

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:

Моделирование процессов в физике элементарных частиц на коллайдерах

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. В.Е. Буничев, НИИЯФ МГУ, с. н. с. ;
к.ф.м.н. Л.В. Дудко, НИИЯФ МГУ, зав. лаб.

**Аннотация к рабочей программе дисциплины
«Моделирование процессов в физике элементарных частиц на коллайдерах»**

Дисциплина «Моделирование процессов в физике элементарных частиц на коллайдерах» является курсом вариативной части магистерской программы «Теоретическая физика» (по выбору студента) и читается во втором семестре первого курса магистратуры. В курсе излагаются основные сведения о пакетах программ, используемых в настоящее время для моделирования процессов взаимодействия частиц на Большом адронном коллайдере. Особое внимание уделяется использованию пакетов CompHEP и LanHEP автоматической генерации событий, соответствующих амплитудам квантовой теории поля для полных наборов диаграмм Фейнмана и правил соответствия для калибровочных моделей взаимодействия частиц.

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

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

Освоение следующих дисциплин: «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">Способность использовать знания современных проблем и новейших достижений в области теоретической физики в своей научно-исследовательской деятельности (СПК-1).	<p>ЗНАТЬ</p> <p>основные законы и направления современных научных исследований в области теоретической физики.</p> <p>УМЕТЬ</p> <p>на основе фундаментальных знаний в области теоретической физики, определять возможные направления научных исследований.</p> <p>ВЛАДЕТЬ</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">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).	<p>ЗНАТЬ</p> <p>базовые принципы организации научных исследований с использованием информационных технологий, основные методики работы на современном научном оборудовании.</p> <p>УМЕТЬ</p> <p>используя знания в области теоретической физики проводить научные исследования.</p> <p>ВЛАДЕТЬ</p> <p>навыками планирования научного исследования, анализа получаемых результатов, обобщения, оформления и публичного представления полученных результатов.</p>
<ul style="list-style-type: none">Способность определять основные направления внедрения научных результатов в области теоретической физики (СПК-3).	<p>ЗНАТЬ</p> <p>основные направления инновационного развития в области теоретической физики.</p> <p>УМЕТЬ</p> <p>проводить необходимый анализ современных тенденций научных инноваций в</p>

	<p>области теоретической физики для подготовки предложений по внедрению полученных научных результатов.</p> <p>ВЛАДЕТЬ</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 коллайдерах. Основные характеристики коллайдеров, типы пучков, энергии и светимости. Основные задачи моделирования для физических программ коллайдеров SpS, LEP2, HERA, Tevatron, LHC. Сведения об универсальных детекторах ATLAS и CMS. Сведения об основных этапах моделирования процессов на коллайдерах: генерация диаграмм Фейнмана для процесса взаимодействия в рамках модели взаимодействий частиц, генерация амплитуды перехода, вычисление амплитуды перехода, вычисление сечения взаимодействия и распределений по фазовому пространству, генерация событий для моделирования процесса взаимодействия в детекторе. Диаграммы Фейнмана для «сигнала» и диаграммы неприводимого (интерферирующего) фона. Примеры: парное и одиночное рождение W-бозона на LEP2 $e^+e^- \rightarrow e^- \nu_e u \bar{d}$. Основные типы диаграмм и соответствующие им расходимости амплитуд процессов. Сведения об основных пакетах программ для моделирования процессов. Пакеты-библиотеки процессов и пакеты автоматической генерации произвольной амплитуды. Приближение малой ширины промежуточной частицы и пакет-библиотека PYTHIA. Библиотека процессов 1->2, 2->2 в пакете PYTHIA, коды процессов. Управляющий файл пакета PYTHIA. Область применимости пакета PYTHIA. Необходимость моделирования для полных калибровочно-инвариантных наборов диаграмм. Общие сведения о пакетах программ CompHEP, Madgraph, Sherpa, oMega/Whizard, GRACE.

