

**ГОУ ВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

Кафедра общей физики и дидактики физики

**УТВЕРЖДАЮ:**

Проректор по научно-методической  
и учебной работе

 Е.И. Скафа

«22» апреля 2020 г.

МП

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ  
«ФИЗИКА ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ»**

Направление подготовки: 03.04.02 Физика

Магистерская программа: Компьютерная физика

Образовательная программа: Магистратура

Квалификация: Магистр

Форма обучения: очная

Донецк 2020

УТВЕРЖДАЮ:

И.о. декана физико-технического  
факультета

С. А. Фоменко

«17» апреля 2020 г.

МП

Программа составлена на основании Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) направления подготовки 03.04.02 Физика (уровень магистратуры), утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 28 августа 2015 г. № 913;

Порядка организации учебного процесса в образовательных организациях высшего профессионального образования Донецкой Народной Республики, утвержденного приказом Министерства образования и науки ДНР № 1171 от «10» ноября 2017 г.;

учебного плана и основной образовательной программы Компьютерная физика, направления подготовки 03.04.02 Физика, разработанных в ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет».

Разработчик:


доцент, к.ф.-м.н., доцент  
кафедры общей физики и дидактики  
физики

 А. В. Безус

Программа учебной дисциплины утверждена на заседании кафедры общей физики и дидактики физики

Протокол № 13 от «09» апреля 2020 г.


Заведующий кафедрой

 Н. Г. Малюк

Программа учебной дисциплины одобрена учебно-методической комиссией физико-технического факультета

Протокол № 5 от «15» апреля 2020 г.

Председатель учебно-методической  
комиссии факультета

 В. Н. Котенко

## 1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ И МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

Учебная дисциплина «Физика высоких энергий» является вариативной частью дисциплин Блока Б1 «Дисциплины (модули)» по направлению подготовки 03.04.02 Физика.

Дисциплина реализуется на физико-техническом факультете ГОУ ВПО ДонНУ кафедрой общей физики и дидактики физики.

Этот курс опирается на теоретическую и практическую подготовку студентов, полученную при изучении дисциплин бакалавриата: «Общая и экспериментальная физика (Электричество и магнетизм)», «Общая и экспериментальная физика (Оптика)», «Общая и экспериментальная физика (Физика атома и атомных явлений)», «Общая и экспериментальная физика (Физика атомного ядра и частиц)», «Квантовая механика», а также при изучении предшествующих дисциплин «Общая и экспериментальная физика (Механика)», «Общая и экспериментальная физика (Молекулярная физика. Термодинамика)», «Теория вероятности и математическая статистика», «Теория функций комплексного переменного», «Векторный и тензорный анализ», «Дифференциальные уравнения. Интегральные уравнения и вариационное исчисление», «Методы математической физики», «Численные методы и математическое моделирование. Интегрированные системы и компьютерная графика».

Полученные знания используются студентами при изучении следующих дисциплин: «Физика магнитных явлений и высокотемпературная сверхпроводимость», «Специальный научный семинар», «Компьютерное моделирование в физике»; является основой для изучения сопутствующих дисциплин: «Квантовая теория твердых тел», «Математические методы теоретической физики», «Современные нанотехнологии», «Компьютерные средства анализа экспериментальных данных», а также во время выполнения научно-исследовательской работы и при написании магистерской диссертации.

## 2. СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

<i>Характеристика учебной дисциплины</i>		
Направление подготовки	03.04.02 Физика	
Магистерская программа	Компьютерная физика	
Образовательная программа	магистратура	
Квалификация	магистр	
Количество содержательных модулей	2	
Дисциплина базовой / вариативной части образовательной программы	дисциплина вариативной части	
Формы контроля (МК, экзамен, зачет)	экзамен – 1 семестр	
Показатели	очная форма обучения	заочная форма обучения
Количество зачетных единиц (кредитов)	4	
Год подготовки	1	
Семестр	1	
Количество часов	144	
- лекционных	18	
- практических, семинарских	54	
- лабораторных		
- самостоятельной работы	72	
в т.ч. индивидуальное задание		
Недельное количество часов,	4	
в т.ч. аудиторных		

### 3. ОПИСАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### **Цели и задачи.**

**Цель** – сформировать у студентов систему знаний и понятий физики адронов, которая входит в состав Стандартной Модели частиц. Обзор важнейших положений и актуальных проблем современной физики высоких энергий, на проверку и решение которых нацелены текущие и планируемые на будущее измерительные и поисковые эксперименты. Рассмотрение современных подходов к теоретическому и экспериментальному изучению сильных взаимодействий.

**Задачи** – дать представление о современном состоянии теории в физике элементарных частиц и их взаимодействиях, что предполагает систематический обзор круга экспериментальных фактов, которые нашли устоявшееся теоретическое объяснение, фактов, для которых найдено гипотетическое теоретическое объяснение, и фактов, для которых объяснение либо не найдено, либо находится за рамками существующих вычислительных методов. Кроме того, дать обзор тех гипотетических теорий, которые, возможно, позволят разрешить трудности сложившейся к настоящему времени стандартной модели. Дать представление о методах квантовой теории поля, которая является фундаментом в теории физики микромира, а также теории симметрии элементарных частиц. Ознакомить с существующей схемой элементарных частиц и основными направлениями получения новых экспериментальных данных в физике высоких энергий. Рассмотреть технику детектирования и идентификации частиц в различных диапазонах энергии, провести анализ факторов, определяющих точность измерений и достоверность результатов.

