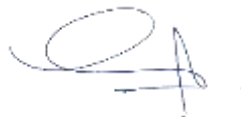


Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова

Филиал Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова в городе Сарове

**«УТВЕРЖДАЮ»**



---

**Директор филиала МГУ в г.Сарове**

**Член-корреспондент РАН В.В. Воеводин**

### **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**Наименование дисциплины:**

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ГЛАВЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ СПЛОШНЫХ СРЕД

---

**Уровень высшего образования:**

Магистратура

---

**Направление подготовки:**

---

03.04.02 Физика

**Направленность (профиль) ОПОП:**

---

**Теоретическая физика**

Квалификация «Магистр»

**Форма обучения:** Очная

Саров 2021 г.

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки 03.04.02 Физика в редакции приказа по МГУ от 30 декабря 2020 г. №1366.

**Авторы–составители рабочей программы дисциплины:**

член-корреспондент РАН Э.Э.Боос, НИИЯФ МГУ, и.о. директора  
д.ф.-м.н. М.Н.Дубинин, НИИЯФ МГУ, в.н.с.  
к.ф.-м.н. С.В.Демидов, ИЯИ РАН, с.н.с.

## **Аннотация к рабочей программе дисциплины «Физика за пределами стандартной модели»**

Дисциплина «Физика за пределами стандартной модели» является курсом обязательной части магистерской программы «Теоретическая физика» и читается во втором семестре второго курса магистратуры. В курсе излагаются основные современные расширения стандартной модели (СМ) и варианты их применения для решения современных проблем в физике высоких энергий и космологии. Подробно рассматриваются следующие классы моделей за пределами СМ: расширения лептонного сектора, эффективные теории поля (SMEFT), расширения группы калибровочной симметрии СМ до  $SU(2)_L \times SU(2)_R \times U(1)_{B-L}$ , минимальная суперсимметричная стандартная модель и теории Великого объединения (GUT), а также так называемые «упрощенные модели». Изучается структура возникающих лагранжианов и рассматриваются феноменологические следствия расширенных моделей для экспериментов на коллайдерах. Особое внимание уделяется приложениям развиваемого теоретического аппарата для поисков гипотетических частиц темной материи.

### **Разделы рабочей программы**

1. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОПОП ВО).
2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (при наличии)
3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями
4. Форма обучения.
5. Язык обучения.
6. Содержание дисциплины.
7. Объем дисциплины
8. Структурированное по темам (разделам) содержание дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий
9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.
10. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).
11. Шкала оценивания.
12. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.
13. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.
14. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы

### **1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО**

Дисциплина «Физика за пределами стандартной модели» реализуется на 2-ом курсе в 1-ом семестре и является частью общенаучного блока вариативной части. Курс тесно связан с курсами «Теория групп и элементарные частицы», «Теория фундаментальных взаимодействий», «Современные проблемы физики», «Моделирование процессов в физике элементарных частиц на коллайдерах».

### **2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия**

Освоение следующих дисциплин: «Квантовая механика», «Квантовая теория поля», «Теория групп Ли».

### 3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями

В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы:

В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы:

Формируемые компетенции (код компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
<ul style="list-style-type: none"> <li>Способность использовать знания современных проблем и новейших достижений в области теоретической физики в своей научно-исследовательской деятельности (СПК-1).</li> </ul>	<p><b>ЗНАТЬ</b></p> <p>основные законы и направления современных научных исследований в области теоретической физики.</p> <p><b>УМЕТЬ</b></p> <p>на основе фундаментальных знаний в области теоретической физики, определять возможные направления научных исследований.</p> <p><b>ВЛАДЕТЬ</b></p> <p>необходимой информацией из современных отечественных и зарубежных источников по тематике избранного направления исследования области теоретической физики.</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Способность организовать и планировать физические исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области теоретической физики и решать их с помощью современной аппаратуры, оборудования и информационных технологий (СПК-2).</li> </ul>	<p><b>ЗНАТЬ</b></p> <p>базовые принципы организации научных исследований с использованием информационных технологий, основные методики работы на современном научном оборудовании.</p> <p><b>УМЕТЬ</b></p> <p>используя знания в области теоретической физики проводить научные исследования.</p> <p><b>ВЛАДЕТЬ</b></p> <p>навыками планирования научного исследования, анализа получаемых результатов, обобщения, оформления и публичного представления полученных результатов.</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Способность определять основные направления внедрения научных результатов в области теоретической физики (СПК-3).</li> </ul>	<p><b>ЗНАТЬ</b></p> <p>основные направления инновационного развития в области теоретической физики.</p> <p><b>УМЕТЬ</b></p> <p>проводить необходимый анализ современных тенденций научных инноваций в области теоретической физики для подготовки предложений по внедрению</p>

