

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

Кафедра теоретической физики

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета

(подпись) И.С. Огнев

23 мая 2023 года

Рабочая программа дисциплины
«Расширения Стандартной модели»

Направление подготовки
03.04.02 Физика

Направленность (профиль)
«Теоретическая физика»

Форма обучения
очная

Программа одобрена
на заседании кафедры
от «17» апреля 2023 года, протокол № 8

Программа одобрена НМК
физического факультета
протокол № 5 от « 25» апреля 2023 года

Ярославль

1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Расширения Стандартной модели» является знакомство с некоторыми модификациями Стандартной модели взаимодействий частиц, содержащими расширенный набор элементарных частиц, а также исследование их влияния на физические процессы, происходящие в астрофизических объектах, и экспериментально наблюдаемые характеристики.

2. Место дисциплины в структуре ОП магистратуры

Дисциплина «Расширения Стандартной модели» является курсом по выбору вариативной части, формируемой участниками образовательных отношений.

Для освоения данной дисциплиной студенты должны знать квантовую теорию, владеть математическим аппаратом квантовой механики, иметь представление о Стандартной модели взаимодействий частиц и ее внутренних симметриях.

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОП магистратуры

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих элементов компетенций в соответствии с ФГОС ВО, ОП ВО и приобретения следующих знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности:

Формируемая компетенция (код и формулировка)	Индикатор достижения компетенции (код и формулировка)	Перечень планируемых результатов обучения
Профессиональные компетенции		
ПК-1 Способен осуществлять научно-исследовательскую деятельность по решению комплексных фундаментальных задач физики	ИД-ПК-1_2 Знает современные теории и модели физики	Знать: <ul style="list-style-type: none">• лагранжиан Стандартной модели взаимодействий частиц;• принципы построения расширений;• классификацию и свойства известных фундаментальных частиц;• простейшие модели расширений Стандартной модели;• свойства легких гипотетических частиц.
	ИД-ПК-1_3 Участствует в проведении научных исследований по заданной тематике	Уметь <ul style="list-style-type: none">• получать лагранжианы взаимодействий калибровочных теорий великого объединения;• вычислять спектр масс частиц;• получать вероятности осцилляций нейтральных частиц;• вычислять интегральные характеристики астрофизических объектов. Владеть навыками <ul style="list-style-type: none">• построения расширений Стандартной модели;• использования методов квантовой теории поля.

4. Объем, структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 акад. часа.

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	С е м е с т р	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов, и их трудоемкость (в академических часах)						Формы текущего контроля успеваемости Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			Контактная работа						
			лекции	практические занятия	лабораторные работы	консультации	аттестационные работы	самостоятельная работа	
1	Введение	4	6	6		1		4	Индивидуальные консультации
2	Аксион	4	6	6		1		4	Индивидуальные консультации
3	Экзотические частицы	4	6	6		1		4	Индивидуальные консультации
4	Астрофизические приложения	4	6	6		1		4	Индивидуальные консультации
							0,3	3,7	Зачет
	Всего	4	24	24		4	0,3	19,7	

Содержание разделов дисциплины:

1. **Введение.**
 - 1.1. Лагранжиан Стандартной модели взаимодействий частиц.
 - 1.2. Принципы построения расширений.
 - 1.3. Элементарные расширения фермионного и скалярного секторов Стандартной модели. Четвертое поколение. Расширенный хиггсовский сектор.
 - 1.4. Калибровочные расширения. $SU(5)$ и $SO(10)$ модели великого объединения.
 - 1.5. Суперсимметрия.
2. **Аксион.**
 - 2.1. Проблема сильного CP нарушения. Механизм Печчея и Квин.
 - 2.2. Наиболее распространенные аксионные модели. Масса аксиона. Взаимодействие с фотонами и фермионами. Осцилляции.
 - 2.3. Астрофизические и космологические ограничения на параметры аксиона.
3. **Экзотические частицы.**
 - 3.1. Скаляры: арион, майорон, фамилон.
 - 3.2. Фермионы: нейтралино, аксино.
 - 3.3. Кандидаты на темную материю.
4. **Астрофизические приложения.**
 - 4.1. Вклад в энергетические потери астрофизических объектов.

