21 12 3

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра общей физики и дидактики физики

УТВЕРЖДАЮ:
Проректор по научно-методической
и учебной работе
_____ Е.И. Скафа
«__21__» ____декабря____ 2016 г.
МП

Рабочая программа учебной дисциплины

«ФИЗИКА ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ»

Направление подготовки: **03.04.02** Физика

Профиль подготовки: _____

Образовательный уровень выпускника: Магистр

Форма обучения: очная

Донецк 2016

УТВЕРЖДАЮ:
Декан физико-технического
факультета
_____Малюк Н.Г.
"16" декабря 2016 г.

Программа учебной дисциплины «Физика высоких энергий» составлена на основе ГОС ВПО по направлению подготовки 03.04.02«Физика» утверждённого приказом Министерства образования и науки ДНР «4» апреля 2016 г. №300» и «Положения об организации учебного процесса в образовательных организациях высшего профессионального образования Донецкой Народной Республики», утверждённого приказом Министерства образования и науки ДНР «30» октября 2015 г. №750.

Разработчики:
Д.ф.-м.н, профессор кафедры
теоретической физики и нанотехнологий Милославский А.Г.

К.ф.-м.н, доцент кафедры
общей физики и дидактики физики Безус А.В.

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

Протокол № 5 от «17» ноября 2016 г.

Зав. кафедры общей физики и дидактики физики Бешевли Б.И.

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

Протокол № 4 от «14» декабря 2016 г.

Председатель учебно-методической
комиссии факультета Котенко В.Н.

Область применения и место дисциплины в учебном процессе: Учебная дисциплина «Физика высоких энергий» является вариативной частью профессионального блока дисциплин подготовки студентов по направлению подготовки 03.04.02 Физика.

Основывается на базе дисциплин предыдущего уровня образования: «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».

Является основой для изучения сопутствующих дисциплин: «Методология и методы научных исследований», «Современные нанотехнологии», а также последующего изучения дисциплин: «Компьютерное моделирование в физике / Современные компьютерные технологии», «Современные проблемы науки и образования / Современные проблемы науки и техники».

1. Нормативные ссылки *(при необходимости)*

2. Структура дисциплины *(модуля)*

Характеристика учебной дисциплины	очная форма обучения на базе		*заочная форма обучения на базе		
	ВПО	ВПО (ускор.)	ВПО	ВПО (ускор.)	ВПО (ускор.)
Образовательный уровень:	Магистр				
Направление подготовки	03.04.02 Физика				
Профиль	Общий				
Количество содержательных модулей (тем)	2				
Дисциплина базовой / вариативной части образовательной программы [1]	**Профессиональный блок,** Вариативная часть				
Формы контроля	**текущие (модульный контроль) и промежуточная аттестация (экзамен)*				
Показатели	очная форма обучения на базе		*заочная форма обучения на базе		
	ВПО	**ВПО (ускор.)*	ВПО	ВПО (ускор.)	ВПО (ускор.)
Количество зачетных единиц (кредитов)	6				
Количество часов	216				
Год подготовки	1				
Семестр	1				
Количество часов					
- лекционных	36				
- практических, семинарских	18				
- лабораторных					
- самостоятельной работы	162				

в т.ч. индивидуальное задание					
Недельное количество часов, в т.ч.	3				
аудиторных	3				

ОСО – общее среднее образование
СПО – среднее профессиональное образование
ВПО – высшее профессиональное образование
1- в соответствии с ООП (основной образовательной программой)

3. Описание дисциплины (*модуля*)

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 взаимодействий, 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 направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ГОС ВПО по данному направлению подготовки (профилю):

а) ***общекультурных (ОК):***

– способностью использовать основы философских знаний для формирования мировоззренческой позиции (ОК-1);

– способностью анализировать основные этапы и закономерности исторического развития общества для формирования гражданской позиции (ОК-2);

– способностью использовать основы экономических знаний в различных сферах жизнедеятельности (ОК-3);

– способностью использовать основы правовых знаний в различных сферах жизнедеятельности (ОК-4);

– способностью к коммуникации в устной и письменной формах на русском, украинском и иностранном языках для решения задач межличностного и межкультурного взаимодействия (ОК-5);

– способностью работать в коллективе, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия (ОК-6);

– способностью к самоорганизации и самообразованию (ОК-7);

– способностью использовать методы и средства физической культуры для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности (ОК-8);

– способностью использовать приемы первой помощи, методы защиты в условиях чрезвычайных ситуаций (ОК-9).