#### **Требования к результатам освоения дисциплины:**

Процесс изучения дисциплины «Физика высоких энергий» направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО РФ направления подготовки направления подготовки 03.04.02 Физика и основной образовательной программы высшего профессионального образования направления подготовки 03.04.02 Физика (магистерская программа: компьютерная физика):

##### ***а) общекультурных компетенций (ОК):***

Наименование категории (группы)	Код и наименование универсальной компетенции выпускника
	ОК-1. Способностью к абстрактному мышлению, анализу, синтезу.
	ОК-3. Готовностью к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала.

##### ***б) общепрофессиональных (ОПК):***

Наименование категории (группы)	Код и наименование общепрофессиональной компетенции выпускника
	ОПК-3. Способностью к активной социальной мобильности, организации научно-исследовательских и инновационных работ.
	ОПК-5. Способностью использовать свободное владение профессионально-профилированными знаниями в области компьютерных технологий для решения задач профессиональной деятельности, в том числе находящихся за пределами направленности (профиля) подготовки.
	ОПК-6. Способностью использовать знания современных проблем и новейших достижений физики в научно-исследовательской работе.

**в) профессиональных (ПК):**

Наименование типа задачи профессиональной деятельности	Код и наименование профессиональной компетенции выпускника
<b>научно-исследовательская и проектная деятельность</b>	ПК-1. Способностью самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта.
<b>научно-инновационная деятельность</b>	ПК-2. Способностью свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности.
	ПК-3. Способностью принимать участие в разработке новых методов и методических подходов в научно-инновационных исследованиях и инженерно-технологической деятельности.
<b>организационно-управленческая деятельность</b>	ПК-4. Способностью планировать и организовывать физические исследования, научные семинары и конференции.
	ПК-5. способностью использовать навыки составления и оформления научно-технической документации, научных отчетов, обзоров, докладов и статей.

**В результате прохождения практики студент должен****Знать:**

- принципы релятивистской квантовой механики;
- особенности ядерных сил;
- связь симметрии с законами сохранения;
- классификацию частиц;
- модель физического вакуума;
- понятия поля, калибровочного бозона, внутренней симметрии частиц, четности, лептонов и кварков;
- законы сохранения при взаимодействии элементарных частиц;
- поле Хиггса, современную теоретическую и экспериментальную ситуацию;
- теории слабого и сильного взаимодействий;
- особенности цветовых сил, понятие глюона и кварков;
- мультиплеты адронов;
- Стандартную Модель;
- теории Великого Объединения и модели с дополнительными размерностями пространства-времени, которые выходят за рамки Стандартной модели;
- как создаются и проводятся эксперименты по физике высоких энергий.

**Уметь:**

- применять методы квантовой физики к установлению свойств микрообъектов;
- анализировать свойства микрочастиц, вытекающие из их симметрии;
- использовать методы, разработанные в области физики элементарных частиц в научной и педагогической деятельности;
- анализировать диаграммы Фейнмана;
- устанавливать симметрию микрообъекта;
- использовать законы сохранения при анализе реакций между частицами;

- представлять реакции кварковыми диаграммами.

**Владеть:**

- методами, разработанными в области физики фундаментальных взаимодействий – математическими моделями взаимодействий, методами теории симметрии, физическими основами экспериментальных исследований элементарных частиц.

#### 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ И ФОРМЫ ОРГАНИЗАЦИИ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА

Курс дисциплины «Физика высоких энергий» предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, практические занятия, самостоятельная работа студента.

Материал излагается с использованием объяснительно-иллюстративных, эвристических и исследовательских методов преподавания. Лекции сопровождаются лекционным компьютерным экспериментом.

В учебном процессе широко применяются активные и интерактивные формы проведения занятий (разбор конкретных ситуаций, дискуссия, полемика), внеаудиторная самостоятельная работа.

Использование в учебном процессе интернет-ресурсов по данному курсу; решение задач, максимально приближенных к конкретным научно-исследовательским ситуациям; дискуссии в процессе поиска путей решения сформулированных проблем.

Самостоятельная работа студентов предусматривает выполнение индивидуальных заданий, подготовку к лабораторным занятиям, изучение учебной и методической литературы, составление конспектов, аннотаций статей, изучение приборов и оборудования, проведение эксперимента, обработку полученных результатов, анализ полученных результатов. Студенты изучают дополнительную литературу по предмету для расширения и углубления знаний, принимают участие в поиске новых данных по заданной теме, прививается интерес к предмету.

Используются следующие методы контроля:

- устный контроль (экспресс-опрос на лекциях);
- модульная контрольная работа.
- итоговый контроль (экзаменационные билеты).