Тема 2. Пакет CompHEP. Общая структура CompHEP. Интернет-страница пакета CompHEP, сведения о последних версиях. Установка CompHEP. Параметры компиляции для работы на многопроцессорных ЭВМ и для совместимости с пакетом ROOT. Графический интерфейс. Определение модели взаимодействия частиц в CompHEP, обозначения для частиц и параметров модели, структура модельных файлов. Модели квантовой хромодинамики, стандартная модель и редуцированные модели суперсимметрии GMSB, MSUGRA. Правка модели в CompHEP, добавление дополнительных частиц и вершин взаимодействия. Пример: добавление гипотетического W'-бозона и вершины его взаимодействия с t и b-кварками, добавление эффективной вершины взаимодействия бозона Хиггса с двумя фотонами. Пакет LanHEP. Генерация правил соответствия для встроенных моделей пакета CompHEP. Пакет LanHEP автоматической генерации модельных файлов пакета CompHEP. Интернет-страница пакета LanHEP, сведения о последних версиях. Кодировка лагранжиана стандартной модели в формате LanHEP. Описание частиц, параметров, мультиплетов фермионов и лагранжевых членов калибровочного, фермионного, скалярного и юкавского сектора. Калибровки

унитарности и t -Хоофта-Фейнмана, голдстоуны и фиктивные поля. Использование спиноров Майорана. Генерация правил соответствия для расширений стандартной модели. Структура моделей суперсимметрии пакета LanHEP. Правка модели в LanHEP, добавление дополнительных частиц и эффективных Лагранжианов. Пример: добавление операторов аномального взаимодействия t -кварка в рамках эффективной теории поля (EFT). Сведения об аналогичных пакетах генерации правил соответствия SARAH и FeynRules. Совместимость форматов.

Тема 3. Моделирование процессов в CompHEP. Ввод процесса взаимодействия частиц, диагностики ошибок ввода. Определение начального пучка для коллайдера, функции распределения партонов по импульсу (PDF), их разновидности и использование. Генерация элементарных процессов взаимодействия партонов (подпроцессов) и полного набора диаграмм для подпроцессов. Приближения для упрощенной кварковой комбинаторики. Обозначения для приведенного списка подпроцессов с упрощенным смешиванием и безмассовыми кварками (hash модели). Исключение из рассмотрения подпроцессов и диаграмм. Ввод процессов для произвольного конечного состояния. Примеры: распады $1 \rightarrow 2$, $W^+ \rightarrow 2^*x$, $Z \rightarrow 2^*x$, $1 \rightarrow 3$, $t \rightarrow 3^*x$ вычисление парциальных вероятностей каналов распада. Аналитические вычисления в CompHEP. Краткие сведения и установка пакета символьных вычислений REDUCE. Вывод с помощью CompHEP квадрата амплитуды для процесса в формате REDUCE. Вычисление аналитического выражения для сечения рассеяния процесса $2 \rightarrow 2$ с помощью встроенных в CompHEP функций символьного интегрирования. Пример s -и t -канальные процессы одиночного рождения t -кварка, рождение бозона Хиггса.

Тема 4. Численное моделирование в CompHEP. Генерация квадрата амплитуды для процесса в формате языка СИ. Меню численной сессии CompHEP. Изменение параметров PDF. Способы использования пропагатора Брейта-Вигнера. Сведения о нарушении калибровочной инвариантности и унитарности пропагаторами с конечной шириной. Пример: одиночное рождение топ-кварка на LEP2. Сведения о многоканальном адаптивном Монте-Карло (МК) интегрировании квадрированных амплитуд и генерации событий без веса. Пакет интегрирования VEGAS. Сходимость последовательных Монте-Карло итераций и критерий хи-квадрат. Настройка численного интерфейса для Монте-Карло интегрирования. Выбор параметризации фазового пространства в соответствии с типом главных диаграмм. Выбор кинематической схемы. Коллинеарные и инфракрасные расходимости диаграмм, резонансные пики амплитуды. Замены переменных параметризации фазового пространства для регуляризации расходимостей и пиков квадрата амплитуды. Пример: набор регуляризаций для процесса $pp \rightarrow \text{gamma}, \text{gamma}, 2 \text{ jets}$ и для процессов одиночного рождения и последующего распада t -кварка. Ввод кинематических обрезаний для интегрирования по фазовому пространству. Генерация распределений по кинематическим переменным. Встроенные кинематические переменные. Ввод произвольных кинематических переменных и обрезаний пользователем, userFun.c и usrVars.c. Сохранение гистограмм в текстовом формате и в формате программ пакета ROOT. Манипуляции с гистограммами. Генерация Монте-Карло событий без веса. Моделирование «цветового потока» для последующей фрагментации. Структура файлов events_N.txt. генерация смешанных событий с помощью процедуры Mix.exe Унифицированные форматы файлов событий Les Houches Accord (LHA, LHA PDF, SUSY LHA, BSM LHA, LHE с описанием в формате HEPMC). Объединение процессов разного порядка по константе связи, процедуры MLM и CKKW. Интерфейс CompHEP-Pythia. Возможности Pythia для ввода «внешнего процесса» и использования моделей фрагментации Pythia, излучения из начального и конечного состояний. Управляющий файл пакета Pythia. Струи в конечном состоянии, эволюция партонного ливня в рамках КХД, фрагментация кварков и глюонов в наблюдаемые адроны. Сведения о моделях фрагментации.

