

**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 НА Е+Е- ФАБРИКАХ**

Направление подготовки: **03.04.02 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 аттестации	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
1	72	32			18	18	2			2
Всего 72 часа /2 зачетные единицы, из них: - контактная работа 36 часов										
Компетенции: ПК-1										

Руководитель программы
д.ф.-м.н.

И. Б. Логашенко

Новосибирск, 2026

Оглавление

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

Курс «Физика на e^+e^- фабриках» имеет своей целью познакомить обучающихся с процессами электрон-позитронной аннигиляции, методами их изучения, показать роль исследования этих процессов для понимания фундаментальных свойств материи.

Для достижения поставленной цели выделяются задачи:

- Дать представление о методе встречных электрон-позитронных пучков;
- Дать представление о методике анализа экспериментальных данных;
- Ознакомить учащихся с теоретическими моделями, описывающими экспериментальные данные по электрон-позитронной аннигиляции;
- Дать обзор задач, на решение которых направлены эксперименты и экспериментальных результатов, ознакомить с информацией, получаемой в ходе анализа данных.

Курс состоит из семи разделов: I. Введение, II. Ускорительные комплексы со встречными электрон-позитронными пучками, III. Эксперимент на электрон-позитронных коллайдерах., IV. Измерение сечений процессов электрон-позитронной аннигиляции., V. Электрон-позитронная аннигиляция в адроны при низких энергиях., VI. Электрон-позитронная аннигиляция в адроны в области энергии до 10 ГэВ в системе центра масс., VII. Электрон-позитронная аннигиляция в адроны при высоких энергиях.

Дисциплина нацелена на формирование у обучающегося профессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
ПК-1 Способен использовать специализированные знания в области физики при решении поставленных задач в научно-исследовательской деятельности в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования. ПК 1.2 Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	Знать принципы действия, функциональные и метрологические возможности современных детекторов элементарных частиц; основы компьютерных технологий для планирования и обработки экспериментов на электрон-позитронных коллайдерах; Уметь самостоятельно ставить и решать конкретные физические задачи в экспериментах на электрон-позитронных коллайдерах с использованием современных детекторов элементарных частиц и компьютерных технологий моделирования; применять полученную теоретическую базу в экспериментах, проводить анализ научной и технической информации, относящейся к области e^+e^- коллайдеров;

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
		Владеть основными методами проведения исследований на электрон-позитронных коллайдерах; навыками использования теории физики элементарных частиц при решении научных задач в коллайдерных экспериментах; знаниями на уровне, позволяющем проводить эффективный анализ экспериментальных данных.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Физика на e^+e^- фабриках» реализуется в осеннем семестре 1 курса для магистрантов, обучающихся по направлению 03.04.02 Физика. Курс является одной из профессиональных дисциплин по выбору, реализуемых кафедрой физики элементарных частиц. Для его восприятия требуется предварительная подготовка студентов по таким дисциплинам как математический анализ, линейная алгебра, аналитическая геометрия, теория вероятности и математическая статистика, квантовая механика. Полученные знания необходимы для прохождения преддипломной практики и выполнения квалификационной работы на соискание степени магистра.

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			Самостоятельна работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированны й зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	72	32			18	18	2			2
Всего 72 часа /2 зачетные единицы, из них: - контактная работа 36 часов										
Компетенции: ПК-1										

Трудоёмкость дисциплины составляет: 2 зачётные единицы, 72 часа.
 Форма промежуточной аттестации: 1 семестр – экзамен.

№	Вид деятельности	Семестр
		1
1	Лекции, ч	32
2	Практические занятия, ч	-
3	Лабораторные занятия, ч	-
4	Занятия в контактной форме, ч из них	36
5	аудиторных занятий, ч	32
6	в электронной форме, ч	-
7	консультаций, час.	2
8	промежуточная аттестация, ч	2
9	Самостоятельная работа, час.	36
10	Всего, ч	108

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

Дисциплина «Физика на e⁺e⁻ фабриках» представляет собой полугодовой курс, читаемый на 1-ом курсе магистратуры физического факультета НГУ во осеннем семестре. Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 часа.

Программа лекций (32 часа)

Раздел 1. Введение (2 часа)

Эксперименты с фиксированной мишенью. Эксперименты по рассеянию лептонов. Эксперименты со встречными пучками. Адронные коллайдеры. Космические лучи.

Раздел 2. Ускорительные комплексы со встречными электрон-позитронными пучками (2 часа)

Электрон-позитронные коллайдеры. Коллайдер ВЭПП-2М. фи-фабрика DAΦNE. Коллайдер ВЭПП-4М. с-тау и B-фабрики. Коллайдер LEP.

