

**Белорусский государственный университет**

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по учебной работе  
и образовательным инновациям

О.И. Чуприс

Регистрационный № УД- 6334 /уч.

**СОВРЕМЕННЫЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ**

Учебная программа учреждения высшего образования  
по учебной дисциплине для специальности  
1-31 04 06 Ядерные физика и технологии

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 04 06-2013 и учебного плана № G-31-142/уч от 30.05.2013 г., № G-31и-142/уч от 30.05.2013 г.

### **СОСТАВИТЕЛИ:**

**А.С.Лобко**, заместитель директора по научной работе НИУ «Институт ядерных проблем» Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, доцент;

**А.И.Тимощенко**, заведующий кафедрой ядерной физики Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент;

**В.А. Мечинский**, старший научный сотрудник НИУ «Институт ядерных проблем» Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук;

**В.В. Макаренко**, ученый секретарь НИУ «Институт ядерных проблем» Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук;

**Г.Ю.Дробышев**, начальник отдела рентгеновских компонентов департамента технологических инноваций ЗАО «АДАНИ-Технолоджис», кандидат физико-математических наук;

### **РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой ядерной физики физического факультета Белорусского государственного университета  
(протокол № 11 от 24.05.2018 г.);

Советом физического факультета  
(протокол № 11 от 1.06.2018 г.)

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа дисциплины «Современный физический эксперимент» разработана для специализации 1-31 04 06 01 «Ядерная физика и электроника» специальности 1-31 04 06 «Ядерные физика и технологии» первой ступени высшего образования. Настоящая программа разработана на основе учебных программ дисциплин специализации «Современный физический эксперимент» и «Экспериментальная физика высоких энергий» для специализации 1-31 04 06 01 «Ядерная физика и электроника». Программа разработана с учетом соответствующих требований образовательного стандарта специальности 1-31 04 06 «Ядерные физика и технологии» (ОСВО 1-31 04 06-2013).

В настоящее время экспериментальная физика высоких энергий переживает новый период подъема, связанный с работой ряда современных ускорительных комплексов (CERN в Швейцарии, FermiLab в США, NICA в России, DESY в Германии, и др.), и, в первую очередь, с работой ускорительно-накопительного комплекса (УНК) на встречных пучках протонов «Большой адронный коллайдер» (LHC) в международной лаборатории физики частиц CERN. В настоящее время, на базе этого УНК проводится ряд уникальных экспериментальных исследований. Полный цикл экспериментального исследования и последующего анализа полученных результатов в подобных экспериментах составляет порядка 15-20 лет и требует участия больших коллективов ученых-физиков. Кроме того, активно рассматриваются сейчас и будущие перспективные проекты, например комплекс FCC (Будущие кольцевые коллайдеры) и ILC (Международный линейный коллайдер). С другой стороны, научно-технические наработки, созданные в ходе подготовки экспериментов на УНК LHC, стимулировали бурное развитие физики и техники детекторов для прикладных приложений, в первую очередь, для медицинской диагностики. Глубокое понимание принципов создания современной экспериментальной установки для физики высоких энергий, включающей в себя десятки тысяч взаимосвязанных детекторов различной конструкции и назначения, равно как и многодетекторной системы для медицины и медико-биологических исследований, является важной составляющей подготовки специалиста в области ядерной физики.

Научно-исследовательские учреждения Республики Беларусь являются участниками крупнейших международных проектов в физике элементарных частиц – экспериментов CMS и ATLAS на Большом адронном коллайдере в Европейской организации ядерных исследований (CERN), проектов будущих коллайдеров CLIC и FCC, проекта NICA в Объединенном институте ядерных исследований (ОИЯИ) и других. Белорусские специалисты вносят вклад во все этапы подготовки и проведения этих экспериментов, включая разработку технологий ускорения и детектирования частиц, промышленное производство элементов установок, разработку физической программы экспериментов, а также обработку и анализ полученных данных. Белорусские ученые являются полноправными соавторами

как научных открытий, так и новых технологий, созданных при подготовке экспериментов.

В связи со сказанным выше понимание основных принципов подготовки и проведения современных экспериментов в физике элементарных частиц становится важной составляющей подготовки специалиста по специальности «Ядерные физика и технологии».

В данной дисциплине обучающиеся изучат основные принципы планирования и проведения современных экспериментов, методов моделирования наблюдаемых величин в эксперименте и анализа полученных в эксперименте данных. Материал дисциплины основан на базовых знаниях и представлениях, заложенных в общих курсах электромагнетизма, квантовой механики, физики ядра и элементарных частиц и др.

