

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ  
КАФЕДРА ФИЗИКИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

ОДОБРЕНО УМС ИЯФИТ

Протокол № 01/423-573.1

от 20.04.2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 14.03.02 Ядерные физика и технологии

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
8	3	108	30	20	0	31	0	Э
Итого	3	108	30	20	0	31	0	

## АННОТАЦИЯ

В курсе излагаются основы теории калибровочных полей – математического языка, на котором формулируется Стандартная Модель. Изучается конструкция калибровочной теории электрослабых взаимодействий Глэшоу-Вайнберга-Салама и вытекающей из неё эффективной теории Ферми.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью курса является формирование знаний у студентов об устройстве Стандартной Модели, а также общее знакомство с языком теории калибровочных взаимодействий, и формирование умения им пользоваться.

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

На начало изучения дисциплины студенты должны пройти следующие курсы: «Теория поля», «Квантовую механику», «Введение в ядерную физику» и др. Изучение курса откроет возможность изучения дальнейших курсов «Квантовой Теории Поля», «Гравитации» и пр. Также, изучение данного курса необходимо для научной работы в рамках НИРС и, главное, в рамках работы над дипломом.

### 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; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
научно-исследовательский			
Получение новых знаний в области физики элементарных частиц и космологии, описание явлений в данной области. Участие в решении задач по физике элементарных частиц	Элементарные частицы, детекторы элементарных частиц, ускорители элементарных частиц (Большой Адронный Коллайдер и др.), нейтрино, экзотические ядра,	ПК-1 [1] - Способен использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные	З-ПК-1[1] - знать отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и информационные

и космологии.	кварк-глюонная материя, скрытая масса и темная энергия, гравитация с многомерными обобщениями, и космология.	компьютерные технологии и информационные ресурсы в своей предметной области  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	ресурсы в своей предметной области, ; У-ПК-1[1] - уметь использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и информационные ресурсы в своей предметной области; В-ПК-1[1] - владеть современными компьютерными технологиями и методами использования информационных ресурсов в своей предметной области
производственно-технологический			
участие в разработке способов проведения экспериментов по физике элементарных частиц; разработка методов регистрации элементарных частиц, основываясь на различных видах процессов взаимодействия элементарных частиц с веществом.	Разработка и совершенствование современных ускорительно-накопительных комплексов.	ПК-6 [1] - Способен к контролю соблюдения технологической дисциплины и обслуживания оборудования  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-6[1] - знать технические характеристики и принципы безопасного обслуживания технологического оборудования ; У-ПК-6[1] - уметь контролировать соблюдение технологической дисциплины и обслуживание оборудования; В-ПК-6[1] - владеть методами контроля, проверок и испытаний систем и навыками выявления неисправностей в работе оборудования
организационно-управленческий			
Участие в организации работы научной группы.	Работа в научной группе, отчеты и научные статьи.	ПК-11.1 [1] - Способен участвовать в научных исследованиях в	З-ПК-11.1[1] - Знать физику элементарных частиц и основные

		<p>области физики элементарных частиц и космологии, определять необходимые средства и к их использованию для решения поставленных задач</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>средства и методы исследования в данной области.; У-ПК-11.1[1] - Уметь использовать методы детектирования элементарных частиц и излучений и программные средства при решении задач в соответствующей области.; В-ПК-11.1[1] - Владеть методами исследования в области физики элементарных частиц.</p>
--	--	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
-----------------------------	-------------------------	------------------------------------

#### 5. 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>8 Семестр</i>						
1	Первый раздел	1-8	16/10/0		25	СК-8	З-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, З-ПК-6, У-ПК-6, В-ПК-6,

							3-ПК-11.1, У-ПК-11.1, В-ПК-11.1
2	Второй раздел	9-15	14/10/0		25	КИ-15	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-6, У-ПК-6, В-ПК-6, 3-ПК-11.1, У-ПК-11.1, В-ПК-11.1
	<i>Итого за 8 Семестр</i>		30/20/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 8 Семестр</b>				50	Э	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-6, У-ПК-6, В-ПК-6, 3-ПК-11.1, У-ПК-11.1, В-ПК-11.1

\* – 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
СК	Семестровый контроль
КИ	Контроль по итогам
Э	Экзамен

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>8 Семестр</i>	30	20	0
<b>1-8</b>	<b>Первый раздел</b>	16	10	0
1 - 2	<b>Введение</b> Место курса в физике высоких энергий. Тензорные обозначения. Вариационный принцип в механике и теории поля. Квантование интегралом по путям.	Всего аудиторных часов		
		4	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
3 - 5	<b>Теория поля</b> Скалярное поле, понятие частицы. Потенциал, масса. Диаграммы Фейнмана. Внутренняя и пространственная симметрия, теорема Нетер. Тензор энергии импульса и углового момента. Векторное поле, поляризация.	Всего аудиторных часов		
		6	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
6 - 8	<b>Необходимые сведения из теории групп</b> Определение группы, гомоморфизм. Группы Ли, их примеры. Алгебры Ли, генераторы, структурные константы. Представления группы, неприводимые представления. Мультиплеты. Группа вращений.	Всего аудиторных часов		
		6	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
<b>9-15</b>	<b>Второй раздел</b>	14	10	0
9 - 10	<b>Калибровочная теория</b> Глобальные и локальные симметрии. Длинная производная, калибровочные поля. Абелева теория, группа U(1). Неабелева теория, самовзаимодействие.	Всего аудиторных часов		
		4	3	0
		Онлайн		
		0	0	0
11 - 12	<b>Фермионы</b> Группа Лоренца, её неприводимые представления. Инвариантный лагранжиан фермионов, уравнение Дирака. Спин, хиральность. Фермионы Вейля и Майораны. Лагранжиан КЭД.	Всего аудиторных часов		
		4	3	0
		Онлайн		
		0	0	0
13 - 15	<b>Электрослабая теория</b> Лептонный сектор SM. Нарушение P-четности. Калибровочное смешивание, угол Вайнберга, гиперзаряды. Механизм Хиггса, массы W и Z бозонов. Остаточная U(1)-симметрия. Слабые и электромагнитные вершины, теория Ферми.	Всего аудиторных часов		
		6	4	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

