

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

ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

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 **«Физика твердого тела»** 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:

доцент кафедры теоретической физики и
нанотехнологий,
канд. физ.-мат. наук

В. И. Фиохин

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:

базовая подготовка по математике в объеме программы средней школы;

дисциплины программы бакалавриата: Механика и молекулярная физика, Математический анализ, Аналитическая геометрия и линейная алгебра, Дифференциальные уравнения.

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

Статистическая физика и термодинамика, Квантовая механика, 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.Б.20 Физика твердого тела
Часть образовательной программы	Базовая часть
Количество зачетных единиц / всего часов	11,5 / 414

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	3	6	32	32	32	120	216	экзамен
Очная	4	7	26	-	26	146	198	экзамен
Очная, всего			58	32	58	266	414	

3. ЦЕЛИ ДИСЦИПЛИНЫ

Углубление знаний по ряду теоретических проблем в области физики конденсированного состояния и знакомство с проблемами современной физики полупроводников, физического материаловедения; изучение современной физики полупроводников, физического материаловедения.

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

Компетенции	Индикаторы	Результаты обучения
ОПК-1. Способен решать задачи профессиональной деятельности на основе применения естественнонаучных и общетехнических знаний, методов математического анализа и моделирования	ОПК-1.21. Рассматривает возможные подходы к решению задач профессиональной деятельности, оценивает их эффективность и соответствие поставленным целям.	ОПК-1.21.1. Знает основы современной физики твердого тела, классификацию твердых веществ по особенностям электронной структуры, кристаллографическим характеристикам и физическим (электрическим, магнитным, физико-механическим) свойствам ОПК-1.21.2. Умеет анализировать, моделировать и прогнозировать свойства твердых веществ и материалов ОПК-1.21.3. Владеет навыками проведения исследований свойств твердых веществ
	ОПК-1.22. Применяет эффективные методы решения задач профессиональной деятельности в области физики твердого тела.	ОПК-1.22.1. Знает современные методы исследования твердых веществ, основные величины, характеризующие механические, электрические, магнитные, оптические свойства твердых веществ ОПК-1.22.2. Умеет самостоятельно применять на практике методы расчета важнейших характеристик твердых веществ ОПК-1.22.3. Владеет навыками обработки экспериментальных данных и их анализа.

5. ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Название темы	Краткое содержание темы (вопросы темы)
Раздел 1. Введение в физику твердого тела	
Твердые тела. Классификация веществ и твердых тел.	Введение в ФТТ. Классификация веществ и твердых тел. Межатомные взаимодействия и механические свойства твердых тел. Фононы и тепловые свойства диэлектриков. Функции Блоха - электронные состояния в идеальном кристалле.
Металлы, полупроводники и аморфные твердые тела	Электродинамика металлов. Полупроводниковые кристаллы. Оптические явления в неметаллических кристаллах. Дефекты в кристаллах. Процессы рассеяния. Физические свойства аморфных твердых тел.
Диэлектрики и сегнетоэлектрики	Основные физические явления в диэлектриках. Макроскопическая теория поляризации. Связь макро- и микроскопических свойств диэлектриков. Свойства диэлектриков в

