



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ФГБОУ ВПО «ИГУ»  
физический факультет

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета  
/Буднев Н.М.  
«28» сентября 2014.

**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

Код дисциплины Б1.В.ДВ.1.2

Наименование дисциплины (модуля) Стандартная модель

Направление подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре

03.06.01 – Физика и астрономия

Направленность (научная специальность) Теоретическая физика

Форма обучения очная

Согласовано с УМК физического факультета  
Протокол № 12 от «28» сентября 2014 г.  
Председатель УМК КР /Карнаков В.А./

Программа рассмотрена на заседании  
кафедры теоретической физики  
«29» августа 2014 г. Протокол № 1  
Зав. кафедрой А.М. Волы /Валл А.Н./

Иркутск 2014 г.

## Содержание

1. Цели и задачи дисциплины (модуля) .....	3
2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП .....	3
3. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля) .....	3
4. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы.....	4
5. Содержание дисциплины (модуля) .....	5
6. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ.....	6
7. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии).....	7
8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля).....	7
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля).....	8
10. Образовательные технологии .....	8
11. Оценочные средства (ОС) .....	8

## 1. 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.

## 2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП

Дисциплина «Стандартная модель» относится к вариативной части математического и естественнонаучного цикла дисциплин. Указанная дисциплина является основой таких научных дисциплин как «Нейтринная астрофизика», «Физика космических лучей», «Гравитация и космология» и т.п. Поэтому изучение этой дисциплины является неотъемлемой частью образовательного цикла по кафедре теоретической физики. 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: «Высшая математика», «Атомная физика», «Теоретическая физика», «Ядерная физика» и «Взаимодействие излучений с веществом», «Теория групп».

Неотъемлемой частью курса являются практические семинарские 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 на кафедре теоретической физики и в Объединенном Институте Ядерных Исследований (г. Дубна).

## 3. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля)

В Федеральном компоненте ГОС подготовки аспиранта по направлению 01.04.02 «Теоретическая физика» не указаны явно требования к результатам освоения дисциплины «Стандартная модель».

Согласно ФГОС аспирант по направлению «Физика» должен обладать рядом общекультурных и профессиональных компетенций (ОПК, ПК и УК). Дисциплине «Стандартная модель» соответствуют следующие из них:

- Способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта (ПК-1);
- владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности (ПК-2);
- владение новыми методами и методологическими подходами необходимыми для участия в научно-инновационных исследованиях и инженерно-технологической деятельности (ПК-3).

В результате изучения курса «Стандартная модель» аспиранты должны

**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

#### 4. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов / зачетных единиц	Курсы			
		1			
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	<b>48</b>	<b>48</b>			
В том числе:			-	-	-
Лекции	24	24			
Практические занятия (ПЗ)	24	24			
Семинары (С)					
Лабораторные работы (ЛР)					
КСР					
<b>Самостоятельная работа (всего)</b>	<b>60</b>	<b>60</b>			
В том числе:			-	-	-
Курсовой проект (работа)					
Расчетно-графические работы					
Реферат (при наличии)					
<i>Другие виды самостоятельной работы</i>					
Вид промежуточной аттестации (зачет)	2	2			
Общая трудоемкость	часы	108			
	зачетные единицы	3			

#### 5. Содержание дисциплины (модуля)

##### 5.1. Содержание разделов и тем дисциплины (модуля)

Тема 1. Свойства 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 Хиггса.
- 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 Каббиво-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.

### 5.2 Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами (модулями)

«Стандартная модель» является основой таких научных дисциплин как Нейтринная астрофизика, Гравитация и космология, Физика космических лучей и т.п. Поэтому изучение этой дисциплины является неотъемлемой частью образовательного цикла по кафедре теоретической физики. Курс перебрасывает мост от таких общеобразовательных предметов как квантовая механика и квантовая электродинамика к спецкурсам по указанным выше дисциплинам.

№ п/п	Наименование обеспечиваемых (последующих) дисциплин	№ № разделов и тем данной дисциплины, необходимых для изучения обеспечиваемых (последующих) дисциплин
1.	Нейтринная астрофизика	Темы 1,4,5,7
2.	Гравитация и космология	Темы 1,5,7
3.	Физика космических лучей	Темы 1,3

### 5.3. Разделы и темы дисциплин (модулей) и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела	Наименование темы	Виды занятий в часах					Всего
			Лекц.	Практ. зан.	Семина	Лаб. зан.	СРС	
1.	Свойства слабого лагранжиана.	Свойства слабого лагранжиана.	2	4				6
2.	Спонтанное нарушение симметрии.	Спонтанное нарушение симметрии.	4				6	10
3.	Возникновение массы в стандартной модели.	Возникновение массы в стандартной модели.	2	2			6	10
4.	Свойства калибровочных бозонов.	Свойства калибровочных бозонов.	4	2			6	12
5.	Смешивание и осцилляции.	Смешивание и осцилляции.	2	4				6
6.	Фит стандартной модели.	Фит стандартной модели.	2				6	8
7.	Расширения стандартной модели.	Расширения стандартной модели.	2	6			6	14

## 6. 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 ПК-2 ПК-3
2.	Тема 3	Решение задач на тему Возникновение массы в стандартной модели	2	Контрольная работа	
3.	Тема 4	Решение задач на Свойства калибровочных бозонов.	2	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	

## 7. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)

Курсовые работы не планируются.

