



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФГБОУ ВО «ИГУ»

Кафедра общей и космической физики



УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета

/ Н.М. Буднев

«14» апреля 2025 г.

Рабочая программа дисциплины

Наименование дисциплины (модуля): Б1.В.07 Стандартная модель

Направление подготовки: 03.04.02 Физика

Направленность (профиль) подготовки: Астрофизика высоких энергий

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очная

Согласовано с УМК:

физического факультета

Протокол № 49 от «26» марта 2025 г.

Председатель: д.ф.-м.н., профессор

 Н.М. Буднев

Рекомендовано кафедрой:

общей и космической физики

Протокол № 8

от «24» марта 2025 г.

Зав.кафедрой д.ф.-м.н., профессор

 Паперный В.Л.

Иркутск 2025 г.

Содержание

I. Цели и задачи дисциплины (модуля)	3
II. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО	3
III. Требования к результатам освоения дисциплины	3
IV. Содержание и структура дисциплины (модуля)	4
4.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов	5
4.2. План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине	5
4.3. Содержание учебного материала	7
4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ	7
4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС).....	8
4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов	8
4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)	8
V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)	9
а) <i>перечень литературы</i>	9
б) <i>периодические издания</i>	9
в) <i>список авторских методических разработок</i>	9
г) <i>базы данных, информационно-справочные и поисковые системы</i>	9
VI. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)	10
6.1. Учебно-лабораторное оборудование:	10
6.2. Программное обеспечение:	10
6.3. Технические и электронные средства:	10
VII. Образовательные технологии.....	10
VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации.....	10

I. Цели и задачи дисциплины (модуля)

Одним из направлений модернизации российского образования является *интеграция* дисциплин естественнонаучного цикла. Данный курс соответствует этой концепции.

Цель программы - подготовка специалистов в области физики элементарных частиц, квантовой теории поля, физики космических лучей, космологии.

Задача курса: формирование физических представлений об объединенных электрослабых теориях, основных теоретических идеях, лежащих в основе Стандартной Модели, возможностях экспериментальной проверки СМ и возможностях выхода за ее рамки.

II. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО

Дисциплина «Стандартная модель» ходит в часть, формируемую участниками образовательных соотношений, блока Б1 ОПОП по направлению 03.04.02 Физика.. Указанная дисциплина является основой таких научных дисциплин как «Нейтринная астрономия и астрофизика», «Гравитация и космология» и т.п. Курс перебрасывает мост от таких общеобразовательных предметов как квантовая механика и квантовая электродинамика к спецкурсам по указанным выше дисциплинам.

Изучение данной дисциплины опирается на знания, полученные при изучении дисциплин бакалавриата: «Высшая математика», «Атомная физика», «Теоретическая физика», «Ядерная физика» и «Взаимодействие излучений с веществом», «Теория групп».

Неотъемлемой частью курса являются практические занятия. Решение большого числа задач различной трудности позволяет студентам не только закрепить и расширить сведения, полученные на лекциях, но и приобрести первоначальный опыт самостоятельной работы над научными проблемами.

Программа курса ориентирована на тематику научных исследований, развиваемых кафедрами физического факультета.

III. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины (модуля) направлен на формирование следующих компетенций:

- Способен использовать астрофизические методы в научных исследованиях (ПК-1);

Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Компетенция	Индикаторы компетенций	Результаты обучения
ПК-1	ИДК ПК.1.1 Способен использовать астрофизические методы для описания процессов в астрофизических исследованиях	Знать: основные экспериментальные факты, лежащие в основе СМ; основные идеи, связанные со спонтанным нарушением симметрии; Хиггсовский механизм генерации массы; общие методы построения объединенных теорий Уметь: самостоятельно вычислять древесные электрослабые эффекты; делать оценки электрослабых эффектов. Иметь представление: о физике частиц как разделе физики, ее задачах и методах их решения; о методах вычислений петлевых вкладов в электрослабой теории;

		об основных физических явлениях, описываемых электрослабой теорией; о возможностях экспериментальной проверки объединенных теорий; о методах теории групп Быть готовым к самостоятельному проведению исследований, использованию информационных технологий для решения научных и профессиональных задач
--	--	---

IV. Содержание и структура дисциплины (модуля)

Объем дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов, в том числе 63 часов контактной работы.

Занятия проводятся только в очной форме обучения с применением дистанционного контроля самостоятельной работы студентов. Электронной и дистанционной форм обучения не предусматривается.

На практическую подготовку отводится 18 аудиторных часов (во время практических занятий).

Форма промежуточной аттестации: зачёт.

