

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»**

**Физический факультет  
Кафедра физики элементарных частиц**



Рабочая программа дисциплины  
**ФИЗИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ ПРИ СВЕРХВЫСОКИХ ЭНЕРГИЯХ**

**Направление подготовки: 03.03.02 Физика  
направленность (профиль): Общая и фундаментальная физика**

Форма обучения  
**Очная**

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
8	36	24			10				2	
Всего 36 часов / 1 зачётная единица, из них: - контактная работа 26 часов										
Компетенции ПК-1										

Ответственный за образовательную программу  
д.ф.-м.н., профессор

С.В. Цыбуля

Новосибирск, 2022

## Оглавление

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы. ....	3
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы .....	4
3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу. ....	4
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий.....	4
5. Перечень учебной литературы. ....	6
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся. .	7
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины. ....	7
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине. ....	7
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине. ....	8
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.....	8

# 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

Основная цель курса – познакомить студентов, специализирующихся на кафедре физики элементарных частиц, с основными элементарными частицами – кварками и лептонами, с принципом составления наблюдаемых частиц из кварков, с базовыми понятиями, концепциями, принципами, феноменологией и экспериментальными методиками физики частиц.

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующей профессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
<p><b>ПК-1</b> Способность использовать специализированные знания в области физики при построении теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования</p>	<p><b>ПК 1.1</b> Применяет специализированные знания в области физики при воспроизведении учебного материала с требуемой степенью научной точности и полноты.</p> <p><b>ПК 1.2</b> Использует специализированные знания при проведении научных изысканий в избранной области</p>	<p><b>Знать</b> фундаментальные составляющие современной физики элементарных частиц при сверхвысоких энергиях и источники знаний о них; <b>знать</b> основные методики и постановки экспериментов в области физики элементарных частиц при сверхвысоких энергиях.</p> <p><b>Уметь</b> проводить оценки различных параметров, важных при проектировании и проведении экспериментов в области физики элементарных частиц при сверхвысоких энергиях; <b>уметь</b> проектировать эксперименты в области физики элементарных частиц при сверхвысоких энергиях.</p> <p><b>Владеть</b> методами работы с научными публикациями в области физики элементарных частиц при сверхвысоких энергиях; <b>владеть</b> основными методиками анализа данных и оценки ошибки в экспериментах в области физики элементарных частиц при сверхвысоких энергиях.</p>

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Физика элементарных частиц при сверхвысоких энергиях» является одной из дисциплин по выбору по направлению подготовки **03.03.02 Физика, направленность «Общая и фундаментальная физика»**. Дисциплина изучается студентами четвертого курса бакалавриата физического факультета. Дисциплина в первую предназначена для студентов кафедры физики элементарных частиц. Дисциплина дает студентам необходимые знания, навыки и предоставляет инструменты для выполнения исследований в области физики элементарных частиц в рамках подготовки квалификационной дипломной работы.

## 3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)					
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной	Контактная работа обучающихся с преподавателем				
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
8	36	24			10				2		
Всего 36 часов / 1 зачётная единица, из них: - контактная работа 26 часов											
Компетенции ПК-1											

Реализация дисциплины предусматривает практическую подготовку при проведении следующих видов занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью: лекции, самостоятельная работа студента, дифференциальный зачет.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль: решение задач из задания для самостоятельного решения.

Промежуточная аттестация: дифференциальный зачет.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет **36** академических часов / **1** зачетную единицу.

## 4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий.

Дисциплина «Физика элементарных частиц при сверхвысоких энергиях» представляет собой полугодовой курс, читаемый на 4-м курсе физического факультета НГУ в весеннем семестре. Общая трудоемкость дисциплины составляет 1 зачетную единицу, 36 часов.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Промежу точная аттестация (в часах)
			Всего	Аудиторные часы		Сам. работа в течение семестра (не включая период сессии)	
				Лекции (кол-во часов)	Практи ческие занятия (кол-во часов)		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Введение (станд. модель. и др)	1-2	10	4		4	
2	Детекторные технологии	3	4	2		2	
3	Физика на электрон- позитронных коллайдерах	4	4	4			
4	Физика на протон –протонных (антипротонных)	5-6	4	2		2	
5	Электрон-протонные столкновения	7-8	4	4			
6	Физика ион-ионных столкновений	9-10	6	4		2	
7	Дополнительные главы	11-16	4	4			
10	Дифференцированный зачет	17	2				2
	<b>Итого по курсу:</b>		<b>36</b>	<b>24</b>		<b>10</b>	<b>2</b>

