

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы физики  
и исследований им. Ландау  
А.В. Рогачев**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Расширения Стандартной Модели
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра фундаментальных взаимодействий и физики элементарных частиц
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 45 всего, в том числе:

лекции: 45 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 60 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составил: Э.Э. Боос, д-р физ.-мат. наук, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры фундаментальных взаимодействий и физики элементарных частиц  
28.03.2025

## Аннотация

Курс «Расширения Стандартной Модели» знакомит студентов с современными теоретическими моделями в области физики высоких энергий и элементарных частиц, выходящими за рамки Стандартной модели (СМ), такими как: суперсимметрия (в частности, MSSM - Минимальная Суперсимметричная Стандартная модель), дополнительные измерения пространства-времени (теории типа Калуцы-Клейна, модель Рэндалл-Сундрум, модель ADD), теории Великого Объединения (Grand Unified Theory, GUT, на примере калибровочной группы SU(5)), а также общими принципами так называемых «эффективных теорий поля» (effective field theory) и «упрощенных моделей» (simplified models)

Особое внимание в курсе уделяется суперсимметрии, как одному из самых перспективных расширений СМ. Подробно рассмотрен теоретико-групповой математический аппарат суперсимметрии, введены понятия суперпространства, киральных, векторных и вспомогательных суперполей, а также суперпотенциала. Рассмотрены возможные механизмы нарушения суперсимметрии. Выписан лагранжиан МССМ в терминах физических степеней свободы. Также в контексте суперсимметрии рассмотрена проблема иерархий и проблема натуральности в формулировке т'Хоофта.

Подробно рассматриваются возможности экспериментальной проверки расширений СМ в экспериментах на современных (LHC) и будущих коллайдерах, в астрофизике, а также в различных неускорительных экспериментах. Особое внимание уделено вопросам поиска суперсимметрии на коллайдерах, особенностям поисков бозонов Хиггса в МССМ и современным экспериментальным ограничениям. Отдельно рассмотрены методы поисков проявлений новой физики в ситуации, когда энергия столкновений на коллайдерах недостаточна для рождения новых частиц, формализм SMEFT.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

Данный курс знакомит учащихся с современным состоянием и путями дальнейшего развития физики элементарных частиц и высоких энергий за рамками Стандартной модели, создавая теоретическую базу, необходимую для работы в данной области. При изучении курса студенты получают представление о том, с каким теоретическим и экспериментальным материалом им предстоит иметь дело в ходе проведения исследований по НИР в области физики высоких энергий и элементарных частиц.

### Задачи дисциплины

- ознакомление студентов с современной научной картиной мира в области физики высоких энергий.
- получение представления о существующих проблемах и нерешённых вопросах Стандартной модели.
- подробное изучение наиболее популярных вариантов выхода за рамки Стандартной модели.
- ознакомление студентов с современными методами исследований и последними экспериментальными данными в области физике элементарных частиц и высоких энергий по поиску новых эффектов за рамками Стандартной модели.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними
	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности

ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

содержание курса «Расширения Стандартной модели», соответствующую терминологию и понятийный аппарат, в частности основы подхода эффективных теорий поля (SMEFT). Иметь общее представление об истории развития суперсимметричных теорий и теорий с дополнительными измерениями пространства-времени, применяемых в современной физике высоких энергий.

уметь:

в простейших случаях вычислять аналитически сечения рождения и ширины распадов частиц из обобщений Стандартной модели, изучаемых в курсе.

владеть:

изложенным в курсе математическим аппаратом теории поля, необходимым для качественных оценок и аналитических вычислений в рамках современных обобщений Стандартной модели.

### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

#### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Введение. Стандартная модель.	4			5

2	Спонтанное нарушение симметрии.	4			5
3	Проблемы СМ, «новая физика» и «эффективные теории поля»	4			5
4	Группы Лоренца и Пуанкаре.	4			5
5	Суперсимметрия.	4			5
6	Суперсимметричная теория поля.	4			5
7	Минимальное суперсимметричное расширение Стандартной модели (MSSM).	4			5
8	Хиггсовский сектор и спектр масс MSSM.	4			5
9	Поиск суперсимметрии.	4			5
10	Теории Великого Объединения.	4			5
11	Теории с дополнительными измерениями пространства-времени.	5			10
Итого часов		45			60
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		135 час., 3 зач.ед.			

#### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 2 (Весенний)

##### 1. Введение. Стандартная модель.

Система единиц в физике высоких энергий. Масштабы времен и расстояний, изучаемые СМ и доступные на современных коллайдерах. Типы симметрий, лежащих в основе построения Стандартной модели (СМ) и некоторых ее расширений. Группа калибровочной симметрии СМ. Поля и частицы СМ. Лагранжиан СМ в пределе нулевых масс.

##### 2. Спонтанное нарушение симметрии.

Понятие спонтанного нарушения симметрии. Механизм спонтанного нарушения симметрии ВЕН и бозон Хиггса. Хиггсовский сектор Стандартной модели. Поправки к массе бозона Хиггса. Ширина бозона Хиггса Стандартной модели как функция его массы. Проблема иерархий, проблема "малых иерархий". Формулировка натуральности т'Хоофта. Унитарность и электрослабая теорема эквивалентности. Поведение продольных компонент массивных калибровочных бозонов в процессах рассеяния при высоких энергиях. Открытие бозона Хиггса и "No-lose" теорема.

##### 3. Проблемы СМ, «новая физика» и «эффективные теории поля»

Основные проблемы Стандартной модели и фундаментальные вопросы, на которые она не дает ответа. Экспериментальные факты, которые невозможно объяснить в рамках СМ. Основные теоретические направления выхода за рамки СМ. Специфика проявления эффектов «новой физики» на коллайдерах в случаях, когда энергия столкновений достаточна или недостаточна для рождения новых частиц, а их взаимодействия с полями СМ недостаточно сильны. Подпороговые эффекты. «Эффективные теории поля» и «упрощенные модели» при изучении эффектов «новой физики». Формализм SMEFT (Standard Model Effective Field Theory) и параметризация возможных отклонений от предсказаний СМ калибровочно-инвариантными локальными операторами с возрастающими размерностями, превышающими четыре. Примеры операторов размерности 6, содержащие поля Хиггса и топ-кварка. Примеры современных ограничений на аномальные параметры во взаимодействиях Хиггса и топ-кварка с другими полями. Примеры поиска модельно-независимых проявлений на LHC.

#### 4. Группы Лоренца и Пуанкаре.

Лоренцевы повороты и бусты. Группа Лоренца. Алгебра генераторов группы Лоренца. Универсальная накрывающая группы Лоренца - группа  $SL(2, \mathbb{C})$ . Фундаментальное и присоединенное представления группы  $SL(2, \mathbb{C})$ . Спиноры Вейля. Генераторы группы  $SL(2, \mathbb{C})$ , преобразования спиноров с ковариантными и контравариантными индексами. Спиноры Дирака и Майораны. Группа Пуанкаре. Алгебра генераторов группы Пуанкаре.

#### 5. Суперсимметрия.

История развития суперсимметричных теорий с семидесятых годов прошлого века до наших дней. Теорема Коулмена-Мандулы. Расширение алгебры Пуанкаре антикоммутирующими генераторами. Алгебра генераторов суперсимметрии. Операторы Казимира группы Пуанкаре и группы суперсимметрии. Суперпространство. Интегрирование и дифференцирование с грассмановыми числами. Спинорные компоненты как грассмановы числа.

#### 6. Суперсимметричная теория поля.

Понятие суперполя. Явный вид генераторов суперсимметрии на суперполях. Закон преобразования суперполей под действием генераторов суперсимметрии. Сумма и произведение суперполей. Разложение суперполя на компоненты и законы преобразования компонент. Ковариантные производные на суперпространстве. Киральное суперполе. Размерность компонент кирального суперполя. Разложение кирального суперполя на компоненты и законы преобразования компонент. Суперпотенциал, модель Весса-Зумино. Векторное суперполе. Разложение векторного суперполя на компоненты в калибровке Весса-Зумино. Напряженность векторного суперполя. Калибровочно-инвариантный лагранжиан на суперпространстве, построенный из кирального и векторного суперполей. Вспомогательные поля  $F$  и  $D$ .

#### 7. Минимальное суперсимметричное расширение Стандартной модели (MSSM).

Киральные и векторные суперполя в MSSM, их квантовые числа и компоненты. R-четность. Суперпотенциал MSSM. Лагранжиан MSSM без нарушения суперсимметрии. Смешивание компонент суперполей MSSM и физические степени свободы. Суперсимметричная темная материя. Необходимость и основные сценарии нарушения суперсимметрии. Мягкое нарушение суперсимметрии. Лагранжиан мягкого нарушения суперсимметрии в MSSM.