б) ***общепрофессиональными компетенциями (ОПК):***

– способностью использовать в профессиональной деятельности базовые естественнонаучные знания, включая знания о предмете и объектах изучения, методах исследования, современных концепциях, достижениях и ограничениях естественных наук (прежде всего химии, биологии, экологии, наук о земле и человеке) (ОПК-1);

– способностью использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей (ОПК-2);

– способностью использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач (ОПК-3);

– способностью понимать сущность и значение информации в развитии современного общества, осознавать опасность и угрозу, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности (ОПК-4);

– способностью использовать основные методы, способы и средства получения, хранения, переработки информации и навыки работы с компьютером как со средством управления информацией (ОПК-5);

– способностью решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности (ОПК-6);

– способностью использовать в своей профессиональной деятельности знание иностранного языка (ОПК-7);

– способностью критически переосмысливать накопленный опыт, изменять при необходимости направление своей деятельности (ОПК-8);

– способностью получить организационно-управленческие навыки при работе в научных группах и других малых коллективах исполнителей (ОПК-9).

б) ***профессиональных (ПК):***

научно-исследовательская и проектная деятельность:

– способностью использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин (ПК-1);

– способностью проводить научные исследования 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 (ПК-2);

научно-инновационная деятельность:

– готовностью применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований (ПК-3);

– способностью применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин (ПК-4);

– способностью пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области физических исследований (ПК-5);

организационно-управленческая деятельность:

– способностью понимать и использовать на практике теоретические основы организации и планирования физических исследований (ПК-6);

– способностью участвовать в подготовке и составлении научной документации по установленной форме (ПК-7);

– способностью понимать и применять на практике методы управления в сфере природопользования (ПК-8);

педагогическая и просветительская деятельность:

– способностью проектировать, организовывать и анализировать педагогическую деятельность, обеспечивая последовательность изложения материала и междисциплинарные связи физики с другими дисциплинами (ПК-9).

– способностью методически грамотно планировать лекционные и практические занятия по разделам учебных дисциплин и публично излагать теоретические и практические разделы учебных дисциплин в соответствии с утвержденными учебно-методическими пособиями (ПК-10).

В результате изучения модуля 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 (модуля) 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 экспериментом.

В учебном процессе широко применяются активные и интерактивные формы проведения занятий (разбор конкретных ситуаций, дискуссия, полемика), внеаудиторная самостоятельная работа, балльно-рейтинговая система оценки успеваемости, личностно-

ориентированное обучение, проблемное обучение, блочно-модульное обучение.

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; лабораторные работы.

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.

Порядковый номер, тема	**Краткое содержание темы**
Содержательный модуль 1	
Тема 1. Ранний период физики элементарных частиц.	Электрон, протон, фотон. Окрытие нейтрона. Модель атомного ядра Гейзенберга-Иваненко. Нуклон–нуклонные взаимодействия. Мезонная теория Юкавы. Кванты сильного взаимодействия. Пионы и их основные свойства. Нейтральные π-мезоны. Аномальные магнитные моменты протона и нейтрона. Мюоны. Особенности взаимодействия π-мезонов и μ-мезонов с ядрами. Двухмезонные теории. Открытие заряженных $\pi^{\pm}$-мезонов (Пауэл). Открытие π^{0}-мезонов. Физика космических лучей.
Тема 2. 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 π-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 Λ^{0}, $\Sigma^{\pm}$, Σ^{0}, $\Xi^{\pm}$, Ξ^{0}; и Ω^{-}. Странность. Закон сохранения странности в сильных и электромагнитных процессах. Гиперзаряд. Правило Накано-Нишиджимы-Гелл-Манна.
Тема 3. Локальная калибровочная инвариантность.	Калибровочные поля. (Глобальные калибровочные превращения. Инвариантность относительно глобальных калибровочных првращений 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).
Тема 4. Составные	Модель Ферми-Янга. Модель Сакаты: выбор фундаментальных частиц, формулирование в рамках теории трехмерной унитарной