	<p>сильных электрических полях. Электрическое старение и пробой диэлектриков. Фазовые переходы в диэлектриках. Сегнетоэлектрики. Структурные фазовые переходы. Методы измерения диэлектриков. Исследование диэлектриков в области СВЧ. Применение диэлектриков на СВЧ.</p>
Магнетики	<p>Типы магнетиков. Диамагнетизм и парамагнетизм. Правила Хунда. Ферромагнетики. Природа обменного взаимодействия. Модель Гейзенберга. Основное и возбужденное состояния ферромагнетика (спиновые волны). Магнитная анизотропия. Антиферромагнетики; модель Нееля. Ферримагнетики. Уравнение Ландау-Лифшица. Однородный ферромагнитный резонанс. Природа возникновения доменной структуры; термодинамическая теория магнитных доменов. Доменные границы Блоха, Нееля. Магнетизм металлов. Модель Стонера. Модель Хаббарда. s-d – модель Вонсовскому.</p>
Раздел 2. Фазовые переходы и диффузия в твердых телах	
Сверхпроводники	<p>Общие свойства сверхпроводников. Уравнение Лондона. Фононное притяжение электронов. Куперовские пары. Лондоновские и Пиппардовские сверхпроводники (качественная теория). Поверхностная энергия сверхпроводников; два рода сверхпроводников. Квантование магнитного потока. Свойства изолированного вихря Абрикосова. Андреевское отражение. Туннельные контакты, эффект Джозефсона.</p>
Высокотемпературные сверхпроводники	<p>Высокотемпературные сверхпроводники. Состояние теории фазовых превращений на современном этапе. Фазовый переход «жидкость-твердое тело».</p>
Теория и практика фазовых превращений	<p>Кристаллическое строение материалов. Диаграммы состояния. Теория и практика фазовых превращений в сталях при термической обработке. Фазовые превращения в многокомпонентных системах на основе железа. Фазовые превращения в тугоплавких и цветных металлах и сплавах. Фазовые равновесия в нанокристаллических материалах</p>
Диффузия в твердых телах	<p>Понятие о диффузии. Виды диффузии в твердых телах. Макроскопическое описание диффузии. Уравнение Фика. Экспериментальные методы определения коэффициента диффузии. Микроскопическое описание диффузии. Диффузия в твердых растворах (Взаимная диффузия).</p>

	Термодинамическая теория диффузии. Принципы Онзагера. Термодиффузия в бинарных твердых растворах. Диффузия в электрическом поле. Влияние дефектов структуры на диффузию в твердых телах. Влияние фазовых превращений на диффузию. Квантовая диффузия. Диффузия в нанокристаллических материалах.
--	--

6. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Форма обучения – очная, курс – 3, семестр – 6

Наименования разделов и тем	Количество часов				
	Лекц.	Лабор.	Практ.	СРС+К	Всего
Раздел 1. Введение в Физику твердого тела	32	32	32	120	216
Твердые тела. Классификация веществ и твердых тел.	8	8	8	30	54
Металлы, полупроводники и аморфные твердые тела	8	8	8	30	54
Диэлектрики и сегнетоэлектрики	8	8	8	30	54
Магнетики	8	8	8	30	54
ИТОГО ЗА СЕМЕСТР	32	32	32	120	216

6.2. Форма обучения – очная, курс – 4, семестр – 7

Наименования разделов и тем	Количество часов				
	Лекц.	Лабор.	Практ.	СРС+К	Всего
Раздел 2. Фазовые переходы и диффузия в твердых телах	26		26	146	198
Сверхпроводники	6		6	36	48
Высокотемпературные сверхпроводники	7		7	37	51
Теория и практика фазовых превращений	6		6	36	48
Диффузия в твердых телах	7		7	37	51
ИТОГО ЗА СЕМЕСТР	26		26	146	198
ИТОГО ПО КОМПОНЕНТУ ОПОП	58	32	58	266	414

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

7.1. Контрольные вопросы

Раздел 1. Введение в физику твердого тела

1. Классификация веществ и твердых тел.
2. Межатомные взаимодействия и механические свойства твердых тел.
3. Фононы и тепловые свойства диэлектриков.
4. Функции Блоха - электронные состояния в идеальном кристалле.
5. Электродинамика металлов.
6. Полупроводниковые кристаллы.
7. Оптические явления в неметаллических кристаллах.
8. Дефекты в кристаллах.

