

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

Кафедра теоретической физики

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета

(подпись) И.С. Огнев

23 мая 2023 года

Рабочая программа дисциплины
«Введение в физику адронов»

Направление подготовки
03.04.02 Физика

Направленность (профиль)
«Теоретическая физика»

Форма обучения
очная

Программа одобрена
на заседании кафедры
от «17» апреля 2023 года, протокол № 8

Программа одобрена НМК
физического факультета
протокол № 5 от « 25» апреля 2023 года

Ярославль

1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Введение в физику адронов» является изучение основных закономерностей в физике и $SU_f(3)$ -систематике сильно-взаимодействующих частиц — адронов, приведших в итоге к предсказанию кварковой структуры адронов.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Введение в физику адронов» является дисциплиной по выбору вариативной части Блока 1.

Для освоения данной дисциплины студенты должны знать основы квантовой теории поля, основы теории групп Ли и владеть методами теории групп в квантовой теории поля.

Дисциплина «Введение в физику адронов» является одним из базовых курсов магистерской программы «Теоретическая физика» и представляет собой краткое введение в физику адронов, необходимое для последующего изучения квантовой хромодинамики как теории сильного взаимодействия.

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих элементов компетенций в соответствии с ФГОС ВО, ОП ВО и приобретения следующих знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности:

Формируемая компетенция (код и формулировка)	Индикатор достижения компетенции (код и формулировка)	Перечень планируемых результатов обучения
Профессиональные компетенции		
ПК-1 Способен осуществлять научно-исследовательскую деятельность по решению комплексных фундаментальных задач физики	ИД-ПК-1_1 Знает теоретические методы проведения и анализа научных исследований	Уметь: - Получать квантовые числа адронов, исходя из квантовых чисел составляющих их кварков. Владеть навыками: - нахождения соотношений между массами адронов внутри мезонных и барионных мультиплетов в схеме с нарушенной $SU_f(3)$ -симметрией.
	ИД-ПК-1_2 Знает современные теории и модели физики	Знать: - Классификацию адронов по мультиплетам группы ароматовой симметрии $SU_f(3)$. - Исходные принципы построения адронов из кварков.

4. Объем, структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы, 108 акад. часов.

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	С е м е с т р	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов, и их трудоемкость (в академических часах)						Формы текущего контроля успеваемости Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			Контактная работа						
			лекц ии	пра кти чес кие	се м ин ар ные	се м ин ар ные	се м ин ар ные	сам осто ятел ьная рабо та	
1	Введение	2	2						
2	Обзор свойств адронов	2	4	4		1		15	Задания для самостоятельной работы
3	Изотопическая симметрия адронов	2	4	4		1		15	Задания для самостоятельной работы
4	Унитарная симметрия адронов и группа $SU_f(3)$	2	6	6		1		15	Задания для самостоятельной работы
5	Кварковая модель адронов	2	4	6		1		15	Задания для самостоятельной работы
							0,3	3,7	Зачет
	<i>Всего за 2 семестр</i>		20	20		4	0,3	63,7	
	Всего		20	20		4	0,3	63,7	

Содержание разделов дисциплины:

1. Введение.

Типы фундаментальных взаимодействий. Лептоны, калибровочные бозоны и адроны. Основные черты стандартной модели электрослабого взаимодействия.

2. Обзор свойств адронов.

Основные характеристики адронов. Массы, спин-четность, времена жизни и ширины, основные моды распадов 0^- - и 1^- -мезонов и $(1/2)^+$ - и $(3/2)^+$ -барионов.

3. Изотопическая симметрия адронов.

Изотопическая симметрия адронов и группа $SU(2)$. Изотопические мультиплеты адронов. Матрицы изоспина для дублетов и триплетов и их свойства. $SU(2)$ -инвариантный

лагранжиан пи-мезонов и нуклонов. Соотношения между массами и константами связи пи-мезонов и нуклонов.

4. Унитарная симметрия адронов и группа $SU_f(3)$.

Странность и гиперзаряд адронов и ароматовая группа $SU_f(3)$. Генераторы группы $SU_f(3)$ и низшие представления группы $SU_f(3)$: триплеты, секстеты, октеты и декуплеты. Матрицы изоспина и гиперзаряда в фундаментальном, октетном и декуплетном представлениях группы $SU_f(3)$. Весовые диаграммы и классификация адронов по представлениям группы $SU_f(3)$. 0^- , 1^- , $(1/2)^+$ - и $(3/2)^+$ - мультиплеты адронов. Нарушенная $SU_f(3)$ -симметрия и расщепление масс адронов в $SU_f(3)$ - мультиплетах. Массовые формулы для октета барионов. Массовые формулы для псевдоскалярных мезонов. Массовые формулы для векторных мезонов. $\omega - \phi$ - смешивание. Массовые формулы для декуплета барионных резонансов

5. Кварковая модель адронов.

