

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



П.А. Машаров

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

Укрупненная группа направлений подготовки	03.00.00 Физика и астрономия
Программа высшего образования	Программа бакалавриата
Направление подготовки	03.03.02 Физика
Профиль подготовки	Физика
Квалификация	Бакалавр
Форма обучения	Очная

Рабочая программа адаптирована для лиц
с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Донецк 2024

Рабочая программа дисциплины «Физика твердого тела» для обучающихся по направлению подготовки 03.03.02 Физика (Профиль: Физика), составлена на основании Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – бакалавриат по направлению подготовки 03.03.02 Физика, утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 07.08.2020 № 891 (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 2024 года.

Разработчик:

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



В.И. Фиошин

Рабочая программа утверждена на заседании кафедры теоретической физики и нанотехнологий.

Протокол от 26.03.2024 г. № 16

Заведующий кафедрой



И.И. Петренко

СОГЛАСОВАНО:

Декан физико-технического
факультета
28.03.2024 г.



С. А. Фоменко

Учебно-методическая комиссия физико-техничес.

Протокол от 27.03.2024 г. № 2.

Председатель



З. Н. Котенко

Руководители основной профессиональной
образовательной программы:

кандидат физико-математических наук



А. В. Безус

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, Аналитическая геометрия и линейная алгебра. Теория групп, Общая и экспериментальная физика (Механика), Общая и экспериментальная физика (Молекулярная физика. Термодинамика).

1.2. Дисциплины, курсовые работы и практики, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее: Физика деформированных сред, Производственная: преддипломная практика.

2. ОПИСАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

2.1. Общая характеристика

Наименование показателя	Значение показателя
Название образовательной программы	03.03.02 Физика (Профиль: Физика)
Шифр и название в соответствии с учебным планом	Б1.В.ДВ.9.2 Физика твердого тела
Часть образовательной программы	Вариативная часть: выбор обучающегося
Количество зачетных единиц / всего часов	6,5 / 234

2.2. Распределение часов по периодам обучения

Форма обучения	курс	семестр	Общее количество часов					Форма контроля
			лекционных	лабораторных	практических	самостоятельной работы+ контроль	всего	
Очная	4	7	26	52		48	126	экзамен
Очная	4	8	20	30		58	108	экзамен
Очная, всего			46	82		106	234	

3. ЦЕЛИ ДИСЦИПЛИНЫ

Углубление знаний по ряду теоретических проблем в области физики конденсированного состояния и знакомство с проблемами 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
ПК-3. Способен проводить и управлять	ПК-3.22. Рассматривает возможные подходы к	ПК-3.22.1. Знает основы основы современной физики твердого тела, классификацию твердых веществ по

результатами научных исследований и опытно-конструкторских работ в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта.	решению задач профессиональной деятельности, оценивает их эффективность и соответствие поставленным целям.	особенностям электронной структуры, кристаллографическим характеристикам и физическим (электрическим, магнитным, физико-механическим) свойствам ПК-3.22.2. Умеет анализировать, моделировать и прогнозировать свойства твердых веществ и материалов ПК-3.22.3. Владеет навыками проведения исследований свойств твердых веществ
	ПК-3.23. Применяет эффективные методы решения задач профессиональной деятельности в области физики твердого тела.	ПК-3.23.1. Знает современные методы исследования твердых веществ, основные величины, характеризующие механические, электрические, магнитные, оптические свойства твердых веществ ПК-3.23.2. Умеет самостоятельно применять на практике методы расчета важнейших характеристик твердых веществ ПК-3.23.3. Владеет навыками обработки экспериментальных данных и их анализа.

5. ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Название темы	Краткое содержание темы (вопросы темы)
Раздел 1.	
Механизмы образования и роста кристаллов. Методы выращивания кристаллов.	Наноструктуры. Фуллерены, графены и углеродные нанотрубки. Методы получения, строение и свойства. Методы получения тонких пленок. Осаждение пленок из газовой фазы. Жидкофазная эпитаксия
Физика реальных кристаллов.	Классификация дефектов структуры. Точечные дефекты. Дислокации. Вектор Бюргерса. Движение дислокации. Методы наблюдения дислокаций.
Виды материальных сред и их электродинамические параметры.	Уравнения Максвелла в веществе. Намагничивание и поляризация. Материальные уравнения. Свойства сплошных сред с общих позиций электродинамики. Феноменологическая классификация материалов.
Магнитооптические эффекты.	Эффекты Фарадея и Керра. Особенности поглощения света в ферритмагнетиках. Магнитооптическая добротность.
Типы магнитного упорядочения	Диамагнетизм. Парамагнетизм. Ферромагнетизм. Антиферро- и