4.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов

№ п/п	Раздел дисциплины/тема	Семестр	Всего часов	Из них практическая подготовка обучающихся	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся, практическую подготовку и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости; Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
					Контактная работа преподавателя с обучающимися			Самостоятельна я работа	
					Лекции	Семинарские/ практические/ лабораторные занятия	Консультации		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Раздел 1. Свойства эффективного слабого лагранжиана.	3	20,2	4	8	4	0,2	8	Опрос, решение задач на практическом занятии
2	Раздел 2. Спонтанное нарушение симметрии.	3	18,2	4	8	2	0,2	8	
3	Раздел 3. Возникновение массы в стандартной модели.	3	14,2	2	4	2	0,2	8	
4	Раздел 4. Свойства калибровочных бозонов	3	10,1	2	4	2	0,1	4	
5	Раздел 5. Смешивание и осцилляции	3	12,1	2	4	2	0,1	6	
6	Раздел 6. Фит стандартной модели	3	12,1	2	4	2	0,1	6	
7	Раздел 7. Расширения стандартной модели	3	9,1	2	2	2	0,1	5	
Зачёт			4						Контрольная работа
КСР			4						
Итого часов			108		34	16	1	45	

4.2. План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно- методическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Трудоемкость (час.)		
1	Все разделы	Решение задач	В течение семестра	30	Готовое решение задачи в письменном виде	[1-2]

Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Трудоемкость (час.)		
1	Подготовка к дискуссии на практических занятиях	Работа с учебной литературой	В течение семестра	15	Дискуссия	[1-2]
Общий объем самостоятельной работы по дисциплине (час)				45		

4.3. Содержание учебного материала

Тема 1. Свойства эффективного слабого лагранжиана.

- 1.1. Фермиевский лагранжиан.
- 1.2. Нарушение четности.
- 1.3. CP нарушение.

Тема 2. Спонтанное нарушение симметрии.

- 2.1. Свойства переносчиков взаимодействий.
- 2.2. Эффект Голдстоуна.
- 2.3. Калибровочные поля и эффект Хиггса.

Тема 3. Возникновение массы в стандартной модели.

- 3.1. Бозонный сектор лагранжиана.
- 3.2. Хиггсовский сектор.
- 3.3. Групповая структура и минимальная модель.
- 3.4. Левые и правые фермионы.

Тема 4. Свойства калибровочных бозонов.

- 4.1. Массы и константы связи.
- 4.2. Самодействие калибровочных бозонов.
- 4.3. Рождение и распады W и Z бозонов.
- 4.4. Возможности эксперимента.

Тема 5. Смешивание и осцилляции.

- 5.1. Возникновение массы фермионов.
- 5.2. Диагонализация массовой матрицы.
- 5.3. Матрица Каббibo-Кобаяши-Маскава.
- 5.4. Матрица смешивания нейтрино и нейтринные осцилляции.

Тема 6. Фит стандартной модели.

- 6.1. Масса Хиггса.
- 6.2. Эффективный потенциал.
- 6.3. Электрослабые асимметрии.
- 6.4. Радиационные поправки.
- 6.5. Глобальный фит.

Тема 7. Расширения стандартной модели.

- 7.1. Расширение хиггсовского сектора.
- 7.2. Идея великого объединения.
- 7.3. Формализм суперсимметрии.
- 7.4. Суперсимметричные расширения СМ.

4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

№ п/п	№ раздела и темы дисциплины (модуля)	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудоемкость (часы)	Оценочные средства	Формируемые компетенции
1	2	3	4	5	6
1.	Тема 1	Решение задач на тему Свойства слабого лагранжиана	4	Контрольная работа	ПК-1
2.	Тема 3	Решение задач на тему Возникновение массы в стандартной модели	4	Контрольная работа	
3.	Тема 4	Решение задач на Свойства калибровочных бозонов.	4	Контрольная работа	

4.	Тема 5	Решение задач на тему Смешивание и осцилляции	2	Контрольная работа	
5.	Тема 7	Решение задач на тему Расширения стандартной модели.	2	Контрольная работа	

4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС)

№ нед.	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуема я литература	Количес тво часов
1.	Все темы	- решение задач	- решить задачу - вывести формулу	Вся рекомендуема я литература	40
2.	Все темы	Подготовка к зачёту		Вся рекомендуема я литература	3
3.	Текущие консультации				2

4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа реализуется:

- 1) Непосредственно в процессе аудиторных занятий, при решении задач.
- 2) В контакте с преподавателем вне рамок расписания - на консультациях по учебным вопросам, в ходе творческих контактов, при ликвидации задолженностей, при выполнении индивидуальных заданий и т.д.
- 3) В библиотеке, дома, в общежитии, на кафедре при выполнении студентом учебных и творческих задач.

