

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:

Физика тяжелых кварков

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:

В. О. Галкин, ККТФВЭ, проф.; А. В. Бережной, НИИЯФ МГУ, зав. лаб, проф. РАН;
Н.В. Никитин, КФАЯКТС, доц.

Аннотация к рабочей программе дисциплины «Физика тяжёлых кварков»

Дисциплина «Физика тяжёлых кварков» является курсом по выбору третьего семестра второго курса.

В курсе излагаются основные теоретические методы описания тяжёлых кварков. Рассматриваются современные теоретические представления о рождении, распадах, и спектроскопии адронов, содержащих один или несколько тяжёлых кварков. Особое внимание в курсе уделяется конкретным методам расчетов, применяемых для оценки характеристик тяжёлых адронов. Также в курсе освещается история физики тяжёлых кварков и приводится краткий обзор наиболее важных экспериментальных установок, на которых тяжёлые адроны изучаются в настоящий момент.

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 оценки результатов обучения по дисциплине (модулю).
- 11** Шкала оценки.
- 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 тяжёлых кварков» реализуется на 2-ом курсе в 3-ем семестре и является дополнением общенаучного блока обязательной части. Курс тесно связан с читаемыми ранее курсами «Квантовая теория поля», «Теория фундаментальных взаимодействий», «Дополнительные главы электродинамики и квантовой механики», «Теория групп и элементарные частицы» и «Современные проблемы физики».

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

Освоение следующих дисциплин: «Теория фундаментальных взаимодействий», «Квантовая теория поля», «Теория фундаментальных взаимодействий».

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 основные законы и направления современных научных исследований в области теоретической физики.</p> <p>УМЕТЬ на основе фундаментальных знаний в области теоретической физики, определять возможные направления научных исследований.</p> <p>ВЛАДЕТЬ 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 базовые принципы организации научных исследований с использованием информационных технологий, основные методики работы на современном научном оборудовании.</p> <p>УМЕТЬ используя знания в области теоретической физики проводить научные исследования.</p> <p>ВЛАДЕТЬ 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 основные направления инновационного развития в области теоретической физики.</p> <p>УМЕТЬ проводить необходимый анализ современных тенденций научных инноваций в области теоретической физики для подготовки предложений по внедрению полученных научных результатов.</p> <p>ВЛАДЕТЬ 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. История открытия тяжелых кварков.

Теоретические предпосылки для поиска тяжелых кварков. Открытие c -, b - и t - кварков. Их свойства. Краткое описание установок, на которых произошли открытия.

Тема 2. Адроны с тяжелыми кварками и их классификация.

Основные и возбужденные состояния тяжелых мезонов. Сильные и радиационные распады тяжелых мезонов. Тяжелые барионы.

Тема 3. Кварконий как простой пример системы тяжелых кварков. Классификация уровней кваркония.

Тяжелый кварконий. Спектроскопия. Нерелятивистское описание кваркония. Теоремы Феймана-Хеллмана и вириала. Связь волновой функции S -состояния кваркония с градиентом потенциала.

Тема 4. Распады кваркониев. Теоремы о мягких пионах.

Радиационные, лептонные и сильные распады кваркония.

Тема 5. Экзотические частицы с тяжелыми кварками.

Тетракварки и пентакварки. Экспериментальные свидетельства и теоретические подходы к их описанию. Альтернативные подходы к описанию пикующих структур в спектрах масс.

Тема 6. Эффективная теория тяжелых кварков.

Слабые распады тяжелых адронов. Симметрия тяжелых кварков. Эффективная теория тяжелых кварков. Лагранжиан ЭТТК. Применение ЭТТК к спектроскопии адронов с тяжелыми кварками. Формфакторы слабых распадов тяжелых мезонов в тяжелые мезоны. Соотношения между формфакторами в пределе бесконечной массы тяжелого кварка. Функция Изгура-Вайза. Слабые переходы тяжелых адронов в легкие адроны. Константы распадов тяжело-легких мезонов. Полулептонные распады B -мезонов в легкие π и ρ мезоны. Полулептонные распады барионов в протон. Поправки по обратной массе тяжелого кварка.

Тема 7. Полулептонные распады B -мезонов и элементы V_{ub} , V_{cb} матрицы СКМ.

Применение ЭТТК для определения матричных элементов матрицы Кабиббо-Кобаяши-Маскава V_{ub} и V_{cb} из измерений ширин полулептонных распадов мезонов и барионов.

Тема 8. Адронные распады B -мезонов.

Тема 9. Редкие распады B -мезонов.

