

Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации

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

Физико-технический факультет  
Кафедра общей физики и дидактики физики



П.А. Машаров

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

### ИЗБРАННЫЕ ГЛАВЫ ФИЗИКИ КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

Укрупненная группа направлений подготовки	44.00.00 Образование и педагогические науки
Программа высшего образования	Программа магистратуры
Направление подготовки	44.04.01 Педагогическое образование
Магистерская программа	Информатика в физическом образовании
Квалификация	Магистр
Форма обучения	Очная, заочная

Рабочая программа адаптирована для лиц  
с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Донецк 2024

Рабочая программа дисциплины «Избранные главы физики конденсированного состояния» для обучающихся по направлению подготовки 44.04.01 Педагогическое образование (магистерская программа: Информатика в физическом образовании), составлена на основании Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – магистратура по направлению подготовки 44.04.01 Педагогическое образование, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 22 февраля 2018 г. № 126 (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:  
зав.кафедрой, к.ф.-м.н., доцент

А. В. Безус

доцент, к.ф.-м.н., доцент

А. В. Головчан

ст. преподаватель

Ю. В. Дмитрук

Рабочая программа утверждена на заседании кафедры общей физики и дидактики физики.

Протокол от 26.03.2024 г. № 12

Заведующий кафедрой

А. В. Безус

СОГЛАСОВАНО:

И. о. декана физико-технического  
факультета  
28.03.2024 г.

С. А. Фоменко

Учебно-методическая комиссия физико-технического факультета.

Протокол от 27.03.2024 г. № 2.

Председатель

В. Н. Котенко

Руководители основной профессиональной  
образовательной программы:

кандидат физико-математических наук

А. В. Безус

26.03.2024 г.

## 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 магистратуры:

*Иностранный язык;*

*Электронные ресурсы и цифровые технологии в образовании;*

*Физика высоких энергий;*

*Компьютерное моделирование в физике;*

*Методология и методы научных исследований.*

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

*Производственная: преддипломная практика;*

*Производственная: проектно-технологическая практика;*

*Подготовка и защита ВКР: магистерской диссертации.*

## 2. ОПИСАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 2.1. Общая характеристика

Наименование показателя	Значение показателя
Название образовательной программы	44.04.01 Педагогическое образование (магистерская программа: Информатика в физическом образовании)
Шифр и название в соответствии с учебным планом	Б1.В.ОД Избранные главы физики конденсированного состояния
Часть образовательной программы	Вариативная часть
Количество зачетных единиц / всего часов	5,5 / 198

### 2.2. Распределение часов по периодам обучения

Форма обучения	курс	семестр	Общее количество часов					Форма контроля
			лекционных	лабораторных	практических	самостоятельной работы + контактная	всего	
Очная	1	2	17		17	38	72	экзамен
Очная	2	3	13		26	87	126	экзамен
Очная, всего			<b>30</b>		<b>43</b>	<b>125</b>	<b>198</b>	
Заочная	1	2	2		4	66	72	экзамен
Заочная	2	3	2		4	120	126	экзамен
Заочная, всего			<b>4</b>		<b>8</b>	<b>186</b>	<b>198</b>	

## 3. ЦЕЛИ ДИСЦИПЛИНЫ

*Цель дисциплины состоит в углублении у будущих магистров 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; приобретение опыта использования методов изучения свойств материалов; изучение*

фундаментальных понятий, законов и теорий, относящихся к физике конденсированного состояния вещества; изучение методов физических исследований физики конденсированного состояния. Сформировать у будущих магистров основных представлений в области наиболее передовых теоретических предположений и разработок по физике магнитных явлений и физике низких температур, а также способах получения высокотемпературных сверхпроводников и перспективах их практического применения. Избранные главы физики конденсированного состояния предусматривает самостоятельную обработку студентами теоретических основ необходимого материала, подготовку будущего специалиста к преподаванию полученных знаний ученикам в средней школе или самостоятельной научной работы в области физики.

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

Компетенции	Индикаторы	Результаты обучения
ПК-3 Способен определять сферу применения результатов научно-исследовательских работ	ПК-3.1 Способен использовать теоретические и практические знания для постановки и решения исследовательских задач в предметной области в соответствии с профилем и уровнем обучения и в области образования.	ПК-3.1.1 Умеет ставить и решать исследовательские задачи в предметной области в соответствии с профилем и уровнем обучения и в области образования. ПК-3.1.2 Умеет анализировать и применять результаты научных исследований при решении конкретных исследовательских задач физики твердого тела.
	ПК-3.2 Способен проектировать рабочие программы учебных предметов «ФКС» (отдельных специализированных разделов).	ПК-3.2.1 Умеет анализировать и систематизировать результаты соответствующих научных исследований в области физики конденсированного состояния. ПК-3.2.2 Умеет: вести поиск и анализ научной информации; осуществлять дидактическую обработку и адаптацию научных текстов в целях их перевода в учебные материалы, а также умеет разрабатывать рабочие программы по предмету, курсу на основе примерных основных общеобразовательных программ и обеспечивать их выполнение.