модели адронов.	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.
Тема 5. Квантовая хромодинамика.	Кварки. Квантовые числа кварков. Трехкварковая модель Гелл-Манна–Цвейга: октеты и синглеты мезонов; декуплеты, октеты и синглеты барионов. Тррехкварковая модель с учетом спина. Модель SU(6). Магнитные моменты барионов. Статистика кварков (Хан–Намбу, Фройнд, Миямото, Боголюбов–Струминский–Тавхелидзе). Ароматы и цвета кварков. Симметрия $SU(3)_c$ (Гелл-Манн–Фритч–Лейтвайлер, Вайнберг). Мезонные и барионные состояния как цветовые синглеты группы $SU(3)_c$. Тжелые кварки. Чармированный кварк: гипотеза Глешоу–Илиопулоса–Майаны, открытие *J/Ψ*–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 существоввания кварков: исследования при глубоком неупругом рассеянии электронов нуклонами, партоны и партонная модель (Фейнман), распад π^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 $SU(3)_c$, закон сохранения цветового заряда. Инвариантность относительно локальных калибровочных превращений группы $SU(3)_c$: неабелевы калибровочные поля, самодействие, кванты калибровочных полей, характеристики глюонов. Лагранжиан квантовой хромодинамики. Понятие об асимптотичной свободе и конфайнмент кварков. Двух– и трехтоковые процессы.
Содержательный модуль 2	
Тема 6. 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 антинейтрино: основные характеристики, трудности экспериментальной регистрации, непрямые (Лейпунский, Аллен) и прямые (Коуэн, Райнес) экспериментальные доказательства существования. Отлдичие нейтрино от антинейтрино, экспериментальное подтверждение (Девис). Экспериментальные доказательства существования нейтрино (Коуэн, Рэйнес). Операция пространсвенной инверсии. Симметрия относительно операции пространсвенной инверсии. Парность. Внутренняя парноість элементарных частиц (фотон, дейтрон, π^0- и $\pi^{\pm}$-мезоны). (τ–θ) 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 ν_e і ν_μ (Ледерман, Шварц). τ-лептон и τ-нейтрино. Лептонные заряды. Закон сохранения лептонного заряда. Проблема солнечных нейтрино. Гипотеза о нейтринной осциляции. 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 спряжение. CP- и CPT-инвариантность.
Тема 7. Спонтанное нарушение симметрии.	Гоулдстоновские бозоны. Механизм Хиггса генерации масс частиц. Спонтанное нарушение локальной калибровочной симметрии SU(2). Массивные поля Янга-Миллса.
Тема 8. Стандартная модель Вайнберга–Салама.	Модель Вайнберга–Салама.
Тема 9. Методы детектирования частиц.	Сцинтилляционные счётчики. Полупроводниковые детекторы. Пороговые и дифференциальные черенковские счётчики. Детекторы переходного излучения. Электромагнитные и адронные калориметры. Пропорциональные, дрейфовые и время-проекционные камеры.
Тема 10. Исследовательские программы настоящего и ближайшего будущего.	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.

Тематический план (*заполняется согласно учебному плану)*

Содержательный модуль 1																							
Названия содержательных модулей и тем	**Количество часов**																						
	Очная форма						**Заочная форма**																
							на базе общего среднего образования						**на базе среднего профессионального образования**						**на базе высшего профессионального образования**				
	всего	В Т.Ч.					всего	В Т.Ч.					всего	В Т.Ч.					всего	В Т.Ч.			
		лекции	практические	лабораторные	самостоятельная работа	индивидуальная работа		лекции	практические	лабораторные	самостоятельная работа	индивидуальная работа		лекции	практические	лабораторные	самостоятельная работа	индивидуальная работа		лекции	практические	самостоятельная работа	индивидуальная работа
Тема 1. Ранний период физики элементарных частиц.	19	3			16																		
Тема 2. Процессы сильного взаимодействия.	21	3	2		16																		
Тема 3. Локальная калибровочная инвариантность.	22	4	2		16																		
Тема 4. Составные модели адронов.	22	4	2		16																		
Тема 5. Квантовая хромодинамика.	24	4	3		17																		
Итого по содержательному модулю 1	108	18	9		81																		

