

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:

Теория фундаментальных взаимодействий. 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.

Авторы программы:

Член-корреспондент РАН, д.ф.-м.н., профессор Э.Э. Боос, и.о. директора НИИЯФ МГУ, зав. отделом ОЭФВЭ НИИЯФ МГУ,

д.ф.-м.н., профессор А. В. Борисов, профессор кафедры теоретической физики физического факультета МГУ

1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Дисциплина «Дополнительные главы электродинамики и квантовой механики» реализуется в 3-ем семестре магистратуры и является частью общенаучного блока обязательной части.

2. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

Владение основами курсов «Методы математической физики», «Классическая теория поля», «Квантовая теория поля», «Теория фундаментальных взаимодействий» (электрослабые взаимодействия).

3. Результаты обучения по дисциплине:

В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы:

Формируемые компетенции (код компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
• Способность использовать знания современных проблем и новейших достижений в области теоретической физики в своей научно-исследовательской деятельности (СПК-1).	ЗНАТЬ основные законы и направления современных научных исследований в области теоретической физики. УМЕТЬ на основе фундаментальных знаний в области теоретической физики, определять возможные направления научных исследований. ВЛАДЕТЬ необходимой информацией из современных отечественных и зарубежных источников по тематике избранного направления исследования области теоретической физики.
• Способность организовать и планировать физические исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в	ЗНАТЬ базовые принципы организации научных исследований с использованием информационных технологий, основные методики работы на современном научном оборудовании. УМЕТЬ

<p>области теоретической физики и решать их с помощью современной аппаратуры, оборудования и информационных технологий (СПК-2).</p>	<p>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>
<p>• Способность определять основные направления внедрения научных результатов в области теоретической физики (СПК-3).</p>	<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 в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается согласно рабочему плану):

Объем дисциплины составляет 2 зачетных единицы, всего 72 часа.

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

5.1 Структура дисциплины по темам:

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего, часы	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них					Самостоятельная работа обучающегося, часы из них			
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости коллоквиумы, практические контрольные занятия и др.*	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего
<p>1. Изоспиновая SU(2)-симметрия сильных взаимодействий. <i>Феноменология сильных взаимодействий:</i> Зарядовая независимость сильного взаимодействия нуклонов. Зеркальные ядра. Изоспин, изоспиновая группа SU(2). Изомультиплеты. Барионы и мезоны. Гиперзаряд, странность, барионное число. Формула Гелл-Манна–Нишиджимы. <i>Следствия изоспиновой симметрии:</i> Соотношения между сечениями процессов сильных взаимодействий и константами связей в эффективном низкоэнергетическом</p>	8	2	2				4	4		4

лагранжиане.										
2. SU(3)-симметрия сильных взаимодействий. <i>Структура группы SU(3):</i> Фундаментальное (кварковое) представление, матрицы Гелл-Манна, структурные постоянные. Операторы Казимира. Классификация неприводимых представлений. <i>Адронные SU(3)-мультиплеты:</i> Мезонный и барионный октет, декуплет барионов, кварковая модель строения адронов. <i>Массовые формулы:</i> Формула Гелл-Манна–Окубо. Массовые формулы для октета и декуплета, сравнение с экспериментом. Мезонное смешивание. <i>Электромагнитные свойства адронов:</i> Электромагнитные формфакторы адронов, эффективный низкоэнергетический лагранжиан электромагнитного взаимодействия и соотношения между магнитными моментами барионов, сравнение с экспериментом.	16	3	3	1	1		8	8		8
3. Заряд и цвет кварков, их экспериментальное подтверждение. <i>Распады нейтральных векторных мезонов на лептонные пары:</i> Отношение ширины лептонных распадов в кварковой модели, проверка дробности зарядов кварков на основе экспериментальных данных. Правило Цвейга. <i>Цвет как новое квантовое число кварков:</i> Необходимость введения цвета из анализа волновой функции бариона со спином 3/2, состоящего из трех тождественных кварков. Цветовая группа SU(3) _c . Конфайнмент цвета (бесцветность наблюдаемых адронов). Экспериментальное подтверждение	8	2	2				4	4		4

существования цвета в аннигиляции e^+e^- -пары в адроны.										
4. Слабые распады адронов. <i>Сохранение векторного тока (СВТ):</i> СВТ как следствие изоспиновой инвариантности. Бета-распад заряженного пиона. Сравнение с экспериментом. <i>Частичное сохранение аксиально-векторного тока (ЧСАТ):</i> Гипотеза ЧСАТ (связь дивергенции аксиального тока с пионным полем). Константа распада пиона. Распад нейтрона. Соотношение Голдбергера–Треймана. Нарушение киральной инвариантности, пионы как псевдоголдстоуновские бозоны.	8	2	2				4	4		4
5. Глубоконеупругое лептон-адронное рассеяние (ГНР). <i>Инклюзивное сечение ГНР:</i> Вывод формулы для сечения ГНР. Структурные функции нуклона. <i>Бьеркеновский скейлинг:</i> Скейлинг (масштабная инвариантность) структурных функций в области больших передач импульса и его объяснение в партонной модели. Соотношение Каллана–Гросса. <i>Партонная структура нуклона:</i> Кварки как заряженные партоны. Правила сумм для структурных функций нуклона, сравнение с экспериментом. Импульсное правило сумм и необходимость введения нейтральных партонов (глюонов – переносчиков сильного взаимодействия между кварками).	14	3	3				6	10		8

