


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:

Квантовая теория поля. Ч.2

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.

Разработчик (разработчики) программы: с. н. с. Казанцев А.Е.

1. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО: относится к вариативной части, читается в 3 семестре

2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (если есть):
освоение дисциплины «Квантовая теория поля. Ч.1»

3. Результаты обучения по дисциплине (модулю):

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	<p>ЗНАТЬ</p>

определять основные направления внедрения научных результатов в области теоретической физики (СПК-3).	основные направления инновационного развития в области теоретической физики. УМЕТЬ проводить необходимый анализ современных тенденций научных инноваций в области теоретической физики для подготовки предложений по внедрению полученных научных результатов. ВЛАДЕТЬ методами обоснования возможного применения полученных научных результатов с учетом современных достижений в области теоретической физики.
---	--

4. Объем дисциплины (модуля) составляет 2 з.е.

5. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий:

5.1. Структура дисциплины (модуля) по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий (в строгом соответствии с учебным планом)

Наименование разделов и тем дисциплины (модуля), Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Номинальные трудозатраты обучающегося		Самостоятельная работа обучающегося, академические часы	Всего академических часов	Форма текущего контроля успеваемости* (наименование)
	Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, академические часы				
	Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа			
Тема 1. Функции Грина	1	1	2	4	опрос
Тема 2. S-матрица в формализме Лемана—Симанчика—Циммермана	1	1	3	5	опрос
Тема 3. Введение в перенормировку	2	2	3	7	опрос
Тема 4. Элементы общей теории перенормиро-	2	2	3	7	опрос

ВОК					
Тема 6. Метод функционального интеграла	1	1	3	5	опрос
Тема 7. Спонтанное нарушение симметрии	1	1	3	5	опрос
Тема 8. Неабелевы калибровочные поля и механизм Хиггса	2	2	3	7	—
Тема 9. Квантование неабелевых калибровочных полей	2	2	3	7	—
Тема 10. Модель Глэшоу—Салама—Вайнберга	2	2	3	7	—
Тема 11. Ренормализационная группа	2	2	3	7	—
Другие виды самостоятельной работы (при наличии):	—	—			—
Например,	—	—			—
Курсовая работа	—	—			—
Творческая работа (эссе)	—	—			—
...					
Промежуточная аттестация (экзамен)			4	4	—
					—
Итого	18	18	36	72	—

* Примеры форм текущего контроля успеваемости:

опрос;

тестирование;

контрольная работа;

коллоквиум;

реферат и и.д.

5.2. Содержание разделов (тем) дисциплины

№ п/п	Наименование разделов (тем) дисциплины	Содержание разделов (тем) дисциплин
1.	Тема 1. Функции Грина	Функция Грина как вакуумное среднее от T-упорядоченного произведения операторов в картине Гейзенберга и её вычисление по теории воз-

