

**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  
**ОСНОВЫ ФИЗИКИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ**

**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
6	36	16	16		2				2	
Всего 36 часов / 1 зачётная единица, из них: - контактная работа 34 часа										
Компетенции ПК-1										

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

С.В. Цыбуля

Новосибирск, 2022

## Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы .....	3
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы. ....	4
3. Трудоемкость 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 отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.....	5
Программа лекций.....	5
Программа семинаров.....	6
5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины .....	7
6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.....	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. ....	7
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.

Дисциплина «Основы физики элементарных частиц» предназначена для обучения студентов-физиков основам современных представлений об элементарных частицах и их взаимодействиях.

Основной целью освоения дисциплины является ознакомление с классификацией частиц, с теоретическими основами описания электромагнитных, слабых и сильных взаимодействий, получение практических навыков в расчете простых процессов с участием элементарных частиц.

Для достижения поставленной цели выделяются задачи курса

- 1.1. Изучение классификации элементарных частиц, описания частиц и их взаимодействий в теории поля.
- 1.2. Изучение применения унитарной симметрии для оценки распадов и сечений процессов, простых вычислений в борновском приближении.
- 1.3. Изучение основных элементов физики К мезонов и физики нейтрино.

Курс «**Основы физики элементарных частиц**» участвует в формировании следующих компетенций:

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>ПК 1.3.</b> Выбирает наиболее эффективные методы построения теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики</p>	<p><b>Знать</b> основные элементы Стандартной Модели; <b>знать</b> базовые разделы квантовой теории поля;</p> <p><b>Уметь</b> производить простые оценки сечений и числа событий основных процессов на установках со встречными электрон-позитронными пучками; выполнять простые расчеты в рамках теории возмущений; <b>уметь</b> применять знания по квантовой теории поля для обработки результатов физических экспериментов;</p> <p><b>Владеть</b> техникой расчетов простых диаграмм Фейнмана в первом и втором порядках теории возмущений; <b>владеть</b> основными</p>

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
	объекта исследования	методами научных исследований, навыками использования теоретических физики элементарных частиц.

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «**Основы физика элементарных частиц**» является частью профессионального цикла обучения программы бакалавриата по направлению подготовки 03.03.02-Физика.

## 3. Трудоемкость 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
6	36	16	16		2				2	
Всего 36 часов / 1 зачётная единица, из них: - контактная работа 34 часа										
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, практические занятия, самостоятельная работа студента, дифференцированный зачет.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль: решение задач из задания для самостоятельного решения.

Промежуточная аттестация: дифференцированный зачет.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет 1 зачетную единицу.

- занятия лекционного типа – 16 часов;

- практические занятия – 16 часа;
- самостоятельная работа в течение семестра, не включая период сессии – 2 часа;
- промежуточная аттестация (подготовка к сдаче дифференцированного зачета, консультации и дифференцированный зачет) – 2 часа;

Объем контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, практические занятия, групповые консультации, экзамен) составляет 34 часа.

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

Дисциплина «Основы физики элементарных частиц» представляет собой полугодовой курс, читаемый для бакалавров физического факультета НГУ в 6-ом 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)				Промежуточная аттестация (в часах)
			Всего	Аудиторные часы		Сам. работа в течение семестра (не включая период сессии)	
				Лекции (кол-во часов)	Практические занятия (кол-во часов)		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Классификация элементарных частиц	1-2	4	2	2		
2	SU(2) и SU(3) симметрии, их использование для оценки процессов	3-6	8	4	4		
3	Уравнения и лагранжианы для описания элементарных частиц	7-10	4	2	2		
4	Осцилляции странности. CP несохранение в распадах K мезонов.	11-14	8	4	4		
5	Осцилляции нейтрино	15-16	8	4	4		
7	Самостоятельная подготовка обучающегося к экзамену	17	2				2
8	Дифференцированный зачет	17	2				2
	Итого по курсу:		36	16	16	0	4

#### Программа лекций

1. Классификация элементарных частиц. Лептоны. Кварки и адроны. Квантовые числа. Сильное, электромагнитное и слабое взаимодействие. Дискретные симметрии С, Р, Т. Внутренние четности частиц.