*Цель учебной дисциплины* – сформировать у обучающихся систематические знания в области экспериментальной физики элементарных частиц, в том числе, знание основных методов и аппаратуры для измерения физических характеристик элементарных частиц и их взаимодействий.

*Задачи учебной дисциплины:*

- сформировать знание основных понятий, положений и концепций экспериментальной физики элементарных частиц;
- сформировать представления о физических принципах, лежащих в основе детектирования корпускулярных излучений высоких энергий;
- сформировать количественное понимание основных величин и параметров, используемых при описании процессов в физике высоких энергий;
- сформировать понятия о методах математического описания в физике высоких энергий;
- привить и закрепить базовые навыки Монте-Карло моделирования ядерно-физического эксперимента с использованием пакета библиотек GEANT4.

*Учебный материал дисциплины основан* на базовых знаниях и представлениях, заложенных в дисциплинах цикла общенаучных и общепрофессиональных дисциплин «Математический анализ», «Аналитическая геометрия и линейная алгебра», «Дифференциальные и интегральные уравнения», «Методы математической физики», «Теоретическая механика», «Электродинамика», «Квантовая механика», «Статистическая физика и термодинамика», «Физика ядра и элементарных частиц», дисциплин специальности «Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом», «Методы и устройства регистрации излучений», «Электроника физических установок», а также дисциплин специализации «Ускорители заряженных частиц (сильноточная электроника)» и «Физика электронных пучков».

Перед преподавателем данной дисциплины ставятся следующие задачи:

- ознакомить обучающихся с предметом экспериментальной физики высоких энергий и с физическими принципами детектирования элементарных частиц;
- ознакомить обучающихся с основными этапами планирования и проведения экспериментов в физике элементарных частиц;
- систематически изложить основные сведения по регистрации элементарных частиц, их идентификации, измерении массы, энергии, импульса и других параметров;
- ознакомить обучающихся с основными подходами, применяемыми для моделирования наблюдаемых величин процессов рассеяния в современных экспериментах на ускорителях элементарных частиц;
- ознакомить обучающихся с основными подходами к анализу данных в современных ускорительных экспериментах;
- способствовать развитию научного мировоззрения обучающихся.

Из множества эффективных педагогических методик и технологий, которые способствуют вовлечению обучающихся в поиск и управление знаниями, приобретению опыта самостоятельного решения разнообразных задач, следует выделить:

- технологии проблемно-модульного обучения;
- технологии научно-исследовательской деятельности;
- проблемно-ориентированный междисциплинарный подход;
- интенсивное обучение;
- моделирование проблемных ситуаций и их решение.

Для формирования современных социально-профессиональных компетенций выпускника вуза в практику проведения занятий целесообразно внедрять методики активного обучения и дискуссионные формы.

В результате усвоения дисциплины обучающийся должен

**знать:**

- методы моделирования наблюдаемых величин в экспериментальной физике элементарных частиц,
- основные принципы обработки данных в ускорительных экспериментах;
- особенности методов регистрации ионизирующих излучений применительно к экспериментальной физике высоких энергий;
- принципы пространственных и временных измерений, идентификации элементарных частиц;
- практическое применение технологий и методов экспериментальной физики высоких энергий в медицине, геологоразведке и системах неразрушающего контроля;

**уметь:**

- учитывать принципиальные физические ограничения на параметры детекторов элементарных частиц;

- подбирать тип и характеристики детекторов для решения конкретных практических задач;

- моделировать наблюдаемые величины в процессах рассеяния элементарных частиц в условиях современных ускорительных экспериментов, в том числе с использованием специализированных компьютерных программ.

**владеть:**

- методами компьютерного моделирования энергетических и временных спектров частиц в детекторах.

- навыками использования современного программного обеспечения для моделирования и анализа наблюдаемых величин в экспериментах.

В результате изучения учебной дисциплины «Современный физический эксперимент» у обучающегося должны быть сформированы следующие **компетенции**:

АК-1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.

АК-2. Владеть системным и сравнительным анализом.

АК-3. Владеть исследовательскими навыками.

АК-4. Уметь работать самостоятельно.

АК-7. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.

АК-8. Иметь лингвистические навыки (устная и письменная коммуникация).

СЛК-1. Обладать качествами гражданственности.