		мущений в картине Дирака. Производящий функционал для функций Грина. Производящий функционал для связанных функций Грина.
2.	Тема 2. S-матрица в формализме Лемана—Симанчика—Циммермана	Построение in- и out- состояний с помощью полей в картине Гейзенберга. Получение редукционной формулы, связывающей функции Грина и элементы S-матрицы.
	Тема 3. Введение в перенормировку	Дисперсионное соотношение Челлена—Лемана. Диаграммы собственной энергии. Одночастично-неприводимые диаграммы. Параметры Фейнмана. Регуляризация расходимостей: обрезание по импульсу, метод Паули—Вилларса, размерная регуляризация. Определение контрчленов через функции Грина. Вычисление вершинной функции, собственной энергии электрона и поляризованного оператора фотона в электродинамике в однопетлевом приближении. Перенормировка электродинамики в однопетлевом приближении. Аномальный магнитный момент электрона.
	Тема 4. Элементы общей теории перенормировок	Индекс расходимости диаграммы. БПХЦ-перенормировка. Перенормируемость, суперперенормируемость, неперенормируемость. Схемы перенормировки: схема вычитаний на массовой поверхности, схема минимальных вычитаний.
	Тема 6. Метод функционального интеграла	Амплитуда перехода как функциональный интеграл в квантовой механике. Амплитуда перехода как функциональный интеграл в квантовой теории поля. Функции Грина как функциональный интеграл. Получение правил Фейнмана из функционального интеграла. Функциональный интеграл для безмассового векторного поля: метод Фаддеева—Попова. Эквивалентность метода Фаддеева—Попова каноническому квантованию в калибровке Кулона. Грассмановы числа. Интегрирование Березина. Функциональный интеграл по спинорным полям. Симметрии в функциональном интеграле. Уравнения Швингера—Дайсона. Тождества Уорда. Производящий функционал для одночастично-неприводимых функций Грина. Доказательство строгой перенормируемости квантовой электродинамики.
	Тема 7. Спонтанное нарушение симметрии	Вакуум теории со спонтанно нарушенной симметрией. Вычисление эффективного потенциала. Физический смысл эффективного потенциала.
	Тема 8. Неабелевы калибровочные поля и механизм Хиггса	Абелева модель Хиггса. Неабелевы калибровочные поля. Спонтанное нарушение симметрии в моделях с неабелевыми калибровочными полями.

	Тема 9. Квантование неабелевых калибровочных полей	Квантование неабелевых калибровочных полей методом Фаддеева—Попова. Правила Фейнмана для неабелевых калибровочных теорий. Перенормировка неабелевых калибровочных теорий. Однопетлевой эффективный потенциал.
	Тема 10. Модель Глэшоу—Салама—Вайнберга	Векторные бозоны электрослабой модели. Бозон Хиггса. Слабые и электромагнитные взаимодействия лептонов. Кварки в электрослабой модели.
	Тема 11. Ренормализационная группа	Независимость S-матрицы от выбора схемы вычитаний. Закон ренормгруппового преобразования для функций Грина. Уравнение Каллана—Симанчика. Ренормгрупповые функции: бета-функция, аномальная размерность. Общий вид решения уравнения Каллана—Симанчика. Ренормгрупповое пересуммирование больших логарифмов. Асимптотическая свобода.

6. Фонд оценочных средств (ФОС, оценочные и методические материалы) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).

6.1. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости, критерии и шкалы оценивания (в отсутствие утвержденных соответствующих локальных нормативных актов на факультете)

РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)	ШКАЛА оценивания					ПРОЦЕДУРЫ ОЦЕНИВАНИЯ
	1	2	3	4	5	

Знать основные методы регуляризации расходимостей в квантовой теории поля и способы их вычитания	Отсутствие знаний об основных методах регуляризации расходимостей в квантовой теории поля и способах их вычитания	Фрагментарные знания об основных методах регуляризации расходимостей в квантовой теории поля и способах их вычитания	Неполные знания об основных методах регуляризации расходимостей в квантовой теории поля и способах их вычитания	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания об основных методах регуляризации расходимостей в квантовой теории поля и способах их вычитания	Сформированные и систематические знания об основных методах регуляризации расходимостей в квантовой теории поля и способах их вычитания	опрос
--	---	--	---	--	---	-------