#### 8. Хиггсовский сектор и спектр масс MSSM.

Спонтанное нарушение электрослабой симметрии в MSSM и лагранжиан полей Хиггса. Ограничения на массы бозонов Хиггса на древесном уровне. Роль петлевых поправок. Вершины взаимодействия бозонов Хиггса с другими полями. Особенности поиска бозонов Хиггса MSSM на коллайдерах. Распады и процессы рождения бозонов Хиггса на LHC. Современные ограничения.

#### 9. Поиск суперсимметрии.

Возможные проявления суперсимметрии на коллайдерах и в неускорительных экспериментах. Лагранжиан MSSM для суперпартнёров. Рождение и распад суперпартнеров на ускорителях. Процессы рождения и распада глюино и топ-скварков на LHC. Современные ограничения.

#### 10. Теории Великого Объединения.

Бегущие калибровочные константы связи в СМ и MSSM и идея их объединения в рамках простой калибровочной группы. Простейшая ТВО на примере калибровочной группы SU(5). Вложение калибровочной группы СМ в группу SU(5). Приводимое представление 5+10 группы SU(5) и фермионы СМ. Присоединенное представление группы SU(5) и калибровочные бозоны модели: калибровочные бозоны СМ и лептокварки. Отсутствие аномалий. Распад протона, современные экспериментальные ограничения, нарушение барионного числа и бариогенезис. Достоинства и проблемы SU(5)-модели ТВО.

#### 11. Теории с дополнительными измерениями пространства-времени.

Историческое введение: теории с дополнительными измерениями пространства-времени с начала прошлого века до наших дней. Теории типа Калуцы-Клейна. Понятия компактификации и размерной редукции. «Большие» дополнительные измерения. Модель ADD. Модель мира на бране – модель Рэндалл-Сундрум (RS model). Пятимерный лагранжиан модели RS, уравнения движения и их решение. Объяснение слабости четырехмерной гравитации на основе модели RS. Достоинства и недостатки модели RS. Стабилизированная модель RS. Поле радиона. Современные экспериментальные ограничения для теорий с дополнительными измерениями пространства-времени.

### 5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

### 6. Перечень рекомендуемой литературы

#### Основная литература

1. Суперсимметрия и супергравитация [Текст]/Ю. Весс, Дж. Беггер, -М., Мир, 1986
2. Введение в суперсимметрию и супергравитацию [Текст]/П. Уэст, -М., Мир, 1989
3. С. Вайнберг, «Квантовая теория поля». т. 3, Суперсимметрия, М. ФАЗИС, 2002

#### Дополнительная литература

1. H.Baer and X.Tata, "Weak Scale Supersymmetry", Cambridge University Press, 2006.
2. E. E. Boos, "Quantum Field Theory and the Electroweak Standard Model", Lectures at the European School of High-Energy Physics, arXiv:1609.01988 ; 10.5170/CERN-2015-004.
3. D. I. Kazakov, "Beyond the Standard Model (In search of supersymmetry)", Lectures at the European school on high energy physics, 10.5170/CERN-2001-003.125, arXiv:hep-ph/0012288
4. E.Boos, "Quantum field theory and the electroweak standard model", Книжный дом Университет, Москва, 2018 г., 158 стр., ISBN: 978-5-91304-871-4, doi: 10.31453/kdu.ru.91304.0019 .
5. Э.Э.Боос, "Физика топ-кварка, хиггсовского бозона и суперсимметрии", с.156-281, в кн.: Летняя школа Фонда Д. Зимина "Династия": Физика элементарных частиц в преддверии Большого адронного коллайдера. Физика элементарных частиц в преддверии Большого адронного коллайдера. Изд-во ЛЕНАНД, г.Москва, 2011, с.400.

### 7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

- 1.<http://pdg.lbl.gov/> The Review of Particle Physics
- 2.<https://zoom.us/ru-ru/education.html> программное обеспечение «Zoom» для организации видеоконференций

### 8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

<https://zoom.us/ru-ru/education.html> программное обеспечение «Zoom» для организации видеоконференций.

## 9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Студент, изучающий дисциплину, должен, с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике.

В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения и понятия, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к преподавателю.