СЛК-2. Быть способным к социальному взаимодействию.

СЛК-3. Обладать способностью к межличностным коммуникациям.

СЛК-4. Владеть навыками здорового образа жизни.

ПК-1. Применять знания теоретических и экспериментальных основ ядерной физики и ядерных технологий, ядерно-физических методов исследования, методов измерения физических величин, методов автоматизации эксперимента, методов планирования, организации и ведения научно-производственной, научно-педагогической, производственно-технической, опытно-конструкторской работы в области ядерно-физических технологий и атомной энергетики.

ПК-5. Применять полученные знания фундаментальных положений физики, экспериментальных, теоретических и компьютерных методов исследования, планирования, организации и ведения научно-технической работы.

ПК-8. Вести переговоры, разрабатывать планы сотрудничества с другими организациями.

ПК-9. Пользоваться глобальными информационными ресурсами.

ПК-10. Пользоваться государственными языками Республики Беларусь и иными иностранными языками как средством делового общения.

ПК-11. Реализовывать методы защиты производственного персонала

и населения в условиях возникновения аварий, катастроф, стихийных бедствий и обеспечения радиационной безопасности при осуществлении научной, производственной и педагогической деятельности.

ПК-12. Осуществлять поиск, систематизацию и анализ информации по перспективным направлениям развития отрасли, инновационным технологиям, проектам и решениям.

ПК-13. Определять цели инноваций и способы их реализации.

ПК-14. Оценивать конкурентоспособность и экономическую эффективность разрабатываемых технологий.

ПК-15. Применять методы анализа и организации внедрения инноваций в научно-производственной, научно-педагогической и научно-технической деятельности.

Форма получения высшего образования — очная, дневная.

Общее количество часов – 148, количество аудиторных часов – 68.

Аудиторные занятия проводятся в виде лекций и управляемой самостоятельной работы (УСР). На проведение лекционных занятий отводится 58 часов, на УСР — 10 часов.

Занятия проводятся на 5-м курсе в 10-м семестре.

Формы текущей аттестации по учебной дисциплине — экзамен (10 семестр).

## СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

**Тема 1. Введение.** Предмет экспериментальной физики высоких энергий. Особенности проведения экспериментов в физике высоких энергий. Физические основы регистрации жестких излучений. Единицы измерения. История экспериментов. Неускорительная физика высоких энергий. Космические лучи. Ускорители в физике высоких энергий. Кинематические переменные. Рассеяние частиц. Сечение процесса. Асимметрия. Наблюдаемые величины.

**Тема 2. Методы ядерно-физического эксперимента в физике высоких энергий.** Детекторы для экспериментальной физики высоких энергий, их классификация, принципы конструкции и основные характеристики. Основные принципы и последовательность планирования эксперимента и проектирования физической установки. Анализ физической задачи. Выбор параметров и определение требуемой точности их измерения. Выбор метода измерений и состава аппаратуры.

**Тема 3. Пространственные измерения характеристик частиц.** Детекторы для ионизационных и трековых измерений. Регистрация частиц в жидкостях. Ядерные фотоэмульсии. Сравнение детекторов для ионизационных и трековых измерений. Проволочные камеры. Эффекты старения в проволочных камерах. Выделение пространственной информации в позиционно-чувствительном детекторе.

**Тема 4. Временные измерения.** Детекторы для временных измерений. Определение момента регистрации частицы в детекторе. Методы временной селекции. Методы формирования временной отметки. Методы совпадений и антисовпадений. Годоскопы.

**Тема 5. Измерение импульса.** Магнитные спектрометры для экспериментов с фиксированной мишенью. Магнитные спектрометры для специальных приложений.

**Тема 6. Идентификация частиц.** Выделение информации об энергии, потерянной частицей в детекторе. Выделение информации о типе заряженной частицы по форме импульса детектора. Идентификация нейтрино. Идентификация нейтронов.

**Тема 7. Калориметрия.** Электромагнитный ливень – формирование и характеристики. Электромагнитные калориметры. Измерение энергии. Виды и типы калориметров. Гомогенные и негомогенные калориметры. Оптимизация светосбора из сцинтилляционных ячеек электромагнитного калориметра. Адронные калориметры. Компенсация адронного калориметра. Идентификация частиц в калориметрах. Энергетический отклик и энер-



гетическое разрешение калориметра. Пространственное и угловое разрешение калориметра.

