

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»
(Новосибирский государственный университет, НГУ)

**Физический факультет
Кафедра физики ускорителей**




Рабочая программа дисциплины

ФИЗИКА АТОМНОГО ЯДРА И ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ 1

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 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
7	72	32	32		6				2	
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них: - контактная работа 66 часов										
Компетенции ПК-1										

Ответственный за образовательную программу,
д.ф.-м.н., проф., Цыбуля С.В., 

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. 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.	7
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.	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 «Физика атомного ядра и элементарных частиц 1» предназначена для обучения студентов-физиков, специализирующихся в области физики ускорителей, которые в дальнейшем планируют заниматься проектированием и эксплуатацией ускорительных комплексов, направленных на изучение физики элементарных частиц и атомного ядра. Кроме того, курс предназначен для студентов, которые в дальнейшем будут заниматься медицинской физикой. В своей профессиональной деятельности им будет необходимо понимать и разбираться в фундаментальных проблемах, которые решает современная физика элементарных частиц; ориентироваться в современных детекторных технологиях, чтобы эффективно взаимодействовать с коллегами, занимающимися физикой элементарных частиц. Некоторые из этих технологий применяются в ускорительной физике, для мониторинга состояния отдельных параметров ускорителя. Многие технологии детектирования частиц и излучений используются в современной медицине.

Целью этого курса является предоставление информации о физике элементарных частиц, а также о принципах работы и физических характеристиках современных детекторов элементарных частиц. Для достижения поставленной цели используются широкая база различных учебных материалов, в которой отражены ключевые вопросы развития и становления физики элементарных частиц. Также используется возможность контакта с сотрудниками ИЯФ СО РАН, имеющими многолетний опыт создания устройств для уникальных исследовательских установок.

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующей профессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
ПК-1 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>ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при воспроизведении учебного материала с требуемой степенью научной точности и полноты.</p> <p>ПК 1.2 Использует специализированные знания при проведении научных изысканий в избранной области.</p> <p>ПК 1.3 Выбирает наиболее эффективные методы построения теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования</p>	<p>Знать общие принципы теории физики элементарных частиц, иметь представление о задачах, решаемых в области физики элементарных частиц, а также устройство и принципы работы современных детекторов элементарных частиц.</p> <p>Уметь использовать полученные знания при взаимодействии со специалистами, которые занимаются ускорительной физикой элементарных частиц.</p> <p>Владеть методами оценок основных параметров детекторов частиц и излучений.</p>

Всюду, где это допускается уровнем знаний и подготовки студентов, материал лекционного курса увязывается с современными исследованиями в области физики элементарных частиц, техники эксперимента в области частиц высоких энергий, методам статистической обработки экспериментальных данных. Все практические занятия проводятся в интерактивной форме. Специально указываются темы, активно обсуждаемые в текущей профессиональной научной литературе. Материал курса увязывается с общефизическими и математическими дисциплинами, изучаемыми студентами-физиками (электродинамика, квантовая механика, высшая алгебра и

т.д.) и спецкурсами, параллельно изучаемыми по данной специальности, а также лабораторными работами, выполняемыми в рамках Ядерного практикума.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Физика атомного ядра и элементарных частиц 1» реализуется в осеннем семестре 4-го курса бакалавратуры для студентов, обучающихся по направлению подготовки 03.03.02 Физика. Курс является одной из профессиональных дисциплин по выбору, реализуемых кафедрой физики ускорителей. Для его восприятия требуется предварительная подготовка студентов по таким физическим дисциплинам как механика и специальная теория относительности, квантовая механика, методы математической физики, а также по математике (дифференциальное и интегральное исчисления, теория функций комплексных переменных, элементы теории групп и др.). Он должен предшествовать выполнению квалификационной работы бакалавра по данной специализации, т.к. дает бакалавру необходимые знания и навыки в рамках подготовки его квалификационной 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 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
7	72	32	32		6				2	
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них: - контактная работа 66 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, практические занятия, самостоятельная работа студента и её контроль преподавателями с помощью заданий, дифференцированный зачет.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

- текущий контроль успеваемости: опрос по материалам предыдущей лекции, задания для самостоятельного решения;
- промежуточная аттестация: дифференцированный зачет.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет 2 зачетные единицы.