Вопросы для проведения текущей аттестации

1. Чем отличаются диаграммы, дающие вклады в функции Грина и в элементы S-матрицы?
2. Запишите редукционную формулу Лемана—Симанчика—Циммермана. Вакуумные средние от T-упорядоченных произведений каких полей нужно знать, что вычислять амплитуды рассеяния мезонов в квантовой хромодинимике?
3. Какого рода сингулярности в двухточечной функции Грина (в импульсном представлении) возникают от вклада одночастичных состояний? Многочастичных состояний? Связанных состояний?
4. Из трех видов регуляризации — метода Паули—Вилларса, размерной регуляризации, обрезания по импульсу — какие предпочтительнее для вычислений в электродинамике?
5. Что такое параметры Фейнмана? Зачем они нужны?
6. Почему, несмотря на то что вершинная функция в электродинамике расходится, можно тем не менее получить однозначный результат для аномального магнитного момента электрона?
7. Что такое индекс расходимости диаграммы? Размерные константы связи улучшают или ухудшают сходимость диаграммы? Можно ли сказать, что если индекс расходимости меньше нуля, то диаграмма сходится? Если нет, то при каких условиях диаграмма сходится?
8. Если вы используете схему минимальных вычитаний, то сойдется ли в качестве амплитуды рассеяния ампутированная амплитуда? Если нет, то какой еще ингредиент к ней необходим?
9. Всегда ли замена переменной в функциональном интеграле имеет единичный якобиан перехода? Что будет с законами сохранения, если это не так?
10. Почему в теории Янга—Миллса нужны духи Фаддеева—Попова, а в электродинамике нет? А бывает так, что и в электродинамике они тоже нужны?
11. Запишите тождество Уорда в электродинамике (то, что для констант перенормировки). В каких схемах вычитаний оно справедливо? Какой у него есть физический смысл?
12. Как перенормируется калибровочный параметр в калибровочной теории?
13. Что такое заряд электрона? Как он связан с константой связи в лагранжиане электродинамики?
14. Какие диаграммы дают однопетлевой вклад в эффективный потенциал в электродинамике? Чему равен их вклад?

15. Почему для диаграммы с четырьмя внешними фотонными линиями не нужен отдельный контрчлен в лагранжиане? Тремя? Одной?
16. Почему спинорные поля или векторные поля с гораздо меньшей вероятностью могут стать причиной спонтанного нарушения симметрии.
17. Как при обращении времени преобразуется элемент S-матрицы?

6.2. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), критерии и шкалы оценивания (в отсутствие утвержденных соответствующих локальных нормативных актов на факультете)

РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)	ШКАЛА оценивания					ПРОЦЕДУРЫ ОЦЕНИВАНИЯ
	1	2	3	4	5	
<i>Знать</i> основные методы регуляризации расходимостей в квантовой теории поля и способы их вычитания	Отсутствие знаний об основных методах регуляризации расходимостей в квантовой теории поля и способах их вычитания	Фрагментарные знания об основных методах регуляризации расходимостей в квантовой теории поля и способах их вычитания	Неполные знания об основных методах регуляризации расходимостей в квантовой теории поля и способах их вычитания	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания об основных методах регуляризации расходимостей в квантовой теории поля и способах их вычитания	Сформированные и систематические знания об основных методах регуляризации расходимостей в квантовой теории поля и способах их вычитания	Экзамен
<i>Уметь</i> вычислять амплитуды вероятности для процессов в квантовой теории поля с учетом поправок от диаграмм Фейнмана с петлями	Отсутствие умений вычислять амплитуды вероятности для процессов в квантовой теории	Частично освоенное умение вычислять амплитуды вероятности для процессов в квантовой теории поля с учетом поправок от диаграмм Фейнмана с петлями	В целом успешное, но не систематическое умение вычислять амплитуды вероятности для процессов в квантовой теории поля с учетом поправок от	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение вычислять амплитуды вероятности для процессов в кванто-	Сформированное умение вычислять амплитуды вероятности для процессов в квантовой теории поля с уче-	Экзамен

	поля с учетом поправок от диаграмм Фейнмана с петлями		диаграмм Фейнмана с петлями	вой теории поля с учетом поправок от диаграмм Фейнмана с петлями	том поправок от диаграмм Фейнмана с петлями	
<i>Иметь навык (опыт)</i> регуляризации и вычитания расходимостей из амплитуд различных процессов в квантовой теории поля и вычисления вкладов от диаграмм Фейнмана с петлями	Отсутствие навыков регуляризации и вычитания расходимостей из амплитуд различных процессов в квантовой теории поля и вычисления вкладов от диаграмм Фейнмана с петлями	Фрагментарные навыки регуляризации и вычитания расходимостей из амплитуд различных процессов в квантовой теории поля и вычисления вкладов от диаграмм Фейнмана с петлями	В целом удовлетворительные, но не систематизированные навыки регуляризации и вычитания расходимостей из амплитуд различных процессов в квантовой теории поля и вычисления вкладов от диаграмм Фейнмана с петлями	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков регуляризации и вычитания расходимостей из амплитуд различных процессов в квантовой теории поля и вычисления вкладов от диаграмм Фейнмана с петлями	Успешное и систематическое применение навыков регуляризации и вычитания расходимостей из амплитуд различных процессов в квантовой теории поля и вычисления вкладов от диаграмм Фейнмана с петлями	Экзамен