### Программа курса лекций и практических занятий.

1. Предмет ВФЭ. Шкала расстояний и энергий. Система единиц. Решение задач.
2. Открытие электрона, протона, фотона. Электромагнитные взаимодействия. Квантовая электродинамика. Диаграммы Фейнмана. Освоение методов построения диаграмм Фейнмана.
3. Открытие нейтрона, пиона, каонов. Сильновзаимодействующие частицы. Кварковая модель. Квантовая хромодинамика. Асимптотическая свобода. Экспериментальные доказательства существования кварков и глюонов. Решение задач, подробный разбор экспериментов.
4. Открытие нейтрино, мюона. Слабые взаимодействия. Теория Ферми. Несохранение четности. Стандартная модель. Экспериментальные доказательства существования W и Z бозонов. Решение задач, подробный разбор экспериментов.
5. Взаимодействие частиц с веществом. Методы детектирования частиц. Детекторы элементарных частиц. Основные системы детектирования: трековые системы, калориметры, системы идентификации. Решение задач.
6. Методы обработки данных. Основные шаги обработки: калибровка, реконструкция, отбор событий, статистический анализ. Систематические ошибки. Программные средства для обработки данных. Знакомство с программными средствами.
7. Эксперименты на коллайдерах ИЯФ. Подробный разбор экспериментов.
8. Эксперименты на коллайдерах-фабриках.
9. Астрофизика и физика частиц. Космические лучи.

### Примеры задач для самостоятельного решения

1. Какие из распадов  $D^0 \rightarrow K^-\pi^+\pi^+\pi^-$ ,  $D^0 \rightarrow K^+K^-$ ,  $D^0 \rightarrow K^+\pi^-$ ,  $D^0 \rightarrow K^+\pi^-\pi^+\pi^+$  – подавлены?
2. Постройте волновую функцию  $\pi^+$ -мезона в кварковой модели.
3. То же для  $\rho^+$ -мезона.
4. Какие значения может иметь относительный орбитальный момент двух  $\pi^0$ -мезонов, образующихся в реакции  $p\bar{p} \rightarrow 2\pi^0$ , если относительный орбитальный момент  $p\bar{p}$  равен  $L$ ?
5. Как доказать несохранение четности в распаде  $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$ ?
6. Показать, что зарядовые четности мезонов  $\eta_c(1S)$  и  $J/\psi(1S)$  равны соответственно  $+1$  и  $-1$ .
7. Как меняются при операции обращения времени следующие величины: импульс, момент количества движения, энергия, векторный и скалярный потенциалы, напряженность электрического и магнитного поля?
8. Показать, что спиральность частицы  $\hbar$  инвариантна по отношению к обращению времени.
9. Определить длину  $L$  и время  $t$  пробега реакторного нейтрино в воде, воспользовавшись данными эксперимента Райнеса и Коуэна (1956 - 1959 г.г.), получившими для сечения взаимодействия антинейтрино с веществом  $\sigma \approx 10^{-43} \text{ см}^2$ .
10. Показать, что кварк, испустив глюон, не может перейти в антикварк.
11. Возможно ли рассеяние нейтрино на электроне с участием 1) нейтрального слабого тока; 2) заряженного слабого тока? Положительный ответ сопроводить диаграммой процесса.

### Самостоятельная работа студентов (10 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Разбор материала лекций	10

### 5. Перечень учебной литературы.

1. Цитович, Александр Павлович (физик). Экспериментальные методы ядерной физики : [Учебное пособие для физ. и инж.- физ. фак. вузов] / Под ред. М.С. Козодаева. [Ч.]2. Ядерная радиоэлектроника/ А.П. Цитович. М. : Наука, 1967. 535 с. : ил. (3 экз.)
2. Перкинс, Дональд. Введение в физику высоких энергий / Пер.с англ.А.В.Беркова ; Под ред.Б.А.Долгошеина. М. : Энергоатомиздат, 1991. 427 с. : ил., ISBN 5283024679 (3 экз.)
3. Окунь, Лев Борисович. Физика элементарных частиц / Л.Б. Окунь. Изд. 4-е. Москва : УРСС = URSS : Изд-во ЛКИ, 2008. 215, [1] с. : граф., схемы ; 21 см. ISBN 978-5-382-00755-7.(10 экз.)

## **6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.**

1. Л.Б.Окунь, «Лептоны и кварки», Москва «Наука», 1990 г.
2. Ф.Хелзен и А.Мартин, «Кварки и лептоны», Москва «Мир», 1987 г.
3. К.Группен, «Детекторы элементарных частиц», Новосибирск «Сибирский хронограф», 1999 г.
4. А.Г.Берковский и др., Вакуумные фотоэлектронные приборы, Москва, «Радио и связь», 1988 г.
5. A.Wu Chao and M.Tigner, “Accelerator Physics and Engineering”, Singapore “World Scientific”
6. “Review of Particle Properties”, Physical Review D, V11, N 1-I, July 2002

## **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.**

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

### **7.1 Современные профессиональные базы данных**

Не используются.