	ферримагнетизм. Геликоидальный магнетизм. Примеры антиферро- и ферримагнитных кристаллов. Другие виды упорядочения.
Основные виды взаимодействий в ферромагнитных кристаллах и их макроскопические проявления.	Прямое и косвенное обменное взаимодействие. Диполь-дипольное и спин-орбитальное взаимодействия. Спонтанная намагниченность. Магнитная анизотропия.
Раздел 2.	
Распределение спонтанной намагниченности в кристалле.	Приближение микромагнетизма. Метод скалярного потенциала в задачах магнитостатики. Уравнения Лапласа и Пуассона. Размагничивающие поля. Энергия доменной структуры. Структуры с незамкнутым и замкнутым магнитным потоком.
Проблема граничного слоя между доменами.	Границы Блоха и Нееля. Энергия доменной границы. 180-градусные и 90-градусные границы. Динамика доменных границ. Эффективная масса границы. Коэффициент вязкости и подвижность границы
Гальваномагнитные явления.	Эффект Холла. Магниторезистивный эффект. Колоссальное и гигантское магнитосопротивление.
Макроскопические процессы перемагничивания.	Смещение доменных границ. Процессы вращения намагниченности. Перестройка доменной структуры. Роль дефектов и взаимодействия доменов.
Микроскопические механизмы перемагничивания	Прецессия магнитных моментов. Уравнение Ландау-Лифшица. Учет диссипативных процессов. Механизмы релаксации.
Составы, структура и свойства феррошпинелей	Общая формула составов. Твердые растворы. Кристаллическая структура. Распределение катионов. Нормальные и обращенные шпинели. Магнитная микроструктура. Теория Нееля. Основные характеристики ферритов-шпинелей.
Составы, структура и свойства феррогранатов	Общая формула составов. Твердые растворы. Кристаллическая структура. Распределение катионов. Ферримагнетизм гранатов. Основные характеристики ферритов-гранатов.
Составы, структура и свойства перовскитоподобных манганитов	Общая формула составов. Замещения. Кристаллическая структура. Распределение катионов. Магнитная микроструктура и магнитосопротивление. Основные характеристики перовскитоподобных манганитов.

6. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

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

Наименования разделов и тем	Количество часов				
	Лекц.	Лабор.	Практ.	СРС	Всего
Раздел 1.	26	52		48	126
Механизмы образования и роста кристаллов. Методы выращивания кристаллов.	4	9		8	21
Физика реальных кристаллов.	4	9		8	21
Виды материальных сред и их электродинамические параметры.	4	9		8	21
Магнитооптические эффекты.	4	9		8	21
Типы магнитного упорядочения	5	8		8	21
Основные виды взаимодействий в ферромагнитных кристаллах и их макроскопические проявления.	5	8		8	21
ИТОГО ЗА СЕМЕСТР	26	52		48	126

6.2. Форма обучения – очная, курс – 4, семестр – 8

Наименования разделов и тем	Количество часов				
	Лекц.	Лабор.	Практ.	СРС	Всего
Раздел 2.	20	30		58	108
Распределение спонтанной намагниченности в кристалле.	2	3		7	12
Проблема граничного слоя между доменами.	2	3		7	12
Гальваномагнитные явления.	2	3		7	12
Макроскопические процессы перемангничивания.	2	3		7	12
Микроскопические механизмы перемангничивания	2	3		7	12
Составы, структура и свойства феррошпинелей	2	3		7	12
Составы, структура и свойства феррогранатов	4	6		8	18
Составы, структура и свойства перовскитоподобных манганитов	4	6		8	18
ИТОГО ЗА СЕМЕСТР	20	30		58	108
ИТОГО ПО КОМПОНЕНТУ ОПОП	46	82		106	234

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

7.1. Контрольные вопросы

Раздел 1

1. Элементы абстрактной теории групп
2. Полуклассическая модель динамики электронов

3. Электрон-фононное взаимодействие
4. Зонная структура полуметаллов и редкоземельных металлов
5. Методы расчета зонной структуры
6. Статическая электропроводность и эффект Холла в модели Друде
7. Периодические граничные условия Борна-Кармана
8. Метод сильной связи
9. Скорость изменения функции распределения вероятности за счет столкновений
10. Уровни Ландау для свободных и для блоховских электронов
11. Уравнение Шредингера
12. Пространственные группы. Неприводимые представления групп

Раздел 2

1. Уровни электронов в периодическом поле
2. Механизмы сверхпроводимости. Куперовские пары
3. Приближение времени релаксации и неравновесная функция распределения
4. Теория металлов Зоммерфельда. Свободный электронный газ
5. Поверхностные эффекты. Работа выхода
6. Волновые пакеты блоховских электронов
7. Теорема Блоха
8. Теория металлов Друде
9. Сверхпроводники 1-го и 2-го рода
10. Метод ячеек и метод присоединенных плоских волн
11. Сверхпроводимость. Теория Гинзбурга-Ландау
12. Механизмы рассеяния электронов
13. Зоны Бриллюэна
14. Полуклассическая модель проводимости