- занятия лекционного типа – 32 часа;
- практические занятия – 32 часа;
- самостоятельная работа обучающегося в течение семестра, не включая период сессии – 6 часов;
- промежуточная аттестация (дифференцированный зачет) – 2 часа.

Объём контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, практические занятия, дифференцированный зачет) составляет 66 часов.

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

Дисциплина «Физика атомного ядра и элементарных частиц 1» представляет собой полугодовой курс, читаемый на 4-м курсе физического факультета НГУ в 7 семестре. Общая трудоёмкость дисциплины составляет 2 зачётные единицы, 72 академических часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоёмкость (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)
			Всего	Аудиторные часы		Сам. работа во время занятий (не включая период сессии)	
				Лекции	Практические занятия		
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Кинематика элементарных частиц	1	6	2	2	2	
2.	Взаимодействие частиц и излучений	2-8	30	14	14	2	
3.	Квантовая электродинамика	9-16	34	16	16	2	.
4.	Дифференцированный зачет	17	2				2
Всего			72	32	32	6	2

Программа и основное содержание лекций (32 часа)

Раздел 1. Кинематика элементарных частиц (2 часа)

Раздел 2. Взаимодействие частиц и излучений (14 часов)

Взаимодействие частиц с веществом

Прохождение заряженной частицы через вещество. Дельта-электроны. Ионизационные потери. Формула Бетге-Блоха. Флуктуации ионизационных потерь. Длина пробега тяжелых заряженных частиц. Многократное рассеяние заряженных частиц. Тормозное излучение. Радиационные потери электронов. Критическая энергия. Черенковское излучение. Применение Черенковского излучения. Взаимодействие фотонов с веществом. Комптоновское рассеяние. Фотоэффект. Рождение пар. Соотношение сечений процессов. Развитие электрофотонных ливней.

Современные методы детектирования частиц

Проволочные камеры. Калориметры. Временипролетные счетчики. Черенковские счетчики. Полупроводниковые детекторы.

Раздел 3. Квантовая электродинамика (16 часов)

Введение в квантовую электродинамику

Переход от нерелятивистской квантовой теории к уравнению Клейна-Гордона. Интерпретация решений с отрицательной энергией.

Электродинамика безспиновых частиц

Введение взаимодействия с электромагнитным полем. Инвариантная амплитуда, правила Фейнмана для безспиновых частиц. Вероятность распада, выраженная через инвариантную амплитуду. Инвариантный фазовый объем. Сечение, выраженное через инвариантную амплитуду. Расчет рассеяния бесспиновых частиц друг на друге. Случай тождественных частиц. Аннигиляция частиц. Фотон. Вектора поляризации. Комптоновское рассеяние на безспиновых частицах.

Фермионы

Уравнение Дирака. Решение для свободных частиц. Нормировка спиноров и соотношение полноты. Соотношения для γ -матриц. Электродинамика частиц с полуцелым спином. Инвариантная амплитуда и правила Фейнмана. Теоремы о следе для γ -матриц.

Расчет рассеяния фермионов

Случай тождественных частиц. Аннигиляция $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$. Пропагатор фермиона. Комптон эффект на фермионе. Сводка правил Фейнмана. Поправки высшего порядка. Лэмбовский сдвиг. Аномальный магнитный момент. Экранировка заряда. Понятие перенормировки. Бегущая константа связи.

Программа практических занятий (32 часа).

Занятие 1. Кинематика элементарных частиц.

Занятие 2. Прохождение заряженной частицы через вещество. Дельта-электроны. Ионизационные потери. Формула Бете-Блоха.

Занятие 3. Флуктуации ионизационных потерь. Длина пробега тяжелых заряженных частиц. Многократное рассеяние заряженных частиц.

Занятие 4. Тормозное излучение. Радиационные потери электронов. Критическая энергия.

Занятие 5. Черенковское излучение. Применение Черенковского излучения.