Порядковый номер, тема	Краткое содержание темы
<b>Содержательный модуль 1</b>	
<b>Тема 1.</b> Ранний период физики элементарных частиц.	Электрон, протон, фотон. Открытие нейтрона. Модель атомного ядра Гейзенберга-Иваненко. Нуклон–нуклонные взаимодействия. Мезонная теория Юкавы. Кванты сильного взаимодействия. Пионы и их основные свойства. Нейтральные $\pi$ -мезоны. Аномальные магнитные моменты протона и нейтрона. Мюоны. Особенности взаимодействия $\pi$ -мезонов и $\mu$ -мезонов с ядрами. Двухмезонные теории. Открытие заряженных $\pi^{\pm}$ -мезонов (Пауэл). Открытие $\pi^0$ -мезонов. Физика космических лучей.
<b>Тема 2.</b> Процессы сильного взаимодействия.	Свойства ядерных сил. Принципы зарядовой симметрии и зарядовой независимости. Понятие о изоспине и изодублете нуклона. Принцип изотопичной инвариантности ядерных сил. Вектор состояния нуклона. Обобщенный принцип Паули. Изотопические мультиплеты нуклонов и $\pi$ -мезонов. Изотопическая (зарядовая) инвариантность сильного взаимодействия. Оператор изоспина. SU(2)- и SU(3)-симметрии, матрицы

	Паули и Гелл-Манна. Изоспин системы частиц. Правила суммирования изоспинов, коэффициенты Клебша–Гордона. Изоспин системы двух нуклонов и системы пион–нуклон. Процессы пион–нуклонного рассеяния. Барионное число. Закон сохранения барионного числа. Стабильность протона. Пион–нуклонные и пион–пионные резонансы. V-(странные) частицы: мезоны $K^0$ , $K^+$ , $K^-$ ; гипероны $\Lambda^0$ , $\Sigma^{\pm}$ , $\Sigma^0$ , $\Xi^{\pm}$ , $\Xi^0$ , и $\Omega^-$ . Странность. Закон сохранения странности в сильных и электромагнитных процессах. Гиперзаряд. Правило Накано–Нишиджимы–Гелл-Манна.
<b>Тема 3.</b> Локальная калибровочная инвариантность.	Калибровочные поля. (Глобальные калибровочные превращения. Инвариантность относительно глобальных калибровочных превращений и законы сохранения. Законы сохранения электрического заряда и барионного числа. Стабильность электрона и протона. Локальная U(1)–инвариантность дираковского поля. Электромагнитное поле как калибровочное векторное безмассовое поле. Группа SU(2) превращений и калибровочное поле Янга–Миллса. Тензор напряженности и лагранжиан свободного поля Янга–Миллса, уравнение движения. Обобщение на случай группы SU(3).
<b>Тема 4.</b> Составные модели адронов.	Модель Ферми–Янга. 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. Восьмичастичный путь. Модель Гелл-Манна–Неемана. Супермультиплеты. Гипотеза унитарной симметрии. Массовые формулы Окубо–Гелл-Манна.
<b>Тема 5.</b> Квантовая хромодинамика.	Кварки. Квантовые числа кварков. Трехкварковая модель Гелл-Манна–Цвейга: октеты и синглеты мезонов; декуплеты, октеты и синглеты барионов. Трехкварковая модель с учетом спина. Модель SU(6). Магнитные моменты барионов. Статистика кварков (Хан–Намбу, Фройнд, Миямото, Боголюбов–Струминский–Тавхелидзе). Ароматы и цвета кварков. Симметрия SU(3) <sub>c</sub> (Гелл-Манн–Фритч–Лейтвайлер, Вайнберг). Мезонные и барионные состояния как цветовые синглеты группы SU(3) <sub>c</sub> . Тяжелые кварки. Чармированный кварк: гипотеза Глешоу–Илиопулоса–Майаны, открытие $J/\psi$ -частицы (Тинг, Рихтер), чармоний, модель SU(4), чармированные частицы (D– и F–мезоны, барионы). Красивый кварк: открытие ипсилон–частиц (Ледерман), бьютионий, красивые частицы. Топ (истинный) кварк. Экспериментальные свидетельства на пользу существования кварков: исследования при глубоком неупругом рассеянии электронов нуклонами, партоны и партонная модель (Фейнман), распад $\pi^0$ -мезонов, процессы аннигиляции электронов и позитронов в адроны, процессы Дрелла–Янга. Токовые и блоковые кварки. Лагранжиан свободных токовых кварков. Инвариантность относительно глобальных калибровочных превращений группы SU(3) <sub>c</sub> , закон сохранения цветового заряда. Инвариантность относительно локальных калибровочных превращений группы SU(3) <sub>c</sub> : неабелевы калибровочные поля, самодействие, кванты калибровочных полей, характеристики глюонов. Лагранжиан квантовой хромодинамики. Понятие об асимптотичной свободе и конфайнмент кварков. Двух– и трехтоковые процессы.
<b>Содержательный модуль 2</b>	
<b>Тема 6.</b> Процессы слабого взаимодействия.	Модели контактного типа. (Бета-распад атомных ядер, типы бета-распадов. Особенности энергетического спектра бета–электронов, интерпретации. Нейтринная гипотеза Паули. Электронные нейтрино и