	<p>полученных научных результатов.</p> <p><b>ВЛАДЕТЬ</b></p> <p>методами обоснования возможного применения полученных научных результатов с учетом современных достижений в области теоретической физики.</p>
--	---

**4. Форма обучения:** очная.

**5. Язык обучения:** русский.

**6. Содержание дисциплины**

Тема 1. Общие сведения о Стандартной модели взаимодействий частиц. Три поколения кварков и лептонов. Калибровочная симметрия  $SU(2) \times U(1)$ , дублеты и синглеты Стандартной модели взаимодействий частиц. Общая структура лагранжиана Стандартной модели. Ковариантная производная. Юкавские члены взаимодействия кварков и лептонов. Калибровочные и массовые состояния кварков и лептонов. Смешивание кварков. Матрица смешивания Кабиббо-Кобаяши-Маскава (CKM). Смешивание лептонов. Матрица смешивания Понтекоро-Маки-Накагава-Саката (PMNS).

Проблемы Стандартной модели (SM). Феноменологические проблемы SM: массы нейтрино, темная материя, барионная асимметрия Вселенной. Обзор теоретических проблем SM. Связь параметров хиггсовского потенциала SM и квадратичные расходимости однопетлевых диаграмм. Вопрос естественности (точной настройки) схемы перенормировки, содержащей параметр обрезания по импульсу. Вопрос происхождения смешиваний и различий параметров смешивания в секторе лептонов и секторе кварков. Проблема иерархии масс кварков и лептонов. Проблемы современной космологической модели и их связь со SM. Масса, длина и время Планка. Параметр Хаббла. Возраст Вселенной. Размер видимой части Вселенной (космологическая длина). Проблема космологического горизонта. Проблема плотности энергии вакуума.

Тема 2. Модели с расширенным лептонным сектором. Экспериментальные обоснования наличия массы нейтрино. Расширение лептонного сектора стандартной модели для массивных нейтрино. Дираковский и майорановский спиноры. Дираковские и майорановские массовые члены нейтрино расширенного лептонного сектора. Майорановские массовые члены вследствие нарушения симметрии  $SU(2)$  инвариантного эффективного оператора размерности пять. Механизм see-saw генерации малых масс нейтрино. Механизм генерации масс нейтрино, генерация лептонной асимметрии в распадах тяжелых майорановских нейтрино и лептогенезис в ранней Вселенной.

Тема 3. Модельно-независимые расширения SM эффективными операторами размерности больше четырех. Масштаб «новой физики». Специфика проявления эффектов «новой физики» на коллайдерах в случаях, когда энергия столкновений недостаточна для рождения новых частиц. Описание отклонений от предсказаний Стандартной модели в формализме аномальных взаимодействий и эффективной теории поля (SMEFT). Параметризация возможных отклонений от предсказаний SM калибровочно-инвариантными локальными операторами с возрастающими размерностями, превышающими четыре. «Варшавский базис»

для расширений СМ эффективными операторами. Примеры эффективных операторов размерности шесть с участием топ-кварка и бозона Хиггса. Аномальные константы связи топ-кварка и бозона Хиггса. Примеры поиска аномальных взаимодействий топ-кварка в процессах парного и одиночного рождения на линейных коллайдерах и Большом адронном коллайдере (БАК). Возможные экспериментальные наблюдаемые, P-нечетная и спиновая асимметрии при наличии аномальных констант связи. Контуры исключения для аномальных констант связи на заданном уровне статистической достоверности при различных светимостях линейных коллайдеров и БАК. Упрощенные модели и поиск гипотетических частиц. Основные пути построения упрощенных моделей: лептокварки, возбужденные фермионы, «модельно-независимый подход». Упрощенные модели для описания и поиска кандидатов на роль частиц темной материи.