### **7.2. Информационные справочные системы**

#### **Интернет-ресурсы:**

1. Веб-страница кафедры физики элементарных частиц <https://hepdep.inp.nsk.su/>

## **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.**

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

## **9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.**

Для реализации дисциплины используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации.
2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Для проведения занятий лекционного типа предлагаются следующие наборы демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий:

- комплект лекций-презентаций по темам дисциплины.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

## **10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.**

### **10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.**

#### *Текущий контроль*

Текущий контроль осуществляется в ходе семестра путем проверки решений студентами семестровых домашних заданий для самостоятельного решения.

#### *Промежуточная аттестация*

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленная компетенция ПК-1 сформирована не ниже порогового уровня.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на дифференцированном зачете. Вопросы к зачету подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенции ПК-1.

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Ответ на вопрос на зачете оценивается от 0 до 5 баллов. Положительная оценка ставится, когда все компетенции освоены не ниже порогового уровня. Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

### Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины

Таблица 10.1

Индикатор	Результат обучения по дисциплине	Оценочные средства
<p><b>ПК 1.1</b> Применяет специализированные знания в области физики при воспроизведении учебного материала с требуемой степенью научной точности и полноты.</p>	<p><b>Знать</b> фундаментальные составляющие современной физики элементарных частиц при сверхвысоких энергиях и источники знаний о них; <b>знать</b> основные методики и постановки экспериментов в области физики элементарных частиц при сверхвысоких энергиях.</p>	<p>Решение задач, дифференцированный зачет.</p>
<p><b>ПК 1.2</b> Использует специализированные знания при проведении научных изысканий в избранной области</p>	<p><b>Уметь</b> проводить оценки различных параметров, важных при проектировании и проведении экспериментов в области физики элементарных частиц при сверхвысоких энергиях; <b>уметь</b> проектировать эксперименты в области физики элементарных частиц при сверхвысоких энергиях. <b>Владеть</b> методами работы с научными публикациями в области физики элементарных частиц при сверхвысоких энергиях; <b>владеть</b> основными методиками анализа данных и оценки ошибки в экспериментах в области физики элементарных частиц при сверхвысоких энергиях.</p>	<p>Решение задач, дифференцированный зачет.</p>

**10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Физика элементарных частиц при высоких энергиях».**

**Таблица 10.2**

Критерии оценивания результатов обучения	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (0 баллов)	Пороговый уровень (3 балла)	Базовый уровень (4 балла)	Продвинутый уровень (5 баллов)
1	2	3	4	5	6
Полнота знаний	ПК 1.1	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Демонстрирует общие знания базовых понятий по темам/разделам дисциплины. Допускается значительное количество негрубых ошибок.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Допускается несколько негрубых/несущественных ошибок. Не отвечает на дополнительные вопросы.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы.
Наличие умений	ПК 1.2	Отсутствие минимальных умений. Не умеет решать стандартные задачи. Имеют место грубые ошибки.	Продемонстрированы частично основные умения. Решены типовые задачи. Допущены негрубые ошибки.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания с негрубыми ошибками или с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания в полном объеме без недочетов и ошибок.

### 10.3 Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

#### Вопросы к дифференциальному зачету

1. Стандартная модель. Квантовая хромодинамика.
2. Великое объединение.
3. Суперсимметрии.
4. Большой взрыв.
5. Темная материя.
6. Трековые детекторы. Идентификация частиц.
7. Калориметры.
8. Большой электрон-позитронный коллайдер (LEP) в ЦЕРН. Детекторы для LEP. Основные результаты полученные на LEP.
9. Коллайдер SLC в лаборатории SLAC (США). Проекты линейных коллайдеров. Фотон-фотонные коллайдеры. Будущие эксперименты на линейных коллайдерах.
10. Протон-антипротонный коллайдер SPS в ЦЕРН. Детекторы для SPS. Открытие Z и W-бозонов на SPS. .
11. Протон-антипротонный коллайдер TEVATRON в лаб. им Ферми (США). Детекторы для TEVATRONa. Открытие t- кварка на TEVATRONe.
12. Большой протон-протонный коллайдер LHC в ЦЕРН. Детекторы для LHC. Поиск хиггсовского бозона на LHC.
13. Поиск суперсимметричных частиц на LHC.
14. Проекты протон-протонных коллайдеров в США (SSC, VLHC).
15. Эксперименты на протон-электронном коллайдере HERA в лаборатории DESY (Германия).
16. Ион-ионный коллайдер в Брукхевенской лаборатории (США). Тяжело-ионная программа на LHC.
17. Осцилляции нейтрино: эксперимент SNO. Осцилляции нейтрино: эксперимент SUPERKAMIOKANDO.
18. Мюонные коллайдеры.
19. Космические частицы сверхвысоких энергий (эксперименты по их регистрации)

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.

**Лист актуализации рабочей программы  
по дисциплине «Физика элементарных частиц при сверхвысоких энергиях»**

**по направлению подготовки 03.03.02 Физика**

**Профиль «Общая и фундаментальная физика»**

№	Характеристика внесенных изменений (с указанием пунктов документа)	Дата и № протокола Учёного совета ФФ НГУ	Подпись ответственного