## ТЕМЫ СЕМИНАРОВ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>8 Семестр</i>
1 - 5	<b>Теория поля</b> Решение вариационных задач, вывод и решение уравнений Эйлера-Лагранжа для различных потенциалов. Решение задач на теорему Нетер.
6 - 8	<b>Теория групп</b> Решение математических задач по теории групп, их представлений. Решение задач на часто используемые в физике группы Ли.
9 - 11	<b>Калибровочная теория</b> Решение задач на вычисления с калибровочной производной. Доказательство инвариантности лагранжиана фермионов и свободных калибровочных полей.
12 - 15	<b>Диаграммная техника</b> Решение задач на написание инвариантных лагранжианов и определение их вершин взаимодействий. Задачи на составление диаграмм процессов и написание их матричных элементов.

## 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Занятия проводятся в интерактивной форме. Даже во время лекции лектор постоянно обращается к аудитории с вопросами как на знание пройденного материала, так и озадачивающими студентов поднимаемой проблемой в рамках обсуждаемой темы.

Раз в несколько занятий проводятся тесты. На семинарах выдаются домашние задания, которые студенты рассказывают потом перед аудиторией, отвечают на вопросы.

## 7. 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	Э, СК-8, КИ-15
	У-ПК-1	Э, СК-8, КИ-15
	В-ПК-1	Э, СК-8, КИ-15
ПК-11.1	З-ПК-11.1	Э, СК-8, КИ-15
	У-ПК-11.1	Э, СК-8, КИ-15
	В-ПК-11.1	Э, СК-8, КИ-15
ПК-6	З-ПК-6	Э, СК-8, КИ-15
	У-ПК-6	Э, СК-8, КИ-15
	В-ПК-6	Э, СК-8, КИ-15

### 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-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – <i>«отлично»</i>	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – <i>«хорошо»</i>	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69	3 – <i>«удовлетворительно»</i>	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 – <i>«неудовлетворительно»</i>	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут

			продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.
--	--	--	-------------------------------------------------------------------------------

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

### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ В 31 Теоретическая физика. Квантовая электродинамика : Учебник для вузов, Москва: Юрайт, 2021
2. 530 Л22 Теоретическая физика Т.2 Теория поля, , Москва: Физматлит, 2012
3. 539.1 Е60 Фундаментальные симметрии : учебное пособие для вузов, В. М. Емельянов, Москва: МИФИ, 2008
4. ЭИ Е60 Фундаментальные симметрии : учебное пособие для вузов, В. М. Емельянов, Москва: МИФИ, 2008
5. ЭИ Е60 Лекции по основам электрослабой модели и новой физике : учебное пособие для вузов, В. М. Емельянов, К. М. Белоцкий, Москва: МИФИ, 2007
6. 530.1 Р82 Классические калибровочные поля : , Рубаков В.А., Москва: Эдиториал УРСС, 1999

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ Е 92 Квантовая механика : Учебное пособие для вузов, Москва: Юрайт, 2021
2. 530 В14 Квантовая теория полей Т.3 Суперсимметрия, Москва: Физматлит, 2002
3. 530 С79 Классическая теория поля : учебное пособие для вузов, Москва: Физматлит, 2009
4. 53 В14 Квантовая теория поля Т.2 Современные приложения, , Москва: Физматлит, 2004
5. 53 Л22 Теоретическая физика Т.4 Квантовая электродинамика, В. Б. Берестецкий, Е. М. Лифшиц, Л. П. Питаевский, Москва: Физматлит, 2006
6. 539.1 Е60 Стандартная модель и её расширения : , В. М. Емельянов, Москва: Физматлит, 2007
7. 539.1 Е60 Лекции по основам электрослабой модели и новой физике : учебное пособие для вузов, В. М. Емельянов, К. М. Белоцкий, Москва: МИФИ, 2007
8. 539.1 О-52 Лептоны и кварки : , Л. Б. Окунь, Москва: ЛКИ, 2008
9. 530 П28 Введение в квантовую теорию поля : , Пескин М.Е.,Шредер Д.В.;Пер.с англ., М.;Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2001

### ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

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

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

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

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

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

Лекции читаются в аудиториях с использованием доски. Важно присутствовать на каждой лекции и вести конспект. Рекомендуется записывать важные моменты, отмечаемые лектором словами, даже если таковые показались очевидными. На протяжении каждой лекции преподаватель может задавать вопросы. В качестве основного материала для подготовки к экзамену рекомендуется использовать конспект лекции.

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

Для лучшего усвоения материала студентами каждую лекцию следует начинать с напоминания предыдущей лекции (лучше в виде вопросов) и пояснения ее связи с предстоящей. Важно задавать вопросы на знание материала из прошедших лекций или других курсов по мере обращения к этому материалу или по крайней мере проговаривать их связь. Также важно постоянно задавать вопросы, озадачивающие студентов поднимаемой проблемой в рамках обсуждаемой темы (даже если она совсем частного характера), стимулируя внимание и творческое участие студента в ходе рассуждений лектора.

Автор(ы):

Никулин Валерий Владимирович

Рубин Сергей Георгиевич, д.ф.-м.н., с.н.с.

Есипова Екатерина Александровна