Тема 4. Модели с расширенной группой калибровочной симметрии. Минимальная левоправая модель  $SU(2)_L \times SU(2)_R \times U(1)$ . Мультиплеты фермионов и калибровочных бозонов. Сокращение калибровочных аномалий. Хиггсовский сектор модели, триплеты и  $SU(2)$  спиноры второго ранга (бидублеты). Схема спонтанного нарушения калибровочной симметрии, вакуумные средние скалярных полей, голдстоуновские бозоны. Массы калибровочных бозонов  $W_L, W_R, Z_L, Z_R$ . Хиггсовский потенциал и спектр масс бозонов Хиггса. Бозоны Хиггса с зарядом 2. Юкавские взаимодействия. Лагранжиан модели в массовом базисе. Вершины взаимодействия бозонов Хиггса и фермионов с калибровочными полями. Механизм see-saw. Упрощенные модели и поиск новых калибровочных бозонов, тяжелых лептонов и бозонов Хиггса. Экспериментальные ограничения Большого адронного коллайдера (БАК) на массы новых частиц. Экспериментальные ограничения БАК на массы заряженных бозонов Хиггса.

Тема 5. Минимальная суперсимметричная модель. Бегущие калибровочные константы связи в СМ и их объединение. Основные аргументы в пользу введения суперсимметрии: стабилизация массовой иерархии и сходимость констант связи на масштабе объединения взаимодействий. Супералгебра, генераторы суперсимметрии и супермультиплеты. Модель Весса-Зумино. Суперпотенциал, сокращение квадратичных расходимостей. Киральные суперполя и их преобразования. Векторные (калибровочные) супермультиплеты. Абелевы и неабелевы калибровочные супермультиплеты. Суперпотенциал минимальной суперсимметричной стандартной модели (МССМ). R-четность. Уравнения ренормгруппы и объединение взаимодействий в рамках МССМ. Члены мягкого нарушения суперсимметрии. Двухдублетный хиггсовский сектор МССМ. Массы бозонов Хиггса. Связи бозонов Хиггса и фермионов СМ. Массы суперпартнеров МССМ (глюино, нейтралино, чарджино, слептоны и скаварки). Феноменологические сценарии МССМ в упрощенном пространстве параметров. Процессы рождения суперпартнеров на Большом адронном коллайдере (БАК). Экспериментальные ограничения на массы суперпартнеров. Сигналы бозона Хиггса стандартной модели на коллайдере LHC в различных каналах. Идентификация бозона Хиггса на БАК по совокупности сигналов в различных каналах рождения. Предел настройки связей бозона Хиггса МССМ. Экспериментальные ограничения на массы бозонов Хиггса МССМ. Электрослабый бариогенезис в ранней Вселенной. Возможности генерации барионной асимметрии Вселенной.

Тема 6. Теории Великого объединения (GUT). Простейшая GUT на примере калибровочной группы  $SU(5)$ . Объединение калибровочных констант связи СМ в рамках простой калибровочной группы. 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.

Хиггсовский сектор  $SU(5)$  модели. Отсутствие аномалий. Распад протона, современные экспериментальные ограничения, нарушение барионного числа и бариогенезис. Достоинства и проблемы  $SU(5)$ -модели GUT. Модель GUT на основе калибровочной группы  $SO(10)$ . Особенности построения хиггсовского сектора  $SO(10)$  модели GUT по сравнению с  $SU(5)$  моделью. GUT на основе других калибровочных групп, феноменологические следствия (распад протона, магнитные монополи, лептокварки и т.д.) и современные экспериментальные ограничения.

Тема 7. Реализация MSSM в пакете CompHEP. Определение модели взаимодействия частиц в CompHEP, структура модельных файлов. Сведения о генерации модельных файлов при помощи пакета LanHEP. Параметрические сценарии MSUGRA и GMSB в рамках пакетов LanHEP и CompHEP. Полные калибровочно-инвариантные наборы диаграмм древесного приближения. Сигнал и неприводимый (интерферирующий) фон. Автоматические вычисления полных наборов диаграмм древесного приближения. Сведения об адаптивном Монте-Карло интегрировании квадрированных амплитуд и генерации событий без веса. Сведения об иных пакетах программ генерации модельных файлов и полных наборов диаграмм древесного приближения.