Раздел 3. Эксперимент на электрон-позитронных коллайдерах (4 часа)

Детекторы для электрон-позитронных коллайдеров. Сбор экспериментальных данных. Обработка и анализ данных. Моделирование эксперимента на электрон-позитронных коллайдерах. Интегральная светимость.

Раздел 4. Измерение сечений процессов электрон-позитронной аннигиляции (4 часа)

Сечение электрон-позитронной аннигиляции в первом приближении и радиационные поправки. Метод непосредственного (прямого) измерения сечений. Метод радиационного возврата.

Раздел 5. Электрон-позитронная аннигиляция в адроны при низких энергиях (6 часов)

Модель доминантности векторных мезонов. Формула Брейта-Вигнера. Киральные модели.

Лёгкие векторные мезоны ρ , ω , ϕ . Измерение основных параметров лёгких векторных мезонов: масс, ширины, основных относительных вероятностей распадов, лептонных ширины. Интерференция и смешивание между лёгкими векторными мезонами. Возбуждённые состояния ρ , ω и ϕ — мезонов. Сечение электрон-позитронной аннигиляции при низких энергиях, применения результатов измерений в теоретических расчётах. Редкие и радиационные распады лёгких векторных мезонов.

Раздел 6. Электрон-позитронная аннигиляция в адроны в области энергии до 10 ГэВ в системе центра масс (6 часов)

Спектроскопия чармония. Семейство пси-мезонов. Измерения масс, полных ширины и лептонных ширины. Основные моды распада. Поиск редких и «экзотических» распадов. Определение массы тау-лептона методом сканирования и методом псевдомасс. Измерение масс D -мезонов. Спектроскопия боттомония. Семейство ипсилон-мезонов. Основные свойства и моды распадов. Поиск и обнаружение новых частиц на c -тау и B фабриках.

Раздел 7. Электрон-позитронная аннигиляция в адроны при высоких энергиях (4 часа)

Полное сечение рождения адронов. Адронные и глюонные струи. Параметры электрослабой теории. Экспериментальное определение числа поколений нейтрино. Определение параметров стандартной модели слабого взаимодействия.

Самостоятельная работа студентов (36 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка к практическим занятиям	18
Подготовка к экзамену	18

5. Перечень учебной литературы.

1. Иванченко В.Н. Физика на электрон-позитронных фабриках. Новосибирск, 2012. Часть 1. Учебное пособие. Новосибирск: Новосибирский гос. университет, 2000. (2 экз.)
2. Д. Перкинс. Введение в физику высоких энергий. —М. Мир, 1991. —М.: , Энергоатомиздат, 1991, ISBN 5283024679 (3 экз.)
3. Г. Кейн. Современная физика элементарных частиц. —М: Мир, 1990 (5 экз.)
4. Фрауэнфельдер, Ганс Субатомная физика / Пер.с англ. Под ред. В.В.Толмачева М. : Мир, 1979 736 с. : ил. (4 экз.)

6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся

Самостоятельная работа студентов поддерживается следующими методическими пособиями:

1. М.Н.Ачасов Физика на e^+e^- фабриках. Электронное учебное пособие. www.snd.inp.nsk.su/hepdiv/docs/Achasov_lec_kypc.pdf
2. 3. Ф. Хелзи, А. Мартин. Кварки и лептоны. —М.: Мир, 1987

3. Б.С. Ишханов, И.М. Капитонов, Н.П. Юдин Частицы и атомные ядра: Учебник. Изд. 2-е -- М.: Издательство ЛКИ, 2007. -- 584 с.

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.
- Веб-страница кафедры физики элементарных частиц <https://hepdep.inp.nsk.su/>
- Веб-страница Particle data group <https://pdg.lbl.gov/2020/>

7.1 Современные профессиональные базы данных

Не используются

7.2 Информационные справочные системы

Не используются

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.

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 решения задач студентами из 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 экзамене. Экзамен 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. Критерии и шкалы оценивания индикаторов достижения результатов обучения отражены в Таблице 10.2.

Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины

Таблица 10.1

Индикатор	Результат обучения по дисциплине	Оценочные средства
ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	Знать принципы действия, функциональные и метрологические возможности современных детекторов элементарных частиц; основы компьютерных технологий для планирования и обработки экспериментов на электрон-позитронных коллайдерах.	Решение задач, экзамен.
ПК 1.2 Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости	Уметь самостоятельно ставить и решать конкретные физические задачи в экспериментах на электрон-позитронных коллайдерах с использованием современных детекторов элементарных частиц и компьютерных технологий моделирования; применять полученную теоретическую базу в экспериментах, проводить анализ	Решение задач, экзамен.

