

**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>	Стандартная модель элементарных частиц и их взаимодействий
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра фундаментальных взаимодействий и космологии
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

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

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Количество контрольных работ, заданий: 2

Программу составил: С.В. Демидов, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры фундаментальных взаимодействий и космологии 04.06.2020

## Аннотация

В настоящее время Стандартная модель физики элементарных частиц является базой для описания фундаментальных взаимодействий частиц. В данном курсе дается детальный обзор Стандартной модели, обсуждаются ее симметрии и соответствующие законы сохранения, в том числе приближенные, приводятся примеры вычислений целого ряда наблюдаемых, характерных для экспериментов в физике элементарных частиц. Курс является логическим продолжением курса «Введение в физику элементарных частиц», однако, в отличие от последнего предполагает активное использование понятий и методов квантовой теории поля, в том числе, знание основ калибровочных теорий.

Программа курса состоит из нескольких частей посвященных различным секторам Стандартной модели, соответствующим типам взаимодействий элементарных частиц. Отдельно рассматриваются аспекты сильных и электрослабых взаимодействий, процессы глубоко неупругого рассеяния, процессы с нарушением флейворных симметрий и CP-четности. Затрагиваются вопросы, связанные с квантовыми аномалиями.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

- изучение базовых аспектов "Стандартной модели физики элементарных частиц".

### Задачи дисциплины

изучение описания взаимодействий в рамках "Стандартной модели физики элементарных частиц";

овладение методами описания процессов с участием адронов;

изучение свойств элементарных частиц "Стандартной Модели физики элементарных частиц";

изучение роли симметрий в физике элементарных частиц.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
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

## 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

– структуру и симметрии стандартной модели физики элементарных частиц, правила Фейнмана для полей стандартной модели.

уметь:

– вычислять вероятности процессов с участием частиц стандартной модели элементарных частиц.

владеть:

– навыками освоения большого объема информации, навыками поиска информации в сети Интернет, навыками самостоятельной работы.

#### 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	Лагранжиан, параметры и симметрии – общий обзор.	2			2
2	Сильные взаимодействия и адроны.	4			4
3	Глубоко-неупругое рассеяние.	2			2
4	Кварки и глюоны, квантовая хромодинамика.	4			4
5	Механизм Хиггса и бозонный сектор.	2			2
6	Бозон Хиггса.	2			2
7	Электрослабые взаимодействия: кварки и лептоны	2			2
8	Нарушение флейворных симметрий в Стандартной модели.	4			4
9	Нарушение СР-симметрии	4			4
10	Понятие об квантовых аномалиях и их роль	4			4
Итого часов		30			30
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

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

Семестр: 1 (Осенний)

###### 1. Лагранжиан, параметры и симметрии – общий обзор.

Скалярные, спинорные и векторные поля Стандартной модели, ее лагранжиан, параметры и симметрии.

###### 2. Сильные взаимодействия и адроны.

Обзор свойств адронов на примере легчайших мультиплетов мезонов и барионов и их связь с кварковым составом адронов.

###### 3. Глубоко-неупругое рассеяние.

Описание глубоко-неупругого рассеяния лептонов адронах. Партоновые функции распределения и их использование при вычислении сечений процессов столкновения адронов.

###### 4. Кварки и глюоны, квантовая хромодинамика.

Кварки и глюоны в Стандартной модели. Квантовая хромодинамика. Киральная симметрия. Кварки и глюоны как партоны. Уравнения Альтарелли-Паризи.

## 5. Механизм Хиггса и бозонный сектор.

Описание механизма Хиггса в Стандартной модели: спонтанное нарушение калибровочной симметрии и физические поля в бозонном секторе.

## 6. Бозон Хиггса.

Обзор свойств бозона Хиггса, его основные моды распада. Каналы рождения бозона Хиггса в столкновениях частиц на коллайдерах.

## 7. Электрослабые взаимодействия: кварки и лептоны

Описание электрослабых взаимодействий кварков и лептонов. Примеры вычислений вероятностей отдельных процессов.

## 8. Нарушение флейворных симметрий в Стандартной модели.

Процессы с нарушением флейвора в нейтральных токах. ГИМ-механизм. Осцилляции мезонов.

## 9. Нарушение CP-симметрии

Процессы с нарушением CP-симметрии в Стандартной модели. CP-нарушение в распадах и осцилляциях мезонов. Понятие о сильной CP-проблеме.

## 10. Понятие об квантовых аномалиях и их роль

Киральная аномалия и ее связь с распадом нейтрального пи-мезона. Калибровочные аномалии и их сокращение в Стандартной модели.

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

Учебная аудитория, оснащенная мультимедиапроектором и экраном, доской.