4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)

Курсовые работы не планируются.

V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

а) перечень литературы

основная литература

1. Высоцкий, М.И. Лекции по теории электрослабых взаимодействий [Электронный ресурс] / М. И. Высоцкий. - Электрон. текстовые дан. - Москва : Физматлит, 2011. - 150, [1] с. [1] с. : ил. ; 22. - ЭБС "Лань". - неогранич. доступ. - Библиогр. в конце кн. (6 назв.). - ISBN 978-5-9221-1263-5

дополнительная литература

1. Петрина, Дмитрий Яковлевич. Квантовая теория поля [Текст] : учеб. пособие для студ. физ. спец. ун-тов / Д. Я. Петрина. - Изд. стер. - М. : Либроком, 2015. - 247 с. ; 21 см. - ISBN 978-5-397-04802-6 – (3 экз.)
2. Теоретическая физика [Электронный ресурс] : в 10 т. / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. - Электрон. текстовые дан. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2002 - ЭБС "Лань". - неогранич. доступ. - ISBN 592210053X. - Т. 4 : Квантовая электродинамика / В. Б. Берестецкий, Е. М. Лифшиц, Л. П. Питаевский. - Москва : Физматлит, 2006. - 719 с. : ил. ; 22 см. -). - Библиогр. в примеч. - ISBN 5-9221-0058-0
3. Волошин, Михаил Борисович. Теория калибровочных взаимодействий элементарных частиц [Текст] : научное издание / М. Б. Волошин, К. А. Тер-Мартirosян. - М. : Энергоатомиздат, 1984. - 296 с. – (2 экз.)
3. Ициксон, К. Квантовая теория поля [Текст] : в 2 т. : пер. с англ. / К. Ициксон, Ж. -Б. Зюбер. - М. : Мир, 1984 - . - 22 см.
Т. 1. - 1984. - 448 с. – (2 экз.)
Т. 1. - 1984. - 400 с. – (2 экз.)

Справочная литература

1. Окунь, Лев Борисович. Лептоны и кварки [Текст] : научное издание / Л. Б. Окунь. - 3-е изд., стер. - М. : Едиториал УРСС, 2005. - 348 с. – (1 экз.)
2. Пескин, М. Е. Введение в квантовую теорию поля [Текст] / М.Е. Пескин, Д.В. Шредер ; Пер.с англ.под ред.А.А.Белафина,А.В.Беркова. - Ижевск : Регулярная и хаотическая динамика, 2001. - 783 с. – (1 экз.)

б) периодические издания

- нет необходимости.

в) список авторских методических разработок

1. В системе образовательного портала ИГУ (<http://educa.isu.ru/>) размещены методические материалы и задания по данному курсу.

г) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

VI. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

6.1. Учебно-лабораторное оборудование:

Учебная аудитория для проведения занятий. Использование глобальной компьютерной сети позволяет обеспечить доступность Интернет-ресурсов и реализовать самостоятельную работу студентов. На лекциях могут использоваться мультимедийные средства: проектор, переносной экран, ноутбук.

Материалы: научные статьи и монографии из рецензируемых журналов, рассматривающие современные подходы и исследования в физике плазмы.

6.2. Программное обеспечение:

Стандартные сервисы глобальной сети Интернет, стандартные программы для показа презентаций и документов в формате pdf.

6.3. Технические и электронные средства:

Во время лекционных занятий студентам демонстрируются на экране материалы курса в виде презентаций.

VII. Образовательные технологии

Задачи изложения и изучения дисциплины реализуются в следующих формах деятельности:

- **лекции**, нацеленные на получение необходимой информации, и ее использование при решении практических задач;
- **практические занятия**, направленные на активизацию познавательной деятельности студентов и приобретения ими навыков решения практических и проблемных задач;
- **консультации** – еженедельно для всех желающих студентов;
- **самостоятельная внеаудиторная работа** направлена на приобретение навыков самостоятельного решения задач по дисциплине;
- **текущий контроль** за деятельностью студентов осуществляется на лекционных и практических занятиях в виде самостоятельных работ

VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации

8.1.1. Оценочные средства для входного контроля

Для изучения данного курса студент должен знать основы физики и информатики, уметь пользоваться стандартными поисковыми сервисами сети Интернет. Входной контроль знаний не проводится.

8.1.2. Оценочные средства текущего контроля

Пример практического задания

ЗАДАНИЕ 1 Свойства калибровочных бозонов

1. Вывести соотношение между массами W и Z .
2. Вывести вид вершин нейтральных токов для лептонов и кварков первого поколения.
3. Получить формулу для асимметрии «вперед-назад» при рождении кварков в электрон-позитронных столкновениях.