Содержательный модуль 2																							
Названия содержательных модулей и тем	**Количество часов**																						
	Очная форма						**Заочная форма**																
							на базе общего среднего образования						**на базе среднего профессионального образования**						**на базе высшего профессионального образования**				
	всего	В Т.Ч.					всего	В Т.Ч.					всего	В Т.Ч.					всего	В Т.Ч.			
		лекции	практические	лабораторные	самостоятельная работа	индивидуальная работа		лекции	практические	лабораторные	самостоятельная работа	индивидуальная работа		лекции	практические	лабораторные	самостоятельная работа	индивидуальная работа		лекции	практические	самостоятельная работа	индивидуальная работа
Тема 6. Процессы слабого взаимодействия.	22	3	3		16																		
Тема 7. Спонтанное нарушение симметрии.	22	4	2		16																		
Тема 8. Стандартная модель Вайнберга–Салама.	22	4	2		16																		
Тема 9. Методы детектирования частиц.	22	4	2		16																		
Тема 10. Исследовательские программы настоящего и ближайшего будущего.	20	3			17																		

Итого по содержательному модулю 2	108	18	9		81																			
Всего часов по модулю	216	36	18		162																			

6. Темы семинарских занятий.

Семинарские занятия не предусмотрены учебным планом.

7. Темы практических занятий.

№	Название темы
1	Процессы сильного взаимодействия.
2	Локальная калибровочная инвариантность.
3	Составные модели адронов.
4	Квантовая хромодинамика.
5	Процессы слабого взаимодействия.
6	Спонтанное нарушение симметрии.
7	Модель Вайнберга–Салама.
8	Методы детектирования частиц.

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.
2. В пучке присутствуют μ и π-мезоны с одинаковым импульсом p = 1 ГэВ/с. Найти интервал, в котором должен находиться коэффициент преломления вещества радиатора черенковского счётчика, чтобы регистрировать только μ-мезоны.
3. Ускоритель дейтронов имеет радиус r=10 м. Импульс дейтронов p=2 ГэВ/с. Найти напряжённость магнитного поля и частоту ускоряющего электрического поля.
4. В пучке π-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 π-мезонов и электронов?
5. Выразить массу протона 938,28 МэВ в граммах. 1 эВ = 1,602 * 10^{-19} Дж
6. Выразить 1 а.е.м. 1,67 10^{-24} г в энергетических единицах. 1 эВ = 1,602 * 10^{-19} Дж
7. Возможен ли распад $\Sigma^0 \to \Lambda + \pi^0$?. Если да, то за счет каких сил он происходит?
8. Обосновать возможность или невозможность распада $\Omega^- \to \Xi^- + \overline{K}^0$
9. За счет какого взаимодействия происходят (если это действительно имеет место) распады $\Delta^+ \to p + \gamma$, $\Delta^+ \to p + \pi^0$?
10. Выбрать реакцию, которая действительно происходит и обосновать ответ: $p + p \to p + \Sigma^+ + K^0$, $p + p \to p + \Sigma^+ + \pi^0$
11. За счет какого взаимодействия происходит распад $\mu^- \to e^- + \nu_\mu + \overline{\nu}_e$? Какие законы сохранения выполняются?
12. Происходит ли на самом деле реакция $\nu_e + \to p + e^-$? Если да, то какие законы сохранения выполняются?
13. Выбрать реакцию, которая действительно происходит и обосновать выбор с точки зрения кваркового строения частиц: $p + p \to p + p + \pi^+$, $p + p \to p + p + \pi^0$
14. Выбрать разрешенную реакцию и обосновать выбор, используя законы сохранения: $p + n \to \pi^+ + \pi^0$, $p + p \to p + n + K^+ + \overline{K}^0$.
15. Покажите, что для реакции фоторождения ϕ-мезона на покоящемся протоне (т. е. реакции γ + p → ϕ+ p) лабораторный импульс рожденного ϕ-мезона (в приближении равенства масс протона и ϕ-мезона: $m_p \approx m_\phi \equiv M$) на пороге равен примерно 3M/4 ≈

750 МэВ/с. Как будет выглядеть на пороге угловое распределение рожденных ϕ-мезонов? Под каким углом в л.с. по отношению к направлению импульса фотона будут они вылетать?

