

**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
НЕУСКОРИТЕЛЬНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ В ФИЗИКЕ 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 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
8	36	12	4		18			2		
Всего 36 часов / 1 зачётная единица, из них: - контактная работа 18 часов										
Компетенции ПК-1										

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

С.В. Цыбуля

Новосибирск, 2022

Оглавление

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.....	3
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.....	4
3. 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
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.	88
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.	9

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

Цель курса - познакомить студентов, специализирующихся на кафедре физики элементарных частиц, с основными современными неускорительными экспериментами в физике элементарных частиц. В курсе дается описание наиболее актуальных экспериментов данного раздела физики частиц, в частности, рассказывается об экспериментах по поиску массы нейтрино, поиску двойного бета-распада, изучению осцилляций нейтрино. Также дается представление о наблюдении космических частиц высоких энергий и сверхвысоких энергий и об экспериментах по поиску темной материи.

Цель курса - познакомить студентов, специализирующихся на кафедре физики элементарных частиц, с основными современными неускорительными экспериментами в физике частиц. В курсе дается описание наиболее актуальных экспериментов данного раздела физики частиц, в частности, рассказывается об экспериментах по поиску массы нейтрино, поиску двойного бета-распада, изучению осцилляций нейтрино. Также дается представление о наблюдении космических частиц высоких энергий и сверхвысоких энергий и об экспериментах по поиску темной материи.

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 основные явления физики частиц, для изучения которых применяются неускорительные эксперименты; знать принципы устройства и проведения современных нейтринных экспериментов, а также экспериментов по наблюдению космических частиц и поиску темной материи;</p> <p>Уметь ориентироваться в источниках литературы и других источниках информации по данной проблематике; уметь делать простые оценки параметров осцилляций нейтрино, характеристик двойного бета-распада, а также спектра первичных космических лучей;</p> <p>Владеть представлением о принципах экспериментов по поиску массы нейтрино, поиску двойного бета-распада, изучению осцилляций нейтрино; владеть представлением о наблюдении</p>

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
		космических частиц высоких энергий и сверхвысоких энергий и об экспериментах по поиску темной материи.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «**Неускорительные эксперименты**» входит в число специальных дисциплин программы бакалавриата по направлению подготовки 03.03.02 Физика, реализуемых кафедрой физики элементарных частиц. Программа курса «**Неускорительные эксперименты в физике элементарных частиц**» составлена в соответствии с требованиями СУОС к уровню бакалавриата по направлению подготовки **03.03.02 Физика, направленность «Общая и фундаментальная физика»**, а также задачами, стоящими перед Новосибирским государственным университетом по реализации Программы развития НГУ. Дисциплина реализуется на физическом факультете Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (Новосибирский государственный университет, НГУ) кафедрой физики элементарных частиц. Дисциплина изучается студентами четвертого курса бакалавриата физического факультета в весеннем семестре.

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 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
8	36	12	4		18			2		
Всего 36 часов / 1 зачётная единица, из них: - контактная работа 18 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, зачет.

Итоговый контроль. Для контроля усвоения дисциплины учебным планом предусмотрен зачет.

Текущий контроль. В качестве текущего контроля успеваемости используется контроль посещаемости, решение задач из задания для самостоятельного решения. Кроме того, в течение семестра проводятся дискуссии, в которых участвуют все студенты (обсуждаются особенности теоретических моделей, сравниваются различные экспериментальные методы, анализируются возможные ошибки в экспериментах и т.д.). Участие в дискуссиях является обязательным для всех студентов.

По курсу предусмотрен зачет.

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

- занятия лекционного типа – 12 часов;
- практические занятия – 4 часа;
- самостоятельная работа обучающегося в течение семестра, не включая период сессии – 18 часов.
- Промежуточная аттестация (зачет) – 2 часа.

Объём контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, практические занятия, зачет) составляет 18 часов.

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

Дисциплина «Неускорительные эксперименты в физике элементарных частиц» представляет собой полугодовой курс, читаемый на четвертом курсе бакалавриата физического факультета НГУ в весеннем семестре. Общая трудоемкость дисциплины составляет 1 зачетную единицу, 36 часов.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				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	Ведение (Предмет курса и главные открытия «неускорительной» эры.)	1-2	3	1		2	
2	Физика нейтрино: основные свойства и эксперименты.	3-4	6	2	2	2	

3	Эксперименты по поиску двойного β -распада.	5-6	5	1	2	2	
4	Солнечные и космические нейтрино. Осцилляции нейтрино.	7-8	4	2		2	
5	Эксперименты с реакторными и ускорительными нейтрино.	9-10	3	1		2	
6	Космические частицы. Измерения спектра и состава первичного космического излучения.	11-14	4	2		2	
7	Космические лучи высоких и сверхвысоких энергий.	15	4	2		2	
8	Темная материя.	15	5	1		4	
9	Групповая консультация	16					
10	Зачет	17	2				2
	Итого по курсу:		36	12	4	18	2

Программа курса лекций

Раздел 1. Введение (Предмет курса и главные открытия «неускорительной» эры) (1 час).