Тема 5. Вычисления CompHEP вне интерактивного режима. Использование batch режимов для аналитических и численных вычислений. Скрипты symb_batch.pl и num_batch.pl. Проведение параллельных вычислений на многопроцессорных ЭВМ в стандартах PBS и LSF. Пример: вычисление полного процесса одиночного рождения и последующего распада t-кварка на коллайдере LHC, с учётом всех подпроцессов.

Тема 6. Интерфейс CompHEP-ROOT. Запись МК событий CompHEP в формате пакета ROOT. Базовые сведения о пакете ROOT. Структура файла с расширением «*.root»: главное дерево, ветви, листья. Просмотр файла «*.root» с помощью процедуры TBrowse. Создание объектного класса для файла с МК событиями в формате «*.root». Чтение файла «*.root» с помощью методов, созданного класса. Построение графиков функций. Построение гистограмм. Операции с графиками и гистограммами: сложение, наложение, обозначения. Создание на основе файла МК событий файла с переменными в формате «*.root».

Тема 7. Моделирование отклика детектора.

Этапы моделирования жестких процессов: партонный уровень (CompHEP), уровень частиц (Pythia), моделирование отклика детектора и реконструкции объектов в детекторе (Delphes, GEANT). Параметрическое быстрое моделирование отклика детектора, Delphes. Полное моделирование отклика детектора, GEANT. Реконструкция наблюдаемых объектов в детекторе. Точность и коррекция моделирования объектов в детекторе. Отбор событий по триггерам. Перевзвешивание событий для тонкой коррекции моделирования отклика детектора и моделирования неопределенностей. Параметрическое сравнение теоретических моделей с данными экспериментов (CheckMATE, HEPData).

Тема 8. Методы статистического анализа Монте-Карло событий и данных эксперимента. Счетный эксперимент. Статистическая значимость. Измерение полного и дифференциального сечений. Измерение параметра, характеризующего «новую физику». Поиск новых резонансов. Методы многомерного анализа данных (деревья решений, нейронные сети). Формирование пространства наблюдаемых для многомерного анализа. Статистический анализ формы распределений с учетом различных типов неопределенностей. Псевдоэксперименты. Метод Барлоу-Бистона. Методы статистического анализа выхода нейронной сети. Вариация случайных параметров. Квантили распределения плотности вероятности параметра интереса и физические результаты.

7. Объем дисциплины

НАЗВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	Грудоем кость в зачетны х единица	объем учебной нагрузки в акад. часах			
		тр	уд	в том числе ауд. занятий	на я ра бо

			Общая аудиторная нагрузка	Лекций	Семинаров	
Физика за пределами стандартной модели	2	72	34	17	17	38