## 5. ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Название темы	Краткое содержание темы (вопросы темы)
<b>Раздел 1.</b>	
1. Строение кристаллов	1.1. Кристаллические и аморфные тела. Строение кристаллов. Трансляционная симметрия. Элементарная ячейка. Решетки Браве. Индексы Миллера. Точечные и пространственные группы. Особенности распространения волн в периодических структурах. Закон Вульфа - Брэгга. Обратная решетка. Зоны Бриллюэна.
2. Дефекты в кристаллах.	2.1. Дефекты в кристаллах. Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии. Комбинации атомных дефектов. Краевые и винтовые дислокации. Вектор Бюргерса. Энергия дислокаций. Движение дислокаций. Переползание и скольжение. Механизмы образования дислокаций в кристаллах.
3. Химическая связь.	3.1. Типы химической связи в кристаллах. Межатомное взаимодействие и силы связи в твердом теле. Структурные и физические особенности ионных, ковалентных, металлических и молекулярных кристаллов. Плотнупакованные структуры. Аморфные тела - методы получения и дифракционного исследования структуры. Жидкие кристаллы. Физика тонких пленок. Наноматериалы.
4. Квазичастицы.	4.1. Описание энергетического состояния кристаллов с помощью газа квазичастиц. Примеры квазичастиц. Фононы, магноны, экситоны, плазмоны и др. Электроны в металле как квазичастицы. Квазиимпульс. Закон дисперсии. Теорема Блоха. Граничные условия. Плотность состояний. Статистика газа квазичастиц. Бозоны и фермионы. Взаимодействие квазичастиц.
5. Колебания кристаллической решетки.	5.1. Колебание кристаллической решетки - фононы. Акустическая и оптическая ветви колебаний. Теплоемкость решетки, Дебаевская частота. Фактор Дебая - Уоллера в рассеивании рентгеновских лучей. Ангармонизм и тепловое расширение. Теплоемкость. Температурная зависимость теплоемкости. Модели Эйнштейна и Дебая. Границы справедливости классической теории.
6. Электронные состояния в кристаллах.	6.1. Электронные состояния в кристаллах. Одноэлектронная модель. Приближение слабо- и сильносвязанных электронов. Зонная схема и типы твердых тел. Выврожденный электронный газ. Электронная теплоемкость, поверхность Ферми. Тензор эффективных масс. Электроны и дырки. Циклотронная масса. Положение уровня Ферми в невырожденных полупроводниках.
7. Кинетические процессы.	7.1. Кинетические уравнения. Электро- и теплопроводность. Время релаксации. Механизмы рассеяния электронов. Рассеяние на примесях и дефектах. Электрон-фононное взаимодействие. Нормальные процессы, процессы переброса. Магнитосопротивление и эффект Холла. Квантовый эффект Холла.
<b>Раздел 2.</b>	
1. Ранний период физики элементарных частиц.	1.1. Электрон, протон, фотон. Открытие нейтрона. 1.2. Модель атомного ядра Гейзенберга-Иваненко.

