

**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 2

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	108	32	32		22	18	2			2
Всего 108 часов / 3 зачётные единицы, из них: - контактная работа 68 часов										
Компетенции ПК-1										

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

С.В. Цыбуля

Новосибирск, 2022

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.	8
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.

Дисциплина (курс) «Физика атомного ядра и элементарных частиц 2» предназначен 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 строение ядра и элементарных частиц, типы взаимодействий, знать методы решения задач из области физики элементарных частиц.</p> <p>Уметь использовать полученные знания при взаимодействии со специалистами, которые занимаются ускорительной физикой элементарных частиц.</p> <p>Владеть методами расчета элементарных процессов квантовой электродинамики.</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 обсуждающиеся 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 изучающимися 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 2» реализуется в весеннем 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	108	32	32		22	18	2			2
Всего 108 часов / 3 зачётные единицы, из них: - контактная работа 68 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: домашние задания, задания для самостоятельного решения;
- промежуточная аттестация: дифференцированный зачет.

Общая трудоёмкость рабочей программы дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

- занятия лекционного типа – 32 часа;
 - практические занятия – 32 часа;
 - самостоятельная работа обучающегося в течение семестра, не включая период сессии – 22 часа;
 - промежуточная аттестация (подготовка к сдаче экзамена, консультации и экзамен) – 22 часа.
- Объём контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, практические занятия, групповые консультации, экзамен) составляет 68 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 2» представляет собой полугодовой курс, читаемый на 4-м курсе физического факультета НГУ в 8 семестре. Общая трудоёмкость дисциплины составляет 3 зачётные единицы, 108 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.	Физика атомного ядра	1-3	19	6	6	7	
2	Сильные взаимодействия	4-8	25	10	10	5	
3	Слабые взаимодействия	9-14	29	12	12	5	
	Стандартная модель	15-16	13	4	4	5	
	Групповая консультация		2				2
	Самостоятельная подготовка обучающегося к экзамену		18				18
8.	Экзамен		2				2
	Всего		108	32	32	22	22

Программа и основное содержание лекций (32 часов)

Раздел 1. Физика атомного ядра (6 часов)

Размеры и массы ядер

Способы измерения и точности. Капельная модель ядра. Формула массы ядра в этой моделию. Формула Вайцекера. Область стабильности ядер относительно β -распада.

Стабильность ядер относительно вылета нуклона.

Радиоактивность

Законы радиоактивности. Типы распадов ядер. α -распад. Природа α -распада. Времена жизни и энергии α -частиц. β -распад. Спектр β -распада. Условия отбора и типы β -переходов. γ -распад. Условия отбора. Энергии и времена γ -переходов.

Раздел 2. Сильные взаимодействия (10 часов)

Сильные взаимодействия.

Кварки. Цвет как заряд сильных взаимодействий. Эффект "невыветания" кварков.

Симметрия.

Симметрии в природе. Группа SU(2) спин, изоспин. Составные представления.

Проявления сохранения изоспина. Дискретные симметрии P, C, T. Группа SU(3) цвет, ароматы. Мезоны. Октет псевдоскалярных мезонов. Другие мезоны. Система наименований мезонов. Нарушение симметрии.

Кварки.

Трехкварковые состояния. Волновая функция протона. Магнитные моменты. Тяжелые кварки. s, b, t .

Раздел 3. Слабые взаимодействия. (12 часа)

Слабые взаимодействия.

Нарушение четности в слабом взаимодействии. V-A структура слабого тока. Слабые распады частиц. Распад мюона. Распад пиона. Распад каона, угол Кабибо

Нарушение CP-инвариантности

Углы смешивания в случае трех поколений кварков. CP-инвариантность. Нейтральные каоны, их распад. Нарушение CP-инвариантности в распадах каонов. Система В-мезонов, Нарушение CP-инвариантности в распадах В-мезонов. Рассеяния нейтрино под действием заряженных токов. Рассеяние на электронах. Рассеяние на кварках. Нейтральные токи. Осцилляции нейтрино.