Раздел 2. Физика нейтрино (2 часа).

2.1. Основные свойства и история открытия.

2.2. Поиски нейтрино. Прямое наблюдение нейтрино (эксперимент Рейнеса – Коуэна).

2.3. Определение спиральности нейтрино Гольдхабер и др., 1958

2.4. Поиски массы нейтрино.

2.5. Эксперименты по поиску двойного β -распада. Дираковские и майорановские нейтрино.

Раздел 3. Эксперименты по поиску двойного β -распада (1 час).

Раздел 4. Солнечные и космические нейтрино. Осцилляции нейтрино (2 часа).

3.1. Природа солнечных нейтрино и их энергетический спектр.

3.2. Измерение потока солнечных нейтрино с помощью радиохимических методов.

3.3. Современные эксперименты по изучению солнечных нейтрино.

3.4. Осцилляции нейтрино.

3.5. Эксперименты с реакторными нейтрино.

Раздел 5. Эксперименты с реакторными и ускорительными нейтрино (1 час).

Раздел 6. Космические частицы (2 часа).

4.1. Открытие космических лучей и начальный этап их изучения.

4.2. Космические лучи на поверхности Земли и первичные космические лучи.

4.3. Измерения спектра и состава первичного космического излучения.

Раздел 7. Космические лучи высоких и сверхвысоких энергий (2 часа).

5.1. Гипотезы о происхождении космических частиц высоких энергий.

5.2. Точечные и распределенные источники.

5.3. Предел ГЗК, имеющиеся экспериментальные данные и планируемые эксперименты.

Раздел 8. Темная материя (1 час).

Программа практических занятий

1. Физика нейтрино: основные свойства и эксперименты (2 часа). Темная материя. Первые свидетельства существования темной материи. Ведущиеся и планируемые эксперименты по поиску WIMP.
2. Эксперименты по поиску двойного β -распада (2 часа). Сегодняшние данные.

Самостоятельная работа студентов (18 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Разбор материала лекций	10
Подготовка к дискуссиям	8

5. Перечень учебной литературы.

1. Хелзен, Фрэнсис. Кварки и лептоны: Введение в физику частиц / Ф. Хелзен, А. Мартин ; Пер. с англ. А.П. Гаряки и др. / Под ред. А.Ц. Амадуни = Quarks and Leptons. М. : Мир, 1987. 455 с. (6 экз)
2. Бугаев, Эдгар Валерьевич. Космические мюоны и нейтрино / Э.В. Бугаев, Ю.Д. Котов, И.Л. Розенталь. М. : Атомиздат, 1970. 320 с.(2 экз.)
3. Клапдор-Клайнротхаус, Ганс Волкер. Астрофизика элементарных частиц : Пер. с нем. = Teilchenastrophysik / Г.В. Клапдор-Клайнротхаус, К. Цюбер ; Под ред. В.А. Беднякова. М. : Ред. журн. "Успехи физических наук", 2000. 495 с., ISBN 5-85504-012-7 (1 экз.)

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

Самостоятельная работа студентов поддерживается следующими методическими пособиями:

1. Шварц Б.А. Неускорительные эксперименты в физике элементарных частиц. Электронный лекционный курс / Новосибирск: НГУ, 2019. <https://hepdep.inp.nsk.su/117.shtml>
2. Горбунов, Дмитрий Сергеевич. Введение в теорию ранней Вселенной. Космологические возмущения. Инфляционная теория / Д.С. Горбунов, В.А. Рубаков ; Рос. акад. наук, Ин-т ядер. исслед. Москва : УРСС = URSS : КРАСАНД, 2010. 555 с. : ил., [4] л. цв. ил.
3. Ю.В.Козлов, В.П.Мартемьянов, К.Н.Мухин, Проблема массы нейтрино в современной нейтринной физике, УФН 167 (1997) 849.
4. Рябов В.А., Царев В.А., Цховребов А.М. Поиски частиц темной материи. УФН 178 (2008) с.1129

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

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:

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

7.1 Современные профессиональные базы данных

Не используются.

7.2 Информационные справочные системы

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

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.

Система контроля включает текущий (по ходу семестра) контроль освоения практического материала, а также зачет.

В качестве текущего контроля успеваемости используется контроль посещаемости и участие в дискуссиях.

