Диффузия и химические реакции. Роль диффузии и точечных дефектов при реакциях твёрдое + газ и твёрдое + твёрдое. |
| Линейные дефекты. Разрушение кристаллов.                            | Взаимодействие между дислокациями. Полигонизация, аннигиляция и пересечение дислокаций. Образование дислокаций. Методы наблюдения дислокаций. Факторы, влияющие на подвижность дислокаций. Влияние примесных атомов, дисперсных частиц на подвижность дислокаций..  |
| Межкристаллитные и межфазные границы. Механизмы фазовых переходов.. | Границы зерен. Строение границ зерен. Дислокационная модель. Решётка совпадающих узлов. О-решётка. Модель полиэдров. Специальные границы. Зернограничные дислокации. Движение границ зерен..  |

## 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. Дефекты в кристаллах                                      | 32               | –      | 32     | 44    | 108   |
| Точечные дефекты. Диффузия в кристаллах..                           | 11               |        | 11     | 11    | 33    |
| Линейные дефекты. Разрушение кристаллов.                            | 11               |        | 11     | 16    | 38    |
| Межкристаллитные и межфазные границы. Механизмы фазовых переходов.. | 10               |        | 10     | 17    | 37    |
| ИТОГО ПО КОМПОНЕНТУ ОПОП  | 32               | –      | 32     | 44    | 108   |

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

### 7.1. Контрольные вопросы

#### Раздел 1

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
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.
- Диффузия в кристаллах

- Линейные дефекты
- Разрушение кристаллов
- Межкристаллитные и межфазные границы
- Механизмы фазовых переходов

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 кристаллах 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. : Металлургия, 1990. - 336 с.

3. Иванов-Шец, А. К. Ионика твердого тела : [В 2 т.]. Т. 1 / А. К. Иванов-Шец, 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).