Задачи к экзамену

1. Собственная энергия фотона в спинорной электродинамике. В спинорной электродинамике вычислите перенормированную собственную энергию фотона $\Pi_{\mu\nu}(k^2)$ до первого нетривиального порядка теории возмущений, $O(e^2)$. Запишите ответ в виде интеграла по единственному фейнмановскому параметру. Регуляризируйте расходимости методом Паули—Вилларса. Из фермионной петли вычтите такие же фермионные петли от тяжелых частиц, подобрав коэффициенты перед ними так, чтобы сократить и квадратичную, и логарифмическую расходимости интеграла. Используйте процедуру БПХЦ, чтобы зафиксировать величину контрчлена: подберите его так, чтобы он сокращал член второго порядка в разложении вблизи $k^2 = 0$. Проверьте, что еще до того, как вы устремите массы к бесконечности, функция Грина пропорциональна

$$g_{\mu\nu}k^2 - k_\mu k_\nu,$$

(где k_μ — это импульс фотона) в полном соответствии с тождеством Уорда.

2. Собственная энергия фотона в скалярной электродинамике. Проведите то же вычисление, но в скалярной электродинамике и используйте размерную регуляризацию вместо регуляризации Паули—Вилларса. **Предупреждение:** в d измерениях $g^\mu{}_\mu = d$.

3. Духи Фаддеева—Попова в квантовой электродинамике. Даже в квантовой электродинамике можно работать в такой калибровке, для которой нужны духи Фаддеева—Попова. Например, член, фиксирующий калибровку, может иметь и такой вид:

$$-\frac{1}{2\alpha}(\partial_\mu A^\mu + \sigma A_\mu A^\mu)^2,$$

где α и σ — произвольные вещественные числа.

(a) Как выглядит лагранжиан для духов Фаддеева—Попова?

(b) Как выглядит пропагатор для духов Фаддеева—Попова?

(c) Как выглядят вершины взаимодействия с духами Фаддеева—Попова?

4. Замена переменной в лагранжиане. Одним из следствий ЛСЦ формализма является то, что совершенно не важно, к какому полю привязана та или иная частица: любое поле, имеющее ненулевой матричный элемент между одночастичным состоянием и вакуумом с правильной нормировкой, будет давать правильные S-матричные элементы.

Рассмотрим теорию свободного скалярного поля:

$$L = \frac{1}{2}(\partial_\mu \phi)^2 - \frac{1}{2}\mu^2 \phi^2.$$

Определим новое поле A :

$$\phi = A + \frac{1}{2}gA^2.$$

В терминах A лагранжиан принимает вид:

$$L = \frac{1}{2}(\partial_\mu A)^2(1 + gA)^2 - \frac{1}{2}\mu^2(A + \frac{1}{2}gA^2)^2.$$

Если бы вам дали такой лагранжиан, и вы не знали о его происхождении, вы бы наверняка подумали, что он описывает весьма нетривиальную теорию с нетривиальными амплитудами рассеяния. Но, конечно, вы знаете его происхождение, а значит вы знаете, что все амплитуды рассеяния в такой теории нулевые. Проверьте это вычислив амплитуду рассеяния двух скалярных частиц до порядка g^2 .