## 6.Перечень рекомендуемой литературы

### Основная литература

1. Калибровочные теории в физике элементарных частиц [Текст] = Gauge theory of elementary particle physics/Та-пей Ченг, Линг-фонг Ли , -М., Мир, 1987
2. Квантовая хромодинамика [Текст] = Quantum chromodynamics, Введение в теорию кварков и глюонов/Ф. Индурайн , -М., Мир, 1986
3. Теория калибровочных взаимодействий элементарных частиц [Текст]/М. Б. Волошин, К. А. Тер-Мартirosян, -М., Энергоатомиздат, 1984
4. C.Burgess, G. Moor. The Standard Model: A Primer. Cambridge University Press, 2007.

### Дополнительная литература

1. Введение в квантовую теорию поля [Текст] : [учебник для вузов] / М. Пескин, Д. Шредер ; пер. с англ. под ред. А.А. Белафина, А. В. Беркова .— М. ; Ижевск : Регулярная и хаотическая динамика, 2001 .— 784 с.
2. Лептоны и кварки [Текст] / Л. Б. Окунь .— 7-е изд. — [Научное изд.] .— М. : ЛЕНАНД, 2015 .— 352 с.
3. Классические калибровочные поля : Бозонные теории [Текст] / В. А. Рубаков - М.ЛИБРОКОМ,2016
4. W.N. Cottingham, D.A. Greenwod. An Intoduction to the Standard Model of Particle Physics. Cambridge University Press, 2007.

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

<http://inspirehep.net/>

<http://xxx.lanl.gov/>

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

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций. В процессе самостоятельной работы обучающихся желательное использование сайтов <http://xxx.lanl.gov/>.

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

Студент, изучающий курс «Стандартная модель элементарных частиц и их взаимодействий», 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, уверенно разбираться в основных аспектах Стандартной модели элементарных частиц, уметь выписывать лагранжиан взаимодействия полей, входящих в Стандартную модель, а также уметь вычислять вероятности фундаментальных процессов с частицами в этой модели. Обучающийся должен уметь применять полученные знания для решения различных задач современной теоретической физики. Курс является логическим продолжением курса «Введение в физику элементарных частиц», однако, в отличие от него, предполагает активное использование методов квантовой теории поля. Изучение теоретического курса должно выполняться самостоятельно каждым студентом по итогам каждой из лекций, результаты контролируются преподавателем на лекционных занятиях, при этом используются конспект лекций, учебники, рекомендуемые данной программой. По заданию преподавателя решаются задачи, выданные преподавателем по итогам лекционных занятий, используются конспект лекций, учебники, рекомендуемые данной программой, а также сборники задач, включая электронные, учебно-методические пособия.

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы,
- проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения, доказательство отдельных утверждений, свойств;
- подготовку к экзамену.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций.

Показателем владения материалом служит умение решать задачи. Для формирования умения применять теоретические знания на практике студенту необходимо решать как можно больше задач. При решении задач каждое действие необходимо аргументировать, ссылаясь на известные теоретические сведения и экспериментальные данные.

При подготовке к занятиям необходимо повторять ранее пройденный материал. В начале занятия, как правило, проводится короткий (10-15 минут) опрос по материалу прошедших занятий в устной или письменной форме. Обычно придерживаются следующей схемы: изучение материала лекции по конспекту в тот же день, когда была прослушана лекция (10-15 минут); повторение материала накануне следующей лекции (10-15 минут), проработка учебного материала по конспектам лекций, учебной и научной литературе, подготовка ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения, решение задач. Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к лектору.

**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 фундаментальных взаимодействий и космологии
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

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

**Разработчик:** С.В. Демидов, канд. физ.-мат. наук

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
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

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Стандартная модель элементарных частиц и их взаимодействий» обучающийся должен:

### знать:

- структуру и симметрии стандартной модели физики элементарных частиц, правила Фейнмана для полей стандартной модели.

### уметь:

- вычислять вероятности процессов с участием частиц стандартной модели элементарных частиц.

### владеть:

- навыками освоения большого объема информации, навыками поиска информации в сети Интернет, навыками самостоятельной работы.

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

Примеры задач для домашнего задания:

1. Оценить полную ширину распада тау-лептона на тау-нейтрино и адроны. Сравнить с экспериментально измеренным значением
2. Оценить парциальную ширину распада тау-лептона на тау-нейтрино и заряженный пион (каон). Сравнить с экспериментом.
3. Вычислить глюонную функцию расщепления, входящую в уравнения Альтарелли-Паризи.

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

Сдача экзаменов осуществляется в форме доклада по решенным, заранее выданным, задачам повышенной сложности, а также предлагается ответить на два теоретических вопроса из билета.

Примеры экзаменационных билетов:

Билет 1.

1. Легчайшие адронные мультиплеты. Квантовые числа адронов.
2. CP-нарушение в Стандартной модели. Матрица CKM.

Билет 2.