Теоретический материал курса освещается в ходе лекций. В лекциях обсуждается как теоретические аспекты, так и реальные примеры использования обсуждаемых методов и технологий из практики наиболее известных экспериментов в мировой науке. Все лекционные занятия проводятся в интерактивной форме. В ходе лекций поощряются вопросы слушателей, часть тем обсуждается в форме дискуссий. Материал всех лекций доступен в электронном виде. В ходе лекций широко используются компьютерные демонстрации. Для чтения отдельных лекций (в особенности, по темам из дополнительного раздела курса) рекомендуется приглашать специалистов, занимающихся активной научной и практической деятельностью в соответствующей области знаний.

Заключительным этапом курса является проведение зачета. Возможно выставление зачета без его сдачи при отличной посещаемости, активном участии в дискуссиях в ходе лекции и демонстрации глубокого понимания широкого круга вопросов, связанных с применением информационных технологий в физическом эксперименте.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на зачете. Зачет проводится в конце семестра в устной форме. Освоение компетенций оценивается по двухбалльной шкале.

Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины

Таблица 10.1

Индикатор	Результат обучения по дисциплине	Оценочные средства
------------------	---	---------------------------

<p>ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при воспроизведении учебного материала с требуемой степенью научной точности и полноты.</p>	<p>Знать основные явления физики частиц, для изучения которых применяются неускорительные эксперименты; знать принципы устройства и проведения современных нейтринных экспериментов, а также экспериментов по наблюдению космических частиц и поиску темной материи;</p>	<p>Проведение дискуссий, дифференцированный зачет.</p>
<p>ПК 1.2 Использует специализированные знания при проведении научных изысканий в избранной области</p>	<p>Уметь ориентироваться в источниках литературы и других источниках информации по данной проблематике; уметь делать простые оценки параметров осцилляций нейтрино, характеристик двойного бета-распада, а также спектра первичных космических лучей;</p>	<p>Проведение дискуссий, дифференцированный зачет.</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>Владеть представлением о принципах экспериментов по поиску массы нейтрино, поиску двойного бета-распада, изучению осцилляций нейтрино; владеть представлением о наблюдении космических частиц высоких энергий и сверхвысоких энергий и об экспериментах по поиску темной материи.</p>	<p>Проведение дискуссий, дифференцированный зачет.</p>

10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Неускорительные эксперименты в физике».

Таблица 10.2

		Уровень освоения компетенции
--	--	------------------------------

Критерии оценивания результатов обучения	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Не сформирован (не зачтено)	Пороговый уровень (зачтено)	Базовый уровень (зачтено)	Продвинутый уровень (зачтено)
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 задач из задания для самостоятельного решения.

1. Найти энергетический спектр фотонов из распада $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$, если пион летит с постоянной скоростью и в системе покоя распадается изотропно. Энергия пиона E , масса m .
2. Считая, что температура реликтового излучения равна 2.7 К и что оно имеет изотропное распределение, определить пороговую энергию протона для реакции рождения π^0 на реликтовых фотонах ($p\gamma \rightarrow p\pi^0$). Массы частиц $M_p = 938$ МэВ, $M_{\pi^0} = 135$ МэВ.
3. Оценить поперечные размеры ШАЛ, инициированным протонов с высоких энергий в предположении, что до поверхности земли доходят мюоны со средней энергией 5 ГэВ.
4. Определить распределение плотности темной материи в галактике, если радиальные скорости звезд не зависят от расстояния до ее центра.

Билеты к зачету:

- 1 Начало физики элементарных частиц и открытия «неускорительной» эры.
2. Физика нейтрино. Основные свойства и история открытия.
3. Поиски нейтрино. Прямое наблюдение нейтрино (эксперимент Рейнеса – Коуэна).
4. Определение спиральности нейтрино Гольдхабер и др., 1958
5. Поиски массы нейтрино.
6. Эксперименты по поиску двойного β -распада. Дираковские и майорановские нейтрино.
7. Солнечные и космические нейтрино. Осцилляции нейтрино.
8. Природа солнечных нейтрино и их энергетический спектр.
9. Измерение потока солнечных нейтрино с помощью радиохимических методов.
10. Современные эксперименты по изучению солнечных нейтрино.
11. Осцилляции нейтрино.
12. Эксперименты с реакторными нейтрино.
13. Космические частицы. Открытие космических лучей и начальный этап их изучения.
14. Космические лучи на поверхности Земли и первичные космические лучи. Измерения спектра и состава первичного космического излучения.
15. Космические лучи высоких и сверхвысоких энергий. Гипотезы о происхождении космических частиц высоких энергий.
16. Точечные и распределенные источники.
17. Предел ГЗК, имеющиеся экспериментальные данные и планируемые эксперименты.
18. Темная материя. Первые свидетельства существования темной материи. Сегодняшние данные (включая микролинзирование).
- 19 Ведущиеся и планируемые эксперименты по поиску WIMP.

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 «Неускорительные эксперименты в физике»
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