	<p>1.3. Нуклон–нуклонные взаимодействия.</p> <p>1.4. Мезонная теория Юкавы.</p> <p>1.5. Кванты сильного взаимодействия.</p> <p>1.6. Пионы и их основные свойства.</p> <p>1.7. Нейтральные <math>\pi</math>-мезоны.</p> <p>1.8. Аномальные магнитные моменты протона и нейтрона.</p> <p>1.9. Мюоны.</p> <p>1.10. Особенности взаимодействия <math>\pi</math>-мезонов и <math>\mu</math>-мезонов с ядрами.</p> <p>1.11. Двухмезонные теории.</p> <p>1.12. Открытие заряженных <math>\pi^\pm</math>-мезонов (Пауэл). Открытие <math>\pi^0</math>-мезонов.</p> <p>1.13. Физика космических лучей.</p>
2. Процессы сильного взаимодействия.	<p>2.1. Свойства ядерных сил.</p> <p>2.2. Принципы зарядовой симметрии и зарядовой независимости.</p> <p>2.3. Понятие о изоспине и изодублете нуклона.</p> <p>2.4. Принцип изотопичной инвариантности ядерных сил.</p> <p>2.5. Вектор состояния нуклона. Обобщенный принцип Паули.</p> <p>2.6. Изотопические мультиплеты нуклонов и <math>\pi</math>-мезонов.</p> <p>2.7. Изотопическая (зарядовая) инвариантность сильного взаимодействия.</p> <p>2.8. Оператор изоспина. SU(2)- и SU(3)-симметрии, матрицы Паули и Гелл-Манна.</p> <p>2.9. Изоспин системы частиц. Правила суммирования изоспинов, коэффициенты Клебша–Гордона.</p> <p>2.10. Изоспин системы двух нуклонов и системы пион–нуклон. Процессы пион–нуклонного рассеяния.</p> <p>2.11. Барионное число. Закон сохранения барионного числа.</p> <p>2.12. Стабильность протона. Пион–нуклонные и пион–пионные резонансы.</p> <p>2.13. V-(странные) частицы: мезоны <math>K^0</math>, <math>K^+</math>, <math>K^-</math>; гипероны <math>\Lambda^0</math>, <math>\Sigma^\pm</math>, <math>\Sigma^0</math>, <math>\Xi^\pm</math>, <math>\Xi^0</math>; и <math>\Omega^-</math>.</p> <p>2.14. Странность. Закон сохранения странности в сильных и электромагнитных процессах.</p> <p>2.15. Гиперзаряд. Правило Накано-Нишиджимы-Гелл-Манна.</p>
3. Локальная калибровочная инвариантность.	<p>3.1. Калибровочные поля. (Глобальные калибровочные превращения.</p> <p>3.2. Инвариантность относительно глобальных калибровочных првращений и законы сохранения.</p> <p>3.3. Законы сохранения электрического заряда и барионного числа.</p> <p>3.4. Стабильность электрона и протона.</p> <p>3.5. Локальная U(1)–инвариантность дираковского поля.</p> <p>3.6. Электромагнитное поле как калибровочное векторное безмассовое поле.</p> <p>3.7. Группа SU(2) превращений и калибровочное поле Янга-Миллса.</p> <p>3.8. Тензор напряженности и лагранжиан свободного поля Янга-Миллса, уравнение движения. Обобщение на случай группы SU(3).</p>

4. Составные модели адронов.	<p>4.1. Модель Ферми-Янга.</p> <p>4.2. Модель Сакаты: выбор фундаментальных частиц, формулирование в рамках теории трехмерной унитарной симметрии, псевдоскалярный октет и синглет мезонов, векторный октет и синглет мезонов, проблема барионных состояний.</p> <p>4.3. Восьмичастичный путь. Модель Гелл-Манна–Неемана. Супермультиплеты.</p> <p>4.4. Гипотеза унитарной симметрии. Массовые формулы Окубо–Гелл-Манна.</p>
5. Квантовая хромодинамика.	<p>5.1. Кварки. Квантовые числа кварков.</p> <p>5.2. Трехкварковая модель Гелл-Манна–Цвейга: октеты и синглеты мезонов; декуплеты, октеты и синглеты барионов.</p> <p>5.3. Трехкварковая модель с учетом спина. Модель <math>SU(6)</math>.</p> <p>5.4. Магнитные моменты барионов. Статистика кварков (Хан–Намбу, Фройнд, Миямото, Боголюбов–Струминский–Тавхелидзе).</p> <p>5.5. Ароматы и цвета кварков. Симметрия <math>SU(3)_c</math> (Гелл-Манн–Фритч–Лейтвайлер, Вайнберг). Мезонные и барионные состояния как цветовые синглеты группы <math>SU(3)_c</math>.</p> <p>5.6. Тяжелые кварки. Чармированный кварк: гипотеза Глешоу–Илиопулоса–Майаны, открытие <math>J/\Psi</math>-частицы (Тинг, Рихтер), чармоний, модель <math>SU(4)</math>, чармированные частицы (D- и F-мезоны, барионы).</p> <p>5.7. Красивый кварк: открытие ипсилон-частиц (Ледерман), бьютионий, красивые частицы.</p> <p>5.8. Топ (истинный) кварк.</p> <p>5.9. Экспериментальные свидетельства на пользу существования кварков: исследования при глубоком неупругом рассеянии электронов нуклонами, партоны и партонная модель (Фейнман), распад <math>\pi^0</math>-мезонов, процессы аннигиляции электронов и позитронов в адроны, процессы Дрелла–Янга.</p> <p>5.10. Токовые и блоковые кварки. Лагранжиан свободных токовых кварков.</p> <p>5.11. Инвариантность относительно глобальных калибровочных превращений группы <math>SU(3)_c</math>, закон сохранения цветового заряда.</p> <p>5.12. Инвариантность относительно локальных калибровочных превращений группы <math>SU(3)_c</math>: неабелевы калибровочные поля, самодействие, кванты калибровочных полей, характеристики глюонов. Лагранжиан квантовой хромодинамики.</p> <p>5.13. Понятие об асимптотичной свободе и конфайнмент кварков. Двух- и трехтоковые процессы.</p>
6. Процессы слабого взаимодействия.	<p>6.1. Модели контактного типа. Бета-распад атомных ядер, типы бета-распадов. Особенности энергетического спектра бета-электронов, интерпретации.</p> <p>6.2. Нейтринная гипотеза Паули.</p> <p>6.3. Электронные нейтрино и антинейтрино: основные характеристики, трудности экспериментальной регистрации, не прямые (Лейпунский, Аллен) и прямые (Коуэн, Райнес) экспериментальные доказательства существования. Отличие нейтрино от антинейтрино, экспериментальное подтверждение</p>