Раздел 4. Стандартная модель. (4 часа)

Структура адронов

Рассеяние электронов на ядрах и нуклонах, формфакторы. Неупругое электрон-протонное рассеяние. Партоны и Бьеркиновский скейлинг. Кварки внутри протона. Понятие о КХД. Сечения испускания глюонов. Нарушение скейлинга. Аннигиляция e^+e^- в адроны. Трехструйные события.

Объединение взаимодействий

Электрослабые взаимодействия. Калибровочные симметрии. Теорема Нетер. Локальная U(1) инвариантность. Массивные калибровочные Бозоны. Спонтанное нарушение симметрии. Механизм Хигса. Модель Вайнберга-Салама. Великое объединение. Суперсимметрия.

Программа практических занятий (32 часа)

Занятие 1. Размеры и массы ядер: способы измерения и точности. Капельная модель ядра. Формула массы ядра в этой модели. Формула Вайцекера. Область стабильности ядер относительно β -распада. Стабильность ядер относительно вылета нуклона.

Занятие 2. Законы радиоактивности. Типы распадов ядер. α -распад. Природа α -распада. Времена жизни и энергии α -частиц.

Занятие 3. β -распад. Спектр β -распада. Условия отбора и типы β -переходов. γ -распад. Условия отбора. Энергии и времена γ -переходов.

Занятие 4. Кварки. Цвет как заряд сильных взаимодействий. Эффект "невыветания" кварков.

Занятие 5. Симметрии в природе. Группа SU(2), спин, изоспин. Составные представления. Проявления сохранения изоспина. Дискретные симметрии P, C, T. Группа SU(3) цвет, ароматы.

Занятие 6. Мезоны. Октет псевдоскалярных мезонов. Другие мезоны. Система наименований мезонов. Нарушение симметрии.

Занятие 7. Трехкварковые состояния. Волновая функция протона.

Занятие 8. Магнитные моменты. Тяжелые кварки s, b, t .

Занятие 9. Нарушение четности в слабом взаимодействии. V-A структура слабого тока.

Занятие 10. Слабые распады частиц. Распад мюона.

Занятие 11. Распад пиона. Распад каона, угол Кабибо.

Занятие 12. Углы смешивания в случае трех поколений кварков. CP-инвариантность. Нейтральные каоны, их распад. Нарушение CP-инвариантности в распадах каонов. Система В-мезонов. Нарушение CP-инвариантности в распадах В-мезонов.

Занятие 13. Рассеяния нейтрино под действием заряженных токов. Рассеяние на электронах. Рассеяние на кварках.

Занятие 14. Нейтральные токи. Осцилляции нейтрино.

Занятие 15. Рассеяние электронов на ядрах и нуклонах, формфакторы. Неупругое электрон-протонное рассеяние. Партоны и Бьеркиновский скейлинг. Кварки внутри протона. Понятие о КХД. Сечения испускания глюонов. Нарушение скейлинга. Аннигиляция e^+e^- в адроны. Трехструйные события.

Занятие 16. Электрослабые взаимодействия. Калибровочные симметрии. Теорема Нетер. Локальная U(1) инвариантность. Массивные калибровочные бозоны. Спонтанное нарушение симметрии. Механизм Хиггса. Модель Вайнберга-Салама. Великое объединение. Суперсимметрия.

Самостоятельная работа студентов (40 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Решение задач из задания	22
Подготовка к экзамену	18

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.I 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 2» 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, опроса по материалам предыдущей лекции.

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 экзамене. Экзамен проводится в конце семестра в экзаменационную 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 строение ядра и элементарных частиц, типы взаимодействий, знать методы решения задач из области физики элементарных частиц.	Проведение контрольных работ, экзамен.
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, экзамен.
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	Владеть методами расчета элементарных процессов квантовой электродинамики.	Проведение контрольных работ, экзамен.