5. Рассеяние в теории Янга—Миллса. В лекциях по квантовой электродинамике мы изучали процессы, где некоторое начальное состояние i переходило в какое-нибудь конечное состояние f плюс фотон с импульсом k' и поляризацией ε' . (И i , и f — это, вообще говоря, многочастичные состояния.). Инвариантная амплитуда M для этого процесса равнялась:

$$M = \varepsilon'^\mu M_\mu$$

при некотором M^μ , матричном элементе сохраняющегося тока. Таким образом, даже когда фотон не лежит на массовой поверхности ($k'^2 \neq 0$), $k'_\mu M^\mu = 0$. Более того, мы показали, что это справедливо, даже когда в начальном или конечном состоянии были фотоны вне массовой поверхности. При этом под словами «на массовой поверхности» подразумевается, например, для дираковской частицы не только то, что $p^2 = m^2$, но еще и что $(\gamma \cdot p - m)u(p) = 0$, а для калибровочного бозона не только то, что $k^2 = 0$, но и что $\varepsilon \cdot k = 0$.

Как было видно, неабелевы калибровочные теории во многих отношениях являются обобщением электродинамики. Рассмотрим неабелеву калибровочную теорию с некоторой калибровочной группой G , константой связи g и набором N дираковских полей с массой m , преобразующихся по некоторому представлению группы G с генераторами T^a . Вычислите $k'_\mu M^\mu$ для рассеяния калибровочных бозонов на дираковских частицах в древесном приближении, то есть до порядка g^2 . Пусть все частицы, кроме калибровочного бозона в конечном состоянии, находятся на массовой поверхности, и получите условия, при которых $k'_\mu M^\mu$ обращается в нуль. Положите $\varepsilon'^*_\mu = k'_\mu$, чтобы вычислить $k'_\mu M^\mu$.

Замечание. В этой задаче удобнее явно выписывать групповые индексы для калибровочных полей, но при этом рассматривать дираковские частицы как один большой вектор с $4N$ компонентами. Так, например, для изображенной на рисунке диаграммы вклад в амплитуду равен

$$M = -g^2 \bar{u}' \varepsilon'^*_\mu \gamma^\mu T^b \frac{1}{\gamma \cdot p + \gamma \cdot k - m + i\Gamma} T^a \varepsilon_\nu \gamma^\nu u$$



Это одна из трех диаграмм, другая получается перестановкой калибровочных бозонов и третья содержит обмен калибровочным бозоном в t -канале.

7. Ресурсное обеспечение:

7.1. Перечень основной и дополнительной литературы

Основная литература

1. Боголюбов Н. Н., Ширков Д. В. Введение в теорию квантованных полей. М.: Ленанд, 2018.

2. Славнов А. А., Фаддеев Л. Д. Введение в квантовую теорию калибровочных полей. М.: URSS, 2017.
3. Бояркин О. М., Бояркина Г. Г. Физика частиц. Книга 2. Квантовая электродинамика. Стандартная модель. М.: URSS, 2020.

Дополнительная литература

1. Берестецкий В. Б., Лифшиц Е. М., Питаевский Л. П. Квантовая электродинамика. 4-е изд. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006.
2. Вайнберг С. Квантовая теория поля. Т. 2. Современные приложения. / Пер. с англ. под редакцией В.Ч. Жуковского. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2015.
3. Ициксон К., Зюбер Ж.-Б. Квантовая теория поля. Т. 2. М.: Мир, 1984.
4. Завьялов О. И. Перенормированные диаграммы Фейнмана. 2-е изд. М.: URSS, 2021.
5. Fradkin E. General Field Theory (Department of Physics, University of Illinois at Urbana-Champaign, 2021), <http://eduardo.physics.illinois.edu/phys582/physics582.html>

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 продукт CodeBlocks The Code::Blocks Team
18. Программный продукт Free Pascal 3.0.0 Free 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 продукт Haskell 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

7.2.

7.3. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

7.4. Описание материально-технического обеспечения.

Аудитория, доска, мел.

8. Соответствие результатов обучения по данному элементу ОПОП результатам освоения ОПОП указано в Общей характеристике ОПОП.