

**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

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Физика элементарных частиц и стандартная модель
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра проблем физики и астрофизики
курс:	4
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 8 (весенний) - 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.Г. Семенов, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры проблем физики и астрофизики 04.06.2020

Аннотация

Курс посвящен обсуждению того, как устроены фундаментальные поля и взаимодействия в природе и какие существуют современные теоретические подходы к описанию взаимодействий элементарных частиц. В частности, планируется обсудить электрослабую теорию, механизм Хиггса, дать представление о КХД, аномалиях, а также описать основные принципы, заложенные в построение стандартной модели физики частиц.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

Целью дисциплины «Физика элементарных частиц и стандартная модель» является ознакомление учащихся с современными подходами к теоретическому описанию взаимодействий элементарных частиц. Курс направлен на формирование у учащихся базовых знаний о современных представлениях об устройстве фундаментальных взаимодействий и методах квантовой теории поля, применяющихся для их описания.

Задачи дисциплины

Основными задачами учебной дисциплины является формирование у обучающихся базовых знаний о Стандартной модели физики элементарных частиц и навыков применять полученные знания для решения разнообразных задач современной физики фундаментальных взаимодействий и элементарных частиц, а также самостоятельного анализа получающихся результатов.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-5 Способен участвовать в проведении фундаментальных и прикладных исследований и разработок, самостоятельно осваивать новые теоретические, в том числе, математические методы исследований, и работать на современной экспериментальной научно-исследовательской, измерительно-аналитической и технологической аппаратуре	ОПК-5.1 Способен решать поставленные задачи в области теоретических и экспериментальных исследований и разработок
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	ПК-3.2 Знает области и критерии применимости используемых теоретических подходов и умение оценивать точность приближенных аналитических методов вычислений
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

Основные понятия курса. Состав полей стандартной модели физики элементарных частиц. Причины возникновения эффекта Казимира, аномалий в КТП, спонтанного нарушения симметрии.

уметь:

Вычислять сечения процессов в рамках стандартной модели в низших порядках по теории возмущений. Производить перенормировку массы заряда и констант связи в однопетлевом приближении.

владеть:

Методами квантовой теории поля в применении к физике элементарных частиц.

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	Введение в стандартную модель	2	2		3
2	Древесная унитарность и четырехфермионное взаимодействие	2	2		3
3	Вакуумные флуктуации	2	2		3
4	Ультрафиолетовые расходимости и перенормировки	6	6		9
5	Калибровочная инвариантность	4	4		6
6	Спонтанное нарушение симметрии	2	2		3
7	Электрослабые взаимодействия	4	4		6
8	Квантовая хромодинамика	2	2		3
9	Элементарные частицы и вселенная	6	6		9
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: 8 (Весенний)

1. Введение в стандартную модель

Введение в стандартную модель. Калибровочные симметрии $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$. Калибровочные бозоны. Мультиплеты материи. Кварковая модель.

2. Древесная унитарность и четырехфермионное взаимодействие

Древесная унитарность. Четырехфермионное взаимодействие. Нарушение унитарности, необходимость появления промежуточных бозонов в слабых взаимодействиях.

3. Вакуумные флуктуации

Вакуумные флуктуации. Эффект Казимира.

4. Ультрафиолетовые расходимости и перенормировки

Ультрафиолетовые расходимости и перенормировки. Ультрафиолетовые расходимости и перенормировки в теории ϕ^4 . Массовый и поляризационный операторы в КЭД. Перенормировка массы и заряда. Эффективный потенциал.

5. Калибровочная инвариантность

Калибровочная инвариантность. Поля Янга-Миллса. Построение неабелевых калибровочных теорий. Ковариантные производные. Нелинейные взаимодействия калибровочных бозонов. Древесная унитарность и необходимость учета трехбозонной вершины в слабых взаимодействиях.

6. Спонтанное нарушение симметрии

Спонтанное нарушение симметрии в скалярных, абелевых и неабелевых моделях.

7. Электрослабые взаимодействия

Лагранжиан модели Вайнберга-Салама. Массы калибровочных бозонов. Нарушение четности. Смешивание. Механизм Глешоу-Илиопулоса-Майани. Массовые матрицы и нарушение CP. Аномалии и их сокращение.

8. Квантовая хромодинамика

Калибровочная теория сильных взаимодействий. Асимптотическая свобода. Конфайнмент.

9. Элементарные частицы и вселенная

Инфлатон. Фазовые переходы в ранней вселенной. Барионная асимметрия.

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

Для занятий требуется аудитория, оборудованная доской, экраном и проектором.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. 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.
2. Лептоны и кварки [Текст] / Л. Б. Окунь. — 6-е изд. — [Научное изд.] — М. : ЛКИ, 2013. — 352 с.