## 7. Объем дисциплины

НАЗВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	Трудоёмкость в зачетных единицах	объем учебной нагрузки в акад. часах				
		Общая трудоемкость	в том числе ауд. занятий			на я ра бо
			Общая аудиторная нагрузка	Лекций	Семинаров	
Физика за пределами стандартной модели		72	36	18	18	36

## 8. Структурированное по темам (разделам) содержание дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий.

Изучение курса «Физика за пределами стандартной модели» включает в себя лекции, на которых рассматривается теоретическое содержание курса; семинарские занятия, предусматривающие углубленное изучение и обсуждение вопросов, обозначенных в темах дисциплины; самостоятельную работу, заключающуюся в подготовке к лекционным и семинарским занятиям. Темы, рассматриваемые на лекциях и изучаемые самостоятельно, закрепляются на семинарских занятиях, по вопросам, вызывающим затруднения, проводятся консультации.

№ темы	Наименование раздела дисциплины	Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, часы	Форма текущего
--------	---------------------------------	---	----------------

		Всего часов	Лекции	Научно-практические семинары	Семинары	Самостоятельная работа	контроля успеваемости и промежуточной аттестации
1	Основные сведения о Стандартной модели. Проблемы Стандартной модели.	12	3	-	3	6	Собеседование, опрос
2	Модели с расширенным лептонным сектором.	8	2	-	2	4	
3	Модельно-независимые расширения СМ эффективными операторами размерности больше четырех.	10	3	-	3	4	
4	Модели с расширенной группой калибровочной симметрии.	8	2	-	2	4	
5	Суперсимметричные обобщения Стандартной модели.	10	3	-	3	4	
6	Теории Великого объединения.	8	2	-	2	4	
7	Вычисления полных наборов диаграмм. Пакет CompHEP.	12	3	-	3	6	
	Промежуточная аттестация	-	-	-	-	4	Зачет в форме письменной работы, экзамен в форме письменной работы с последующим собеседованием
<b>ИТОГО:</b>		<b>72</b>	<b>18</b>		<b>18</b>	<b>36</b>	

## 9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Физика за пределами стандартной модели» осуществляется на лекциях и семинарских занятиях и заключается в оценке активности и качества участия в опросах и собеседованиях по проблемам, изучаемых в рамках тем лекционных занятий, аргументированности позиции; оценивается широта используемых теоретических знаний.

Промежуточные аттестации по дисциплине «Физика за пределами стандартной модели» проводится в третьем семестре в форме зачёта и экзамена. Зачет в форме



письменной работы, экзамен в форме письменной работы с последующим собеседованием по программе.

Результаты сдачи экзамена оцениваются по шкале «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично». Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

#### **10. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю). Требования к структуре и содержанию фонда оценочных средств текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине**

Перечень оценочных средств, применяемых на каждом этапе проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине, представлены в таблице:

Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде
<b>Оценочные средства текущего контроля</b>		
Тематический опрос (в форме ответов на вопросы)	Средство контроля, организованное как специальная беседа по тематике предыдущей лекции и рассчитанное на выяснение объема и качества знаний, усвоенных обучающимися по определенному разделу, теме, проблеме.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины
Собеседование (в форме беседы, дискуссии по теме)	Средство контроля, организованное как свободная беседа, дискуссия по тематике изучаемой дисциплины, рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по всем изученным разделам, темам; свободного использования терминологии для аргументированного выражения собственной позиции.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины
Тестирование	Средство контроля, позволяющее получить оценку уровня фактических знаний студента по изученной теме.	Образцы тестов
<b>Оценочные средства промежуточной аттестации</b>		
Письменная работа	Средство, позволяющее оценить сформированность систематических представлений о методах научно-исследовательской деятельности.	Перечень вопросов к экзамену
Собеседование	Средство, позволяющее получить экспертную оценку знаний, умений и навыков для оценивания и анализа различных фактов и явлений в своей профессиональной области.	Требования к порядку проведения собеседования