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра фундаментальных взаимодействий и физики элементарных частиц
<b>курс:</b>	<u>1</u>
<b>квалификация:</b>	магистр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен	
<b>Разработчик:</b>	Э.Э. Боос, д-р физ.-мат. наук, профессор

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними
	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Расширения Стандартной Модели» обучающийся должен:

### знать:

содержание курса «Расширения Стандартной модели», соответствующую терминологию и понятийный аппарат, в частности основы подхода эффективных теорий поля (SMEFT). Иметь общее представление об истории развития суперсимметричных теорий и теорий с дополнительными измерениями пространства-времени, применяемых в современной физике высоких энергий.

### уметь:

в простейших случаях вычислять аналитически сечения рождения и ширины распадов частиц из обобщений Стандартной модели, изучаемых в курсе.

### владеть:

изложенным в курсе математическим аппаратом теории поля, необходимым для качественных оценок и аналитических вычислений в рамках современных обобщений Стандартной модели.

### 3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Не предусмотрено.

### 4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Перечень контрольных вопросов:

1. Нарисовать диаграммы Фейнмана основных процессов рождения бозона Хиггса на коллайдере LHC.
2. Нарисовать диаграммы Фейнмана доминирующих распадов бозона Хиггса на коллайдере LHC.
3. Привести примеры процессов рождения и распада глюино на LHC
4. Привести примеры процессов рождения и распада топ-скварков на LHC
5. Сколько и какие именно физические поля Хиггса остаются в MSSM после спонтанного нарушения электрослабой симметрии?
6. Какие компоненты суперполей MSSM смешиваются и образуют физические поля? Как эти поля называются?
7. Почему суперсимметрия должна быть нарушенной? Каков смысл термина «мягкое нарушение» суперсимметрии?
8. Какова роль вспомогательных полей F и D при разложении суперполей на компоненты?
9. Покажите, что напряженность векторного суперполя является киральным суперполем
10. Покажите, что сумма и произведение двух суперполей также являются суперполями.

Примеры контрольных заданий:

1. Написать эффективный лагранжиан взаимодействия скалярных лептокварков с глюонами и нарисовать диаграммы Фейнмана, дающие вклад в процессы их парного рождения на LHC.
2. Написать калибровочно-инвариантный по отношению к группе Стандартной модели оператор взаимодействия t-кварка, c-кварка и глюона. Какую размерность имеет этот оператор и к какому току он приводит?
3. Представим, что t-кварк имеет внутреннюю структуру. К каким феноменологическим следствиям приводит такое предположение? Написать возможные калибровочно-инвариантные эффективные лагранжианы взаимодействия возбужденного t-кварка.
4. Пусть темная материя представляет собой фермионы, которые взаимодействуют через Хиггс-портал с полями Стандартной модели. Написать возможные эффективные лагранжианы таких взаимодействий, нарисовать примеры диаграмм Фейнмана, описывающие возможные проявления темной материи в таком сценарии в столкновениях на LHC, в экспериментах по прямому и непрямому детектированию темной материи.
5. Сколько бозонов Хиггса предсказывается в MSSM? Получить формулы для основных парциальных ширины распадов этих бозонов.
6. В одной из возможных сигнатур распад рождающегося скварка MSSM происходит через рождение слептона в промежуточном состоянии. Вывести формулу для кинематической границы (end-point) в распределении по инвариантной массе двух заряженных лептонов, которые получают в этом распаде, через массы слептона, тяжелого нейтрино и самого легкого нейтрино
7. Доказать, что в любом супермультиплете число бозонов  $N_b$  равно числу фермионов  $N_f$ .

Примеры экзаменационных билетов

Билет 1.

1. Построить из кирального и векторного суперполей калибровочно-инвариантный лагранжиан на суперпространстве. Объяснить роль вспомогательных полей  $F$  и  $D$ .

2. Привести примеры процессов рождения и распада глюино и топ-скварков на LHC.

Билет 2.

1. Дать определение векторного суперполя и напряженности векторного суперполя. Продемонстрировать разложение векторного суперполя на компоненты в калибровке Весса-Зумино. Показать, что напряженность векторного суперполя является киральным суперполем.

2. Нарисовать диаграммы Фейнмана процессов рождения и распадов бозонов Хиггса на LHC.

#### Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 балл - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

#### 5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Экзамен проводится по экзаменационным билетам. В каждом билете представлено два теоретических вопроса. При проведении устного экзамена обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося не должен превышать одного астрономического часа.