Редкие радиационные, полулептонные, лептонные радиационные, лептонные и многолептонные распады.

Тема 10. LEET для тяжелых кварков.

Тема 11. Основные положения нерелятивистской КХД.

Тема 12. Рождение тяжелых адронов.

Фрагментационная модель рождения тяжёлых адронов. Рождение кваркониев в нрКХД. Рождение дважды тяжёлых барионов. Учет внутреннего движения кварков при рождении кваркониев. Механизм двойного партонного рассеяния при рождении тяжёлых кварков на БАК.

Тема 13. Осцилляции В-мезонов.

Естественные базисы в системе нейтральных В-мезонов. Вычисление амплитуд и вероятностей осцилляций.

Тема 14. CP-нарушение в системах нейтральных В-мезонов.

Механизмы CP-нарушения, зависящая от времени CP-асимметрия, определение углов треугольника унитарности.

Тема 15. Современные экспериментальные установки.

Краткое описание основных современных экспериментальных установок, на которых изучаются тяжёлые адроны.

Тема 16. Программные пакеты, применяемые для вычислениям и моделирования характеристик распадов и рождения тяжёлых адронов.

Краткое знакомство с программными пакетами FeynArt, FORM, Package-X, FeynCalc и EvtGen.

7. Объем дисциплины

НАЗВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	Трудоёмкость в зачетных единицах	объем учебной нагрузки в акад. часах				
		Общая трудоёмкость	в том числе ауд. занятий			Самостоятельная работа студентов
			Общая аудиторная нагрузка	Лекций	Семинаров	
Физика тяжёлых кварков	2	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 «Структура атомных ядер» включает в себя лекции, на которых рассматривается теоретическое содержание курса; самостоятельную работу, заключающуюся в подготовке к лекционным занятиям. По вопросам, вызывающим затруднения, проводятся консультации.

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

		Всего часов	Лекции	Научно-практические занятия	Семинары	Самостоятельная работа	успеваемости и промежуточной аттестации
1	История открытия тяжелых кварков.	4	1	-	1	2	Собеседование, опрос
2	Адроны с тяжелыми кварками и их классификация.	4	1	-	1	2	
3	Кварконий как простой пример системы тяжелых кварков. Классификация уровней кваркония.	4	1	-	1	2	
4	Распады кваркониев. Теоремы о мягких пионах.	4	1	-	1	2	
5	Экзотические частицы с тяжелыми кварками.	4	1	-	1	2	
6	Эффективная теория тяжелых кварков.	8	2	-	2	2	
7	Полулептонные распады B -мезонов и элементы V_{ub}, V_{cb} матрицы СКМ.	4	1	-	1	2	
8	Адронные распады B -мезонов.	4	1	-	1	2	
9	Редкие распады B -мезонов.	4	1	-	1	2	
10	LEET для тяжелых кварков. Рождение тяжелых адронов.	4	1	-	1	2	
11	Основные положения нерелятивистской КХД.	4	1	-	1	2	
12	Рождение тяжелых адронов.	6	2	-	2	2	
13	Осцилляции B -мезонов.	4	1	-	1	2	
14	CP -нарушение в системах нейтральных B -мезонов.	4	1	-	1	2	

15	<i>Современные экспериментальные установки.</i>	4	1	-	1	2	
16	<i>Программные пакеты, применяемые для вычисления характеристик распадов и рождения тяжелых адронов.</i>	4	1	-	1	2	
	Промежуточная аттестация	4	-	-	-	4	Зачет в форме письменной работы, экзамен в форме письменной работы с последующим собеседованием
ИТОГО:		72	18	-	18	36	

9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Физика тяжёлых кварков» осуществляется на лекциях 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 тяжёлых кварков» проводятся 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: классификацию тяжелых адронов, основные процессы рождения и распадов тяжелых адронов, механизмы CP-нарушения.	Отсутствие знаний базовых понятий физики тяжёлых кварков.	В целом успешные, но не систематические знания базовых понятий физики тяжёлых кварков.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знания базовых понятий физики тяжёлых кварков.	Успешные и систематические знания базовых понятий физики тяжёлых кварков.