7.2. Темы письменных работ (типы задач)

- Определение класса точности средства измерения
- Качественное распознавание металлов
- Исследование зависимости электрического сопротивления металлов от температуры
- Измерение удельного сопротивления металлов методом вольтметра и амперметра

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

7.3. Образец содержания экзаменационного билета

Донецкий государственный университет Физико-технический факультет Кафедра теоретической физики и нанотехнологий	
Программа высшего образования Направление подготовки Профиль подготовки Форма обучения Семестр Дисциплина	Программа бакалавриата 03.03.02 Физика Физика Очная Седьмой, Восьмой Физика твердого тела
Экзаменационный билет № 1	
1. Теорема Блоха. Куперовские пары. 3. Теория металлов Друде.	
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.).

8.1. Семестр 7

Номера разделов	Виды работ	Максимальное количество баллов
1	Организационно-учебная работа в аудитории	
	Самостоятельная работа	
	Контрольные работы по практике	
	Контрольная работа по теоретическому материалу	
ИТОГО		
Экзамен		
Общий итог за семестр		100

8.2. Семестр 8

Номера разделов	Виды работ	Максимальное количество баллов
2	Организационно-учебная работа в аудитории	
	Самостоятельная работа	
	Контрольные работы по практике	
	Контрольная работа по теоретическому материалу	
ИТОГО		
Экзамен		
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. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ И ИНВАЛИДОВ

В ходе реализации дисциплины используются следующие дополнительные методы обучения, текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в зависимости от их индивидуальных особенностей:

- 1) для слепых и слабовидящих:
 - лекции оформляются в виде электронного документа, доступного с помощью компьютера со специализированным программным обеспечением;
 - для выполнения задания при необходимости предоставляется увеличивающее устройство; возможно также использование собственных увеличивающих устройств;
 - письменные задания оформляются увеличенным шрифтом.
- 2) для глухих и слабослышащих:
 - лекции оформляются в виде электронного документа;
 - письменные задания выполняются на компьютере в письменной форме;
 - экзамен проводится в письменной форме на компьютере; возможно проведение в форме тестирования.
- 3) для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:
 - лекции оформляются в виде электронного документа, доступного с помощью компьютера со специализированным программным обеспечением;
 - письменные задания выполняются на компьютере;
 - экзамен и зачёт проводятся в устной форме или выполняются в письменной форме на компьютере.

При необходимости предусматривается увеличение времени для подготовки ответа.

Процедура проведения промежуточной аттестации для обучающихся устанавливается с учётом их индивидуальных психофизических особенностей. Промежуточная аттестация может проводиться в несколько этапов.

Проведение процедуры оценивания результатов обучения допускается с использованием дистанционных образовательных технологий.

Обеспечивается доступ к информационным и библиографическим ресурсам в сети Интернет для каждого обучающегося в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

- 1) для слепых и слабовидящих:
 - в печатной форме увеличенным шрифтом;
 - в форме электронного документа;
- 2) для глухих и слабослышащих:
 - в печатной форме;
 - в форме электронного документа.
- 3) для обучающихся с нарушениями опорно-двигательного аппарата:
 - в печатной форме;
 - в форме электронного документа.

10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА

Учебные занятия проводятся в 4 учебном корпусе ДонГУ (г. Донецк, пр. Театральный, 13). Для проведения лабораторных 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 применяются 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.

11. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

11.1. 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.

4. 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

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

3. Вильф, Ф. Ж. Логическая структура частной теории относительности / Ф. Ж. Вильф. - М. : УРСС, 2001. - 158 с.

12. 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: 01.09.2023). - 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: 01.09.2023). - Режим доступа: для авторизов. пользователей. - Текст: электронный.

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

4. Электронно-библиотечная система **«Лань»:** [сайт]. - URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 01.09.2023). - Режим доступа: для авторизов. пользователей. - Текст: электронный.

5. **ЭБС Юрайт:** электронная библиотечная система: сайт. - Москва, 2013. - URL: <https://biblio-online.ru> (дата обращения: 01.09.2023). - Режим доступа: для авторизов. пользователей. - Текст: электронный.

6. **Электронно-библиотечная система ДонГУ:** сайт / ФГБОУ ВО «ДонГУ». - Донецк, 2016- . - URL: <http://library.donnu.ru/> (дата обращения: 01.09.2023). - 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: 01.09.2023). - 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: 01.09.2023). - Режим доступа: свободный.

13. 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).