	<p>антинейтрино: основные характеристики, трудности экспериментальной регистрации, не прямые (Лейпунский, Аллен) и прямые (Коуэн, Райнес) экспериментальные доказательства существования. Отличие нейтрино от антинейтрино, экспериментальное подтверждение (Девис). Экспериментальные доказательства существования нейтрино (Коуэн, Райнес). 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. Фермионы с нулевой массой. Уравнение Вейля, свойства решений. Оператор спиральности. Спиральность как квантовое число. Спиральности решений уравнения Вейля. Теория двухкомпонентного нейтрино (Ландау, Ли, Янг, Салам). Левовинтовые нейтрино и правовинтовые антинейтрино. Экспериментальное определение спиральности нейтрино (Гольдхабер). Мюонные нейтрино и антинейтрино. Экспериментальное подтверждение разницы между <math>\nu_e</math> и <math>\bar{\nu}_\mu</math> (Ледерман, Шварц). <math>\tau</math>-лептон и <math>\tau</math>-нейтрино. Лептонные заряды. Закон сохранения лептонного заряда. Проблема солнечных нейтрино. Гипотеза о нейтринной осцилляции. Четырехфермионная теория Ферми: основные положения, построение лагранжиана взаимодействия контактного типа, заряженные слабые токи, V–V–вариант взаимодействия, неперенормированность. Трансформационные свойства уравнения Дирака и билинейные инварианты. Нарушение парности и V–A форма слабого взаимодействия. Заряженные слабые токи. Слабые распады странных частиц. Понятие о смешивании состояний. Угол Кабиббо. Матрица Кобаяши–Масакавы. Проблема нейтральных слабых токов, их открытие. Зарядовое сопряжение. CP- и CPT-инвариантность.</p>
<b>Тема 7.</b> Спонтанное нарушение симметрии.	<p>Гоулдстоновские бозоны. Механизм Хиггса генерации масс частиц. Спонтанное нарушение локальной калибровочной симметрии SU(2). Массивные поля Янга–Миллса.</p>
<b>Тема 8.</b> Стандартная модель Вайнберга–Салама.	<p>Модель Вайнберга–Салама.</p>
<b>Тема 9.</b> Методы детектирования частиц.	<p>Сцинтилляционные счётчики. Полупроводниковые детекторы. Пороговые и дифференциальные черенковские счётчики. Детекторы переходного излучения. Электромагнитные и адронные калориметры. Пропорциональные, дрейфовые и время-проекционные камеры.</p>
<b>Тема 10.</b> Исследовательские программы настоящего и ближайшего будущего.	<p>Некоторые программы: природа спина адронов (поляризационные измерения), поиск экзотических состояний – глюболов, пентакварков и др., исследование плотной и возбуждённой адронной материи (кварк-глюонная плазма и др.), физика нейтрино, поиск эффектов(частиц) за пределами стандартной модели. Действующие ускорители и их характеристики. Ускорители ближайшего будущего.</p>



### Тематический план

Содержательный модуль 1												
Названия содержательных модулей и тем	Количество часов											
	Очная форма обучения						Заочная форма обучения					
	всего	в т.ч.					всего	в т.ч.				
		лекции	практические	лабораторные	самостоятельная работа	индивидуальная работа		лекции	практические	лабораторные	самостоятельная работа	индивидуальная работа
<b>Тема 1.</b> Ранний период физики элементарных частиц.		1			8							
<b>Тема 2.</b> Процессы сильного взаимодействия.		2	4		7							
<b>Тема 3.</b> Локальная калибровочная инвариантность.		2	4		7							
<b>Тема 4.</b> Составные модели адронов.		2	4		7							
<b>Тема 5.</b> Квантовая хромодинамика.		3	12		7							
<b>Итого по содержательному модулю 1</b>	<b>70</b>	<b>10</b>	<b>24</b>		<b>36</b>							
Содержательный модуль 2												
<b>Тема 6.</b> Процессы слабого взаимодействия.		2	6		7							
<b>Тема 7.</b> Спонтанное нарушение симметрии.		2	6		7							
<b>Тема 8.</b> Стандартная модель Вайнберга–Салама.		2	6		7							
<b>Тема 9.</b> Методы детектирования частиц.		1	12		7							
<b>Тема 10.</b> Исследовательские программы настоящего и ближайшего будущего.		1			8							
<b>Итого по содержательному модулю 2</b>	<b>74</b>	<b>8</b>	<b>30</b>		<b>36</b>							
<b>Всего часов</b>	<b>144</b>	<b>18</b>	<b>54</b>		<b>72</b>							

## 5. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЛЕКЦИОННЫХ, ПРАКТИЧЕСКИХ И ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ

### Темы лекционных занятий

<i>№ п/п</i>	<i>Название темы</i>	<i>Количество часов</i>
1	Ранний период физики элементарных частиц.	1
2	Процессы сильного взаимодействия.	2
3	Локальная калибровочная инвариантность.	2
4	Составные модели адронов.	2
5	Квантовая хромодинамика.	3
6	Процессы слабого взаимодействия.	2
7	Спонтанное нарушение симметрии.	2
8	Стандартная модель Вайнберга–Салама.	2
9	Методы детектирования частиц.	1
10	Исследовательские программы настоящего и ближайшего будущего.	1
	<b>ВСЕГО</b>	<b>18</b>

### Темы практических занятий

<i>№ п/п</i>	<i>Название темы</i>	<i>Количество часов</i>
1	Процессы сильного взаимодействия.	4
2	Локальная калибровочная инвариантность.	4
3	Составные модели адронов.	4
4	Квантовая хромодинамика.	12
5	Процессы слабого взаимодействия.	6
6	Спонтанное нарушение симметрии.	6
7	Модель Вайнберга–Салама.	6
8	Методы детектирования частиц.	12
	<b>ВСЕГО</b>	<b>54</b>

Лабораторные занятия не предусмотрены учебным планом.