1. Взаимодействия бозона Хиггса.
2. Уравнения Альтарелли-Паризи

Билет 3.

1. Калибровочные взаимодействия лептонов.

2. Электрон-позитронная аннигиляция в адроны.

Билет 4.

1. СР-нарушение в осцилляциях нейтральных мезонов

2. Партонные функции распределения

Билет 5.

1. Квантовая хромодинамика.

2. Процессы с нарушением флейвора в нейтральных токах.

#### Критерии оценивания

Оценку «отлично (10)» заслуживает студент, обнаруживший всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного программного материала, самостоятельно выполнивший все предусмотренные программой задания, глубоко усвоивший основную и дополнительную литературу, рекомендованную программой, активно работавший на практических, семинарских, лабораторных занятиях, разбирающийся в основных научных концепциях по изучаемой дисциплине, проявивший творческие способности и научный подход в понимании и изложении учебного программного материала, ответ отличается богатством и точностью использованных терминов, материал излагается последовательно и логично.

Оценка «отлично (9)» заслуживает студент, обнаруживший всестороннее, систематическое знание учебного программного материала, самостоятельно выполнивший все предусмотренные программой задания, глубоко усвоивший основную литературу и знаком с дополнительной литературой, рекомендованной программой, активно работавший на практических, семинарских, лабораторных занятиях, показавший систематический характер знаний по дисциплине, достаточный для дальнейшей учебы, а также способность к их самостоятельному пополнению, ответ отличается точностью использованных терминов, материал излагается последовательно и логично.

Оценку «отлично (8)» заслуживает студент, обнаруживший полное знание учебно-программного материала, не допускающий в ответе существенных неточностей, самостоятельно выполнивший все предусмотренные программой задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную программой, активно работавший на практических, семинарских, лабораторных занятиях, показавший систематический характер знаний по дисциплине, достаточный для дальнейшей учебы, а также способность к их самостоятельному пополнению.

Оценку «хорошо (7)» заслуживает студент, обнаруживший достаточно полное знание учебно-программного материала, не допускающий в ответе существенных неточностей, самостоятельно выполнивший все предусмотренные программой задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную программой, активно работавший на практических, семинарских, лабораторных занятиях, показавший систематический характер знаний по дисциплине, достаточный для дальнейшей учебы, а также способность к их самостоятельному пополнению.

Оценку «хорошо (6)» заслуживает студент, обнаруживший достаточно полное знание учебно-программного материала, не допускающий в ответе существенных неточностей, самостоятельно выполнивший основные предусмотренные программой задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную программой, отличавшийся достаточной активностью на практических (семинарских) и лабораторных занятиях, показавший систематический характер знаний по дисциплине, достаточный для дальнейшей учебы.

Оценку «хорошо (5)» заслуживает студент, обнаруживший знание основного учебно-программного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, не отличавшийся активностью на практических (семинарских) и лабораторных занятиях, самостоятельно выполнивший основные предусмотренные программой задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную программой, однако допустивший некоторые погрешности при их выполнении и в ответе на экзамене, но обладающий необходимыми знаниями для их самостоятельного устранения.

Оценку «удовлетворительно (4)» заслуживает студент, обнаруживший знание основного учебно-программного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, не отличавшийся активностью на практических (семинарских) и лабораторных занятиях, самостоятельно выполнивший основные предусмотренные программой задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную программой, однако допустивший некоторые погрешности при их выполнении и в ответе на экзамене, но обладающий необходимыми знаниями для устранения под руководством преподавателя допущенных погрешностей.



Оценку «удовлетворительно (3)» заслуживает студент, обнаруживший знание основного учебно-программного материала в объёме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, не отличавшийся активностью на практических (семинарских) и лабораторных занятиях, самостоятельно выполнивший основные предусмотренные программой задания, однако допустивший погрешности при их выполнении и в ответе на экзамене, но обладающий необходимыми знаниями для устранения под руководством преподавателя наиболее существенных погрешностей.

Оценка «неудовлетворительно (2)» выставляется студенту, обнаружившему пробелы в знаниях или отсутствие знаний по значительной части основного учебно-программного материала, не выполнившему самостоятельно предусмотренные программой основные задания, допустившему принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий, не отработавшему основные практические, семинарские, лабораторные занятия, допускающему существенные ошибки при ответе, и который не может продолжить обучение или приступить к профессиональной деятельности без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

Оценка «неудовлетворительно (1)» выставляется студенту, не ответившему на заданные (отказ от ответа, представленный ответ полностью не по существу содержащихся в экзаменационном задании вопросов).

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

При проведении устного экзамена обучающемуся предоставляется не менее 45 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету на устном экзамене не должен превышает двух астрономических часов.

Во время проведения экзамена обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также всей необходимой литературой для решения задачи; при ответах на устные вопросы пользоваться литературой запрещено.