16. Дайте ответы на вопросы (Рис.1):

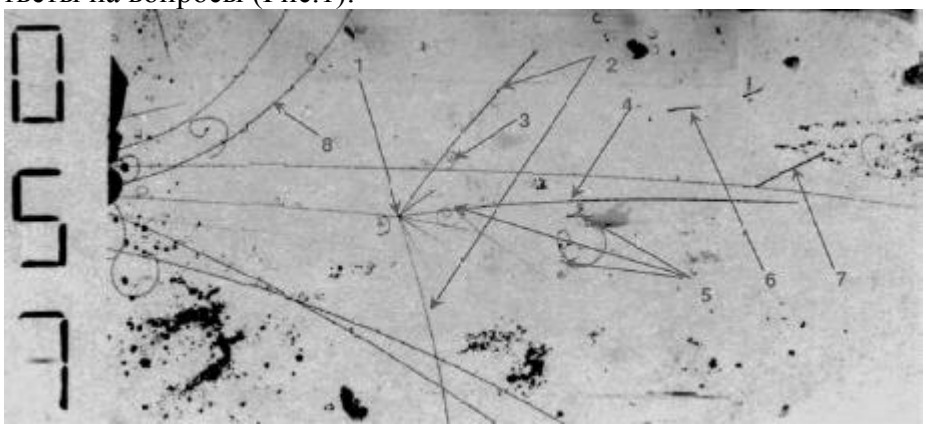

Рис. 1. Регистрация событий: пример. Фото с пузырьковой водородной камеры длиной (по пучку) 1 м.

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. Что произошло на этом кадре? Опишите качественно. (Рис.2)

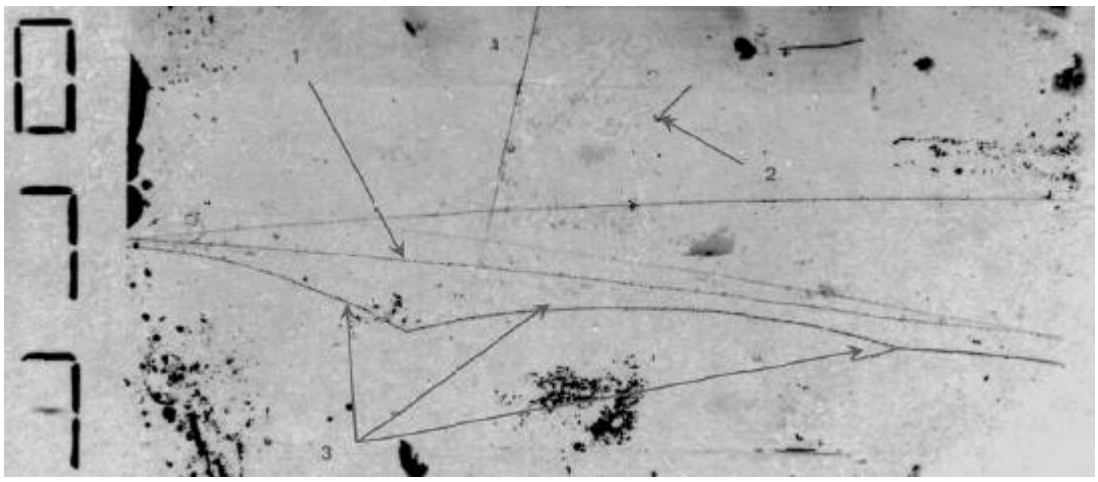

Рис. 2. Регистрация событий: пример второй. Та же пузырьковая камера.

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

18. Регистрация событий (Рис.3).

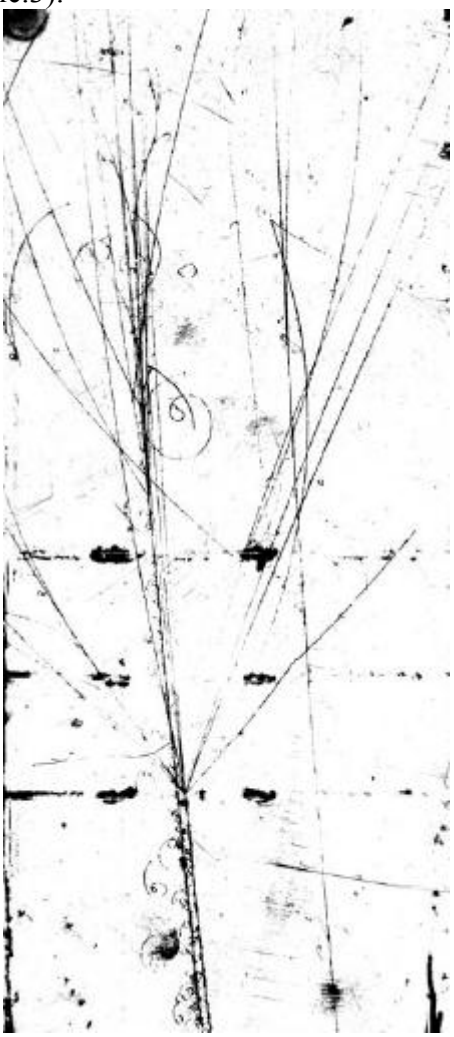

Рис. 3. Пропановая пузырьковая камера с 3-мя танталовыми пластинами-мишенями.