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

Изучение курса «Моделирование процессов в физике элементарных частиц на коллайдерах» 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 контроля успеваемости и промежуточной аттестации
		Всего часов	Лекции	Научно-практические	Семинары	Самостоятельная работа	
1	Общие сведения о коллайдерах.	8	2	-	2	4	Собеседование, опрос
2	Пакет CompuNER.	10	2	-	2	5	
3	Моделирование процессов в CompuNER.	10	2	-	2	4	
4	Численное моделирование в CompuNER.	10	2	-	2	5	
5	Вычисления CompuNER вне интерактивного режима.	8	2	-	2	4	
6	Интерфейс CompuNER-ROOT.	8	2	-	2	4	
7	Моделирование отклика детектора.	8	2	-	2	4	
8	Методы статистического анализа Монте-Карло событий и данных эксперимента.	10	3	-	3	4	

	Зачет, промежуточная аттестация	-	-	-	-	4	Зачет в форме письменной работы, экзамен в форме письменной работы с последующим собеседованием
ИТОГО:		72	17		17	38	

9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Моделирование процессов в физике элементарных частиц на коллайдерах» 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 «Моделирование процессов в физике элементарных частиц на коллайдерах» 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
Оценочные средства текущего контроля		
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
Оценочные средства промежуточной аттестации		
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
ЗНАТЬ: основные пакеты моделирования	Отсутствие умения работать с пакетами CompNER и LanNER	В целом успешное, но не систематическое умение работать с пакетами CompNER и LanNER	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы умение работать с пакетами CompNER и LanNER	Успешные и систематические знания о работе с пакетами CompNER и LanNER
УМЕТЬ: выполнять основные операции	Отсутствие умения оперировать с пакетами CompNER и LanNER	В целом успешное, но не систематическое умение оперировать с	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы	Успешное и систематическое умение оперировать с пакетами CompNER и

		пакетами CompHEP и LanHEP	умение оперировать с пакетами CompHEP и LanHEP	LanHEP
ВЛАДЕТЬ: навыками работы с пакетами	Отсутствие/фрагментарное владение навыками работы с пакетами CompHEP и LanHEP	В целом успешное, но не систематическое владение навыками работы с пакетами CompHEP и LanHEP	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы владения навыками работы пакетами CompHEP и LanHEP	Успешное и систематическое владение навыками работы с пакетами CompHEP и LanHEP

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

Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся

Задачи можно найти по адресу https://www-hep.sinp.msu.ru/school_model

Пример: Формулировка этапов моделирования эксперимента. Методы и этапы моделирования процессов рассеяния элементарных частиц. Методы статистического анализа данных. Типы систематических неопределенностей и методы их учета.

Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

В результате освоения дисциплины обучающийся должен знать основы методов моделирования данных коллайдерных экспериментов; уметь использовать основные пакеты программ для различных этапов моделирования, иметь навыки реализации методов анализа моделирования и данных коллайдерных экспериментов.

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

Вопросы к зачету и экзамену можно найти по адресу:

https://www-hep.sinp.msu.ru/school_model

Пример: методы и этапы моделирования процессов рассеяния в современных ускорительных экспериментах, методы анализа моделирования и данных современных коллайдерных экспериментов, методы учета систематических неопределенностей и статистического анализа данных.

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. A. Guido, *Collider Physics within the Standard Model (Lecture Notes in Physics)*. Springer, 2017. (www.springer.com/gp/book/9783319519197)
7. Mathias Mozer, *Electroweak Physics at the LHC (Springer Tracts in Modern Physics)*. Springer, 2016. (www.springer.com/gp/book/9783319303802)
8. Y. Meurice, *Quantum Field Theory A quantum computation approach*. IOP Publishing, 2021 (<https://iopscience.iop.org/book/978-0-7503-2187-7>)

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, 1984

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 LHAPDF, стандартные компиляторы программ на языках FORTRAN, ansi C, C++.

Описание материально-технической базы:

лекционная аудитория на 15 мест, оборудованная доской и аппаратурой для демонстрации мультимедиа презентаций. Проецирование материалов лекций на экран при помощи компьютера, сопряженного с проектором. Компьютер для демонстрации программного обеспечения.

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 Education академическая лицензия
24. Программный продукт Microsoft Project Professional 2013 академическая лицензия
25. Программный продукт Microsoft Visio Professional 2013 академическая лицензия
26. Программный продукт Microsoft Visual Studio Professional 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