10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Физика атомного ядра и элементарных частиц 2».

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 2.2	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 2.3	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

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

1. Излучение определенного радиоактивного вещества исследовалось на бета-спектрометре. Бета-спектр был разделен на 2 компоненты - 0.61 МэВ и 1.436 МэВ. Высокоэнергичная компонента оказалась в 4 раза интенсивнее низкоэнергичной. Когда геометрия была изменена так, что γ -кванты, сопровождающие β -распад, падали на серебряную фольгу, расположенную на месте источника спектрометра, то наблюдались следующие 5 линий:

Интенсивность	сильная	слабая	слабая	очень слабая	очень слабая
<u>E, МэВ</u>	<u>0.216</u>	<u>0.237</u>	<u>0.801</u>	<u>0.822</u>	<u>1.042</u>

Учитывая, что энергии связи К и L оболочек в Ag равны 25 и 4 кэВ, составить правдоподобную схему распадов для исследуемого вещества.

2. Оценить отношение ширины распадов τ -лептона: $\Gamma(\tau \rightarrow \nu_\tau + \text{hadrons}) / \Gamma(\tau \rightarrow \mu \nu_\tau \nu_\mu)$.

Найти отсюда время жизни τ -лептона, сравнить с табличным значением.

3. Оценить время жизни отрицательного μ в веществе после остановки, в зависимости от атомного номера вещества.

4. Найти отношение вероятностей распада: $V(\Lambda \rightarrow \pi^+ p) / V(\Lambda \rightarrow \pi^0 n)$

5. Используя кварковую модель, определить отношение магнитных моментов Σ , Λ гиперонов и протона.

6. Определить лептонную ширину распада Y -мезона ($M=10$ ГэВ), предполагая, что взаимодействие кварков описывается кулоновским потенциалом. Результат сравнить с экспериментальными данными.

7. В предположении, что масса мезонов может быть представлена в виде: $M=m_1+m_2+a(s_1*s_2)/(m_1m_2)$, найти массы векторных мезонов ρ , ω , ϕ . $m_u=m_d=0.31$; $m_s=0.48$; $a=0.16m_u^3$.

8. Оценить сечение рождения $\bar{e}^+e^- \rightarrow \nu\nu$ при $2E_{\text{beam}}=10$ ГэВ.

Задачи для экзамена:

Физика атомного ядра

1. Объяснить стабильность нейтрона в ядре дейтерия.

2. Какие из ядер (четно-четные, нечетно-нечетные, четно-нечетные, нечетно-четные) могут испытывать как β^+ так и β^- распады?

3. Какие переходы Ферми или Гамова-Теллера дают следующие распады:

$c^{42}(0^+) \rightarrow Ca^{42}(0^+)$, $P^{31}(1^+) \rightarrow Si^{31}(0^+)$, $H^3(1/2^+) \rightarrow He^3(1/2^+)$?

4. Почему бета распад ядер часто сопровождается гамма излучением?

5. Согласно проекту энерговыделение на единицу объема в Международном экспериментальном термоядерном реакторе (ИТЕР) составляет около 600 кВт/м³. Аналогичный параметр для Солнца составляет 30 Вт/м³. Почему энерговыделение на единицу объема для Солнца намного меньше чем в ИТЕРе?

6. Ядро U^{234} является продуктом распада основного изотопа урана U^{238} . Определить период полураспада U^{234} , если его содержание в естественном уране в настоящее время составляет 0.0055%. Период полураспада U^{238} $T=4.51 \cdot 10^9$ лет.

Сильные взаимодействия

1. Объяснить соотношение ширин переходов векторных мезонов $\Gamma(\rho \rightarrow \pi^+\pi^-)/\Gamma(\omega \rightarrow \pi^+\pi^-)$ и $\Gamma(\phi \rightarrow K^+K^-)/\Gamma(J/\psi \rightarrow K^+K^-)$. Почему векторные мезоны не распадаются на пару $\pi^0\pi^0$?