1. Найдите на снимке дельта-электроны, далицевские электрон-позитронные пары.
2. Попытайтесь 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.

8. Темы лабораторных занятий

Лабораторные занятия не предусмотрены учебным планом.

9. Самостоятельная работа.

Самостоятельная работа студентов предусматривает проработку теоретических основ прослушанного лекционного материала; изучение отдельных тем и вопросов, запланированных для самостоятельного изучения; изучение учебной и методической литературы; составление конспектов; решение задач; систематизацию изученного материала перед модульным контролем и экзаменом.

Самостоятельная работа. №	**Название темы**
1	Изотопическая (зарядовая) инвариантность сильного взаимодействия. Формализм изоспина. SU(2)– и SU(3)–симметрии, матрицы Паули и

	Гелл-Манна.
2	Процессы πN–рассеяния и соотношения между их сечениями.
3	Электромагнитное поле как калибровочное векторное безмассове поле.
4	Модель Сакаты: псевдоскалярный октет и синглет мезонов, векторный октет и синглет мезонов, проблема барионных состояний.
5	Гипотеза унитарной симметрии. Супермультиплеты (унитарные мультиплеты). Нарушение унитарной симметрии и массовые формулы для мезонов. Массовые формулы Окубо-Гелл-Манна.
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.
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).
8	Квантовая хромодинамика. Глюоны.
9	Уравнение Вейля. Спиральность. Теория двухкомпонентного нейтрино.
10	Трансформационные свойства уравнения Дирака. Билинейные инварианты, их поведение при пространственной инверсии. V–A форма слабого взаимодействия.
11	Спонтанное нарушение локальной калибровочной симметрии SU(2). Массивные калибровочные бозоны. Бозон Хиггса. Масса фермионов.
12	Стандартная модель Вайнберга–Салама для слабого и электромагнитного взаимодействий: лептонный сектор. Обобщение на электрослабое взаимодействие кварков. Основные результаты.

10. Индивидуальные задания

Индивидуальные задания не предусмотрены учебным планом.

11. Контрольные вопросы

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)$\Delta^* \to p + \pi$ (время жизни бариона Δ^{*}: $\tau_{\Delta^{*}} = 6 \cdot 10^{-24}$ с); 2)$K^+ \to \mu^+ + \nu_\mu$; 3)$\eta \to \gamma + \gamma$ (K^+, π и η – 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 Ω^--бариона $\Omega^- \to \Xi^0 + x$, если барион Ξ^0 имеет массу 1315 МэВ, странность S = –2 и нулевой электрический заряд. Масса Ω^--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_μ, L_τ, какой из распадов мюона будет иметь место: $\mu^- \to e^- + \gamma$ или $\mu^- \to e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$.
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.

12.Образец экзаменационного билета

Министерство образования и науки ДНР
ГОУ ВПО ***«Донецкий национальный университет»***

Образовательный уровень *магистр*
Факультет физико-технический
Направление подготовки: **03.04.02 ФИЗИКА**
Семестр 1 Кафедра общей физики и дидактики физики
Учебная дисциплина ***«Физика высоких энергий»***

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

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

Утверждено на заседании кафедры ***общей физики и дидактики физики***
протокол № __ от " __" _____ года
заведующий кафедрой _____ ***Бешевли Б.И.***
экзаменатор _____ ***Безус А.В.***

14. Критерии оценивания

(Разрабатываются и утверждаются кафедрой на основе Положения ДонНУ)

Согласно модульному принципу организации учебного процесса содержание учебных курсов по общей физике состоит из двух содержательных модулей. Каждый содержательный модуль состоит из теоретического материала и практических задач, выполнение которых требует овладения теорией в указанном в модуле объеме.