## 6. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Самостоятельная работа студентов по курсу «Физика высоких энергий» предусматривает:

- систематическое посещение лекционных занятий, ведение конспекта лекций;
- повседневное изучение лекционного материала и содержания технической литературы, рекомендуемые этой программой и рабочим учебным планом;
- добросовестную подготовку к практическим занятиям;

### Организация самостоятельной работы студентов

<b>№ п/п</b>	<b>Название темы</b>	<b>Количество часов</b>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
1	Изотопическая (зарядовая) инвариантность сильного взаимодействия. Формализм изоспина. SU(2)– и SU(3)–симметрии, матрицы Паули и Гелл-Манна.	10
2	Процессы $\pi N$ –рассеяния и соотношения между их сечениями.	5
3	Электromагнитное поле как калибровочное векторное безмассовое поле.	6
4	Модель Сакаты: псевдоскалярный октет и синглет мезонов, векторный октет и синглет мезонов, проблема барионных состояний.	5
5	Гипотеза унитарной симметрии. Супермультиплеты (унитарные мультиплеты). Нарушение унитарной симметрии и массовые формулы для мезонов. Массовые формулы Окубо-Гелл-Манна.	5
6	Трехкварковая модель. Мультиплеты мезонов. Построение барионных состояний: таблицы Юнга, полностью симметричные состояния, состояния со смешанной симметрией и их ортогонализация, полностью антисимметричные состояния. Нарушение SU(3)–симметрии и массовые формулы.	5
7	Группа SU(2) превращений и неабелево калибровочное поле Янга-Миллса. Тензор напряженности и лагранжиан свободного поля Янга-Миллса, уравнение движения. Обобщение на случай группы SU(3).	6
8	Квантовая хромодинамика. Глюоны.	10
9	Уравнение Вейля. Спиральность. Теория двухкомпонентного нейтрино.	6
10	Трансформационные свойства уравнения Дирака. Билинейные инварианты, их поведение при пространственной инверсии. V–A форма слабого взаимодействия.	6
11	Спонтанное нарушение локальной калибровочной симметрии SU(2). Массивные калибровочные бозоны. Бозон Хиггса. Масса фермионов.	6
12	Стандартная модель Вайнберга–Салама для слабого и электромагнитного взаимодействий: лептонный сектор. Обобщение на электрослабое взаимодействие кварков. Основные результаты.	2
	<b>ВСЕГО</b>	<b>72</b>

### 7. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ.

Индивидуальные задания не предусмотрены учебным планом.

### 8. КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

#### Примерные задачи курса Физики высоких энергий

1. Вычислить светимость цилиндрического объёма встречных протонных пучков с током  $I_1 = 0,5$  А и  $I_2 = 0,2$  А Размеры цилиндра: радиус  $r = 0,2$  мм и длина  $l = 0,5$  м. Пучки

- пересекаются под углом, близким к нулю. Интенсивность пучков равномерная внутри цилиндра.
- В пучке присутствуют  $\mu$  и  $\pi$ -мезоны с одинаковым импульсом  $p = 1$  ГэВ/с. Найти интервал, в котором должен находиться коэффициент преломления вещества радиатора черенковского счётчика, чтобы регистрировать только  $\mu$ -мезоны.
  - Ускоритель дейтронов имеет радиус  $r=10$  м. Импульс дейтронов  $p=2$  ГэВ/с. Найти напряжённость магнитного поля и частоту ускоряющего электрического поля.
  - В пучке  $\pi$ -мезонов с импульсом  $p=1$  ГэВ/с имеется примесь электронов с тем же импульсом. В пучке установлены два счётчика на расстоянии  $L = 10$  м. С какой точностью необходимо измерять время пролёта частиц для разделения  $\pi$ -мезонов и электронов?
  - Выразить массу протона 938,28 МэВ в граммах.  $1 \text{ эВ} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$
  - Выразить 1 а.е.м.  $1,67 \cdot 10^{-24} \text{ г}$  в энергетических единицах.  $1 \text{ эВ} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$
  - Возможен ли распад  $\Sigma^0 \rightarrow \Lambda + \pi^0$ ? Если да, то за счет каких сил он происходит?
  - Обосновать возможность или невозможность распада  $\Omega^- \rightarrow \Xi^- + \bar{K}^0$
  - За счет какого взаимодействия происходят (если это действительно имеет место) распады  $\Delta^+ \rightarrow p + \gamma$ ,  $\Delta^+ \rightarrow p + \pi^0$ ?
  - Выбрать реакцию, которая действительно происходит и обосновать ответ:  $p + p \rightarrow p + \Sigma^+ + K^0$ ,  $p + p \rightarrow p + \Sigma^+ + \pi^0$
  - За счет какого взаимодействия происходит распад  $\mu^- \rightarrow e^- + \nu_\mu + \bar{\nu}_e$ ? Какие законы сохранения выполняются?
  - Происходит ли на самом деле реакция  $\nu_e + \rightarrow p + e^-$ ? Если да, то какие законы сохранения выполняются?
  - Выбрать реакцию, которая действительно происходит и обосновать выбор с точки зрения кваркового строения частиц:  $p + p \rightarrow p + p + \pi^+$ ,  $p + p \rightarrow p + p + \pi^0$
  - Выбрать разрешенную реакцию и обосновать выбор, используя законы сохранения:  $p + n \rightarrow \pi^+ + \pi^0$ ,  $p + p \rightarrow p + n + K^+ + \bar{K}^0$ .
  - Покажите, что для реакции фоторождения  $\phi$ -мезона на покоящемся протоне (т. е. реакции  $\gamma + p \rightarrow \phi + p$ ) лабораторный импульс рожденного  $\phi$ -мезона (в приближении равенства масс протона и  $\phi$ -мезона:  $m_p \approx m_\phi \equiv M$ ) на пороге равен примерно  $3M/4 \approx 750$  МэВ/с. Как будет выглядеть на пороге угловое распределение рожденных  $\phi$ -мезонов? Под каким углом в л.с. по отношению к направлению импульса фотона будут они вылетать?
  - Дайте ответы на вопросы (Рис. 1):