## 11. Шкала оценивания.

Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения			
	2	3	4	5
<b>ЗНАТЬ:</b> основные проблемы Стандартной модели и направления их решения, основные классы обобщений Стандартной модели. ОПК-2.Б	Отсутствие знаний проблем Стандартной модели и направлений их решения, основных классов обобщений Стандартной модели.	В целом успешное, но не систематическое знание проблем Стандартной модели и направлений их решения, основных классов обобщений Стандартной модели.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знания проблем Стандартной модели и направлений их решения, основных классов обобщений Стандартной модели.	Успешные и систематические знания проблем Стандартной модели и направлений их решения, основных классов обобщений Стандартной модели.
<b>УМЕТЬ:</b> выполнять расчеты сечений элементарных процессов взаимодействия частиц в расширениях Стандартной модели на коллайдерах и в астрофизических приложениях	Отсутствие умения выполнять расчеты сечений элементарных процессов взаимодействия частиц в расширениях Стандартной модели на коллайдерах и в астрофизических приложениях	В целом успешное, но не систематическое умение выполнять расчеты сечений элементарных процессов взаимодействия частиц в расширениях Стандартной модели на коллайдерах и в астрофизических приложениях	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение выполнять расчеты сечений элементарных процессов взаимодействия частиц в расширениях Стандартной модели на коллайдерах и в астрофизических приложениях	Успешное и систематическое умение выполнять расчеты сечений элементарных процессов взаимодействия частиц в расширениях Стандартной модели на коллайдерах и в астрофизических приложениях
<b>ВЛАДЕТЬ:</b> навыками работы с навыками работы с лагранжианами расширений стандартной модели, суперсимметричными лагранжианами и техникой вычислений	Отсутствие/фрагментарное владение навыками работы с лагранжианами расширений стандартной модели, суперсимметричными лагранжианами и техникой вычислений	В целом успешное, но не систематическое владение навыками работы с лагранжианами расширений стандартной модели, суперсимметричными лагранжианами	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение навыками работы с лагранжианами расширений	Успешное и систематическое владение навыками работы с лагранжианами расширений стандартной модели, суперсимметричными лагранжианами

лагранжианами и техникой вычислений амплитуд перехода и для наблюдаемых эффектов взаимодействий элементарных частиц в основных расширениях Стандартной модели	амплитуд перехода и для наблюдаемых эффектов взаимодействий элементарных частиц в основных расширениях Стандартной модели	чными лагранжианами и техникой вычислений амплитуд перехода и для наблюдаемых эффектов взаимодействий элементарных частиц в основных расширениях Стандартной модели	стандартной модели, суперсимметричными лагранжианами и техникой вычислений амплитуд перехода и для наблюдаемых эффектов взаимодействий элементарных частиц в основных расширениях Стандартной модели	чными лагранжианами и техникой вычислений амплитуд перехода и для наблюдаемых эффектов взаимодействий элементарных частиц в основных расширениях Стандартной модели
---	---	---	--	---

## 12. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.

### *Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся*

Пример вопроса для контроля по теме 1: Описать возникновение масс фермионов в Стандартной модели

Пример вопроса для контроля по теме 2: Привести пример реалистичной модели генерации масс нейтрино

Пример вопроса для контроля по теме 3: Сформулировать общие требования к эффективным операторам, расширяющим лагранжиан СМ.

Пример вопроса для контроля по теме 4: Объяснить связь киральной инвариантности лагранжиана кварков и глюонов с массовыми членами кварков

Пример вопроса для контроля по теме 5: Объяснить необходимость введения двух хиггсовских дублетов в минимальную суперсимметричную стандартную модель

Пример вопроса для контроля по теме 6: Привести примеры процессов с нарушением барионного числа, предсказываемых в рамках моделей великого объединения

Пример вопроса для контроля по теме 7: Описать встроенные модели, расширяющие СМ

### *Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины*

В результате освоения дисциплины обучающийся должен владеть основными сведениями о проблемах Стандартной модели и направлениях их решения в рамках моделей новой физики, знать основные классы расширений Стандартной модели, уметь выполнять расчеты сечений элементарных процессов взаимодействия частиц в расширениях Стандартной модели на коллайдерах и в астрофизических приложениях.