Уметь: вычислять адронные матричные элементы при помощи матричных эффективной теории тяжелых кварков и LEET.	Полное неумение выполнять расчеты простейших матричных элементов.	Неумение выполнять расчеты простейших матричных элементов при наличии частичного понимания принципов проведения таких расчётов.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение выполнять теоретические расчеты матричных элементов.	Успешное и систематическое умение выполнять теоретические расчеты матричных элементов и понимание принципов проведения таких расчётов.
Владеть: методами вычислений процессов с участием тяжелых адронов.	Полное отсутствие владения методами вычислений процессов с участием тяжелых адронов.	В целом успешное, но не систематическое владение методами вычислений процессов с участием тяжелых адронов.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение методами вычислений процессов с участием тяжелых адронов.	Успешное и систематическое владение методами вычислений процессов с участием тяжелых адронов.
Иметь навык (опыт): в написании диаграмм и вычислении по ним сечений рождения и ширины распадов тяжелых мезонов, в том числе с использованием специализированных программных пакетов, таких как FeynArt, FORM, package-X, FeynCalc EvtGen и т.п.	Полное отсутствие опыта в написании диаграмм и вычислении по ним сечений рождения и ширины распадов тяжелых мезонов.	Отсутствие опыта в написании диаграмм и вычислении по ним сечений рождения и ширины распадов тяжелых мезонов при частичном понимании общих принципов и знании о существовании таких программных пакетов как FeynArt, FORM, package-X, FeynCalc и EvtGen.	Наличие некоторого опыта в написании диаграмм и вычислении по ним сечений рождения и ширины распадов тяжелых мезонов, в том числе с использованием специализированных программных пакетов.	Наличие большого опыта в написании диаграмм и вычислении по ним сечений рождения и ширины распадов тяжелых мезонов, в том числе с использованием специализированных программных пакетов.

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

1. Вычислить ширины радиационных распадов тяжелых мезонов. Вычислить ширину лептонного распада кваркония.

2. Установить связь между волновой функцией основного состояния и градиентом потенциала в нерелятивистском описании тяжелого кваркония.
3. Сформулировать симметрию тяжелых кварков и установить ее следствия.
4. Построить лагранжиан эффективной теории тяжелых кварков.
5. Применить ЭТТК к спектроскопии тяжелых адронов.
6. Установить соотношения между формфакторами переходов тяжелых адронов в тяжелые адроны.
7. Вычислить ширины радиационных распадов тяжелых мезонов. Вычислить ширину лептонного распада кваркония.
8. Установить связь между волновой функцией основного состояния и градиентом потенциала в нерелятивистском описании тяжелого кваркония.
9. Сформулировать симметрию тяжелых кварков и установить ее следствия.
10. Построить лагранжиан эффективной теории тяжелых кварков.
11. Применить ЭТТК к спектроскопии тяжелых адронов.
12. Установить соотношения между формфакторами переходов тяжелых адронов в тяжелые адроны.
13. Исследовать роль симметрии тяжелых кварков в слабых переходах тяжелых адронов в легкие адроны.
14. При помощи каких распадов измеряется угол β треугольника унитарности?
15. В каких распадах можно найти значение угла α треугольника унитарности?
16. В чем заключается основная трудность измерения угла γ треугольника унитарности?
17. Какие ограничения на общий вид эффективного гамильтониана B - анти B осцилляций налагается СРТ-инвариантностью?

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

1. Вычислить ширины радиационных распадов тяжелых мезонов. Вычислить ширину лептонного распада кваркония.
18. Установить связь между волновой функцией основного состояния и градиентом потенциала в нерелятивистском описании тяжелого кваркония.
19. Сформулировать симметрию тяжелых кварков и установить ее следствия.
20. Построить лагранжиан эффективной теории тяжелых кварков.
21. Применить ЭТТК к спектроскопии тяжелых адронов.
22. Установить соотношения между формфакторами переходов тяжелых адронов в тяжелые адроны.
23. Вычислить ширины радиационных распадов тяжелых мезонов. Вычислить ширину лептонного распада кваркония.
24. Установить связь между волновой функцией основного состояния и градиентом потенциала в нерелятивистском описании тяжелого кваркония.
25. Сформулировать симметрию тяжелых кварков и установить ее следствия.
26. Построить лагранжиан эффективной теории тяжелых кварков.
27. Применить ЭТТК к спектроскопии тяжелых адронов.
28. Установить соотношения между формфакторами переходов тяжелых адронов в тяжелые адроны.
29. Исследовать роль симметрии тяжелых кварков в слабых переходах тяжелых адронов в легкие адроны.
30. При помощи каких распадов измеряется угол β треугольника унитарности?
31. В каких распадах можно найти значение угла α треугольника унитарности?
32. В чем заключается основная трудность измерения угла γ треугольника унитарности?