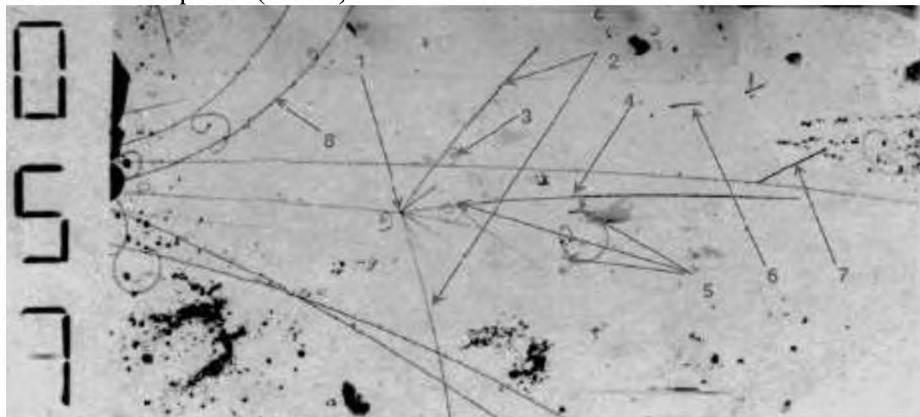


Рис. 1. Регистрация событий: пример. Фото с пузырьковой водородной камеры длиной (по пучку) 1 м.

1. Что здесь произошло? Опишите качественно, определив знак заряда пучковой частицы.
  2. Охарактеризуйте качественно (знак заряда, энергии) каждый из треков и что произошло с каждой из частиц
  3. Что за частица оставила этот след? Назовите термин, которым пользуются для них.
  4. Почему меняется степень "черноты" этого следа?
  5. Что за частица оставили эти следы? Предложите наиболее вероятную причину появления таких следов.
  6. Кто мог оставить этот след и каково его возможное происхождение?
  7. Что здесь произошло?
  8. Какие частицы (знак заряда, энергия) могли оставить эти следы?
  9. Как выглядел бы этот кадр к современном детекторе (без ТРС, в ТРС)?
  10. Можно ли было бы сегодня получить такой же кадр без использования фотопленки?
17. Регистрация событий (Рис.3).



Рис. 3. Пропановая пузырьковая камера с 3-мя танталовыми пластинами-мишенями.

1. Найдите на снимке дельта-электроны, далицевские электрон-позитронные пары.
  2. Попробуйте разделить, на глаз, треки заряженных частиц с зарядом 1 и с более высоким зарядом.
  3. Разделите вторичные треки на треки положительно заряженных и отрицательно заряженных частиц.
18. Что произошло на этом кадре? Опишите качественно. (Рис.2)

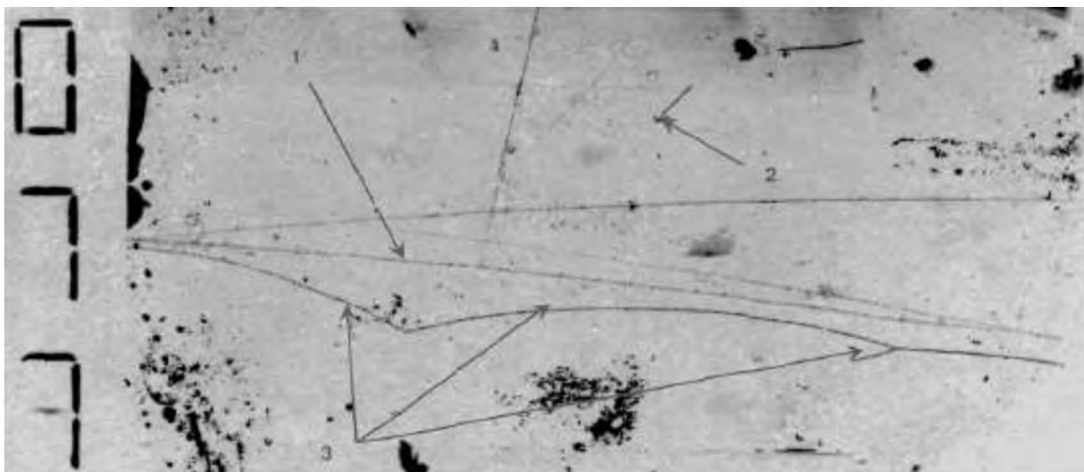


Рис. 2. Регистрация событий: пример второй. Та же пузырьковая камера.