### 13. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.

*Задание для проверки знаний по теме 1. Вычислить число независимых параметров в матрице СКМ.*

*Задание для проверки знаний по теме 2. Оценить время жизни стерильного нейтрино по отношению к распаду на активное нейтрино и фотон в зависимости от его массы и угла смешивания с одним из активных нейтрино.*

*Задание для проверки знаний по теме 3. Используя уравнение движения, определить число независимых операторов размерности шесть для расширения безмассовой  $f_i^4$  модели.*

*Задание для проверки знаний по теме 4. Выписать примеры лагранжевых членов в хиггсовском секторе модели.*

*Задание для проверки знаний по теме 5. Вычислить массы бозонов Хиггса в минимальной суперсимметричной стандартной модели на древесном уровне. Показать, что масса легчайшего бозона Хиггса не превосходит массы Z-бозона.*

*Задание для проверки знаний по теме 6. Используя современное ограничение на время жизни протона получить ограничение на масштаб масс тяжелых калибровочных бозонов моделей великого объединения.*

*Задание для проверки знаний по теме 7. Получить время жизни стерильного нейтрино по отношению к распаду на активное нейтрино и фотон в зависимости от его массы и угла смешивания с одним из активных нейтрино.*

### 14. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы

1. М.Пескин, Д.Шредер, *Введение в квантовую теорию поля*, М. И. "РХД", 2001 г.
2. Г.Кейн. *Современная физика элементарных частиц*, М.:Мир, 1990
3. Д.С.Горбунов, В.А.Рубаков, *Введение в теорию ранней Вселенной. Теория горячего Большого взрыва.*, изд. ЛКИ, Москва, 2008
3. V.Barger, R.J.N.Phillips, *Collider Physics*, Reading, MA:Addison-Wesley, 1987
4. D. Green, *High Pt Physics at Hadron Coliders (Cambridge Monographs on Particle Physics, Nuclear Physics and Cosmology)*, 2009
5. Е.Бюклинг, К.Каянти, *Кинематика элементарных частиц*, М.:Мир, 1975
6. S.S. Ghosh, Th. Hebbeker, A.Meyer, T. Pook, *General Model Independent Searches for Physics Beyond the Standard Model*. Springer, 2020.  
([www.springer.com/gp/book/9783030537821](http://www.springer.com/gp/book/9783030537821))
7. A. Guido, *Collider Physics within the Standard Model (Lecture Notes in Physics)*. Springer, 2017. ([www.springer.com/gp/book/9783319519197](http://www.springer.com/gp/book/9783319519197))
8. Mathias Mozer, *Electroweak Physics at the LHC (Springer Tracts in Modern Physics)*. Springer, 2016. ([www.springer.com/gp/book/9783319303802](http://www.springer.com/gp/book/9783319303802))

Перечень дополнительной литературы:

1. Э.Боос, М.Дубинин, *Проблемы автоматических вычислений для физики на коллайдерах*, Успехи физических наук, т.180, с.1081, 2010

2. E.Boos et al, CompHEP 4.4: Automatic computations from lagrangians to events, Nucl.Instrum.Meth., A 534 (2004) 250-259 (электронный ресурс: hep-ph/0403113)
3. A.Pukhov et al, CompHEP — a package for evaluation of Feynman diagrams and integration over multiparticle phase space, электронный ресурс: hep-ph/9908288
4. A.Semenov, LanHEP — a package for generation of Feynman rules from the lagrangian. Version 3.2. Comp.Phys.Commun., 201 (2016) 167-170 (электронный ресурс: arXiv:1412.5016 [physics.comp-ph])
5. A.Semenov, LanHEP — a package for generation of Feynman rules in field theory. Version 3.0. Comp.Phys.Commun., 180 (2009) 431-454 (электронный ресурс: arXiv:0805.0555 [hep-ph])
6. I. Aitchison, A.Hey, Gauge theories in particle physics, Bristol and Philadelphia:IoP Publishing, 2003
7. М.Б.Волошин, К.А.Тер-Мартirosян, Теория калибровочных взаимодействий элементарных частиц, М.:Энергоатомиздат, 1989
8. M. Mozer, Advances in Jet Substructure at the LHC (Springer Tracts in Modern Physics). Springer, 2021. (www.springer.com/gp/book/9783030728571)
9. R. Stuart, Supersymmetric Grand Unified Theories (Lecture Notes in Physics, v. 939). Springer, 2017. (www.springer.com/gp/book/9783319552538)