	<p>(Девис). Экспериментальные доказательства существования нейтрино (Коуэн, Рэйнес).</p> <p>6.4. Операция пространственной инверсии. Симметрия относительно операции пространственной инверсии. Парность. Внутренняя парность элементарных частиц (фотон, дейтрон, <math>\pi^0</math>- и <math>\pi^\pm</math>-мезоны). (<math>\tau</math>-<math>\theta</math>) Проблема. Нарушение закона сохранения пространственной парности в слабых взаимодействиях. Опыт Ву.</p> <p>6.5. Фермионы с нулевой массой. Уравнение Вейля, свойства решений.</p> <p>6.6. Оператор спиральности. Спиральность как квантовое число. Спиральности решений уравнения Вейля.</p> <p>6.7. Теория двухкомпонентного нейтрино (Ландау, Ли, Янг, Салам). Левовинтовые нейтрино и правовинтовые антинейтрино. Экспериментальное определение спиральности нейтрино (Гольдхабер).</p> <p>6.8. Мюонные нейтрино и антинейтрино. Экспериментальное подтверждение разницы между <math>\nu_e</math> и <math>\nu_\mu</math> (Ледерман, Шварц).</p> <p>6.9. <math>\tau</math>-лептон и <math>\tau</math>-нейтрино. Лептонные заряды. Закон сохранения лептонного заряда. Проблема солнечных нейтрино. Гипотеза о нейтринной осцилляции.</p> <p>6.10. Четырехфермионная теория Ферми: основные положения, построение лагранжиана взаимодействия контактного типа, заряженные слабые токи, V–V–вариант взаимодействия, неперенормированность.</p> <p>6.11. Трансформационные свойства уравнения Дирака и билинейные инварианты. Нарушение парности и V-A форма слабого взаимодействия. Заряженные слабые токи. Слабые распады странных частиц.</p> <p>6.12. Понятие о смешивании состояний. Угол Кабиббо. Матрица Кобаяши–Масакавы. Проблема нейтральных слабых токов, их открытие.</p> <p>6.13. Зарядовое сопряжение. CP- и CPT-инвариантность.</p>
7. Спонтанное нарушение симметрии.	<p>7.1. Гоулдстоновские бозоны.</p> <p>7.2. Механизм Хиггса генерации масс частиц.</p> <p>7.3. Спонтанное нарушение локальной калибровочной симметрии SU(2).</p> <p>7.4. Массивные поля Янга-Миллса.</p>
8. Стандартная модель Вайнберга–Салама.	8.1. Модель Вайнберга–Салама.
9. Методы детектирования частиц.	<p>9.1. Сцинтилляционные счётчики.</p> <p>9.2. Полупроводниковые детекторы.</p> <p>9.3. Пороговые и дифференциальные черенковские счётчики.</p> <p>9.4. Детекторы переходного излучения.</p> <p>9.5. Электромагнитные и адронные калориметры.</p> <p>9.6. Пропорциональные, дрейфовые и время-проекционные камеры.</p>
10. Исследовательские программы настоящего и ближайшего будущего.	<p>10.1. Некоторые программы: природа спина адронов (поляризационные измерения), поиск экзотических состояний – глюоболов, пентакварков и др.</p> <p>10.2. Исследование плотной и возбуждённой адронной материи (кварк-глюонная плазма и др.).</p>

	10.3. Физика нейтрино, поиск эффектов(частиц) за пределами стандартной модели. 10.4. Действующие ускорители и их характеристики. Ускорители ближайшего будущего.
--	---

