

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

КАФЕДРА ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

ОДОБРЕНО

НТС ИНТЭЛ Протокол №1 от 30.01.2023 г.

УМС ЛАПЛАЗ Протокол №1/08-577 от 29.08.2024 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**ТЕОРИЯ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ (СЛАБЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ)**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 03.04.01 Прикладные математика и физика

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/ В	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экс./зач./КР/КП
1, 2	2-4	72-144	24	24	0		24-60	0	Э , 3
Итого	2-4	72-144	24	24	0	0	24-60	0	

## АННОТАЦИЯ

Перенормируемая калибровочная теория, основанная на группе  $SU(2) \times U(1)$ , объединяет слабые и электромагнитные взаимодействия. Переносчиками слабых взаимодействий являются тяжелые векторные  $W^\pm$ - и  $Z$ -бозоны. Электрослабая теория является частью Стандартной  $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$  Модели, объясняющей все известные свойства элементарных частиц. Перенормируемость электрослабой теории достигается за счет хиггсовского механизма генерации масс кварков, лептонов и калибровочных бозонов. При этом предсказывалось существование скалярной частицы – бозона Хиггса, открытого на Большом Адронном Коллайдере ЦЕРН в 2012 году.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель курса – ознакомить студентов с перенормируемой калибровочной теорией, основанной на группе  $SU(2) \times U(1)$ , которая объединяет слабые и электромагнитные взаимодействия.

### 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Учебно-методический комплекс по курсу «Теория элементарных частиц (слабые взаимодействия)» предназначен для студентов-физиков, обучающихся по направлению 03.03.01 Прикладные математика и физика. Курс односеместровый.

Для усвоения материала студенты должны владеть математическим аппаратом в пределах излагаемого на 1-3 курсах МИФИ: уметь дифференцировать, интегрировать, знать теорию матриц и иметь представление о теории групп. Требуется знание основ квантовой теории поля и диаграммной техники, излагаемых в курсе Квантовой Электродинамики. Желательно знание кварковой структуры адронов.

Знания, полученные при изучении курса «Теория элементарных частиц (слабые взаимодействия)» необходимы для освоения многих специализированных дисциплин по теоретической физике, изучаемых студентами старших курсов, таких как теория элементарных частиц, релятивистская астрофизика и космология.

### 3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
--------------------------------	--

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции;	Код и наименование индикатора достижения
--	---------------------------	--	--

		<b>Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)</b>	<b>профессиональной компетенции</b>
<b>научно-исследовательский</b>			
участие в проведении теоретических исследований, построении физических, математических и компьютерных моделей изучаемых процессов и явлений, в проведении аналитических исследований в предметной области по профилю специализации; участие в обобщении полученных данных, формировании выводов, в подготовке научных и аналитических отчетов, публикаций и презентаций результатов научных и аналитических исследований; участие в разработке новых алгоритмов и компьютерных программ для научно-исследовательских и прикладных целей; выбор методов и подходов к решению поставленной научной проблемы, формулировка математической модели явления, аналитические и численные расчеты;	природные и социальные явления и процессы, объекты техники, технологии и производства, модели, методы и средства фундаментальных и прикладных исследований и разработок в области математики, физики и других естественных и социально-экономических наук по профилям предметной деятельности в науке, технике, технологиях, а также в сферах наукоемкого производства, управления и бизнеса.	ПК-1 [1] - Способен самостоятельно и (или) в составе исследовательской группы разрабатывать, исследовать и применять математические модели для качественного и количественного описания явлений и процессов и (или) разработки новых технических средств  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.008, 40.011, 40.044	З-ПК-1[1] - Знать основные методы и принципы научных исследований, математического моделирования, основные проблемы профессиональной области, требующие использования современных научных методов исследования для качественного и количественного описания явлений и процессов и (или) разработки новых технических средств. ; У-ПК-1[1] - Уметь ставить и решать прикладные исследовательские задачи, оценивать результаты исследований; проводить научные исследования и получать новые научные и прикладные результаты самостоятельно и в составе научного коллектива; В-ПК-1[1] - Владеть навыками выбора и использования математических моделей для научных исследований и (или) разработки новых технических средств самостоятельно и (или) в составе исследовательской группы.
<b>инновационный</b>			
сбор и анализ	природные и	ПК-5 [1] - Способен	З-ПК-5[1] - Знать