Содержательные модули	Форма контроля	Баллы
Содержательный модуль 1	Теория	15
	Контрольная работа	10
Содержательный модуль 2	Теория	15
	Контрольная работа	10
Экзамен		50
Общий итог		100

Для оценивания академической успеваемости обучающихся используется шкала оценивания, рекомендованная приказом МОН ДНР от 30.10.2015г. № 750:

Оценка по шкале ECTS	Оценка по 100-балльной шкале	Оценка по государственной шкале (экзамен, дифференцированный зачет)	Оценка по государственной шкале (зачет)
A	90-100	5 (отлично)	зачтено
B	80-89	4 (хорошо)	зачтено
C	75-79	4 (хорошо)	зачтено
D	70-74	3 (удовлетворительно)	зачтено
E	60-69	3 (удовлетворительно)	зачтено

FX	35-59	2 (неудовлетворительно) с возможностью повторной сдачи	не зачтено
F	0-34	2 (неудовлетворительно) с возможностью повторной сдачи при условии обязательного набора дополнительных баллов	не зачтено

Знание теоретической части курса оценивается по следующим критериям:

1. Студент получает 75-100% баллов от максимального, если показал

■ глубокие и полные ответы на теоретические вопросы; глубокое понимание физической сущности проблемы;

■ умение проводить логические рассуждения и обобщения и сопровождать их соответствующими доказательствами;

2. Студент получает 60-74% баллов от максимального, если показал

■ глубокие и полные ответы на теоретические вопросы с незначительными погрешностями, затем исправленными самим студентом; понимание физической сущности рассматриваемых проблем;

■ умение логически рассуждать и проводить доказательства;

3. Студент получает 35-59% баллов от максимального, если показал

■ при ответе на теоретические вопросы ряд неточностей, которые студент не в состоянии самостоятельно исправить;

4. Студент получает 0-34% баллов от максимального, если

■ не выполнены требования, изложенные в предыдущих пунктах;

■ нет ответов на теоретические вопросы.

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.

15. Материально-техническое обеспечение учебного процесса

1. Для проведения **лекционных занятий** требуется аудитория на группу, оборудованная меловой или интерактивной доской.

2. Для обеспечения **практических занятий** требуется аудитория на группу, оборудованная меловой или интерактивной доской.

3. Выход в Интернет.
4. Wi-Fi доступ в корпусах университета.
5. Текстовые и электронные ресурсы Научной библиотеки университета.
6. Стенды.

16. Рекомендованная литература

Основная литература

1. Г.Кейн. Современная физика элементарных частиц. М., Мир, 1990.
2. А. И. Ахиезер, М.П.Рекало. Биография элементарных частиц. К., Наукова думка, 1979.
3. Современное естествознание: Энциклопедия: в 10 томах. Физика элементарных частиц. Астрофизика. Т.4. под ред. Ю.А.Пашковского. М., Издательский Дом МАГИСТР-ПРЕСС, 2000.
4. Ишханов Б.С. Частицы и атомные ядра: Учебник для вузов / Ишханов Борис Саркисович, Капитонов Игорь Михайлович, Юдин Николай Прокофьевич. - 2-е изд.,испр.и доп. - М.: Издательство ЛКИ, 2007. - 584с.
5. Элементарные частицы. под ред А.Д.Суханова. М., Наука, 1973.
6. Г.В.Клапдор-Клайнгротхаус, К.Цюбер. Астрофизика элементарных частиц. М., ж."Успехи физических наук", 2000.
7. К.Групен. детекторы элементарных частиц. Н., Сибирский хронограф, 1999.
8. Л. Б. Окунь. Лептоны и кварки. М., Наука, 1990.
9. Л. Б. Окунь. Слабое взаимодействие элементарных частиц. М., Физматгиз, 1963.
10. Е.Намбу. Кварки. М., Мир, 1984.
11. Проблемы ядерной физики и физики элементарных частиц. сб. статей посв. А.И.Алеханова. М., Наука, 1975.
12. С.Огава, С.Савада, М.Накагава. Составные модели элементарных частиц. М., Мир, 1983.
13. Т.В.Шишкина, Н.М.Шумейко. Физика элементарных частиц. М., БГУ, 2002.
14. Р.Фейнман, С.Вайнберг. Элементарные частицы и законы физики. М., Мир, 2000.
15. А.А. Воробьев, Н.С. Руденко, В.И. Сметанин. Техника искровых камер. М., Атомиздат, 1978.
16. А.Т. Ситенко, В.К. Тарковский. Лекции по теории ядра. М., Атомиздат, 1972.
17. Альфа-, бета-, гамма - спектроскопия. Под ред. К. Зигбана. М., Атомиздат, 1969.
18. В.Г. Соловьев. Теория атомного ядра. Ядерные модели. М., Энергоиздат, 1981.
19. В.И. Калашникова, М.С. Козадаев. Детекторы элементарных частиц. М., Наука, 1966.
20. Ф. Бони, Введение в физику ядра, адронов и элементарных частиц. М., Мир. 1999.
21. К.Н. Мухин. Экспериментальная ядерная физика. Т.1, 2. М., Энергоатомиздат. 1993.

