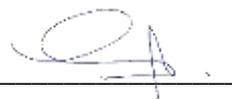


Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Филиал Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова в городе
Сарове

«УТВЕРЖДАЮ»



Директор филиала МГУ в г.Сарове
Член-корреспондент РАН В.В. Воеводин

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Наименование дисциплины:

Квантовая хромодинамика

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.

Мелихов Д.И., НИИЯФ МГУ, в.н.с.

Снигирев А.М., НИИЯФ МГУ, в.н.с.

1. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО:

Дисциплина «Квантовая хромодинамика» реализуется для аспирантов во 2-ом семестре и является частью общенаучного блока вариативной части. Курс тесно связан с читаемыми параллельно курсами «Стандартная модель как основа современной физики частиц во Вселенной» и «Пертурбативная квантовая теория поля».

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

Освоение следующих дисциплин: «Атомная физика», «Электродинамика», «Квантовая теория».

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 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. 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			
1 Квантовая хромодинамика как теория калибровочных полей	1	1	2	4	опрос
2 Общие принципы построения классических и квантовых теорий поля	1	1	2	4	опрос
3 Квантование свободных и взаимодействующих полей	1	1	2	4	опрос
4 Матрица рассеяния и вероятности процессов	3	3	6	6	опрос
5. Партоновая модель	1	1	2	4	опрос
6. Реализация партоновой модели в КХД	2	2	3	6	опрос
7. Спонтанное нарушение непрерывной симметрии и теорема Голдстоуна	2	2	2	6	опрос
8. Вильсоновское разложение в квантовой теории поля	2	2	3	7	опрос
9. Непертурбативные эффекты	2	2	2	6	опрос
10. Эффективные теории тяжёлых кварков	1	1	2	4	опрос
11. Кварк-адронная дуальность	1	1	2	4	опрос
Промежуточная аттестация (зачет(ы) и (или) экзамен(ы))			10	10	—
Итого	17	17	38	72	

5.2. Содержание разделов (тем) дисциплины

№ п/п	Наименование разделов (тем) дисциплины	Содержание разделов (тем) дисциплин
1.	<u>Квантовая хромодинамика как теория калибровочных полей.</u>	<i>КХД как синтез представлений о цвете кварков, партонной картины глубоко-неупругого рассеяния электронов на протоне и аппарата неабелевых калибровочных полей. Схема описания полей зарядов и их взаимодействия в классической и квантовой электродинамике.</i>
2.	<u>Общие принципы построения классических и квантовых теорий поля.</u>	<i>Лагранжев формализм. Релятивистская инвариантность. Принцип калибровочной инвариантности и лагранжиан КХД. Уравнения движения. Теорема Нетер. Трансформационные свойства полей. Динамические инварианты. Энергия-импульс. Вектор тока и заряда.</i>
3	<u>Квантование свободных и взаимодействующих полей.</u>	<i>Квантование свободных полей. Взаимодействующие поля.</i>
4	<u>Матрица рассеяния и вероятности процессов.</u>	<i>Матрица рассеяния. Диаграммы и правила Фейнмана. Вычисление матричных элементов и вероятностей. Вычисление вероятностей рассеяния кварков и глюонов в рамках теории возмущений КХД.</i>
5	<u>Партонная модель.</u>	<i>Формфакторы адронов, рассеяние электронов на адронах. Партонная модель Фейнмана-Бьеркена.</i>
6	<u>Реализация партонной модели в КХД.</u>	<i>Партонная модель и ее реализация в КХД в главном логарифмическом приближении. Уравнения эволюции функций распределения кварков и глюонов а адронах.</i>
7	<u>Спонтанное нарушение непрерывной симметрии и теорема Голдстоуна.</u>	<i>Киральная симметрия КХД с безмассовыми кварками. Ее спонтанное нарушение и появление псевдоголдстоуновских бозонов в спектре адронов. Массы лёгких барионов.</i>
8	<u>Вильсоновское операторное разложение в квантовой теории поля.</u>	<i>Операторное разложение в КХД. Вычисление Вильсоновских коэффициентов для двухточечных функций Грина.</i>
9	<u>. Непертурбативные эффекты КХД.</u>	<i>Степенные поправки и КХД конденсаты. Свойства лёгких адронов.</i>
10	<u>Эффективные теории поля. Тяжёлые кварки в КХД.</u>	<i>Построение эффективной теории при наличии нескольких различных массовых масштабов. Спектр адронов, имеющих в своём составе тяжёлый кварк и их слабые распады. Эффективная теория тяжёлых кварков.</i>
11	<u>Кварк-адронная дуальность.</u>	<i>Вычисление характеристик адронов из операторного разложения. Правила сумм КХД.</i>