Занятие 6. Взаимодействие фотонов с веществом. Комптоновское рассеяние. Фотоэффект.

Занятие 7. Рождение пар. Соотношение сечений процессов. Развитие электрофотонных ливней.

Занятие 8. Проволочные камеры. Калориметры. Времяпролетные счетчики. Черенковские счетчики. Полупроводниковые детекторы.

Занятие 9. Переход от нерелятивистской квантовой теории к уравнению Клейна-Гордона. Интерпретация решений с отрицательной энергией. Введение взаимодействия с электромагнитным полем. Инвариантная амплитуда. Правила Фейнмана для бесспиновых частиц.

Занятие 10. Вероятность распада, выраженная через инвариантную амплитуду. Инвариантный фазовый объем. Сечение, выраженное через инвариантную амплитуду.

Занятие 11. Расчет рассеяния бесспиновых частиц друг на друге. Случай тождественных частиц.

Занятие 12. Аннигиляция частиц. Фотон. Вектора поляризации. Комптоновское рассеяние на бесспиновых частицах.

Занятие 13. Уравнение Дирака. Решение для свободных частиц. Нормировка спиноров и соотношение полноты. Соотношения для γ -матриц.

Занятие 14. Электродинамика частиц с полуцелым спином. Инвариантная амплитуда и правила Фейнмана. Теоремы о следе для γ -матриц.

Занятие 15. Случай тождественных частиц. Аннигиляция $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$. Пропагатор фермиона. Комптон эффект на фермионе. Сводка правил Фейнмана.

Занятие 16. Поправки высшего порядка. Лэмбовский сдвиг. Аномальный магнитный момент. Экранировка заряда. Понятие перенормировки. Бегущая константа связи.

Самостоятельная работа студентов (6 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Решение задач из задания	6

5. Перечень учебной литературы.

5.1. Основная литература

1. Окунь, Лев Борисович Физика элементарных частиц / Л.Б. Окунь Изд. 4-е. Москва : УРСС = URSS : Изд-во ЛКИ, 2008К. – ISBN 978-5-382-00755-7

5.2. Дополнительная литература

1. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика. ч.1 Физика атомного ядра. Москва "Атомиздат" 1975, «Энергоиздат», 1983. ISBN 5-283-03964-1

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

Самостоятельная работа студентов поддерживается следующими учебными пособиями:

1. Онучин О.П. Экспериментальные методы ядерной физики. Новосибирск 2007.

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 используется.

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 и MS Office.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

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

Для реализации дисциплины «Физика атомного ядра и элементарных частиц 1» 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 приема обязательных заданий.

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 в части, относящейся к формированию способности использовать специализированные знания в области физики элементарных частиц и физики детекторов в профессиональной деятельности.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на дифференцированном зачете. Дифференцированный зачет проводится в конце семестра в зачетную сессию по билетам в письменной форме, посредством решения задач, по одной из каждого раздела.

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

Индикатор	Результат обучения по дисциплине	Оценочные средства
ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при воспроизведении учебного материала с требуемой степенью научной точности и полноты.	Знать общие принципы теории физики элементарных частиц, иметь представление о задачах, решаемых в области физики элементарных частиц, а также устройство и принципы работы современных детекторов элементарных частиц.	Проведение контрольных работ, дифференцированный зачет.
ПК 1.2 Использует специализированные знания при проведении научных изысканий в избранной области	Уметь использовать полученные знания при взаимодействии со специалистами, которые занимаются ускорительной физикой элементарных частиц.	Проведение контрольных работ, дифференцированный зачет.

<p>ПК 1.3 Выбирает наиболее эффективные методы построения теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования</p>	<p>Владеть методами оценок основных параметров детекторов частиц и излучений.</p>	<p>Проведение контрольных работ, дифференцированный зачет.</p>
--	--	--

10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Физика атомного ядра и элементарных частиц 1».