## 6. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

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

Наименования разделов и тем	Количество часов				
	Лекц.	Лабор.	Практ.	СРС+ конт	Всего
<b>Раздел 1.</b>					
1. Строение кристаллов	2		2	5	9
2. Дефекты в кристаллах.	3		3	6	12
3. Химическая связь.	2		2	5	9
4. Квазичастицы.	2		2	5	9
5. Колебания кристаллической решетки.	3		3	6	12
6. Электронные состояния в кристаллах.	3		3	6	12
7. Кинетические процессы.	2		2	5	9
<b>ИТОГО ЗА СЕМЕСТР</b>	<b>17</b>		<b>17</b>	<b>38</b>	<b>72</b>

### 6.2. Форма обучения – очная, курс – 2, семестр – 3

Наименования разделов и тем	Количество часов				
	Лекц.	Лабор.	Практ.	СРС+ конт	Всего
<b>Раздел 2.</b>					
1. Ранний период физики элементарных частиц.	1		2	8	11
2. Процессы сильного взаимодействия.	1		3	9	13
3. Локальная калибровочная инвариантность.	1		3	9	13
4. Составные модели адронов.	1		2	8	11
5. Квантовая хромодинамика.	2		3	9	14
6. Процессы слабого взаимодействия.	1		3	9	13
7. Спонтанное нарушение симметрии.	1		2	9	12
8. Стандартная модель Вайнберга–Салама.	2		3	9	14
9. Методы детектирования частиц.	2		3	9	14
10. Исследовательские программы настоящего и ближайшего будущего.	1		2	8	11
<b>ИТОГО ЗА СЕМЕСТР</b>	<b>13</b>		<b>26</b>	<b>87</b>	<b>126</b>
<b>ИТОГО ПО КОМПОНЕНТУ ОПОП</b>	<b>30</b>		<b>43</b>	<b>125</b>	<b>198</b>

### 6.3. Форма обучения – заочная, курс – 1, семестр – 2

Наименования разделов и тем	Количество часов				
	Лекц.	Лабор.	Практ.	СРС+ конт	Всего
<b>Раздел 1.</b>					
1. Строение кристаллов	0,2		0,4	8	8,6
2. Дефекты в кристаллах.	0,3		0,6	10	10,9
3. Химическая связь.	0,3		0,6	9	9,9

4. Квазичастицы.	0,3		0,6	10	10,9
5. Колебания кристаллической решетки.	0,3		0,6	10	10,9
6. Электронные состояния в кристаллах.	0,3		0,6	10	10,9
7. Кинетические процессы.	0,3		0,6	9	9,9
<b>ИТОГО ЗА СЕМЕСТР</b>	<b>2</b>		<b>4</b>	<b>66</b>	<b>72</b>

#### 6.4. Форма обучения – заочная, курс – 2, семестр – 3

Наименования разделов и тем	Количество часов				
	Лекц.	Лабор.	Практ.	СРС+ конт	Всего
<b>Раздел 2.</b>					
1. Ранний период физики элементарных частиц.	0,2			12	12,2
2. Процессы сильного взаимодействия.	0,2		0,6	12	12,8
3. Локальная калибровочная инвариантность.	0,2			12	12,2
4. Составные модели адронов.	0,2		0,6	12	12,8
5. Квантовая хромодинамика.	0,2		1	12	13,2
6. Процессы слабого взаимодействия.	0,2		0,6	12	12,8
7. Спонтанное нарушение симметрии.	0,2			12	12,2
8. Стандартная модель Вайнберга–Салама.	0,2		0,6	12	12,8
9. Методы детектирования частиц.	0,2		0,6	12	12,8
10. Исследовательские программы настоящего и ближайшего будущего.	0,2			12	12,2
<b>ИТОГО ЗА СЕМЕСТР</b>	<b>2</b>		<b>4</b>	<b>120</b>	<b>126</b>
<b>ИТОГО ПО КОМПОНЕНТУ ОПОП</b>	<b>4</b>		<b>8</b>	<b>186</b>	<b>198</b>

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

### 7.1. Контрольные вопросы

#### Раздел 1

1. Кристаллические и аморфные тела. Строение кристаллов. Трансляционная симметрия.
2. Элементарная ячейка. Решетки Браве. Плотнупакованные структуры.
3. Индексы Миллера.
4. Точечные и пространственные группы.
5. Особенности распространения волн в периодических структурах. Закон Вульфа - Брэгга.
6. Обратная решетка. Зоны Бриллюэна.
7. Дефекты в кристаллах. Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии.
8. Дефекты в кристаллах. Комбинации атомных дефектов.
9. Краевые и винтовые дислокации. Вектор Бюргерса. Энергия дислокаций.
10. Движение дислокаций. Переползание и скольжение. Механизмы образования дислокаций в кристаллах. Источник Франка-Рида.
11. Типы химической связи в кристаллах. Межатомное взаимодействие и силы связи в твердом теле.
12. Типы химической связи в кристаллах. Структурные и физические особенности ионных, ковалентных, металлических и молекулярных кристаллов.
13. Аморфные тела - методы получения и дифракционного исследования структуры.
14. Жидкие кристаллы.
15. Физика тонких пленок.