## 8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

### а) основная литература

1. Высоцкий, М.И. Лекции по теории электрослабых взаимодействий. [Электронный ресурс]: учебное пособие. — Электрон. дан. — М.: Физматлит, 2011. — 151 с. — Режим доступа: ЭБС «Лань». ISBN: 978-5-9221-1263-5

### б) дополнительная литература

1. **Окунь, Л. Б.** Лептоны и кварки / Л.Б. Окунь. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Наука, 1990. - 345 с. ISBN 5-02-014027-9 (1)
2. **Волошин, М. Б.** Теория калибровочных взаимодействий элементарных частиц / М. Б. Волошин, К. А. Тер-Мартirosян. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 296 с. (2)
3. К. Ициксон, Ж-Б. Зюбер, Квантовая теория поля / К. Ициксон, Ж-Б. Зюбер, т.1 (448 с.), т.2 (400 с.). М.: Мир, 1984. (2, 2)
4. **Пескин, М. Е.** Введение в квантовую теорию поля / М.Е. Пескин, Д.В. Шредер. - Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2001. - 783 с. - ISBN 5-93972-083-8 (1)
5. **Ландау, Лев Давидович** Теоретическая физика [Текст] : учебное пособие для физ. спец. ун-тов: В 10 т. / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. - М. : Наука. - ISBN 5-02-013850-9. Т. 4 : Квантовая электродинамика / В.Б. Берестецкий, Е.М. Лифшиц, Л.П. Питаевский и др. - 3-е изд., испр. . - 1989. - 723 с. (20)

в) программное обеспечение: стандартные сервисы глобальной сети Интернет.

г) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

- Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU, более 10 полнотекстовых версий научных журналов по тематике курса
- Информационная система доступа к российским физическим журналам и обзорам ВИНТИ (<http://www.viniti.ru>)
- Архив научных статей (<http://arxiv.org>.)

## 9. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Методическим оформлением курса является использование современных образовательных технологий: информационных (лекции и презентации в Power Point), проектных (мультимедиа, видео, документальные фильмы). Внедрение глобальной компьютерной сети в образовательный процесс позволяет обеспечить доступность Интернет-ресурсов.

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

## 10. 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.

## 11. Оценочные средства (ОС)

### 11.1. 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.

### 11.2. 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 зачету:

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.

**Разработчики:**

\_\_\_\_\_  
(подпись)

профессор, д.ф.-м.н.

А.Е. Калошин

Программа рассмотрена на заседании кафедры теоретической физики ИГУ  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 201 г.

Протокол № \_\_\_\_ Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ А.Н. Валл

**Лист согласования, дополнений и изменений  
на 2015/2016 учебный год**

К рабочей программе дисциплины Б1.В.ДВ.1.2 Стандартная модель по направленности программы подготовки кадров высшей квалификации (программы аспирантуры) Теоретическая физика

1. В рабочую программу дисциплины вносятся следующие дополнения: нет дополнений.

Изменения одобрены Ученым советом физического факультета, протокол №10 от 23.06.2015 г.

И.о. зав. кафедрой теоретической физики

  
\_\_\_\_\_

С.Э. Коренблит

**Лист согласования, дополнений и изменений  
на 2016/2017 учебный год**

К рабочей программе дисциплины Б1.В.ДВ.1.2 Стандартная модель по направленности программы подготовки кадров высшей квалификации (программы аспирантуры) Теоретическая физика

1. В соответствии с приказом Минобрнауки России №1455 от 07.12.2015 г. о переименовании федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Иркутский государственный университет» (ФГБОУ ВПО «ИГУ») в федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ИГУ») читать наименование вуза в новой редакции.

2. В рабочую программу дисциплины вносятся следующие дополнения: нет дополнений.

Изменения одобрены Ученым советом физического факультета,  
протокол №11 от 17.06.2016 г.

Зав. кафедрой теоретической физики

  
\_\_\_\_\_

С.В. Ловцов

**Лист согласования, дополнений и изменений  
на 2017/2018 учебный год**

К рабочей программе дисциплины Б1.В.ДВ.1.2 Стандартная модель по направленности программы подготовки кадров высшей квалификации (программы аспирантуры) Теоретическая физика

1. В рабочую программу дисциплины вносятся следующие дополнения: нет дополнений.

Одобрено Ученым советом физического факультета,  
протокол №8 от 19.06.2017 г.

Зав. кафедрой теоретической физики



С.В. Ловцов

**Лист согласования, дополнений и изменений  
на 2018/2019 учебный год**

К рабочей программе дисциплины Б1.В.ДВ.1.2 Стандартная модель по направленности программы подготовки кадров высшей квалификации (программы аспирантуры) Теоретическая физика

1. В рабочую программу дисциплины вносятся следующие дополнения: нет дополнений.

Одобрено Ученым советом физического факультета,  
протокол №1 от 30.08.2018 г.

Зав. кафедрой теоретической физики



С.В. Ловцов