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)

Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения			
	2	3	4	5
ЗНАТЬ: основные понятия теории поля и КХД.	Отсутствие знаний основных понятий теории поля и КХД.	В целом успешные, но не систематические знания основных понятий теории поля и КХД.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знания основных понятий теории поля и КХД.	Успешные и систематические знания основных понятий теории поля и КХД.
УМЕТЬ: <i>вычислять сечения и вероятности различных адронных процессов в КХД.</i>	Отсутствие умения. <i>вычислять сечения и вероятности различных адронных процессов в КХД.</i>	В целом успешное, но не систематическое умение <i>вычислять сечения и вероятности различных адронных процессов в КХД.</i>	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы при <i>вычислении сечений и вероятностей различных адронных процессов в КХД.</i>	Успешное и систематическое умение <i>вычислять сечения и вероятности различных адронных процессов в КХД.</i>
ВЛАДЕТЬ: <i>навыками работы с неабелевыми калибровочными полями Янга-Миллса в рамках теории возмущений.</i>	Отсутствие/фрагментарное владение навыками работы с <i>неабелевыми калибровочными полями Янга-Миллса в рамках теории возмущений.</i>	В целом успешное, но не систематическое владение навыками работы с <i>неабелевыми калибровочными полями Янга-Миллса в рамках теории возмущений.</i>	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение навыками работы с <i>неабелевыми калибровочными полями Янга-Миллса в рамках теории возмущений.</i>	Успешное и систематическое владение навыками работы с <i>неабелевыми калибровочными полями Янга-Миллса в рамках теории возмущений.</i>

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)

Например: Привести экспериментальные подтверждения КХД.

Например: Сформулировать основные отличия КХД от КЭД.

Например: Получить функции Грина для скалярного поля.

Например: Вычислить сечение рассеяния кварков на кварках.

Например: Написать уравнения эволюции структурных функций.

Например: Вычислить вклад кваркового конденсата в функцию Грина

7. Ресурсное обеспечение:

7.1. Перечень основной и дополнительной литературы

Основная литература

1 Н.Н. Боголюбов, Д.В. Ширков, Квантовые поля, Издательство «Наука», 1980.

2. В.Б. Берестецкий, Е.М. Лифшиц, Л.П. Питаевский, Квантовая электродинамика, Издательство «Наука», 1980.

3. Дж.Д. Бьеркен, С.Д. Дрелл, Релятивистская квантовая теория, Издательство «Наука», 1978.

4. А.А. Славнов, Л.Д. Фадеев, Введение в квантовую теорию калибровочных полей, Издательство «Наука», 1978.

5. А.В. Андреев, Хромодинамика и жесткие процессы при высоких энергиях, Издательство «Наука», 1981.

6. Ф. Индурайн, Квантовая хромодинамика, Издательство «Мир», 1986.

7. К.Хуанг, Кварки, лептоны и калибровочные поля, Издательство «Мир», 1985.

8. Т.П.Ченг-Л.Ф.Ли, Калибровочные теории в физике элементарных частиц, Мир, 1987.

9. М.Б.Волошин, К.А.Тер-Мартirosян, Квантовая Хромодинамика.

Дополнительная литература.

В.А. Рубаков, Классические калибровочные поля, Издательство «Эдиториал УРПС», 1999.

Yu. L. Dokshitzer, D.I. Dyakonov, S.I. Troyan, Hard processes in quantum chromodynamics. Phys. Rep. v.58, N5, p.269-395, 1980.

А.М. Снигирев, Введение в квантовую хромодинамику. Препринт НИИЯФ МГУ 2004-11/750. 2004.

А.М. Снигирев. Двухпартонные функции распределения в КХД. Ядерная физика т.74, N1, с.158-165, 2011.

D. d'Enterria, A.M. Snigirev. Double, triple, and n-parton scatterings in high-energy proton and nuclear collisions. Adv. Ser. Direct. High Energy Phys. 29

(2018) 159.

B.L. Ioffe, QCD at low energies, Prog.Part.Nucl.Phys. 56 (2006) 232-277

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

7.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. <https://arxiv.org>

7.3. Описание материально-технического обеспечения.

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