**Тема 8. Многодетекторные системы.** Многодетекторные системы. Детекторы коллайдеров. Детекторы с фиксированной мишенью. Обзор наиболее крупных современных экспериментов по физике высоких энергий (CMS, ATLAS, ALICE и др.). Особенности организации измерений в многодетекторных системах. Методы стабилизации экспериментальных установок. Калибровка и мониторингирование. Особенности электронных методов измерения и отбора в задачах физики высоких энергий.

**Тема 9. Кинематика элементарных частиц.** Ковариантный и нековариантный анализ. Переменные Мандельштама. Законы сохранения в физике элементарных частиц. Диаграммы Далица.

**Тема 10. Теоретические основы физики элементарных частиц.**

10.1. *Стандартная модель фундаментальных взаимодействий*

Стандартная модель фундаментальных взаимодействий

Элементарные частицы. Фундаментальные взаимодействия. Группы симметрии в физике частиц. Поиск отклонений от Стандартной модели. Диаграммы Фейнмана.

10.2. *Рассеяние частиц*

Теория возмущений. Тормозное излучение. Эффекты высших порядков. Амплитуды рассеяния. Точность теоретических представлений.

**Тема 11. Моделирование процессов рассеяния**

11.1. Интегральное и дифференциальное сечение. Фазовый объем. Распады частиц.

11.2. Эффект Комптона. Меллеровское рассеяние. Рассеяние Баба.

11.3. Метод Монте-Карло и его модификации. Программы-генераторы событий.

**Тема 12. Структура нуклонов**

12.1. Функции распределения партонов в нуклоне. Библиотеки функций распределения. Процесс Дрелла-Яна.

12.2. Феноменологические подходы к описанию структуры нуклона. Форм-факторы Паули и Сакса. Эксперименты по изучению структуры нуклонов. Глубоконеупругое рассеяние.

12.3. Программный пакет RUTHIA и возможности его применения.

**Тема 13. Анализ данных эксперимента**

13.1. Реконструкция событий. Технологии распределенных вычислений. Отбор событий. Классификация данных. Сигнал и фоновые процессы.

13.2. Адронные струи. Реконструкция адронных струй. Сравнение алгоритмов реконструкции.  $b$ -таггинг.

13.3. Светимость коллайдера. Структура пучка. Бета-функция. Измерение светимости коллайдера.

13.4. Статистические методы в физике высоких энергий. Методы проверки гипотез. Статистическая значимость. Метод максимального правдоподобия. Источники ошибок. Задача обратной свертки.

13.5. Примеры анализа данных. Обнаружение и изучение свойств Бозона Хиггса.

13.6. Программный пакет ROOT.

## **Тема 14. Вопросы и проблемы физики высоких энергий**

14.1. Будущие эксперименты. Проекты NICA, ILC, CLIC, FCC.

14.2. Физика топ-кварков. Физика мезонов. Физика ионных столкновений.

14.3. Темная энергия. Темная материя. Экзотические модели взаимодействия элементарных частиц.

14.4. Ядерная медицина, методы обнаружения делящихся материалов и взрывчатых веществ, применение электронных ускорителей в комплексах неразрушающего контроля, геофизика, космические исследования.

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА ДИСЦИПЛИНЫ

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Литература	Формы контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Контролируемая (управляемая) самостоятельная работа студента		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>1</b>	<b>Введение</b>	<b>4</b>					О[1,2,7-9,11] Д[14]	1
<b>2</b>	<b>Методы ядерно-физического эксперимента в физике высоких энергий</b>	<b>2</b>					О[1,4,6] Д[4,7]	1
<b>3</b>	<b>Пространственные измерения характеристик частиц</b>	<b>4</b>				<b>1</b>	О[1,2,6] Д[4,9]	1,2,3
<b>4</b>	<b>Временные измерения</b>	<b>4</b>					О[1,2,5,6] Д[4]	1
<b>5</b>	<b>Измерение импульса</b>	<b>2</b>					О[1,2,6] Д[4]	1
<b>6</b>	<b>Идентификация частиц</b>	<b>2</b>				<b>1</b>	О[1,2,6] Д[4]	1,2,3
<b>7</b>	<b>Калориметрия</b>	<b>4</b>				<b>1</b>	О[1,2,6] Д[2-4]	1,2,3
<b>8</b>	<b>Многодетекторные системы</b>	<b>4</b>				<b>1</b>	О[1,2,6] Д[4,9]	1,2,3
<b>9</b>	<b>Кинематика элементарных частиц</b>	<b>4</b>					О[11,12,15,16]	1,2