Примерный список устных вопросов:

1. Вид 4-фермионного потенциала.
2. Размерности констант связи в лагранжиане.
3. Что такое левый и правый фермион?
4. Что такое локальная калибровочная инвариантность?
5. Что такое неабелева симметрия?
6. Что такое нейтральные и заряженные токи?
7. Что такое угол Вайнберга?
8. Что такое голдстоуновский бозон?
9. В чем состоит эффект Хиггса?
10. Как возникает недиагональная массовая матрица фермионов?
11. Каким преобразованием массовая матрица диагонализуется?
12. Свойства матрицы смешивания для 2-х поколений.
13. Свойства матрицы смешивания для 3-х поколений.
14. Теоретические ограничения для массы хиггсовского бозона.
15. Моды распада хиггсовского бозона.
16. Массы и ширины калибровочных бозонов.
17. Ограничение на число поколений.
18. Экспериментальные ограничения на массу фотона.
19. Экспериментальные ограничения на массу нейтрино.
20. Что такое майорановское (дираковское) нейтрино?
21. Что такое планковский масштаб энергии?
22. Что такое преобразование суперсимметрии?
23. Что такое присоединенное представление группы?
24. Основные свойства присоединенного представления.
25. Идея Великого Объединения.
26. Что такое «бегущая константа связи».

11.3. Оценочные средства для промежуточной аттестации

Примерный список вопросов к зачёту:

1. Фермиевская теория слабых взаимодействий.
2. Неперенормируемость фермиевской теории, идея промежуточного бозона.
3. Локальная калибровочная симметрия, абелевы и неабелевы симметрии.
4. Лагранжиан квантовой хромодинамики, основные свойства.
5. Эффект Голдстоуна.
6. Спонтанное нарушение калибровочной симметрии, эффект Хиггса.
7. Возникновение массы за счет спонтанного нарушения симметрии.
8. Лагранжиан Стандартной Модели, структура поколений.
9. Лептонный сектор лагранжиана Стандартной Модели.
10. Кварковый сектор лагранжиана Стандартной Модели, смешивание кварков.
11. Нормировки и соотношения между параметрами в СМ.
12. Самодействие калибровочных бозонов в СМ.
13. Нейтральные токи, константы связи нейтральных токов.
14. Вклад нейтральных токов в физические процессы.
15. Асимметрии в процессе рождения Z бозона в электрон-позитронных столкновениях.
16. Основные свойства калибровочных бозонов.
17. Свойства хиггсовского бозона в СМ, ограничения на массу.
18. Взаимодействия хиггсовского бозона в СМ, возможности наблюдения.
19. Матрица Кобаяши-Маскава.
20. Аксиальная аномалия, сокращение аномалий в СМ.
21. Инвариантный заряд в КХД, асимптотическая свобода.
22. Идея великого объединения, суперсимметрия.

Пример тестовых заданий для проверки сформированности компетенций, указанных выше в п. III:

1. Слабое взаимодействие обусловлено...

- а) ...взаимодействием слабых токов с промежуточными векторными бозонами W^+ , W^- , Z , отвечает за бета-распады атомных ядер*
- б) ...взаимодействием электромагнитного тока с фотонами, отвечает за процессы аннигиляции электронов и позитронов*
- в) ...взаимодействием кварков и адронов с глюонами, отвечает за связь между кварками в адронах*

2. Из трех поколений лептонов наибольшей массой обладает

- а) тау-лептон*
- б) мюон*
- в) электрон*

3. Выберите вариант с разрешенным процессом распада мюона:

- а) мюон $\rightarrow$ электрон + электронное антинейтрино + мюонное антинейтрино*
- б) мюон $\rightarrow$ протон + электронное антинейтрино + мюонное антинейтрино*
- в) мюон $\rightarrow$ нейтрон + электронное антинейтрино + мюонное антинейтрино*

4. Слабое взаимодействие нарушает, кроме прочих законов сохранения

- а) Пространственную четность и зарядовую четность*
- б) Закон сохранения электрического заряда*
- в) Не нарушает законов сохранения*

Разработчики:

профессор, д.ф.-м.н.

А.Е. Калошин

доцент, к.ф.-м.н.

В.П. Ломов

Программа рассмотрена на заседании кафедры общей и космической физики ИГУ

« 24 » марта 2025 г.

Протокол № 8, зав. кафедрой  В.Л. Паперный

Настоящая программа не может быть воспроизведена ни в какой форме без предварительного письменного разрешения кафедры-разработчика программы.