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

Примеры домашних заданий для самостоятельной работы:

1. Протон с кинетической энергией 1 ГэВ останавливается в веществе. Найти зависимость потерь энергии на единицу длины пути протона (dE/dR) от пути, пройденного в веществе.
2. В каком диапазоне импульсов можно различать пионы и каоны с помощью системы идентификации, состоящей из времени пролетного счетчика с разрешением $\sigma(t) = 200$ псек, расположенного на расстоянии 1 м от места взаимодействия и порогового черенковского счетчика с коэффициентом преломления $n = 1.016$.
3. γ -кванты с энергией 1 ГэВ регистрируются счетчиком полного поглощения с разрешением $\sigma(E)/E = 1\%$. Определить, как изменится распределение по величине измеренной энергии, если перед счетчиком установить слой пассивного вещества толщиной 0.5 рад. длины Al .
4. ϕ -мезон с энергией E распадается налету на пару K^+K^- мезонов. Какой максимальный угол относительно первоначального направления ϕ может иметь каон? Чему равен максимальный угол между каонами?
5. Найти отношение вероятностей распада $K_L \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ и $K_S \rightarrow \pi^+\pi^-$, если матричные элементы этих процессов не зависят от углов вылета частиц и равны: $G_{3\pi}$ и $F_{2\pi}M_K$ соответственно.
6. Найти выражение для сечения рассеяния частицы со спином $1/2$ на частице со спином 0 (формула Мотта).
7. Какой интеграл светимости надо набрать на электрон-позитронном коллайдере при энергии $2E=400$ ГэВ чтобы на уровне 95% подтвердить рождение t -кварков.

Задачи для дифференцированного зачета:

Релятивистская кинематика

1. Найти энергетический спектр фотонов из распада $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$. Если в системе покоя π^0 угловое распределение фотонов изотропно. Энергия пиона E , масса m .
2. Электронный пучок взаимодействует с лазерным пучком энергии ω . Электроны и фотоны движутся навстречу друг другу, энергия гамма-квантов, рассеянных на угол 180° равна Ω . Зная массу электрона, найти энергию пучка.
3. Найти максимальную и минимальную энергию мюонов в распаде $\Psi(2S) \rightarrow J/\Psi \pi^0 \rightarrow \mu^+\mu^-\pi^0$, в системе покоя начальной частицы. Массы частиц (в МэВ) $M(\Psi(2S))=3686$, $M(J/\Psi)=3096$, $M(\mu)=105$, $M(\pi^0)=135$.
4. Считая, что температура реликтового излучения равна 2.7 К, и что оно имеет изотропное распределение. Определить для протона пороговую энергию для реакции рождения π^0 на реликтовых фотонах, которая идет через Δ^+ резонанс $\gamma p \rightarrow \Delta^+ \rightarrow p \pi^0$. Массы частиц (в МэВ) $M(p)=938$, $M(\Delta^+)=1220$, $M(\pi^0)=135$.
5. Вычислить минимальный угол между фотонами, рожденными из распада $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ в реакции $\Psi(2S) \rightarrow \gamma\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma\gamma$. Начальная частица покоится, массы частиц (в МэВ) $M(\Psi(2S))=3686$, $M(\pi^0)=135$.
6. Найти энергию начального π^+ если после распада $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$, скорость μ^+ равна скорости π^+ , угол рассеяния θ а масса ν_μ равна 0.
7. Найти максимальную энергию тормозного гамма кванта, для процессов $e^+X \rightarrow e^+ X \gamma$, где e^- электрон с энергией 1 ГэВ. А X
 - позитрон с энергией 1 ГэВ, движущейся навстречу электрону
 - покоящийся электрон
 - покоящийся протон