16. Наноматериалы.
17. Описание энергетического состояния кристаллов с помощью газа квазичастиц. Примеры квазичастиц. Фононы, магноны, экситоны, плазмоны и др.
18. Электроны в металле как квазичастицы. Квазиимпульс. Закон дисперсии. Теорема Блоха. Граничные условия. Плотность состояний
19. Статистика газа квазичастиц. Бозоны и фермионы. Взаимодействие квазичастиц.

## Раздел 2

1. Наблюдение и регистрация элементарных частиц. Классификация методов. Приборы.
2. Экспериментальное исследование частиц. Резонансы.
3. Производство частиц в экспериментах. Ускорители. Классификация. Мощности современных ускорителей.
4. Античастицы. Определение. Свойства. Примеры. Антивещество. Определение истинно нейтральной частицы.
5. Классификация элементарных частиц. Лептоны (подробно).
6. Адроны: определение, свойства, кварковое строение. Свойства кварков.
7. Изотопическая симметрия. Супермультиплеты.
8. Изотопический спин и изомультиплеты. Барионный октет. Мезонный нонет. Возбужденные состояния барионов (сравнить октет и декуплет).
9. Какому факту физически соответствует изотопическая инвариантность? С чем связана высокая степень симметричности изотопических мультиплетов?
10. Фундаментальные взаимодействия. Описать каждый вид взаимодействия, сравнить по интенсивности. Класс частиц – переносчиков взаимодействия.
11. Классификация элементарных частиц в Стандартной модели. Теории объединения взаимодействий.
12. Электромагнитное взаимодействие. Понятие электрослабого взаимодействия.
13. Особенности слабого взаимодействия. Переносчики взаимодействия.
14. Сильное взаимодействие. Теории Великого объединения.
15. Характерные времена фундаментальных взаимодействий. В качестве примера определить, какие виды взаимодействия ответственны за распады: 1)  $\Delta^* \rightarrow p + \pi$  (время жизни бариона  $\Delta^*$ :  $\tau_{\Delta^*} = 6 \cdot 10^{-24}$  с); 2)  $K^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_{\mu}$ ; 3)  $\eta \rightarrow \gamma + \gamma$  ( $K^+$ ,  $\pi$  и  $\eta$  – мезоны). Обосновать. Выполнение каких законов сохранения необходимо проверить при записи этих распадов (конкретно для каждого случая)?
16. Сформулировать закон сохранения странности. В каких взаимодействиях он справедлив, с каким физическим объектом связан? На основе этого закона записать недостающую частицу в распаде  $\Omega^-$ -бариона  $\Omega^- \rightarrow \Xi^0 + x$ , если барион  $\Xi^0$  имеет массу 1315 МэВ, странность  $S = -2$  и нулевой электрический заряд. Масса  $\Omega^-$ -бариона равна 1672 МэВ, странность  $S = -3$ , электрический заряд  $Q = -1$ .
17. Барионный заряд. Электрический заряд. Изоспин.
18. Лептоны. Лептонный заряд.
19. Понятие странности. Странные частицы.
20. Законы сохранения лептонного и барионного зарядов, странности. В качестве примера определить, исходя из законов сохранения количества лептонов различного типа  $L_e$ ,  $L_{\mu}$ ,  $L_{\tau}$ , какой из распадов мюона будет иметь место:  $\mu^- \rightarrow e^- + \gamma$  или  $\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_{\mu}$ .
21. Классификация законов сохранения в физике элементарных частиц. Аддитивные законы сохранения. Симметрии, лежащие в их основе.
22. Симметрия пространства-времени.
23. Калибровочная симметрия.
24. Внутренняя симметрия частиц. Изоспиновая симметрия SU(2). Симметрия SU(3) изоспина и гиперзаряда.