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» :

1. База данных INSPIRE (High Energy Physics Literature Database) <http://inspirehep.net/>
2. База данных Cornell University (lanl.arXiv.org) <http://xxx.lanl.gov/>

Перечень используемых информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса, включая программное обеспечение, информационные справочные системы (при необходимости):

Использование сети интернет, базы данных INSPIRE (High Energy Physics Literature Database), базы данных публикаций Cornell University (lanl.arXiv.org), программное обеспечение для физики высоких энергий CompHEP, PYTHIA, ROOT, пакеты программ REDUCE, FORM, MATHEMATICA, стандартные библиотеки ЦЕРН (Европейский центр ядерных исследований) CERNlib, PDF lib, MATHlib, стандартные компиляторы программ на языках FORTRAN, ansi C, C++.

Перечень лицензионного программного обеспечения, в том числе отечественного производства

При реализации дисциплины может быть использовано следующее программное обеспечение:

1. Программный продукт Red Hat Enterprise Linux Server for HPC Compute Node for Power, LE, Self-support 4 шт. №5540331

2. Программный продукт Red Hat Enterprise Linux Server for HPC Head Node for Power, LE, Standard 1 шт. №5540332
3. Операционная система SUSE Linux Enterprise Server 11 SP4 for x86\_64 16 шт.
4. Операционная система Red Hat Enterprise Linux Server 5.0 for x86\_64 14шт.
5. Операционная система SUSE Linux Enterprise Server 10 SP3 for ppc64 7 шт.
6. Операционная система Ubuntu 18.04.
7. Программное обеспечение для виртуализации Oracle VM VirtualBox
8. Операционная система ALTLinuxMATEStarterkit 9 лицензияGPL
9. Программный продукт JetBrains IntelliJ IDEA Community Edition Free Educational Licenses
10. Программный продукт JetBrainsPyCharm Community Edition Free Educational Licenses
11. Программный продукт JetBrainsCLion Community Edition Free Educational Licenses
12. Программный продукт UPPAAL (<http://www.uppaal.org/>) академическая лицензия
13. Программный продукт Java 8 (64-bit)Oracle Corporation
14. Программный продукт Java SE Development Kit 8(64-bit) Oracle Corporation
15. Программный продукт NetBeans IDE 8.2 NetBeans.org
16. Программный продукт Dev-C++ Bloodshed Software
17. Программный продуктCodeBlocksThe Code::Blocks Team
18. Программный продукт Free Pascal 3.0.0Free Pascal Team
19. Программный продукт Python 3.5.1 (64-bit)Python Software Foundation
20. Программный продукт R for Windows 3.2.2 R Core Team
21. Программный продуктHaskell Platform 7.10.3 Haskell.org
22. Операционная система Microsoft Windows 7 корпоративная академическая лицензия
23. Операционная система Microsoft Windows 10 Educationакадемическая лицензия
24. Программный продукт Microsoft ProjectProfessional 2013 академическая лицензия
25. Программный продукт Microsoft VisioProfessional 2013 академическая лицензия
26. Программный продуктMicrosoft VisualStudioProfessional 2013 - RUS [Русский (Россия)] академическая лицензия

#### Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем

1. <http://www.edu.ru> – портал Министерства образования и науки РФ
2. <http://www.ict.edu.ru> – система федеральных образовательных порталов «ИКТ в образовании»
3. <http://www.openet.ru> - Российский портал открытого образования
4. <http://www.mon.gov.ru> - Министерство образования и науки Российской Федерации
5. <http://www.fasi.gov.ru> - Федеральное агентство по науке и инновациям

Описание материально-технической базы:

лекционная аудитория, оборудованная доской и аппаратурой для демонстрации мульти-медиа презентаций. Проецирование материалов лекций на экран при помощи компьютера, сопряженного с проектором. Компьютер для демонстрации программного обеспечения.