2. Адроны. Изоспин. Изоспиновые мультиплеты адронов.  $SU(2)$  симметрия.
3.  $SU(3)$  симметрия. Унитарные мультиплеты адронов. Неприводимые представления для мезонов. Октеты и синглеты псевдоскалярных и векторных мезонов. Неприводимые представления в  $SU(3)$  для барионов. Октет и декуплет барионов.
4. Переход от дискретной к непрерывной системе. Лагранжиан и гамильтониан для непрерывной системы. Уравнение Лагранжа.
5. Лагранжиан для скалярного поля. Уравнение Клейна-Гордона. Решение уравнения Клейна-Гордона для свободных полей. Лагранжиан взаимодействия с электромагнитным полем. Нерелятивистский предел.
6. Лагранжиан для спинорного поля. Уравнение Дирака. Решение уравнение Дирака для свободного поля. Лагранжиан взаимодействия с электромагнитным полем. Нерелятивистский предел. Уравнение Паули. Спиральность и киральность.
7. Преобразование волновых функций при отражении координат и времени.
8. Преобразования Лоренца для спинорных полей. Преобразование билинейных комбинаций спинорных полей при преобразованиях Лоренца и  $C$ ,  $P$  отражении.
9. Преобразование волновых функций при зарядовом сопряжении. Частица и античастица.
10. Вероятность распада. Сечение процесса.
11. Вычислить вероятность распадов  $\pi \rightarrow e\nu$  и  $\pi \rightarrow \mu\nu$ .
12. Вычислить сечение рассеяния заряженных спинорных частиц в кулоновском поле ядра в низшем порядке теории возмущений.
13. Открытие нарушения  $P$ - симметрии в  $\beta$ - распадах ядер.  $K$ - мезоны. Осцилляции странности.  $CP$ - нарушение в распадах  $K$ - мезонов.
14. Нейтрино. Дираковское и майорановское нейтрино. Смешивание нейтрино. Осцилляции.

### Программа практических занятий

1.  $P$ - и  $C$ - четности фотона,  $\pi$ - мезона, позитрония.
2. Изотопические соотношения для процессов  $NN \rightarrow d\pi$  и  $\pi N \rightarrow \pi N$ . Метод Шмушкевича, использование коэффициентов Клебша-Гордана и изотопически-инвариантных амплитуд.
3.  $G$ - четность.
4. Волновые функции мезонов в  $SU(3)$ . Мезонные массы. Радиационные переходы  $V(\rho, \omega, \phi) \rightarrow P(\pi^0, \eta, \eta') \gamma$ .
5. Волновые функции протона и нейтрона. Барийонные массы. Вычисление магнитных моментов протона и нейтрона.

## **5. Перечень учебной литературы.**

### **Список основной литературы:**

1. В.Б. Берестецкий, Е.М. Лифшиц, Л.П. Питаевский, Теоретическая физика. Том 4. Квантовая электродинамика, Наука, 1989.

### **Список дополнительной литературы:**

1. Пескин, Майкл Е. Введение в квантовую теорию поля : [учебник для студентов физико-математических специальностей] / М. Пескин, Д. Шредер ; пер. с англ. под ред. А.А. Белавина, А.В. Беркова. Москва ; Ижевск : Регулярная и хаотическая динамика, 2001. 783 с. : ил. ; 24 см. ISBN 5-93972-083-8.

## **6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов**

1. Л.Б. Окунь, Лептоны и кварки, URSS Москва, 2008.

## **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.

### **Интернет-ресурсы:**

1. Веб-страница кафедры теоретической физики  
<http://www.inp.nsk.su/students/theor/index.ru.html>

## **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. Дифференцированный зачет проводится в конце семестра в экзаменационную сессию по билетам в устной форме. Вопросы билета подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенции ПК-1.

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Каждый вопрос билета 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**

<b>Индикатор</b>	<b>Результат обучения по дисциплине</b>	<b>Оценочные средства</b>
------------------	-----------------------------------------	---------------------------



<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> основные элементы Стандартной Модели; <b>знать</b> базовые разделы квантовой теории поля;</p>	<p>Проведение контрольных работ, дифференцированный зачет.</p>
<p><b>ПК 1.2</b> Использует специализированные знания при проведении научных изысканий в избранной области</p>	<p><b>Уметь</b> производить простые оценки сечений и числа событий основных процессов на установках со встречными электрон-позитронными пучками; выполнять простые расчеты в рамках теории возмущений; <b>уметь</b> применять знания по квантовой теории поля для обработки результатов физических экспериментов;</p>	<p>Проведение контрольных работ, дифференцированный зачет.</p>
<p><b>ПК 1.3.</b> Выбирает наиболее эффективные методы построения теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования</p>	<p><b>Владеть</b> техникой расчетов простых диаграмм Фейнмана в первом и втором порядках теории возмущений; <b>владеть</b> основными методами научных исследований, навыками использования теоретических физики элементарных частиц.</p>	<p>Проведение контрольных работ, дифференцированный зачет.</p>

## 10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Основы физики элементарных частиц».

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.
Наличие навыков (владение опытом)	ПК 1.3	Отсутствие владения материалом по темам/разделам дисциплины. Нет навыков в решении стандартных задач. Наличие грубых ошибок.	Имеется минимальный набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. Продемонстрированы знания по решению нестандартных задач.