25. Мультипликативные законы сохранения. Симметрии, лежащие в их основе. Общие и частные законы сохранения в физике элементарных частиц. Несохранение четности в слабых взаимодействиях.
26. Энергетика реакций частиц. Энергетика распадов частиц.
27. Упругое и неупругое рассеяние. Сечение рассеяния. Одноканальное и многоканальное рассеяние.
28. Космические лучи. Широкие атмосферные ливни.
29. Кинематика частиц. Масса частиц.
30. Релятивистская теория Дирака. частицы со спином  $1/2$ .
31. Понятие физического вакуума.
32. Рождение и уничтожение частиц. Диаграммы Фейнмана.
33. Понятие изотопического спина. Нуклонный дублет.
34. Пионный триплет. Изомультиплеты адронов.
35. Понятие калибровочных бозонов.
36. Бета-распад ядер. Распад протона и нейтрона.
37. Теория Ферми слабого взаимодействия.
38. Четыре фермионные диаграммы Фейнмана для слабого взаимодействия.
39. Адронный и лептонный токи.
40. Переносчики слабого взаимодействия  $W^{\pm}$ ,  $Z^0$ -бозоны.
41. Нарушение четности в слабых реакциях.
42. Теория ядерных сил Юкавы.
43. Аномальные магнитные моменты протона и нейтрона.
44. Глубоко неупругие процессы. Объяснение.
45. Модели адронов Ферми, Сакаты.
46. Кварковая модель адронов.
47. Цветовое взаимодействие. Глюоны.
48. Квантовая хромодинамика.
49. Кварковые диаграммы.
50. Особенности цветового взаимодействия.
51. Сущность Стандартной Модели.

## **7.2. Темы письменных работ (типы задач)**

Контрольные работы по практике:

### **Раздел 1**

- Строение кристаллов
- Дефекты в кристаллах.
- Химическая связь.
- Квазичастицы.
- Колебания кристаллической решетки.
- Электронные состояния в кристаллах.
- Кинетические процессы.

### **Раздел 2**

- Процессы сильного взаимодействия.
- Локальная калибровочная инвариантность.
- Составные модели адронов.
- Квантовая хромодинамика.
- Процессы слабого взаимодействия.
- Спонтанное нарушение симметрии.
- Модель Вайнберга–Салама.
- Методы детектирования частиц.

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

### 7.3. Образец содержания экзаменационного билета (при наличии экзамена по дисциплине)

#### Раздел 1

##### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

1. Кристаллические и аморфные тела. Строение кристаллов. Трансляционная симметрия.
2. Жидкие кристаллы.

#### Раздел 2

##### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

3. Античастицы. Определение. Свойства. Примеры. Антивещество. Определение истинно нейтральной частицы.
4. Экспериментальное исследование частиц. Резонансы.
5. Выбрать разрешенную реакцию и обосновать выбор, используя законы сохранения:  $p + n \rightarrow \pi^+ + \pi^0$ ,  $p + p \rightarrow p + n + K^+ + \bar{K}^0$ .

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. Форма обучения – очная, Семестр 2

Номера разделов	Виды работ	Максимальное количество баллов
1	Организационно-учебная работа в аудитории	5
	Самостоятельная работа	5
	Контрольные работы по практике	20
	Контрольная работа по теоретическому материалу	30
<b>ИТОГО</b>		<b>60</b>
<b>Экзамен</b>		<b>40</b>
<b>Общий итог за семестр</b>		<b>100</b>

## 8.2. Форма обучения – очная, Семестр 3

Номера разделов	Виды работ	Максимальное количество баллов
2	Организационно-учебная работа в аудитории	5
	Самостоятельная работа	5
	Контрольные работы по практике	20
	Контрольная работа по теоретическому материалу	30
<b>ИТОГО</b>		<b>60</b>
<b>Экзамен</b>		<b>40</b>
<b>Общий итог за семестр</b>		<b>100</b>

## 8.3. Форма обучения – заочная, Семестр 2

Номера разделов	Виды работ	Максимальное количество баллов
1	Организационно-учебная работа в аудитории	5
	Самостоятельная работа	5
	Контрольные работы по практике	20
	Контрольная работа по теоретическому материалу	30
<b>ИТОГО</b>		<b>60</b>
<b>Экзамен</b>		<b>40</b>
<b>Общий итог за семестр</b>		<b>100</b>

## 8.4. Форма обучения – заочная, Семестр 3

Номера разделов	Виды работ	Максимальное количество баллов
2	Организационно-учебная работа в аудитории	5
	Самостоятельная работа	5
	Контрольные работы по практике	20
	Контрольная работа по теоретическому материалу	30
<b>ИТОГО</b>		<b>60</b>
<b>Экзамен</b>		<b>40</b>
<b>Общий итог за семестр</b>		<b>100</b>

## 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-м учебном корпусе (г. Донецк, пр. Театральный, д. 13). Для проведения лекционных 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 выполнения лабораторных работ требуется лаборатории со специализированным оборудованием, которое отвечает современным требованиям цифрового образования: имеет в наличии большое количество различных типов датчиков, которые подключаются к ноутбуку (планшету) и позволяют осуществлять сбор экспериментальных данных, графический анализ данных, решение математических уравнений, обработку экспериментальных данных.