1. Охарактеризуйте этот след.
2. Что это за событие и чем оно может быть вызвано?
3. Охарактеризуйте качественно (знак заряда, энергии, события на этом треке) этот след.

## 9. ОБРАЗЕЦ МОДУЛЬНОГО КОНТРОЛЯ

### ГОУ ВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Физико-технический факультет

Направление подготовки: **03.04.02 Физика**  
 Магистерская программа: **Компьютерная физика**  
 Программа подготовки: **магистратура**  
 Семестр: **I**  
 Учебная дисциплина: **Физика высоких энергий**

### МОДУЛЬНАЯ КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

#### ВАРИАНТ №1

1. Античастицы. Определение. Свойства. Примеры. Антивещество. Определение истинно нейтральной частицы.
2. Выбрать разрешенную реакцию и обосновать выбор, используя законы сохранения:  $p + n \rightarrow \pi^+ + \pi^0$ ,  $p + p \rightarrow p + n + K^+ + \bar{K}^0$ .

Утверждено на заседании кафедрой общей физики и дидактики физики, протокол № \_\_\_\_ от “\_\_” \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_

Преподаватель \_\_\_\_\_

### Критерии оценивания модульного контроля

Номер задания	Количество баллов
Задание 1	15
Задание 2	15
<b>Всего</b>	<b>30</b>

## 10. ОБРАЗЕЦ ЭКЗАМЕНАЦИОННОГО БИЛЕТА

### *Теоретические вопросы к экзамену*

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.

***Образец экзаменационного билета***

**ГОУ ВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Физико-технический факультет

<i>Направление подготовки:</i>	<b>03.04.02 Физика</b>
<i>Магистерская программа:</i>	<b>Компьютерная физика</b>
<i>Программа подготовки:</i>	<b>магистратура</b>
<i>Семестр</i>	<b>I</b>
<i>Учебная дисциплина</i>	<b>Физика высоких энергий</b>

**БИЛЕТ №1**

1. Экспериментальное исследование частиц. Резонансы.
2. Калибровочная симметрия.
3. Цветовое взаимодействие. Глюоны.

Утверждено на заседании кафедрой общей физики и дидактики физики,  
протокол № \_\_\_\_ от “\_\_” \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_

Преподаватель \_\_\_\_\_

**Критерии оценивания экзамена**

<b>Номер задания</b>	<b>Количество баллов</b>
Задание 1	15
Задание 2	15
Задание 3	20
<b>Всего</b>	<b>50 баллов</b>

**11. ОБРАЗЕЦ ТЕСТОВОГО ЗАДАНИЯ**

*Не предусмотрено*

**12. КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ**

По курсу предполагается проведение промежуточной аттестации в виде модульного контроля, выполнение контрольных работ и экзамена. Экзамен сдают студенты с целью повышения рейтинга.

**Распределение баллов, которые могут получить студенты  
в процессе изучения дисциплины**

<b>Форма контроля</b>	<b>Максимальное количество баллов</b>
Контрольная работа №1	10
Контрольная работа №2	10
Модульный контроль	30
Экзамен	50

**Шкала соответствия баллов национальной шкале**

<b>Оценка по шкале ECTS</b>	<b>Оценка по 100-балльной шкале</b>	<b>Оценка по государственной шкале (экзамен, дифференцированный зачет)</b>	<b>Оценка по государственной шкале (зачет)</b>
<b>A</b>	90-100	5 (отлично)	зачтено
<b>B</b>	80-89	4 (хорошо)	зачтено
<b>C</b>	75-79	4 (хорошо)	зачтено
<b>D</b>	70-74	3 (удовлетворительно)	зачтено
<b>E</b>	60-69	3 (удовлетворительно)	зачтено
<b>FX</b>	35-59	2 (неудовлетворительно) с возможностью повторной сдачи	не зачтено
<b>F</b>	0-34	2 (неудовлетворительно) с возможностью повторной сдачи при условии обязательного набора дополнительных баллов	не зачтено

**Экзамен оценивается в 50 баллов.**

Для оценки экзамена преподаватель руководствуется следующими принципами:

**50 баллов** – показаны систематические и глубокие знания при ответе на теоретические вопросы билета, выполнена практическая часть билета в полном объеме;

**45 баллов** – показаны систематические и глубокие знания при ответе на теоретические вопросы билета, выполнена практическая часть билета в полном объеме, но при ответе допущены несущественные ошибки;

**40 баллов** – показаны не систематические и не глубокие знания при ответе на теоретические вопросы билета, практическая часть билета выполнена не в полном объеме, при ответе допущено несколько существенных ошибок;