9. Процессы рассеяния.
10. Физические свойства аморфных твердых тел.
11. Основные физические явления в диэлектриках.
12. Макроскопическая теория поляризации.
13. Типы магнетиков.
14. Диамагнетизм и парамагнетизм.
15. Правила Хунда.
16. Ферромагнетики

Раздел 2 Фазовые переходы и диффузия в твердых телах

1. Общие свойства сверхпроводников.
 1. Уравнение Лондона.
 2. Фононное притяжение электронов.
 3. Куперовские пары.
 4. Лондоновские и Пиппардовские сверхпроводники (качественная теория).
 5. Поверхностная энергия сверхпроводников.
 6. Высокотемпературные сверхпроводники.
 7. Состояние теории фазовых превращений на современном этапе.
 8. Фазовый переход «жидкость-твердое тело».
 9. Кристаллическое строение материалов.
 10. Диаграммы состояния.
 11. Теория и практика фазовых превращений в сталях при термической обработке.
 12. Фазовые превращения в многокомпонентных системах на основе железа.
 13. Фазовые превращения в тугоплавких и цветных металлах и сплавах.
 14. Фазовые равновесия в нанокристаллических материалах.
 15. Понятие о диффузии.
 16. Виды диффузии в твердых телах.
 17. Макроскопическое описание диффузии.
 18. Уравнение Фика.
 19. Экспериментальные методы определения коэффициента диффузии.
 20. Микроскопическое описание диффузии.

7.2. Темы письменных работ (типы задач)

- Твердые тела. Классификация веществ и твердых тел.
- Металлы, полупроводники и аморфные твердые тела
- Диэлектрики и сегнетоэлектрики
- Магнетики
- Сверхпроводники
- Высокотемпературные сверхпроводники
- Теория и практика фазовых превращений
- Диффузия в твердых телах

7.3. Темы лабораторных работ

- «Влияние давления прессования на уплотнение компакта»
- «Рентгенографический метод определения размеров нанокристаллов, их объемной доли и плотности»
- «Исследование поверхности разрушения образца при помощи растровой электронной микроскопии и микрорентгеноспектрального анализа
- «Определение основных структурных параметров аморфных сплавов методом рентгеновского дифракционного анализа»

- «Исследование многофазного образца при помощи растровой электронной микроскопии и микрорентгеноспектрального анализа с применением энергодисперсионного спектрометра»
- «Исследование образца керамики, состоящей из близких по атомному номеру элементов, при помощи растровой электронной микроскопии и микрорентгеноспектрального анализа с применением волнового спектрометра»

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 бакалавриата
Направление подготовки	28.03.03 Наноматериалы
Профиль подготовки	Наноматериалы
Форма обучения	Очная
Семестр	Шестой, седьмой
Дисциплина	Физика твердого тела

Экзаменационный билет № 1

1. Основные физические явления в диэлектриках.
2. Виды диффузии в твердых телах.
3. Дефекты в кристаллах.

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 6

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

8.2. Семестр 7

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. Павлов, П. В. Физика твердого тела : Учеб. для студентов вузов, обучающ. по направлению "Физика" и др. / П.В. Павлов, А.Ф. Хохлов. - 3-е изд. - М. : Высш. шк., 2000. - 494 с.

2. Савельев, И. В. Курс общей физики : В 5 кн. : [Учеб. пособие для втузов]. Кн. 5 : Квантовая оптика ; Атомная физика ; Физика твердого тела ; Физика атомного ядра и элементарных частиц / И. В. Савельев. - М. : Астрель : АСТ, 2002. - 368 с.

3. Физика твердого тела : Лаб. практикум : Учеб. пособие для студентов физ. спец. вузов. Т. 2 : Физические свойства твердых тел / Под ред. А. Ф. Хохлова ; А. Н. Сысоев, М. Ю. Грязнов, В. Н. Чувильдеев и др. - 2-е изд. - М. : Высш. шк., 2001. - 484 с.

10.2. Дополнительная литература

1. Физика твердого тела [Электронный ресурс] : 28 кн. в PDF-формате / Лаб. "Компьютер. информ. технологии". - М. : Лаб. "Компьютер. информ. технологии", 2004. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

2. Савельев, И. В. Курс физики [Текст] : в 3 т. : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по техническим и технологическим направлениям и специальностям. Т. 3 : Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц / И. В. Савельев. - Изд. 2-е. - Санкт-Петербург : Издательство "Лань", 2006. - 302 с.

3. Квантовая теория твердого тела : терминология / отв. ред. А. М. Косевич ; АН СССР, Ком. науч. техн. терминологии. - Москва : Наука, 1985. - 24 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).