Кварки и их квантовые числа. u -, d -, s -, t -, b - кварки. Чармоний и боттомоний. История открытия c -, b - и t -кварков. c - и b - адроны. Кварковый состав мезонных $SU_f(3)$ - мультиплетов. Кварковый состав барионных $SU_f(3)$ - мультиплетов. История, успехи и трудности простейшей кварковой модели. Проблема статистики кварков и проблема удержания кварков в адронах и качественные особенности экспериментальных данных по глубоко неупругому рассеянию электронов на нуклонах. Понятие цвета кварков. Проявления цветовых степеней свободы кварков в эксперименте. Понятие цветовой и ароматовой симметрии кварков и адронов. Группы ароматовых и цветовых преобразований кварков $SU_f(n_f)$ и $SU_c(3)$. Понятие калибровочной цветовой симметрии кварков.

5. Образовательные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе обучения используются следующие образовательные технологии:

Вводная лекция – дает первое целостное представление о дисциплине и ориентирует студента в системе изучения данной дисциплины. Студенты знакомятся с назначением и задачами курса, его ролью и местом в системе учебных дисциплин и в системе подготовки в целом. Дается краткий обзор курса, история развития науки и практики, достижения в этой сфере, имена известных ученых, излагаются перспективные направления исследований. На этой лекции высказываются методические и организационные особенности работы в рамках данной дисциплины, а также дается анализ рекомендуемой учебно-методической литературы.

Академическая лекция (или лекция общего курса) – последовательное изложение материала, осуществляемое преимущественно в виде монолога преподавателя. Требования к академической лекции: современный научный уровень и насыщенная информативность, убедительная аргументация, доступная и понятная речь, четкая структура и логика, наличие ярких примеров, научных доказательств, обоснований, фактов. Элементы лекции-беседы обеспечивают контакт преподавателя с аудиторией, что позволяет привлекать внимание студентов к наиболее важным темам дисциплины, активно вовлекать их в учебный процесс, контролировать темп изложения учебного материала в зависимости от уровня его восприятия.

Практическое занятие – занятие, посвященное освоению конкретных умений и навыков и закреплению полученных на лекции знаний.

Консультации – вид учебных занятий, являющийся одной из форм контроля самостоятельной работы студентов. На консультациях по просьбе студентов рассматриваются наиболее сложные моменты при освоении материала дисциплины, преподаватель отвечает на вопросы студентов, которые возникают у них в процессе самостоятельной работы.

В процессе обучения используются следующие технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии:

Электронный учебный курс «Введение в физику адронов» в LMS Электронный университет Moodle ЯрГУ, в котором:

- представлены задания для самостоятельной работы обучающихся по темам дисциплины и рекомендации по их выполнению;
- осуществляется проведение отдельных мероприятий текущего контроля успеваемости студентов;
- представлены тексты лекций по отдельным темам дисциплины;
- представлены правила прохождения промежуточной аттестации по дисциплине;
- представлен список учебной литературы, рекомендуемой для освоения дисциплины;
- представлена информация о форме и времени проведения занятий и консультаций по дисциплине в случае проведения их в дистанционном формате;
- посредством форума осуществляется синхронное и (или) асинхронное взаимодействие между обучающимися и преподавателем в рамках изучения дисциплины.

6. Перечень лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

для формирования материалов для текущего контроля успеваемости и проведения промежуточной аттестации, для формирования методических материалов по дисциплине:

- программы Microsoft Office;
- издательская система LaTeX;
- Adobe Acrobat Reader.

Для формирования электронного учебного курса «Электродинамика» используется система управления электронными курсами LMS Электронный университет Moodle ЯрГУ.

7. Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (при необходимости)

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

Автоматизированная библиотечно-информационная система «БУКИ-NEXT»
http://www.lib.uniyl.ac.ru/opac/bk_cat_find.php

8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости), рекомендуемых для освоения дисциплины

а) основная литература

1. Смирнов А.Д. Введение в квантовую хромодинамику: учеб. пособие для вузов. / А. Д. Смирнов; Науч.-метод. совет ун-та ; Яросл. гос. ун-т им. П. Г. Демидова - Ярославль: Б.и., 2008. - 99 с.
2. Красников Н.В. Новая физика на большом адронном коллайдере. / Н. В. Красников, В. А. Матвеев; РАН, Ин-т ядерных исследований - М.: URSS; КРАСАНД, 2011. - 191 с.

б) дополнительная литература

1. Новожилов Ю. В. Введение в теорию элементарных частиц. – М.: Наука, 1972.
2. Нелипа Н. Ф. Физика элементарных частиц. — М.: Высшая школа, 1977.
3. Газиорович С. Физика элементарных частиц. — М.: Наука, 1969.
4. Нгуен Ван Хьеу. Лекции по теории унитарной симметрии элементарных частиц. — М.: Атомиздат, 1967.
5. P.A. Zyla et al. (Particle Data Group). Review of Particle Physics, Prog. Theor. Exp. Phys. 2020, 083C01 (2020).

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине включает в свой состав специальные помещения:

- учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа;
- учебные аудитории для проведения практических занятий;
- учебные аудитории для проведения групповых и индивидуальных консультаций;
- учебные аудитории для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации;
- помещения для самостоятельной работы;
- помещения для хранения и профилактического обслуживания технических средств обучения.