от специфики объекта исследования.	научной и технической информации, относящейся к области e^+e^- коллайдеров; Владеть основными методами проведения исследований на электрон-позитронных коллайдерах; навыками использования теории физики элементарных частиц при решении научных задач в коллайдерных экспериментах; знаниями на уровне, позволяющем проводить эффективный анализ экспериментальных данных.	
------------------------------------	---	--

10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Физика на e^+e^- фабриках».

Таблица 10.2

Критерии оценивания результатов обучения	Шкала оценивания
<u>Сдача заданий:</u> выполнено и сдано не менее 90% задач в течение семестра <u>Экзамен:</u> - дан развернутый ответ на вопросы билета и оценка на письменной части экзамена (или средняя оценка за две потоковые контрольные работы) не ниже «хорошо», – точность и корректность применения терминов и понятий; - умение делать выводы и обобщения, – наличие исчерпывающих ответов на дополнительные вопросы, имеющие принципиальное значение для данной дисциплины. В ответах на вопросы обучающийся мог допустить не принципиальные неточности.	<i>Отлично</i>
<u>Сдача заданий:</u> выполнено и сдано не менее 80% задач в течение семестра <u>Экзамен:</u> - дан правильный ответ на вопросы билета и оценка на письменной части экзамена (или средняя оценка за две потоковые контрольные работы) не ниже «удовлетворительно», – наличие правильных ответов на дополнительные вопросы, имеющие принципиальное значение для данной дисциплины. В ответах на вопросы обучающийся мог допустить незначительные ошибки.	<i>Хорошо</i>
<u>Сдача заданий:</u> выполнено и сдано не менее 70% задач в течение семестра <u>Экзамен:</u> - дан правильный ответ на один вопрос билета и оценка на письменной части экзамена (или хотя бы одна из двух оценок за потоковые контрольные работы) не ниже «удовлетворительно»,	<i>Удовлетворительно</i>

– наличие правильных ответов на дополнительные вопросы, имеющие принципиальное значение для данной дисциплины.	
<u>Сдача заданий:</u> сдано менее 60% задач в течение семестра <u>Экзамен:</u> – не даны правильные ответы на вопросы билета и оценка на письменной части экзамена «неудовлетворительно», – не отвечает на дополнительные вопросы, имеющие принципиальное значение для данной дисциплины.	Неудовлетворительно

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

Примеры заданий для самостоятельного решения

1. Рассчитать максимальную энергию рассеянного фотона при рассеянии излучения лазера с длиной волны 10 мкм на пучке электронов с энергией 1770 МэВ.
2. Рассчитать сечение процесса $e^+e^- \rightarrow \phi(1020) \rightarrow K^+K^-$ в максимуме резонанса.
3. $h_1(1170)$ распадается на ρ л. Определить G-чётность $h_1(1170)$.
4. Определить P-чётность π -мезона.
5. Чему равно отношение R сечения $e^+e^- \rightarrow$ адроны к сечению $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$ при в области энергии 4 ГэВ.

Билеты на экзамен

Билет 1.

1. Измерение сечений $e^+e^- \rightarrow$ адроны.
2. Детектор СНД.

Билет 2.

1. Модель векторной доминантности. Формула Брейта-Вигнера
2. Детектор КМД-3

Билет 3.

1. Измерение параметров CP нарушения в распадах K-мезонов на ϕ -фабрике.
2. Детектор KLOE. ϕ -фабрика DAΦNE.

Билет 4.

1. Радиационные распады ρ , ω и ϕ мезонов.
2. e^+e^- накопители ВЭПП-2М и ВЭПП-2000

Билет 5.

1. Редкие распады ρ , ω и ϕ мезонов.
2. Детектор для экспериментов на e^+e^- фабрике.

Билет 6.

1. Возбужденные состояния ρ , ω и ϕ мезонов. Сечения $e^+e^- \rightarrow$ адроны в области энергии от 1 до 3 ГэВ.
2. Типы ускорителей, метод встречных пучков.

Билет 7.

1. Динамика реакций $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^+\pi^-$ и $\pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$.
2. e^+e^- накопитель ВЭПП-4М.

Билет 8.

1. Рождение c анти c состояний в e^+e^- столкновениях.
2. Детектор КЕДР.

Билет 9.

1. Рождение b анти b состояний в e^+e^- столкновениях.
2. Детектор BES-III.

Билет 10.

1. Измерение параметров CP нарушения в распадах B -мезонов на B -фабрике.
2. B -фабрики КЕК-В и РЕР-II.

Билет 11.

1. Изучение Z -бозона на LEP.
2. Детекторы для B -фабрики BABAR, BELLE.

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.