

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы
природоподобных, плазменных и
ядерных технологий им. И.В.
Курчатова**

Т.Е. Григорьев

Рабочая программа дисциплины (модуля)

по дисциплине:	Слабые взаимодействия. Стандартная модель
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий Физтех-школа природоподобных, плазменных и ядерных технологий им. И.В. Курчатова кафедра теоретической астрофизики и квантовой теории поля
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составил: А.К. Лиходед, д-р физ.-мат. наук, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры теоретической астрофизики и квантовой теории поля 21.02.2025

Аннотация

Первая часть курса знакомит слушателей с теорией электрослабых взаимодействий – естественной частью подготовки любого специалиста в области современной физики частиц. Вторая часть курса посвящена более традиционной проблематике – распадам лептонов и адронов.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- первая часть курса знакомит слушателей с теорией электрослабых взаимодействий – естественной частью подготовки любого специалиста в области современной физики частиц. Вторая часть курса посвящена более традиционной проблематике – распадам лептонов и адронов.

Задачи дисциплины

- формирование у обучающихся базовых знаний по электрослабым взаимодействиям;
- формирование навыков для решения задач.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ОПК-5 Способен и готов к повышению квалификации, профессиональному росту и руководству коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия	ОПК-5.3 Стремится к получению новых знаний, профессиональному и личностному росту
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели

новые научные результаты	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.1 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в составе научного коллектива
	ПК-2.2 Способен проводить апробацию результатов научно-исследовательской работы посредством публикации научных статей и участия в конференциях
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

теорию Вайнберга-Салама.

уметь:

вычислять времена жизни частиц.

владеть:

математическим аппаратом квантовой теории поля.

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

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Теория электрослабых взаимодействий	15	15		20
2	Распады лептонов и адронов	15	15		25
Итого часов		30	30		45
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		135 час., 3 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 1 (Осенний)

1. Теория электрослабых взаимодействий

1.1. Взаимодействия и массы нейтрино.

1.2. Осцилляции нейтрино.

1.3. Универсальное слабое взаимодействие.

2. Распады лептонов и адронов

- 2.1. Распад мюона.
- 2.2. Бозонный сектор Стандартной Модели.
- 2.3. Фермионы в Стандартной Модели.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Учебная аудитория, оснащенная мультимедиапроектором и экраном.

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Лептоны и кварки [Текст] / Л. Б. Окунь .— 7-е изд. — [Научное изд.] — М. : ЛЕНАНД, 2015 .— 352 с.
 2. Введение в квантовую теорию поля [Текст] : [учебник для вузов] / М. Пескин, Д. Шредер ; пер. с англ. под ред. А.А. Белавина, А. В. Беркова .— М. ; Ижевск : Регулярная и хаотическая динамика, 2001 .— 784 с.
- Фонд литературы кафедры
3. Высоцкий М.И. Лекции по теории электрослабых взаимодействий, Физматлит, М., 2011.

Дополнительная литература

1. Квантовая электродинамика [Текст] : учеб. пособие для студентов физ. спец. ун-тов / В. Б. Берестецкий, Е. М. Лифшиц, Л. П. Питаевский .— 4-е изд., испр. — М. : Физматлит, 1989, 2001, 2002, 2006 .— 720 с.
 2. Квантовые поля [Текст] / Н. Н. Боголюбов, Д. В. Ширков - М.Физматлит,2005
 3. Релятивистская квантовая теория [Текст] : в 2 т. Т. 1. Релятивистская квантовая механика / Дж. Д. Бьеркен, С. Д. Дрелл ; пер. с англ. Б. О. Кербилова ; под ред. В. Б. Берестецкого .— Новокузнецк : НФМИ, 2000 .— 296 с.
 4. Релятивистская квантовая теория [Текст] : в 2 т. Т. 2. Релятивистская квантовая механика / Дж. Д. Бьеркен, С. Д. Дрелл ; Пер. с англ. Б. О. Кербилова ; Под ред. В. Б. Берестецкого .— Новокузнецк : НФМИ, 2000 .— 408 с.
 5. Квантовая электродинамика [Текст]/А. И. Ахиезер, В. Б. Берестецкий, [монография], -М., Наука, 1981
 6. Квантовая теория поля [Текст]. В 2 т. Т. 1/С. Вайнберг , -М., Физматлит, 2003
 7. Квантовая теория поля [Текст]. В 2 т. Т. 2/С. Вайнберг , -М., Физматлит, 2003
 8. Введение в теорию ранней Вселенной: Теория горячего Большого взрыва [Текст]/Д. С. Горбунов, В. А. Рубаков , -М., ЛКИ, 2008
- Фонд литературы кафедры

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

<http://lib.mipt.ru/catalogue/1604/?t=492> – электронная библиотека Физтеха, раздел «Алгебра».

<http://www.exponenta.ru> – образовательный математический сайт.