<b>10</b>	<b>Теоретические основы физики элементарных частиц</b>	<b>2</b>						
10.1	Стандартная модель фундаментальных взаимодействий Элементарные частицы. Фундаментальные взаимодействия. Группы симметрии в физике частиц. Поиск отклонений от Стандартной модели. Диаграммы Фейнмана.	1					O[11,13,15] Д[9-11]	1,2
10.2.	<i>Рассеяние частиц</i> Теория возмущений. Тормозное излучение. Эффекты выс- ших порядков. Амплитуды рассеяния. Точность теоретиче- ских представлений.	1					O[13,15]	1,2
<b>11</b>	<b>Моделирование процессов рассеяния</b>	<b>4</b>						
11.1	Интегральное и дифференциальное сечение. Фазовый объ- ем. Распады частиц.	1					O[12,13,15]	1,2
11.2	Эффект Комптона. Меллеровское рассеяние. Рассеяние Ба- ба.	1					O[7,12,13]	1,2
11.3	Метод Монте-Карло и его модификации. Программы- генераторы событий.	2					O[7,12,13] Д[12]	1,2
<b>12</b>	<b>Структура нуклонов</b>	<b>4</b>				<b>2</b>		
12.1	Функции распределения партонов в нуклоне. Библиотеки функций распределения. Процесс Дрелла-Яна.	1					O[11-13]	1,2
12.2	Феноменологические подходы к описанию структуры ну- клонa. Форм-факторы Паули и Сакса. Эксперименты по изучению структуры нуклонов. Глубоконеупругое рассея- ние.	2					O[11,12,18]	1,2
12.3	Программный пакет RUTHIA и возможности его примене- ния.	1				2	O[17]	1,2,4
<b>13.</b>	<b>Анализ данных эксперимента</b>	<b>12</b>				<b>2</b>		

13.1	Реконструкция событий. Технологии распределенных вычислений. Отбор событий. Классификация данных. Сигнал и фоновые процессы.	1					O[11,14]	1,2
13.2	Адронные струи. Реконструкция адронных струй. Сравнение алгоритмов реконструкции. b-таггинг.	2					O[11,12]	1,2
13.3	Светимость коллайдера. Структура пучка. Бета-функция. Измерение светимости коллайдера.	2					O[11,12]	1,2
13.4	Статистические методы в физике высоких энергий. Методы проверки гипотез. Статистическая значимость. Метод максимального правдоподобия. Источники ошибок. Задача обратной свертки.	4					O[10]	1,2
13.5	Примеры анализа данных. Обнаружение и изучение свойств Бозона Хиггса.	2					O[10]	1,2
13.6	Программный пакет ROOT.	1				2	O[19]	1,2,4
<b>14</b>	<b>Вопросы и проблемы физики высоких энергий</b>	<b>6</b>						
14.1	Будущие эксперименты. Проекты NICA, ILC, CLIC, FCC.	1					O[12,13]	1,2
14.2	Физика топ-кварков. Физика мезонов. Физика ионных столкновений.	2					O[11,12,14]	1,2
14.3	Темная энергия. Темная материя. Экзотические модели взаимодействия элементарных частиц.	1					O[12,13]	1,2
14.4	Ядерная медицина, методы обнаружения делящихся материалов и взрывчатых веществ, применение электронных ускорителей в комплексах неразрушающего контроля, геофизика, космические исследования.	2					O[1,2,6] Д[4,8]	1,2

<b>15</b>	Семинар по темам: «Моделирование процессов рассеяния», «Структура нуклонов», «Анализ данных эксперимента», «Вопросы и проблемы физики высоких энергий».					<b>2</b>	О[11–18] Д[4,8-11]	3
		<b>58</b>				<b>10</b>		<b>Экзамен</b>

## ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### Перечень основной литературы

1. Handbook of Particle Detection and Imaging. Claus Grupen and Irene Buvat (Eds.). Springer. - 2012, 1251 p.
2. К. Группен. Детекторы элементарных частиц. - Новосибирск: Сибирский хронограф, 1999. - 408 с.
3. C. Grupen, B. Shwartz. Particle detectors - Cambridge University Press. - 2008, 651 p.
4. Ю.К. Акимов. Фотонные методы регистрации излучений. – Дубна: ОИЯИ, 2014.- 323 с.
5. В.А. Григорьев, А.А. Колюбин, В.А. Логинов. Электронные методы ядерно-физического эксперимента. М., Энергоатомиздат, 1988. – 336 с.
6. К. Клайнкнехт. Детекторы корпускулярных излучений. М.: Мир. 1990. – 224 с.
7. А. Любимов, Д. Киш. Введение в экспериментальную физику частиц. М.: Физматлит, 2001. – 272 с.  
URL: [http://becquerel.jinr.ru/text/books/Lyubimov\\_2001.pdf](http://becquerel.jinr.ru/text/books/Lyubimov_2001.pdf)
8. А.П. Черняев. Взаимодействие ионизирующего излучения с веществом. – М.: Физматлит, 2004. – 152 с.
9. М.А. Батурицкий, И.Я. Дубовская. Взаимодействие ионизирующего излучения с веществом. Минск: РИВШ, 2010. – 220 с.
10. Битюков С.И., Красников Н.В. Применение статистических методов для поиска «новой физики» на Большом адронном коллайдере, URSS, 2014, 272 стр.
11. Перкинс Д. Введение в физику высоких энергий, М. Энергоатомиздат, 1991, 429 стр.
12. Смирнова Л.Н. Физика элементарных частиц (с точки зрения эксперимента). Учебное пособие. М. МГУ, 2006, 121 стр.  
URL: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/elp/elp.pdf>
13. Сарычева Л.И. Введение в физику микромира — физика частиц и ядер. Учебное пособие. М. МГУ, 2008, 220 стр.  
URL: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/astro/large.pdf>
14. Смирнова Л.Н. Детектор ATLAS Большого адронного коллайдера, Учебное пособие. М. ИФВЭ. 2010, 213 стр.  
URL: <http://web.ihep.su/spitsky/mipt/literature/src/hep/ATLAS.pdf>
15. Хелзен Ф., Мартин А. Кварки и лептоны. М.: Мир, 1987, 456 с.
16. Е.Бюклинг, К.Каянти. Кинематика элементарных частиц. М.: Мир, 1975, 343 стр.
17. Sjöstrand T. et al. PYTHIA 8.2 Online Manual.  
URL: <http://home.thep.lu.se/Pythia/pythia82php/Welcome.php>
18. Шишкина Т.В., Марфин И.Б., Рассеяние поляризованных лептонов на поляризованных нуклонах. Феноменология. Кварк-партоновая модель. Мн. БГУ, 2004, 200 стр.
19. Naumann A. et al. ROOT data analysis framework.

1. URL: <https://root.cern.ch/>

### **Перечень дополнительной литературы**

1. R. Wigmans. Calorimetry // Scientifica Acta 2, No. 1 (2008) 18–55 pp.
2. C.W. Fabjan, F. Gianotti. Calorimetry for Particle Physics // CERN-EP/2003-075, 96 p.
3. C. Leroy, P.-G. Rancoita. Principles of radiation interaction in matter and detection, World Scientific Publ. – 2009, 951 p.
4. Ю.А. Цирлин, М.Е. Глобус, Е.П. Сысоева. Оптимизация детектирования гамма-излучения сцинтилляционными кристаллами. М: Энергоатомиздат, 1991. – 152 с.
5. А.И. Абрамов, Ю.А. Казанский, Е.С. Матусевич. Основы экспериментальных методов ядерной физики. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 488 с.
6. Л.Л. Гольдин. Физика ускорителей. М.: Наука", Глав. ред. физико-математической литературы, 1983 – 144 с.
7. Неразрушающий контроль с источниками высоких энергий / В.В. Ключев и др. – М.: Энергоатомиздат, 1989. -176 с.
8. Ионизационные измерения в физике высоких энергий / Ю.А. Будагов и др. – М.: Энергоатомиздат, 1988. - 224 с.
9. Биленький С.М. Введение в диаграммы Фейнмана и физику электро-слабого взаимодействия, М.: Энергоатомиздат, 1990. 327 с.
10. Ишханов Б.С., Капитонов И.М., Юдин Н.П. Частицы и атомные ядра. М: Издательство ЛКИ, 2007.
11. Капитонов И. М. Введение в физику ядра и частиц. М.: Эдиториал УРСС, 2002.
12. Weinzierl S. Introduction to Monte Carlo methods. Препринт NIKHEF-00-012 (2000).