6. Калибровочная теория сильных взаимодействий — квантовая хромодинамика (КХД). <i>Основы КХД:</i> Локализация цветовой группы SU(3) _c . Лагранжиан КХД. Правила Фейнмана. Бегущая константа связи кварк-глюонного взаимодействия. Асимптотическая свобода. Конфайнмент. <i>Эффекты КХД:</i> КХД как развитие партонной модели, нарушение скейлинга. Аннигиляция e ⁺ e ⁻ -пары в адроны в КХД. Адронные струи, механизмы фрагментации кварков и глюонов в адроны. <i>Структура вакуума КХД (общий обзор):</i> Кварковый и глюонный вакуумные конденсаты, их проявление в глубоконеупругой e ⁺ e ⁻ -аннигиляции в адроны, оценка плотности энергии вакуума КХД.	1	3	3	1	1		6	4		4
Промежуточная аттестация: контрольная работа.	4									4
Итого	72						36			36

* Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций

6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (приводятся типовые вопросы, тесты, темы рефератов и пр., а также таблица оценивания учебных достижений)

Типовые задачи по курсу (домашние задания):

1. Используя изоспиновую инвариантность сильных взаимодействий, найти соотношения между сечениями ряда реакций.
2. Найти отношение ширины двух мод распада заданного адронного резонанса.
3. Используя полученную на основе СВТ амплитуду бета-распада заряженного пиона, вычислить его ширину.
4. Найти отношение ширины двух лептонных мод распада заряженного пиона.

5. Найти среднее время жизни тауона в модели распада на лептоны и кварки, пренебрегая массами конечных частиц. Результат сравнить с экспериментальными данными.
6. Вычислить ширину бета-распада нейтрона.
7. В рамках кварк-партонной модели оценить отношение сечений процессов пион-нуклонного и нуклон-нуклонного рассеяния, предполагая аддитивность кварк-(анти)кварковых столкновений и равенство соответствующих партонных сечений, и сравнить с экспериментальными данными при заданной энергии.
8. Вывести правила сумм для структурных функций нейтрин-нуклонного рассеяния.

7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. М. Б. Волошин, К. А. Тер-Мартirosян. Теория калибровочных взаимодействий элементарных частиц. – М.: Энергоатомиздат, 1984.
2. К. Хуанг. Кварки, лептоны и калибровочные поля. – М.: Мир, 1985.
3. А. А. Соколов, И. М. Тернов, В. Ч. Жуковский, А. В. Борисов. Калибровочные поля. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1986.
4. Т.-П. Ченг, Л.-Ф. Ли. Калибровочные теории в физике элементарных частиц. – М.: Мир, 1987.

Дополнительная литература

1. М. Пескин, Д. Шрёдер. Введение в квантовую теорию поля. – Ижевск: НИЦ РХД, 2001. – Гл. 14–19.
2. В. М. Емельянов. Стандартная модель и ее расширения – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007.
3. Ю. П. Никитин, В. П. Протасов, Э. П. Топоркова, А. И. Фесенко, Ю. Д. Котов. Сборник задач по физике элементарных частиц. – М.: Энергоатомиздат, 1992.
4. М. Tanabashi et al. (Particle Data Group), Review of Particle Physics, Phys. Rev. D 98, 030001 (2018) [<http://www-pdg.lbl.gov/>].

Перечень ресурсов Интернет, необходимых для освоения дисциплины:

1. http://theorphys.phys.msu.ru/education/fiz_fund_vz.html
2. <http://pdg.lbl.gov/>
3. <http://arxiv.org/>

Перечень информационных технологий,
используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости):

преподавание дисциплины в форме авторского курса по программе, составленной с учетом результатов исследований научных школ МГУ и ведущих мировых научных центров; дискуссии по актуальным проблемам современной физики элементарных частиц с использованием интернет-ресурсов (см.: http://library.web.cern.ch/particle_physics_information); программное обеспечение: Scientific WorkPlace, Maple.

8. Таблица оценивания учебных достижений

Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
Знать основы современной теории сильных взаимодействий элементарных частиц; уметь рассчитывать в ее рамках основные адронные процессы; владеть соответствующим математическим аппаратом и иметь опыт самостоятельного решения задач.	Отсутствие знания основ теории.	Фрагментарное знание и неумение решать простые задачи.	Знание некоторых основ теории, но слабое владение математическим аппаратом, позволяющее решать лишь простейшие задачи.	В целом успешное освоение теории и умение решать стандартные задачи, но наличие отдельных пробелов.	Уверенное владение основами теории и ее математическим аппаратом, умение решать как стандартные задачи, так и задачи повышенной сложности.

9. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине: аудитория на 15 мест, доска, мел, опционально: ноутбук, проектор и экран.

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 JetBrains PyCharm Community Edition Free Educational Licenses
11. Программный продукт JetBrains CLion 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