33. Какие ограничения на общий вид эффективного гамильтониана B - анти B осцилляций налагается СРТ-инвариантностью?
34. Почему резонанс $\Upsilon(4S)$ широкий, а резонанс $\Upsilon(3S)$ узкий?
35. Чему была бы равна парциальная ширина распада $B \rightarrow K^* \gamma$, если бы массы u , s , и t кварков оказались бы равными?
36. Даны два редких распада $B \rightarrow e^+ e^-$ и $B \rightarrow e^+ e^- \gamma$. Парциальная ширина какого распада больше и почему?
37. Почему парциальная ширина распада $t \rightarrow c \gamma$ много меньше, чем парциальная ширина распада $b \rightarrow s \gamma$?
38. Какие ограничения на общий вид эффективного гамильтониана B - анти B осцилляций налагаются T -инвариантностью?
39. Какова вероятность найти B -мезон в момент времени $t > t_0$ в состоянии с $CP=+1$, если в момент времени t_0 B -мезон находится в состоянии с $B=-1$?
40. На установке Belle пара нейтральных B -мезонов рождается в синглетном по аромату состоянии. Найти вероятность, что по прошествии времени $t > 0$ оба B -мезона окажутся в состоянии с $B=-1$?

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

Основная литература

1. М. Пескин, Д. Шредер, Введение в квантовую теорию поля. Москва-Ижевск: РХД, 2001.
2. Ф. Индурайн, Квантовая хромодинамика. М.: Мир, 1986.
3. Л.Б.Окунь, Лептоны и кварки, М., Наука, 1990.
4. В.М.Емельянов, Стандартная модель и ее расширения, М., ФМЗМАТЛИТ, 2007.
5. A.V. Manohar, M.B. Wise, Heavy quark physics, Cambridge University Press, 2000.
6. M. Neubert, Heavy quark symmetry, Phys. Rept. 245, 259 (1994).
7. I.I. Bigi, A.I. Sanda, CP Violation, Cambridge University Press, 2008.
8. B. Grinstein, Lectures on Flavor Physics and CP Violation, arXiv:1701.06916v1 [hep-ph] (2017).
9. J.Zupan, Introduction to flavour physics, arXiv:1903.05062v2 [hep-ph] (2019).
10. S.Gori, TASI lectures on flavor physics, PoS(TASI2018)013, <https://pos.sissa.it/333/013/pdf> (2019).
11. M. Pepe-Altarelli, Flavour Physics 2020, <http://cds.cern.ch/record/2712557/files/?ln=ru>

Дополнительная литература

1. Б.Л.Иоффе, Л.Н.Липатов, В.С.Фадин, Квантовая хромодинамика в 2 томах, М., 2019.
2. T. Mannel, Heavy quark effective field theory, Rept. Prog. Phys. 60, 1113 (1997).
3. P.A. Zyla et al. (Particle Data Group), Review of Particle Physics, Prog. Theor. Exp. Phys. 2020, 083C01 (2020).
4. S.Narison, QCD as a Theory of Hadrons, Cambridge University Press, 2004.
5. Q. Ho-Kim, P.X.Yem, Elementary Particles and Their Interactions, Springer, 1998.
6. Y. Grossman and P. Tanedo, Just a Taste: Lectures on Flavor Physics, arXiv:1711.03624 [hep-ph].
7. E. Laenen, QCD, CERN Yellow Report CERN 2016-003, pp. 1-58 [arXiv:1708.00770 [hep-ph]].

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. <http://nuclphys.sinp.msu.ru/>
8. <https://arxiv.org/>
9. <http://pdglive.lbl.gov>
10. <http://www.lpthe.jussieu.fr/~cacciari/fonll/fonllform.html>
11. <http://lhcb-public.web.cern.ch/>
12. <https://inspirehep.net/>
13. <https://www.physicsforums.com>
14. <https://physics.stackexchange.com>
15. <https://teach-in.ru/course/density-matrix-additional-chapters>
16. <https://teach-in.ru/course/quantum-electrodynamics>
17. <https://teach-in.ru/course/quantum-electrodynamics-additional-chapters>
18. <https://teach-in.ru/course/ELEMPARTPHYS1>
19. <https://teach-in.ru/course/particle-physics-part2>

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
(подлежит обновлению при необходимости)

<http://www.edu.ru> – портал Министерства образования и науки РФ

<http://www.ict.edu.ru> – система федеральных образовательных порталов «ИКТ в образовании»

<http://www.openet.ru> - Российский портал открытого образования

<http://www.mon.gov.ru> - Министерство образования и науки Российской Федерации

<http://www.fasi.gov.ru> - Федеральное агентство по науке и инновациям

Материально-техническое обеспечение

в соответствии с требованиями п.5.3. образовательного стандарта МГУ по направлению подготовки «Физика».