4.2. Влияние астрофизических магнитных полей.

5. Образовательные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе обучения используются следующие образовательные технологии:

Вводная лекция – дает первое целостное представление о дисциплине и ориентирует студента в системе изучения данной дисциплины. Студенты знакомятся с назначением и задачами курса, его ролью и местом в системе учебных дисциплин и в системе подготовки в целом. Дается краткий обзор курса, история развития науки и практики, достижения в этой сфере, имена известных ученых, излагаются перспективные направления исследований. На этой лекции высказываются методические и организационные особенности работы в рамках данной дисциплины, а также дается анализ рекомендуемой учебно-методической литературы.

Академическая лекция (или лекция общего курса) – последовательное изложение материала, осуществляемое преимущественно в виде монолога преподавателя. Требования к академической лекции: современный научный уровень и насыщенная информативность, убедительная аргументация, доступная и понятная речь, четкая структура и логика, наличие ярких примеров, научных доказательств, обоснований, фактов.

Практическое занятие – занятие, посвященное освоению конкретных умений и навыков и закреплению полученных на лекции знаний.

6. Перечень лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

для формирования материалов для текущего контроля успеваемости и проведения промежуточной аттестации, для формирования методических материалов по дисциплине:

- программы Microsoft Office;
- издательская система LaTeX;
- Adobe Acrobat Reader.

7. Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (при необходимости)

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

1. Автоматизированная библиотечно-информационная система «БУКИ-NEXT»
http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php

8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости), рекомендуемых для освоения дисциплины

а) основная литература

1. Высоцкий М. И. Лекции по теории электрослабых взаимодействий / М. И. Высоцкий – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2011. - 152 с.
<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922112635.html>

б) дополнительная литература

1. Пескин М., Шредер Д. Введение в квантовую теорию поля. — Ижевск: РХД, 2001. — 784 с.
http://www.lib.uni-yar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=300794&cat_cd=YARSU
2. Боголюбов Н. Н. Квантовые поля: учебное пособие для вузов / Н. Н. Боголюбов, Д. В. Ширков – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2005. - 384 с.
<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922105804.html>
3. Рубаков В. А. Актуальные вопросы космологии : курс лекций / В. А. Рубаков. - Вып. 6. — М. : Издательский дом МЭИ, 2015. - 272 с.
<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383009376.html>
4. Khlopov M. Fundamentals of Cosmic Particle Physics. — Springer, 2012. — 431 p.
<https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-907343-72-8>
5. Kuster M., Raffelt G., Beltran B. Axions: Theory, Cosmology, and Experimental Searches (Lecture Notes in Physics, 741). — Berlin & Heidelberg: Springer, 2008. — 245 p. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-540-73518-2>

в) ресурсы сети «Интернет»

1. Научная энциклопедия на сайте <http://elementy.ru/physics>.

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине включает в свой состав специальные помещения:

- учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа и практических занятий (семинаров);
- учебные аудитории для проведения групповых и индивидуальных консультаций,
- учебные аудитории для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации;
- помещения для самостоятельной работы;
- помещения для хранения и профилактического обслуживания технических средств обучения.

Специальные помещения укомплектованы средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Для проведения занятий лекционного типа предлагаются наборы демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий, хранящиеся на электронных носителях и обеспечивающие тематические иллюстрации, соответствующие рабочим программам дисциплин.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации.

Число посадочных мест в лекционной аудитории больше либо равно списочному составу потока, а в аудитории для практических занятий (семинаров) – списочному составу группы обучающихся.

Автор:

Заведующий кафедрой теоретической физики, к.ф.-м.н.