Дополнительная литература

1. В.А.Григорьев и др. Электронные методы ядерно-физического эксперимента. Энергоатомиздат, 1988.
2. В.А.Смирнов. Средства организации систем сбора данных. ЭЧАЯ, т. 28б, вып. 5, стр. 1295, 1997.
3. Ю.М.Адо. Ускорители заряженных частиц. УФН, т.145, №1, стр. 87.
4. В.П. Карташов, В.И. Котов. Основные методы в оптике пучков заряженных частиц. М., 1984 г.
5. B.Dolgoshein. Transition radiation detectors. NIM, A326, p. 434, (1993).
6. В.Д.Пешехонов. Методика координатных газонаполненных детекторов… ЭЧАЯ, т. 17, в. 5, стр. 1030, (1986).
7. В.А.Бедняков и др. Лаборатория ядерных проблем им. В.П.Джелепова. На рубеже тысячелетий. ЭЧАЯ, т. 32, вып. 3, стр. 514, 2002.
8. Бом Д. Квантовая теория. 2-е изд.,испр. - М.: Госиздат физико-математической

литера-туры, 1965.
9. И.Ф. Гинзбург Нерешённые проблемы фундаментальной физики (рус.) // Успехи физических наук. — 2009. — Т. 179. — С. 525–529.
10. Лукаш В. Н., Михеева Е. В. Тёмная материя: от начальных условий до образования структуры Вселенной, УФН 177 1023—1028 (2007).
11. С. М. Биленький Массы, смешивание и осцилляции нейтрино // УФН. — 2003. —Т. 173. — С. 1171—1186.
12. Ю. Г. Куденко Наблюдение осцилляций мюонных нейтрино в электронные нейтрино в эксперименте Т2К // УФН. — 2013. — Т. 183. — С. 1225–1230.

Периодические издания:

1. Успехи физических наук. / Учредитель: РАН; Гл.ред. Л.В.Келдыш. М.: Основан в 1918 году. См. электронные версии статей: http://ufn.ru/ru/arti cles/.
2. Ядерная физика. / Учредитель: РАН; Гл.ред. Ю.Г. Абов. - М. : Наука. - Основан в 1965 году.
3. ЭЧАЯ (Элементарные частицы и атомные ядра). / Научный обзорный журнал. Основан ОИЯИ в 1970 г.

17. Информационные ресурсы

1. http://donnu.ru/ – сайт ДонНУ.
2. http://library.donnu.ru/ – сайт библиотеки ДонНУ.
3. http://nuclphys/npi.msu.ru/spargalka/ – Б.С. Ишханов, Э.И. Кебин. Шпаргалка. Основные вопросы по курсу „Физика ядра и частиц”
4. http://nuclphys/npi.msu.ru – Лекции профессора Б.С Ишханова «Частицы и атомные ядра».
5. http://www.edu.ru/ – Федеральный портал «Российское образование».
6. http://fizkaf.narod.ru – кафедра и лаборатория физики Московского института открытого образования.
7. http://experiment.edu.ru – естественнонаучные эксперименты – Физика: Коллекция Российского общеобразовательного портала.
8. http://www.edu.delfa.net – кабинет физики Санкт-Петербургской академии постдипломного педагогического образования.
9. http://genphys.phys.msu.ru – сайт кафедры общей физики физфака МГУ.
10. http://iatephysics.narod.ru/knowhow/knowhow7.htm – правила выполнения измерений и построения графиков.
11. http://www.phys.spb.ru – сайт физического факультета СпбГУ.

18. Программное обеспечение (при наличии)

Рабочая программа рассмотрена и переутверждена на заседании кафедры с изменениями (без изменений) на 2017 год. Протокол заседания кафедры № 1 от 28.08.17.
Зав. кафедрой _____

Рабочая программа рассмотрена и переутверждена на заседании кафедры с изменениями (без изменений) на 2018/2019 год. Протокол заседания кафедры N1 от 30.08.18
Зав. кафедрой _____ Малинк Н.Т.