<p>информационных источников и исходных данных для планирования и разработки исследовательских проектов; проведение фундаментальных и прикладных математических и физических исследований, направленных на решение инженерных, технических и информационных задач; участие в модернизации существующих, разработке и внедрении новых методов контроля качества материалов, производственно-технологических процессов и готовой продукции в сфере высоких и наукоемких технологий;</p>	<p>социальные явления и процессы, объекты техники, технологии и производства, модели, методы и средства фундаментальных и прикладных исследований и разработок в области математики, физики и других естественных и социально-экономических наук по профилям предметной деятельности в науке, технике, технологиях, а также в сферах наукоемкого производства, управления и бизнеса.</p>	<p>применять физические методы теоретического и экспериментального исследования, методы математического анализа и моделирования для постановки задач по развитию, внедрению и коммерциализации новых наукоемких технологий</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.008, 40.010, 40.011, 40.034</p>	<p>физические методы теоретического и экспериментального исследования, методы математического анализа и моделирования, принципы экспертизы продукции для постановки задач по развитию, внедрению и коммерциализации новых наукоемких технологий ; У-ПК-5[1] - Уметь применять физические методы теоретического и экспериментального исследования, методы математического анализа и моделирования для постановки задач по развитию, внедрению и коммерциализации новых наукоемких технологий; В-ПК-5[1] - Владеть навыками теоретического и экспериментального исследования, математического анализа и моделирования для постановки задач по развитию, внедрению и коммерциализации новых наукоемких технологий</p>
---	--	---	--

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практи. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>1 Семестр</i>						
1	часть 1	1-7	11/11/0		25	КИ-8	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5
2	часть 2	8-16	13/13/0		25	КИ-16	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5
	<i>Итого за 1 Семестр</i>		24/24/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 1 Семестр</b>				50	3, Э	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5, 3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5

\* – сокращенное наименование формы контроля

\*\* – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
КИ	Контроль по итогам
Э	Экзамен

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>1 Семестр</i>	24	24	0
<b>1-7</b>	<b>часть 1</b>	11	11	0

1 - 2	<b>Эффект Голдстоуна. Эффект Хиггса.</b> Непенормируемость 4-фермионного взаимодействия. Теория массивного векторного бозона. Эффект Голдстоуна – спонтанное «нарушение» симметрии. Киральная симметрия КХД. Соотношение Гольдбергера-Треймана. Решаемые примеры: $U(1)$ , $O(3)$ , $SU(2)$ . Локальная $U(1)$ . Эффект Хиггса. Бозон Хиггса. Унитарная калибровка, калибровка Ландау, R-калибровки.	Всего аудиторных часов		
		3	3	0
		Онлайн		
		0	0	0
3 - 5	<b>Бозонный сектор Стандартной Модели. Фермионы в Стандартной Модели. Свойства W- и Z-бозонов.</b> Локальная $SU(2)$ . Лагранжиан векторных полей. Хиггсовский сектор. «Охранная» симметрия. $SU(2) \times U(1)$ теория Глэшоу-Вайнберга-Салама: хиггсовский и калибровочный секторы. 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. Рождение и распады W- и Z-бозонов.	Всего аудиторных часов		
		5	5	0
		Онлайн		
		0	0	0
6 - 7	<b>Свойства бозона Хиггса. Взаимодействия и массы нейтрино.</b> Бозон Хиггса: масса, рождение, распады. Рассеяние нейтрино на электроны. Глубоко-неупругое рассеяние нейтрино на нуклоне. Масса нейтрино.	Всего аудиторных часов		
		3	3	0
		Онлайн		
		0	0	0
8-16	<b>часть 2</b>	13	13	0
8 - 9	<b>Осцилляции нейтрино. Универсальное слабое взаимодействие.</b> 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). Левые заряженные токи. Нарушение P- и C- и CP-инвариантности. Универсальность заряженного тока. Нейтральный ток.	Всего аудиторных часов		
		3	3	0
		Онлайн		
		0	0	0
10 - 12	<b>Распад мюона. Лептонные и полuleптонные распады мезонов и барионов.</b> Амплитуда распада. Вероятность распада. Распад поляризованного мюона. Качественное обсуждение. $ud$ -ток и его свойства. Распады пионов. Распад нейтрона. Распады, инициируемые $us$ - током. $SU(3)$ - симметрия в распадах гиперонов.	Всего аудиторных часов		
		4	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
13 - 14	<b>Смешивание нейтральных K- мезонов. Нарушение CP. Распады тау-лептона.</b> 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. Лептонные распады тау-лептона. Полуадронные распады тау-лептона. Проверка гипотезы дуальности в распадах тау-лептона.	Всего аудиторных часов		
		3	3	0
		Онлайн		
		0	0	0
15 - 16	<b>Распады очарованных адронов. Распады B- мезонов.</b>	Всего аудиторных часов		