Дополнительная литература

1. С. Вайнберг, «Квантовая теория поля» т.1 и 2, Физматлит, Москва, 2003.
2. Летняя школа Фонда «Династия», «Физика элементарных частиц в преддверии Большого адронного коллайдера», ЛЕНАНД, 2011.

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

www.arXiv.org

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

На отдельных лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

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 и понятия, 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 текущей и 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.

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению: Прикладные математика и физика
профиль подготовки: Общая и прикладная физика
Физтех-школа физики и исследований им. Ландау
кафедра проблем физики и астрофизики
курс: 4
квалификация: бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 8 (весенний) - Экзамен

Разработчик: А.Г. Семенов, канд. физ.-мат. наук

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-5 Способен участвовать в проведении фундаментальных и прикладных исследований и разработок, самостоятельно осваивать новые теоретические, в том числе, математические методы исследований, и работать на современной экспериментальной научно-исследовательской, измерительно-аналитической и технологической аппаратуре	ОПК-5.1 Способен решать поставленные задачи в области теоретических и экспериментальных исследований и разработок
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	ПК-3.2 Знает области и критерии применимости используемых теоретических подходов и умение оценивать точность приближенных аналитических методов вычислений
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Физика элементарных частиц и стандартная модель» обучающийся должен:

знать:

Основные понятия курса. Состав полей стандартной модели физики элементарных частиц. Причины возникновения эффекта Казимира, аномалий в КТП, спонтанного нарушения симметрии.

уметь:

Вычислять сечения процессов в рамках стандартной модели в низших порядках по теории возмущений. Производить перенормировку массы заряда и констант связи в однопетлевом приближении.

владеть:

Методами квантовой теории поля в применении к физике элементарных частиц.

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

Примеры контрольных заданий:

1. Вычислить ширину распада W бозона на пару кварков (лептонов). Для простоты можно пренебречь массами кварков и лептонов, а также смешиванием третьего поколения кварков. Экспериментальное значение для этого процесса $\Gamma = 2.124$ Гэв.
2. Вычислить поляризационный оператор в рамках КЭД.
3. Вычислить дифференциальное сечение рассеяния электрона на мюоне $e^- \mu^- \rightarrow e^- \mu^-$ как функцию угла рассеяния. Установить связь полученного ответа с формулой Резерфорда для рассеяния на кулоновском потенциале.

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

Перечень контрольных вопросов:

1. Какова симметрия стандартной модели и каков состав частиц и полей?
2. Сколько бозонов и фермионов существует в природе согласно современным представлениям?
3. Какие условия на сечения рассеяния накладывает унитарность теории?
4. Зачем необходимо вводить промежуточные бозоны в теорию?
5. Что такое эффект Казимира?
6. Как вычисляется степень расходимости Фейнмановской диаграммы?
7. Как происходит перенормировка массы и константы связи в скалярной теории поля?
8. Как происходит перенормировка заряда в КЭД?
9. Что такое поляризационный оператор?
10. Что такое эффективный потенциал?
11. Как строится неабелева калибровочная теория?
12. Как устроено самодействие калибровочных бозонов?
13. Как устроено спонтанное нарушение симметрии в скалярных, абелевых и неабелевых моделях?
14. Как выглядит Лагранжиан модели Вайнберга-Салама?
15. Что такое аномалии?
16. Как устроен Лагранжиан КХД?
17. Что такое инфлатон?
18. Каков механизм возникновения барионной асимметрии в рамках стандартной модели?

Примеры экзаменационных билетов:

Билет 1.

1. Калибровочные симметрии $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$. Калибровочные бозоны. Мультиплеты материи. Кварковая модель.
2. Калибровочная инвариантность. Поля Янга-Миллса. Построение неабелевых калибровочных теорий. Ковариантные производные.
3. Вычислить ширину распада W бозона на пару кварков (лептонов). Для простоты можно пренебречь массами кварков и лептонов, а также смешиванием третьего поколения кварков. Экспериментальное значение для этого процесса $\Gamma = 2.124$ Гэв.

Билет 2.

1. Древесная унитарность. Четырехфермионное взаимодействие. Нарушение унитарности, необходимость появления промежуточных бозонов в слабых взаимодействиях.
2. Нелинейные взаимодействия калибровочных бозонов. Древесная унитарность и необходимость учета трехбозонной вершины в слабых взаимодействиях.
3. Вычислить поляризационный оператор в рамках КЭД.

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 недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо 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 твердо 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

Экзамен проводится по билетам. В каждом билете представлено два теоретических вопроса и одна задача. При проведении экзамена обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Вопрос обучающегося не должен превышать одного астрономического часа.