**30 баллов** – показаны поверхностные знания при ответе на теоретические вопросы билета, практическая часть билета не выполнена, при ответе допущено много существенных ошибок;

**20 баллов** – показаны очень поверхностные знания, даны частичные ответы на простые вопросы по знанию основных определений и формул, воспроизведены отдельные фрагменты материала с помощью экзаменатора;

**10 баллов** – показаны очень поверхностные знания, даны частичные ответы на простые вопросы по знанию основных определений и формул, не воспроизведены отдельные фрагменты материала с помощью экзаменатора;

**0** – полное незнание материала.

### 13. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА.

Лекционные занятия проводятся в аудитории, оснащенной мультимедийной техникой и доской. Практические занятия проводятся в компьютерном классе, оборудованном компьютерами с лицензионным программным обеспечением, доступом к сети Интернет, столами, доской.

### 14. РЕКОМЕНДОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

№ п/п	Наименование	Кол-во экземпляров в библиотеке ДонНУ	Наличие электронной версии в ЭБС
<i>Основная литература</i>			
1.	Г.Кейн. Современная физика элементарных частиц. [Электронный ресурс] М: Мир, 1990. – 360 с. Электронные данные, URL: <a href="https://www.twirpx.com/file/972518/">https://www.twirpx.com/file/972518/</a> (в свободном доступе)	-	+
2.	А. И. Ахиезер, М.П.Рекало. Биография элементарных частиц [Электронный ресурс]. К: Наукова думка, 1979. –264 с. Электронные данные, URL: <a href="https://www.twirpx.com/file/274503/">https://www.twirpx.com/file/274503/</a> (в свободном доступе)	-	+
3.	Б.С. Ишханов, И.М. Капитонов, Н.П. Юдин. Частицы и атомные ядра: Учебник для вузов [Электронный ресурс] - 2-е изд.,испр.и доп. - М.: Издательство ЛКИ, 2007. - 584с. Электронные данные, URL:	-	+

	<a href="https://www.twirpx.com/file/1701896/">https://www.twirpx.com/file/1701896/</a> (в свободном доступе)		
4.	С. М. Биленький Массы, смешивание и осцилляции нейтрино // УФН. — 2003. — Т. 173. — С. 1171—1186. Электронные данные, URL: <a href="https://www.ufn.ru/ru/articles/2003/11/b/">https://www.ufn.ru/ru/articles/2003/11/b/</a> (в свободном доступе)	-	+
<i><b>Дополнительная литература</b></i>			
5.	И.Ф. Гинзбург Нерешённые проблемы фундаментальной физики (рус.) // Успехи физических наук. — 2009. — Т. 179. — С. 525–529. Электронные данные, URL: <a href="https://www.ufn.ru/ru/articles/2009/5/d/">https://www.ufn.ru/ru/articles/2009/5/d/</a> (в свободном доступе)	-	+
6.	Ю. Г. Куденко Наблюдение осцилляций мюонных нейтрино в электронные нейтрино в эксперименте T2K // УФН. — 2013. — Т. 183. — С. 1225–1230. Электронные данные, URL: <a href="https://www.ufn.ru/ru/articles/2013/11/d/">https://www.ufn.ru/ru/articles/2013/11/d/</a> (в свободном доступе)	-	+

## 15. ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ

1. Сайт ГОУ ВПО «ДонНУ», URL: <http://donnu.ru/> (дата обращения 15.04.2019)
2. Библиотека ГОУ ВПО «ДонНУ», URL: <http://library.donnu.ru/> (дата обращения 15.04.2019)
3. Научная библиотека, URL: <http://elibrary.ru> (дата обращения 15.12.2018)
4. МОН ДНР, URL: <http://mondnr.ru/> (дата обращения 20.05.2019)
5. Документация по работе с языком R, URL: <https://cran.r-project.org/manuals.html> (дата обращения 03.01.2017)

## 16. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

1. Windows 7 PRO (корпоративная лицензия ДОННУ № 46484614);
2. Microsoft Office (корпоративная лицензия ДОННУ лицензия № 46472919);
3. Microsoft Visual Studio (лицензия программы DreamSpark для высших учебных заведений);
4. Kaspersky Antivirus Free (лицензия Kaspersky Antivirus EULA);
5. Adobe Acrobat Reader (лицензия Adobe EULA).
6. Язык R – свободная программная среда для статистических вычислений и графики (open source, лицензия GNU GPL 2).

Рабочая программа рассмотрена и переутверждена на заседании кафедры общей физики и дидактики физики с изменениями (без изменений) на 20\_\_\_\_ учебный год.

Протокол № \_\_\_\_ от “ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Зав. кафедрой

Н. Г. Малюк

Рабочая программа рассмотрена и переутверждена на заседании кафедры общей физики и дидактики физики с изменениями (без изменений) на 20\_\_\_\_ учебный год.

Протокол № \_\_\_\_ от “ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Зав. кафедрой

Н. Г. Малюк

Рабочая программа рассмотрена и переутверждена на заседании кафедры общей физики и дидактики физики с изменениями (без изменений) на 20\_\_\_\_ учебный год.

Протокол № \_\_\_\_ от “ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Зав. кафедрой

Н. Г. Малюк