Очарованные адроны, распадающиеся за счёт слабых взаимодействий. Времена жизни очарованные адронов. Гипотеза дуальности и spectatorное приближение. Нарушение spectatorного приближения в распадах нейтральных D- мезонов. Глюонное усиление. Обменные эффекты. Слабая аннигиляция. Подавление слабой аннигиляции в распадах B- мезонов. Параметризация матрицы СКМ. Смешивание нейтральных B- мезонов. Нарушение CP- симметрии в распадах B- мезонов и треугольник унитарности.	3	3	0
	Онлайн		
	0	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В курсе используются традиционные и современные образовательные технологии, включая лекции, упражнения и самостоятельную работу студентов.

## 6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ПК-1	З-ПК-1	З, Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-1	З, Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-1	З, Э, КИ-8, КИ-16
ПК-5	З-ПК-5	З, Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-5	З, Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-5	З, Э, КИ-8, КИ-16

## Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-х балльной шкале	Отметка о зачете	Оценка ECTS
90-100	5 – «отлично»	«Зачтено»	A
85-89	4 – «хорошо»		B
75-84			C
70-74			D
65-69			E
60-64	3 – «удовлетворительно»	«Не зачтено»	F
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»		

Оценка «отлично» соответствует глубокому и прочному освоению материала программы обучающимся, который последовательно, четко и логически стройно излагает свои ответы, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответах материалы монографической литературы.

Оценка «хорошо» соответствует твердым знаниям материала обучающимся, который грамотно и, по существу, излагает свои ответы, не допуская существенных неточностей.

Оценка «удовлетворительно» соответствует базовому уровню освоения материала обучающимся, при котором освоен основной материал, но не усвоены его детали, в ответах присутствуют неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности.

Отметка «зачтено» соответствует, как минимум, базовому уровню освоения материала программы, при котором обучающийся владеет необходимыми знаниями, умениями и навыками, умеет применять теоретические положения для решения типовых практических задач.

Оценку «неудовлетворительно» / отметку «не зачтено» получает обучающийся, который не знает значительной части материала программы, допускает в ответах существенные ошибки, не выполнил все обязательные задания, предусмотренные программой. Как правило, такие обучающиеся не могут продолжить обучение без дополнительных занятий.

## **7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:**

1. ЭИ В 93 Лекции по теории электрослабых взаимодействий. : учебное пособие, Высоцкий М. И., Москва: Физматлит, 2011
2. 539.1 О-52 Лептоны и кварки : , Окунь Л.Б., Москва: ЛКИ, 2008

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 530 П28 Введение в квантовую теорию поля : , Шредер Д.В., Пескин М.Е., М.:Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2001
2. 52 Г67 Введение в теорию ранней Вселенной : теория горячего Большого взрыва, Горбунов Д.С., Рубаков В.А., Москва: ЛКИ, 2008
3. 537 А95 Квантовая электродинамика : , Берестецкий В.Б., Ахиезер А.И., М.: Наука, 1981
4. 53 Б74 Квантовые поля : , Ширков Д.В., Боголюбов Н.Н., М.: Физматлит, 2005
5. 53 Л22 Теоретическая физика Т.4 Квантовая электродинамика, Ландау Л.Д., Москва: Физматлит, 2006

#### ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

#### LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

### **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

### **9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ**

Методические рекомендации по освоению теоретического материала.

Для успешного изучения курса необходимо придерживаться определенной методики занятий. Основное условие успеха — систематические занятия.

Для успешного освоения теоретической части курса необходимо регулярно посещать лекции и вести конспект. После каждой лекции следует внимательно разбирать лекционный материал, причём при необходимости следует проделывать некоторые дополнительные выкладки, если такие были оставлены лектором для самостоятельной работы. Перед началом каждой лекции имеет смысл просмотреть конспект, чтобы усвоение нового материала проходило лучше, так как в большинстве случаев изложение опирается на материал, прочитанный на предыдущих занятиях.

Для полного освоения курса недостаточно изучать лишь лекционный материал. В ходе освоения курса следует читать книги, предложенные в списке литературы по курсу. Настоятельно рекомендуется также использовать литературу, обозначенную как «дополнительная», а также самостоятельно или с помощью преподавателя искать и другие источники. При работе с литературой почти бесполезно только читать предложенный материал.