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 общей физики и дидактики физики (ауд. 220).

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. Г.Кейн. Современная физика элементарных частиц. М: Мир, 1990. – 360 с. – URL: <https://www.twirpx.com/file/972518/> (дата обращения: 01.01.2023) – Режим доступа: в свободном доступе. – Текст: электронный.
2. А. И. Ахиезер, М.П.Рекало. Биография элементарных частиц. К: Наукова думка, 1979. –264 с. – URL: <https://www.twirpx.com/file/274503/> (дата обращения: 01.01.2023) – Режим доступа: в свободном доступе. – Текст: электронный.
3. Б.С. Ишханов, И.М. Капитонов, Н.П. Юдин. Частицы и атомные ядра: Учебник для вузов - 2-е изд.,испр.и доп. - М.: Издательство ЛКИ, 2007. - 584с. – URL: <https://www.twirpx.com/file/1701896/> (дата обращения: 01.01.2023) – Режим доступа: в свободном доступе. – Текст: электронный.
4. С. М. Биленький Массы, смешивание и осцилляции нейтрино // УФН. — 2003. — Т. 173. — С. 1171—1186. – URL: <https://www.ufn.ru/ru/articles/2003/11/b/> (дата обращения: 01.01.2023) – Режим доступа: в свободном доступе. – Текст: электронный.
5. А.А. Чернов, Е.И. Гиваргизов, Х.С. Багдасаров и др. Современная кристаллография. В 4 томах. М.: Наука, 1980. – Текст: непосредственный.
6. Дж. Блейкмор. Физика твердого тела. М.: Мир, 1988. – Текст: непосредственный.
7. В.Л. Бонч-Бруевич, С.Г. Калашников. Физика полупроводников. М.; Наука, 1979. – Текст: непосредственный.
8. Ю.И. Сиротин, М.П. Шаскольская. Основы кристаллофизики. М.; Наука, 1979. – Текст: непосредственный.
9. Дж. Займан. Принципы теории твердого тела. М.: Мир, 1974. – Текст: непосредственный.
10. Л Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Статистическая физика. М.; Наука, 1976. – Текст: непосредственный.
11. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Механика сплошных сред. М.: Наука, 1976. – Текст: непосредственный.
12. Н. Ашкрофт, Н. Мермин. Физика твердого тела. М.: Мир, 1979. т.1, 2. – Текст: непосредственный.

## 11.2. Дополнительная литература

13. И.Ф. Гинзбург Нерешённые проблемы фундаментальной физики (рус.) // Успехи физических наук. — 2009. — Т. 179. — С. 525–529. — URL: <https://www.ufn.ru/ru/articles/2009/5/d/> (дата обращения: 01.01.2023) — Режим доступа: в свободном доступе. — Текст: электронный.
14. Ю. Г. Куденко Наблюдение осцилляций мюонных нейтрино в электронные нейтрино в эксперименте T2K // УФН. — 2013. — Т. 183. — С. 1225–1230. — URL: <https://www.ufn.ru/ru/articles/2013/11/d/> (дата обращения: 01.01.2023) — Режим доступа: в свободном доступе. — Текст: электронный.
15. Library of CERN — URL: <http://library.cern/services/loan> (дата обращения: 01.01.2023). — Режим доступа: для авторизир. пользователей — Текст : электронный.
16. Ч. Киттель Введение в физику твердого тела. М.: Наука, 1978. — Текст: непосредственный.
17. С.В. Вонсовский. Магнетизм. Магнитные свойства диа-, пара-, ферро-, антиферро-, и ферримагнетиков. М.: Наука, 1971. — 1032 с. — Текст: непосредственный.
18. Г.С. Кринчик. Физика магнитных явлений. М.: МГУ, 1976. — 367 с. — Текст: непосредственный.
19. Ч. Киттель, Квантовая теория твёрдых тел. М.: Наука, 1967. — 491 с. — Текст: непосредственный.
20. В.В. Шмидт. Введение в физику сверхпроводников. М.: Наука, 1982. — 396 с. — Текст: непосредственный.
21. Высокотемпературные сверхпроводники. /Под ред. Д. Нелсона, М. Уиттингема, Т. Джоржа. М.: Мир, 1988. — 400 с. — Текст: непосредственный.
22. Н. Мотт, Э. Дэвис Электронные процессы в некристаллических веществах. М.: Мир, 1982. т.1, 2. — Текст: непосредственный.

## 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).