

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

**УТВЕРЖДЕНО**

**и.о. директора физтех-школы  
физики и исследований им.  
Ландау**

**А.А. Воронов**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Слабые взаимодействия. Стандартная модель
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра физики высоких энергий
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	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 физики высоких энергий 04.06.2020

## 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.
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. Кербикова ; 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. Кербикова ; 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

## **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.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра физики высоких энергий
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Экзамен	
<b>Разработчик:</b>	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.