2. Найти отношение ширин магнитодипольных распадов векторных мезонов $\square(\rho \rightarrow \pi^0\gamma)/\Gamma(\omega \rightarrow \pi^0\gamma)$.

3. Используя изотопическую инвариантность, найти отношение ширин распадов $\Gamma(\Psi(2S) \rightarrow \pi^0\pi^0)/\Gamma(\Psi(2S) \rightarrow \pi^+\pi^-)$.

4. Считая, что дейтрон является изотопическим скаляром найти отношение сечений: $\sigma(pp \rightarrow d\pi^+)/\sigma(pn \rightarrow d\pi^0)$.

5. Какие законы сохранения нарушают следующие распады, а какие из них подавлены из-за нарушения симметрий выполняющихся лишь приближенно: $\eta \rightarrow \pi^+\pi^-$, $\eta' \rightarrow \pi^0\gamma$, $J/\psi \rightarrow \pi^+\pi^-$, $\rho \rightarrow \pi^+\pi^-$, $\Xi^0 \rightarrow \Sigma^+\pi^-$, $K^* \rightarrow \pi^-\gamma$, $\Psi(2S) \rightarrow J/\psi\pi^0$, $\Psi(2S) \rightarrow J/\psi\eta$?

6. Октет и синглет векторных и псевдоскалярных мезонов состоящих из u d s кварков, кварковая структура квантовые числа, волновые функции (флейворная, цветовая и спиновые составляющие), SU(2) и SU(3) симметрия.

7. Октет и декуплет барионов состоящих из u d s кварков, кварковая структура квантовые числа волновые функции (флейворная, цветовая и спиновые составляющие), SU(2) и SU(3) симметрия.

Слабые взаимодействия

1. Выразить отношение ширин распадов $D^+ \rightarrow \tau^+\nu_\tau$ и $D_s^+ \rightarrow \tau^+\nu_\tau$ через $f(D)$ и $f(D_s)$. Объяснить подавление первого распада по отношению ко второму (экспериментальный предел на отношение ширин $\Gamma(D^+ \rightarrow \tau^+\nu_\tau)/\Gamma(D_s^+ \rightarrow \tau^+\nu_\tau) < 0.1$).

2. Найти ширины основных распадов W бозона.

3. Определить ширину распада $t \rightarrow bW^+$.

4. Вычислить сечение рассеяния $e^+\nu_e \rightarrow \mu^+\nu_\mu$.

5. Масса b кварка примерно в 3 раза больше чем c, а время жизни псевдоскалярных B мезонов состоящих из b кварков (ст изменяется от 440 до 490 мкм) в 1.5 - 3 раза больше чем время жизни псевдоскалярных D мезонов (ст изменяется от 120 до 310 мкм), состоящих из c кварка. Объяснить почему.

6. Найти ширины основных распадов Z^0 бозона.

7. Барионы Σ^- Σ^0 Σ^+ относятся к одному триплету. Объяснить, почему они имеют столь различные времена жизни $1.5 \cdot 10^{-10}$, $7.4 \cdot 10^{-20}$, $8 \cdot 10^{-11}$ секунд соответственно?

Пример билета для экзамена.

1. Почему бета распад ядер часто сопровождается гамма излучением?

2. Считая, что дейтрон является изотопическим скаляром найти отношение сечений: $\sigma(pp \rightarrow d\pi^+)/\sigma(pn \rightarrow d\pi^0)$

3. Найти ширины основных распадов Z^0 бозона.

Форма экзаменационного билета представлена на рисунке

<p style="text-align: center;">МИНОБРНАУКИ РОССИИ</p> <p style="text-align: center;"><i>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (Новосибирский государственный университет, НГУ)</i></p> <p style="text-align: center;">Физический факультет</p>
<p style="text-align: center;">БИЛЕТ № _____</p> <p style="text-align: center;">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 2»
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