### **Формы текущего контроля знаний**

1. Выборочный контроль на лекциях;
2. Проверка конспектов лекций обучающихся;
3. Проверка реферативных работ;
4. Проверка результатов выполнения расчетных заданий;
5. Проведение экзамена по дисциплине.

### **Примерный перечень мероприятий для контроля качества усвоения знаний по учебной дисциплине**

1. Семинары с заслушиванием реферативных работ
2. Выполнение расчетных заданий на компьютерах



*Примерные темы реферативных работ*

1. Космические лучи и их детектирование.
2. Аналоговая обработка сигналов детекторов излучений.
3. Методы съема сигналов с детекторов излучений.
4. Оптимизация энергетического и временного разрешения детекторов с помощью электроники обработки сигналов.
5. Детекторы нейтрино.
6. Анализ данных и реконструкция событий.
7. Радиационная деградация детекторов.
8. Энергетический отклик и энергетическое разрешение калориметров.
9. Пространственное и угловое разрешение калориметров.
10. Виртуальный эксперимент – математическое моделирование процессов взаимодействия частиц высоких энергий с веществом. Обзор основных пакетов моделирования.
11. Практическое применение технологий и методов экспериментальной физики высоких энергий в медицине.
12. Практическое применение технологий и методов экспериментальной физики высоких энергий геологоразведке.
13. Практическое применение технологий и методов экспериментальной физики высоких энергий для обеспечения безопасности (поиск ВВ, радиоактивных и ядерных материалов).
14. Открытие бозона Хиггса в эксперименте CMS (или ATLAS).
15. Определение спина и четности Бозона Хиггса в эксперименте CMS.
16. Методики отбора событий в выбранном анализе (на выбор студента) в эксперименте CMS или ATLAS.

*Темы расчетных заданий*

1. Использование программного пакета PYTHIA для моделирования событий рассеяния частиц.
2. Применение программного пакета ROOT для обработки экспериментальных данных в физике высоких энергий.

## **Рекомендации по контролю качества усвоения знаний и проведению аттестации**

Текущий контроль знаний в семестре проводится как управляемая самостоятельная работа (УСР) на лекциях и осуществляется в форме устного опроса, подготовки, презентации и обсуждения реферативных работ, выполнения расчетных работ с использованием компьютерных программ. Текущая оценка определяется как среднее арифметическое оценок, полученных за подготовку реферата и выступление с ним, и оценок, полученных за выполнение расчетных работ.

Форма текущей аттестации – экзамен в 10 семестре. Система оценивания – рейтинговая.

Текущая аттестация по учебной дисциплине проводится в форме экзамена.

Экзаменационная оценка и оценка текущей успеваемости служат для определения итоговой оценки по дисциплине, которая рассчитывается как средневзвешенная оценка текущей успеваемости и экзаменационной оценки. Рекомендуемые весовые коэффициенты для оценки текущей успеваемости – 0,3; для экзаменационной оценки – 0,7.

### **Методика формирования итоговой оценки**

Итоговая оценка формируется на основе:

1. Правил проведения аттестации студентов (Постановление Министерства образования Республики Беларусь №53 от 29 мая 2012 г.);
2. Положения о рейтинговой системе оценки знаний по дисциплине в БГУ (Приказ ректора БГУ от 18.08.2015 №382-ОД);
3. Критериев оценки знаний студентов (письмо Министерства образования от 22.12.2003 г.)

**ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ  
ПО ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ  
С ДРУГИМИ ДИСЦИПЛИНАМИ СПЕЦИАЛЬНОСТИ**

Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
«Спектрометрия и радиометрия ионизирующих излучений»	Кафедра ядерной физики	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте. Протокол № 11 от 24.05.2018.
«Ускорители заряженных частиц в ядерной технике и технологиях»	Кафедра ядерной физики	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте. Протокол № 11 от 24.05.2018.
«Действие излучений на материалы ядерной техники»	Кафедра ядерной физики	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте. Протокол № 11 от 24.05.2018.

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ УВО**

на \_\_\_\_/\_\_\_\_ учебный год

№№ пп	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры ядерной физики  
(протокол № \_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.)

Заведующий кафедрой  
ядерной физики  
к.ф.-м.н., доцент

\_\_\_\_\_ А.И. Тимошенко

УТВЕРЖДАЮ  
Декан физического факультета  
к.ф.-м.н., доцент

\_\_\_\_\_ М.С. Тиванов