<http://mathnet.ru> – общероссийский математический портал.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Не предусмотрено.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Студент, изучающий дисциплину, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения дисциплины, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к преподавателю.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий Физтех-школа природоподобных, плазменных и ядерных технологий им. И.В. Курчатова кафедра теоретической астрофизики и квантовой теории поля
курс:	<u>1</u>
квалификация:	магистр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Экзамен	
Разработчик:	А.К. Лиходед, д-р физ.-мат. наук, профессор

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ОПК-5 Способен и готов к повышению квалификации, профессиональному росту и руководству коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия	ОПК-5.3 Стремится к получению новых знаний, профессиональному и личностному росту
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.1 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в составе научного коллектива
	ПК-2.2 Способен проводить апробацию результатов научно-исследовательской работы посредством публикации научных статей и участия в конференциях
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Слабые взаимодействия. Стандартная модель» обучающийся должен:

знать:

теорию Вайнберга-Салама.

уметь:

вычислять времена жизни частиц.

владеть:

математическим аппаратом квантовой теории поля.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Не предусмотрено.

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Перечень контрольных вопросов к экзамену:

- Эффект Голдстоуна.
- Непенормируемость 4-фермионного взаимодействия,
- теория массивного векторного бозона
- эффект Голдстоуна – спонтанное «нарушение» симметрии
- киральная симметрия КХД
- соотношение Гольдбергера-Треймана
- решаемые примеры: $U(1)$, $O(3)$, $SU(2)$.
- Эффект Хиггса.
- Локальная $U(1)$
- бозон Хиггса
- унитарная калибровка, калибровка Ландау, R-калибровки.
- Бозонный сектор Стандартной Модели.
- Локальная $SU(2)$,
- лагранжиан векторных полей,
- хиггсовский сектор
- «охранная» симметрия
- $SU(2) \times U(1)$ теория Глэшоу-Вайнберга-Салама: хиггсовский и калибровочный секторы.
- Фермионы в Стандартной Модели.
- Левые и правые фермионы
- слабые взаимодействия лептонов и кварков
- фермиевская константа G
- определение параметров $SU(2) \times U(1)$ -модели
- нейтральные токи
- треугольные аномалии: кварк-лептонная симметрия, нейтральность атома водорода и нейтрино в СМ.
- Свойства W - и Z -бозонов.
- Рождение и распады W - и Z -бозонов.
- Свойства бозона Хиггса.
- Бозон Хиггса: масса, рождение, распады.
- Взаимодействия и массы нейтрино.
- Рассеяние нейтрино на электроны
- глубоко-неупругое рассеяние нейтрино на нуклоне
- масса нейтрино.
- Осцилляции нейтрино.
- осцилляции электронного нейтрино – эксперимент KamLAND
- солнечные нейтрино
- влияние вещества
- осцилляции мюонного нейтрино в тау-нейтрино - атмосферные нейтрино,
- ускорительные эксперименты

- случай трех нейтрино (матрица PMNS).
- Универсальное слабое взаимодействие.
- Левые заряженные токи.
- Нарушение P- и C- и CP- инвариантности.
- Универсальность заряженного тока.
- Нейтральный ток.
- Распад мюона.
- Амплитуда распада.
- Вероятность распада.
- Распад поляризованного мюона.
- Качественное обсуждение.
- Лептонные и полулептонные распады мезонов и барионов.
- ud - ток и его свойства.
- Распады пионов.
- Распад нейтрона.
- Распады, инициируемые us - током.
- SU(3)- симметрия в распадах гиперонов
- Распады гиперонов и K- мезонов.
- Нелептонные распады гиперонов.
- Правило $\Delta T=1/2$.
- Нелептонные распады K-мезонов.
- Смешивание нейтральных K- мезонов. Нарушение CP.
- Осцилляции нейтральных K- мезонов.
- Разность масс нейтральных K- мезонов и GIM- механизм.
- Нарушение CP- симметрии в распадах K- мезонов.
- CP- нечетное смешивание и прямое нарушение CP- симметрии.
- Распады тау- лептона.
- Лептонные распады тау-лептона.
- Полуадронные распады тау-лептона.
- Проверка гипотезы дуальности в распадах тау-лептона.
- Распады очарованных адронов. Распады B- мезонов.
- Очарованные адроны, распадающиеся за счёт слабых взаимодействий.
- Времена жизни очарованные адронов.
- Гипотеза дуальности и спектаторное приближение.
- Нарушение спектаторного приближения в распадах нейтральных D- мезонов.
- Глюонное усиление. Обменные эффекты. Слабая аннигиляция.
- Подавление слабой аннигиляции в распадах B- мезонов.
- Параметризация матрицы CKM.
- Смешивание нейтральных B- мезонов. Нарушение CP- симметрии в распадах B- мезонов и треугольник унитарности.

Примеры экзаменационных билетов:

Билет 1.

1. Эффект Голдстоуна.
2. Осцилляции мюонного нейтрино в тау-нейтрино - атмосферные нейтрино.

Билет 2.

1. Эффект Хиггса.
2. Очарованные адроны, распадающиеся за счёт слабых взаимодействий.

Критерии оценивания

Оценка "отлично" (10 баллов) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка "отлично" (9 баллов) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка "отлично" (8 баллов) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочётами.

Оценка "хорошо" (7 баллов) выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка "хорошо" (6 баллов) выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка "хорошо" (5 баллов) выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка "удовлетворительно" (4 балла) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка "удовлетворительно" (3 балла) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка "неудовлетворительно" (2 балла) выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка "неудовлетворительно" (1 балл) выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

При проведении устного экзамена обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету на устном экзамене не должен превышать одного астрономического часа.