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

#### 1. Задания (примеры семестровых домашних заданий, обязательных для индивидуальной сдачи студентами преподавателю):

- Показать, что  $\Gamma(\Delta^- \rightarrow \pi^- n) : \Gamma(\Delta^0 \rightarrow \pi^- p) : \Gamma(\Delta^0 \rightarrow \pi^0 n) : \Gamma(\Delta^+ \rightarrow \pi^+ n) : \Gamma(\Delta^+ \rightarrow \pi^0 p) : \Gamma(\Delta^{++} \rightarrow \pi^+ p) = 3 : 1 : 2 : 1 : 2 : 3$ .
- Показать, что  $\Gamma(\rho^0 \rightarrow e^+ e^-) : \Gamma(\omega \rightarrow e^+ e^-) : \Gamma(\phi \rightarrow e^+ e^-) \approx 9 : 1 : 2$ .
- Используя волновые функции октетных состояний мезонов вычислить отношение ширины распадов  $K^{*0} \rightarrow K^0 \gamma$  и  $K^{*+} \rightarrow K^+ \gamma$ . Для очарованных мезонов вычислить отношение ширины  $D^{*0} \rightarrow D^0 \gamma$  и  $D^{*+} \rightarrow D^+ \gamma$ .

4. Написать лагранжиан взаимодействия нейтрального и заряженного скалярных полей. Вычислить вероятность распада нейтральной скалярной частицы на две заряженных скалярных частицы.
5. Вычислить сечение рассеяния заряженных скалярных частиц в кулоновском поле ядра в низшем порядке теории возмущений.

## 2. Билеты для дифференцированного зачета:

### Билет 1

1. Переход от дискретной к непрерывной системе. Лагранжиан непрерывной системы. Уравнение Лагранжа.
2. Уравнение Дирака. Нерелятивистский предел. Уравнение Паули. Спиральность и киральность.

### Билет 2

1. Преобразования Лоренца для спинорных полей. Преобразование билинейных комбинаций спинорных полей при преобразованиях Лоренца.
2. Лагранжиан скалярного поля. Уравнение Клейна-Гордона. Нерелятивистский предел.

### Билет 3

1. Адроны. Изоспин. Изоспиновые мультиплеты адронов.  $SU(2)$  симметрия.
2. Волновые функции протона и нейтрона. Магнитные моменты протона и нейтрона.

### Билет 4

1.  $SU(3)$  симметрия. Унитарные мультиплеты адронов. Неприводимые представления для мезонов. Октеты и синглеты псевдоскалярных и векторных мезонов.
2. Дискретные симметрии  $C$ ,  $P$ ,  $T$ . Внутренние четности частиц.  $P$ - и  $C$ - четности фотона,  $\pi$ -мезона, позитрония.

### Билет 5

1.  $SU(3)$  симметрия. Унитарные мультиплеты адронов. Неприводимые представления для барионов. Октет и декуплет барионов.
2. Радиационные переходы  $\rho, \omega, \phi \rightarrow \eta \gamma$ .

### Билет 6

1. Преобразование спинорных волновых функций при отражении координат и времени.
2. Радиационные переходы  $\rho, \omega, \phi \rightarrow \pi^0 \gamma$ .

### Билет 7

1. Преобразование спинорных волновых функций при зарядовом сопряжении. Частица и античастица.
2. Волновые функции псевдоскалярного и векторного октета мезонов.

### Билет 8

1. Нейтрино. Дираковское и майорановское нейтрино.
2. Изотопические соотношения для процесса  $NN \rightarrow d\bar{p}$ . Метод Шмушкевича и использование коэффициентов Клебша-Гордана.

Билет 9

1. Нейтрино. Смешивание нейтрино. Осцилляции.
2. Изотопические соотношения для процесса  $\pi N \rightarrow \pi N$ . Метод Шмушкевича.

Билет 10

1. К- мезоны. Осцилляции странности. CP- нарушение в распадах К-мезонов.
2. Изотопические соотношения для процесса  $\pi N \rightarrow \pi N$ . Использование коэффициентов Клебша-Гордана .

Форма билета представлена на рисунке

<p><i>МИНОБРНАУКИ РОССИИ</i></p> <p><i>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (Новосибирский государственный университет, НГУ)</i></p> <p><i>Физический факультет</i></p>
<p>ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № _____</p>
<p>1. ....</p> <p>2. ....</p>
<p>Составитель _____ /Ф.И.О. преподавателя/ (подпись)</p>
<p>« ____ » _____ 20 ____ г.</p>

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.