(подпись)

А.Я. Пархоменко

**Приложение №1 к рабочей программе дисциплины
«Расширения Стандартной модели»**

**Фонд оценочных средств
для проведения текущей и промежуточной аттестации студентов
по дисциплине**

**1. Типовые контрольные задания или иные материалы,
необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности,
характеризующих этапы формирования компетенций**

**1.1 Контрольные задания и иные материалы,
используемые в процессе текущей аттестации**

1. Вычислить вероятность радиационного распада стандартного хиггсовского бозона в Стандартной модели с N последовательными поколениями фермионов. Найти отношение вероятностей распадов с $N=4$ и $N=3$ поколениями.
2. Найти лагранжиан взаимодействия в Стандартной модели с двумя хиггсовскими дублетами.
3. Найти лагранжиан взаимодействия в модели, основанной на калибровочной группе $SU(5)$.
4. Вычислить вероятность распада протона в рамках этой модели и сравнить с имеющимися экспериментальными ограничениями.
5. Вычислить эффективный лагранжиан взаимодействия аксиона с фотонами в рамках модели Кима-Шифмана-Вайнштейна-Захарова и найти время жизни аксиона, исходя из известных ограничений на его массу.
6. Вычислить аксионную светимость электронного и нуклонного газов в модели Дюне-Фишлера-Средники-Житницкого.
7. Найти вероятность осцилляций аксиона в фотон в постоянном однородном магнитном поле.

1.2 Список вопросов и (или) заданий для проведения итоговой аттестации

Список вопросов к зачету:

1. Стандартная модель взаимодействий частиц.
2. Принципы построения расширений.
3. Элементарные расширения фермионного и скалярного секторов модели. Четвертое поколение. Расширенный хиггсовский сектор.
4. Калибровочные расширения. $SU(5)$ и $SO(10)$ модели великого объединения.
5. Суперсимметрия. Минимальная суперсимметричная модель.
6. Проблема сильного CP нарушения. Механизм Печчея и Квин.
7. Наиболее распространенные аксионные модели. Взаимодействие с фотонами и фермионами.
8. Масса аксиона. Время жизни. Осцилляции аксион-фотон.
9. Астрофизические и космологические ограничения на параметры аксиона
10. Скаляры: арион, майорон, фамилон.
11. Фермионы: нейтрино, аксино.
12. Кандидаты на темную материю.
13. Вклад новых частиц в энергетические потери астрофизических объектов.
14. Влияние астрофизических магнитных полей на свойства легких гипотетических частиц.

1.3 Описание процедуры выставления оценки

Оценка «зачет» выставляется студенту, который владеет основным объемом знаний по программе дисциплины; знает основную терминологию данной области знаний; логически правильно излагает материал; отвечает на вопросы без существенных ошибок; владеет инструментарием дисциплины, умеет его использовать в решении стандартных (типовых) задач; способен самостоятельно применять типовые решения в рамках рабочей программы дисциплины; знает базовые теории, концепции и направления по изучаемой дисциплине; самостоятельно работал на практических занятиях, участвовал в групповых обсуждениях.

Оценка «незачтено» выставляется студенту, который не владеет основным объемом знаний по программе дисциплины; не знает основную терминологию данной области знаний; логически неправильно излагает материал; отвечает на вопросы с существенными ошибками; не владеет инструментарием дисциплины, не умеет его использовать в решении стандартных (типовых) задач; не способен самостоятельно применять типовые решения в рамках рабочей программы дисциплины; не знает базовые теории, концепции и направления по изучаемой дисциплине; не проявлял самостоятельности при выполнении заданий на практических занятиях, не участвовал в групповых обсуждениях.

Приложение №2 к рабочей программе дисциплины «Расширения Стандартной модели»

Методические указания для студентов по освоению дисциплины

Дисциплина «Расширения Стандартной модели» вырабатывает у студентов навыки постановки и аналитического решения сложных физических задач по курсу классической электродинамики, обеспечивает умение самостоятельно решать задачи и пользоваться справочной литературой по теоретической физике.

Широко практикуется индивидуальная методика решения задач, при которой студенты в большой степени самостоятельно решают задачи при индивидуальной помощи и комментариях преподавателя по ходу решения задачи каждым конкретным студентом с последующим обобщением результата и возможных методов его получения. Таким образом, на практических занятиях студенты приобретают навыки самостоятельных вычислений, анализа поставленной задачи и полученного результата.

Распределение времени для изучения данного курса лучше всего планировать, предусматривая регулярное повторение пройденного материала. Материал необходимо регулярно дополнять информацией, полученной из учебной литературы.

Для подготовки к практическим занятиям рекомендуется использовать литературу из прилагаемого списка основной и дополнительной литературы.

Важной частью самостоятельной работы студентов является подготовка к зачету. Список вопросов к зачету прилагается.