Следует проделывать все или хотя бы основные выкладки. Важно осознавать, что только самостоятельно проделанные выкладки приводят к пониманию материала. Все, что осталось непонятым, следует спросить у преподавателя на ближайшем занятии. Если даже целый раздел остался неясным, это не показатель ваших способностей; скорее всего вы еще не начали задавать вопросы себе и другим. А изучить теоретическую физику без вопросов: зачем?, почему?, откуда? — невозможно. То же касается и разбора лекционного материала.

Методические рекомендации для подготовки к семинарским занятиям и решению задач.

Программа курса и семестровый календарный план составлены так, что темы семинарских занятий следуют за темами лекций. И программа курса, и семестровый календарный план доступны каждому студенту на сайте учебного управления университета. Подготовиться к очередному семинарскому занятию - это, прежде всего, проработать лекционный материал, согласно методическим рекомендациям, данным выше. Все невыясненные вопросы теории можно (и нужно) задать преподавателю в начале семинарского занятия. На семинаре, как правило, разбираются вопросы и качественные задачи, дающие возможность более глубоко постичь изучаемый раздел курса. Кроме того, на семинаре учат правильно ставить и решать задачи, анализировать решение задач. По пройденной на семинаре теме даются задачи для самостоятельного (домашнего) решения. Усвоение курса во многом зависит от осмысленного выполнения домашнего задания, вдумчивого решения большого количества задач.

При решении задач целесообразно руководствоваться следующими правилами.

Прежде всего нужно хорошо вникнуть в условие задачи, записать кратко ее условие.

Следует прикинуть, какие основные законы и уравнения и в каких приближениях следует использовать и записать их, после чего попытаться решить.

Задача должна быть сначала решена в максимально общем виде.

Получив решение в общем виде, нужно проверить, правильную ли оно имеет размерность.

Если это возможно, исследовать поведение решения в предельных случаях и изобразить характер изучаемой зависимости графически.

Если возможно, при получении того или иного результата, следует указать границы его применимости.

Решение задач принесет наибольшую пользу только в том случае, если вы решаете задачи самостоятельно. Решить задачу без помощи, без подсказки часто бывает нелегко и не всегда удается. Но даже не увенчавшиеся успехом попытки найти решение, если они предпринимались достаточно настойчиво, приносят ощутимую пользу, так как развивают мышление и укрепляют волю. Не следует бояться непривычно длинных математических выкладок, т.к. подобные «длинные» задачи приближены к реальным задачам, с которыми вы можете столкнуться в будущем в научной или другой работе.

Методические рекомендации для подготовки к контрольным и проверочным работам.

Контрольные работы проводятся для проверки качества усвоения материала и выполнения домашних заданий студентами. Они основываются строго на пройденном материале и не выходят за рамки излагаемого курса. Своевременное изучение лекционных материалов и выполнение домашних заданий гарантирует успешное выполнение контрольных и проверочных работ. При подготовке следует руководствоваться общепринятыми установками, т.е. повторить изученный материал, запомнить основные идеи, принципы и

результаты курса. Не следует пытаться «вызубрить» материал, достаточно понять и запомнить логику вывода тех или иных результатов и решения задач и осознать их физический и математический смысл. При выполнении контрольной или проверочной работы необходимо записывать все основные шаги при решении задачи, не «перескакивая» к какому-то промежуточному или окончательному результату без каких-либо на то физических или математических обоснований.

Никаких особых требований к оформлению работ нет. Работа должна быть записана так, чтобы была понятна логика решения задач. Окончательный ответ необходимо выделить каким-либо способом так, чтобы проверяющему было понятно, что это и есть ответ к задаче.

## **10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ**

### **Проведение практических занятий и выполнение самостоятельных работ**

Студенты должны, используя прослушанный на лекциях материал, научиться решать задачи по курсу. Следует использовать различные приемы вовлечения студентов в творческий процесс освоения учебного материала: опрос студентов по содержанию прочитанных лекций, вызов студентов к доске для решения текущих задач, самостоятельное решение задачи со сверкой промежуточных и конечного результатов решения, показ преподавателем на доске решения типовых задач, самостоятельные работы.

### **Организация контроля**

Контроль знаний осуществляется и путем проведения контрольных или самостоятельных работ с последующей проверкой.

На основании этих результатов выставляется внутрисеместровый зачет/экзамен.

### **Проведение зачетов и экзаменов**

Для допуска к аттестации необходимо иметь положительные оценки по каждой теме. Во время аттестации студент получает индивидуальный билет и готовит ответы на вопросы по курсу.

Автор(ы):

Высоцкий Михаил Иосифович, д.ф.-м.н., профессор

Мартемьянов Борис Вениаминович, д.ф.-м.н.