Взаимодействие частиц с веществом. Детекторы элементарных частиц

1. Максимальная энергия встречного электрон-позитронного коллайдера ВЭПП-2000 составляет 2 ГэВ в системе центра инерции. Какой показатель преломления пороговых черенковских счетчиков необходимо выбрать, чтобы получить максимально возможный импульсный диапазон π/K разделения, без использования информации о импульсе частицы (детектор СНД).
2. Определить импульсное разрешение дрейфовой камеры при измерении координат трека в трех точках. Магнитное поле $B = 2$ Тесла, база $L=2$ метра, радиус кривизны $R \gg L$, пространственное разрешение $\sigma=150$ микрометров.
3. Определить толщину пластины и материал необходимую для эффективного ослабления радиоактивного источника ^{90}Sr (β лучи с энергией 2.28 МэВ).
4. До каких импульсов можно идентифицировать ядра гелия и дейтерия (ионы $^2_1\text{H}^+$ и $^4_2\text{H}^{++}$) времяпролетных счетчиком, с разрешением 100 пс, при базе пролета 3 метра. Измерение импульса проводится в масс-спектрометре, массы ядер, следующие дейтерия 1875 МэВ, гелия 3728 МэВ.
5. Пучок протонов с энергией 500 МэВ и током 1 мА проходит через медную пластину толщиной 0.1 см. Рассчитать мощность, рассеиваемую пучком в пластине.
6. Электрон из ускорителя с энергией 10 ГэВ проходит через алюминиевую пластину толщиной 1 см. Сколько энергии он при этом теряет?
7. Электрон с энергией 3 ГэВ пролетает через вольфрамовую мишень и излучает тормозные γ -кванты. Характерный угол излучения $d\Theta/d\gamma \sim \ln\gamma/\gamma$. Оценить толщину мишени, при которой средний угол многократного рассеяния электрона в мишени сравняется с характерным углом тормозного излучения.
8. Частицы пролетают через магнитный спектрометр, состоящий из магнита длиной 1 метр и полем 1 Тесла и двух тонких координатных камер - одна на входе и одна на выходе. Угол влета частиц постоянный. Оценить максимальный импульс, измеряемый в такой схеме за счет эффекта многократного рассеяния в воздухе.
9. Калориметр детектора СНД состоит из 3 слоев NaI. Толщина 1-го слоя – $3 X_0$, 2-го слоя - $5 X_0$, 3-го слоя - $6 X_0$. Оценить энерговыделение по слоям для электрона с энергией 1 ГэВ и для гамма-кванта с энергией 100 МэВ. Оценить вероятность, когда гамма квант вообще не взаимодействует в калориметре.

Квантовая электродинамика

1. Вычислить дифференциальное и полное сечение процесса $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$
2. Вычислить дифференциальное сечение процесса (скалярная КЭД) $\pi^+\pi^- \rightarrow \pi^+\pi^-$
3. Вычислить дифференциальное сечение процесса $\pi^+e^- \rightarrow \pi^+e^-$, выполнив кросс преобразование и интегрирование найти полное сечение процесса, $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$.
4. Вычислить дифференциальное сечение процесса (скалярная КЭД) $\pi^+\pi^- \rightarrow K^+K^-$, рассчитать полное сечение.
5. Вычислить дифференциальное и полное сечение процесса $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$
6. Вычислить дифференциальное сечение процесса $e^-\gamma \rightarrow e^-\gamma$

Пример билета для дифференцированного зачета.

1. Найти максимальную и минимальную энергию мюонов в распаде $\Psi(2S) \rightarrow J/\Psi \pi^0 \rightarrow \mu^+\mu^-\pi^0$, в системе покоя начальной частицы. Массы частиц (в МэВ/c) $M(\Psi(2S))=3686$, $M(J/\Psi)=3096$, $M(\mu)=105$, $M(\pi^0)=135$. (на компетенцию ПК-2).
2. Определить толщину пластины и материал необходимую для эффективного ослабления радиоактивного источника ^{90}Sr (β лучи с энергией 2.28 МэВ).а (на компетенцию ПК-1).
3. Вычислить дифференциальное сечение процесса $\pi^+e^- \rightarrow \pi^+e^-$, выполнив кросс преобразование и интегрирование найти полное сечение процесса, $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$. (на компетенции ПК-2).

Форма билета для зачета представлена на рисунке

<p>МИНОБРНАУКИ РОССИИ</p> <p><i>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (Новосибирский государственный университет, НГУ)</i></p> <p>Физический факультет</p>
<p>БИЛЕТ № _____</p> <p>Задача 1. Задача 2. Задача 3.</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.

**Лист актуализации рабочей программы
по дисциплине «Физика атомного ядра и элементарных частиц 1»
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