Специальные помещения укомплектованы средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде ЯрГУ.

Автор:

Профессор кафедры
теоретической физики, д.ф.-м.н.

должность, ученая степень

А. Д. Смирнов

подпись

И.О. Фамилия

**Приложение №1 к рабочей программе дисциплины
«Введение в физику адронов»**

**Фонд оценочных средств
для проведения текущей и промежуточной аттестации студентов
по дисциплине**

**1. Типовые контрольные задания или иные материалы,
необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности,
характеризующих этапы формирования компетенций**

**1.1 Контрольные задания и иные материалы,
используемые в процессе текущей аттестации**

Задания для самостоятельной работы

Задания по теме № 4: задачи и упражнения по содержанию данного раздела.

1.2 Список вопросов и (или) заданий для проведения промежуточной аттестации

Список вопросов к зачету:

1. Типы фундаментальных взаимодействий.
Лептоны, калибровочные бозоны и адроны.
Основные черты стандартной модели электрослабого взаимодействия.
2. Изотопическая симметрия адронов и группа SU(2).
Изотопические мультиплеты адронов.
Матрицы изоспина для дублетов и триплетов и их свойства.
3. SU(2)-инвариантный лагранжиан пи-мезонов и нуклонов.
Соотношения между массами и константами связи пи-мезонов и нуклонов.
4. Странность и гиперзаряд адронов и ароматовая группа SU(3).
Матрицы изоспина и гиперзаряда в фундаментальном, октетном и декуплетном представлениях группы SU(3). Весовые диаграммы и классификация адронов по представлениям группы SU(3).
5. Массовые формулы для октета барионов.
6. Массовые формулы для псевдоскалярных мезонов.
7. Массовые формулы для векторных мезонов. ω - ϕ - смешивание.
8. Массовые формулы для декуплета барионных резонансов.
9. Кварки и их квантовые числа. u-, d-, c-, s-, t-, b- кварки.
Чармоний и боттомоний. История открытия c-, b- и t-кварков. c- и b- адроны.
10. Кварковый состав мезонных SU(3)-мультиплетов.
11. Кварковый состав барионных SU(3)-мультиплетов.
12. История, успехи и трудности простейшей кварковой модели. Проблема статистики кварков и проблема удержания кварков в адронах и качественные особенности экспериментальных данных по глубоко неупругому рассеянию электронов на нуклонах. Понятие цвета кварков. Проявления цветовых степеней свободы кварков в эксперименте.

13. Понятие цветовой и ароматовой симметрии кварков и адронов.
Группы ароматовых и цветовых преобразований кварков $SU_f(n_f)$ и $SU_c(3)$.
Понятие калибровочной цветовой симметрии кварков.

Зачет выставляется по результату собеседования по списку вопросов во время сдачи зачета с учетом самостоятельной работы студента в течение семестра.

Правила выставления оценки на экзамене.

В экзаменационный билет включается два теоретических вопроса. На подготовку к ответу дается не менее 1 часа.

По итогам экзамена выставляется одна из оценок: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно».

Оценка «Отлично» выставляется студенту, который демонстрирует глубокое и полное владение содержанием материала и понятийным аппаратом квантовой механики; осуществляет межпредметные связи; умеет связывать теорию с практикой. Студент дает развернутые, полные и четкие ответы на вопросы экзаменационного билета и дополнительные вопросы, соблюдает логическую последовательность при изложении материала. Грамотно использует терминологию квантовой механики

Оценка «Хорошо» выставляется студенту, ответ которого на экзамене в целом соответствуют указанным выше критериям, но отличается меньшей обстоятельностью, глубиной, обоснованностью и полнотой. В ответе имеют место отдельные неточности (несущественные ошибки), которые исправляются самим студентом после дополнительных и (или) уточняющих вопросов экзаменатора.

Оценка «Удовлетворительно» выставляется студенту, который дает недостаточно полные и последовательные ответы на вопросы экзаменационного билета и дополнительные вопросы, но при этом демонстрирует умение выделить существенные и несущественные признаки и установить причинно-следственные связи. Ответы излагаются в терминах квантовой механики, но при этом допускаются ошибки в определении и раскрытии некоторых основных понятий, формулировке положений, которые студент затрудняется исправить самостоятельно. При аргументации ответа студент не обосновывает свои суждения. На часть дополнительных вопросов студент затрудняется дать ответ или дает неверные ответы.

Оценка «Неудовлетворительно» выставляется студенту, который демонстрирует разрозненные, бессистемные знания; беспорядочно и неуверенно излагает материал; не умеет выделять главное и второстепенное, не умеет соединять теоретические положения с практикой, не устанавливает межпредметные связи; допускает грубые ошибки при определении сущности раскрываемых понятий, явлений, вследствие непонимания их существенных и несущественных признаков и связей; дает неполные ответы, логика и последовательность изложения которых имеют существенные и принципиальные нарушения, в ответах отсутствуют выводы. Дополнительные и уточняющие вопросы экзаменатора не приводят к коррекции ответов студента. На основную часть дополнительных вопросов студент затрудняется дать ответ или дает неверные ответы.

Оценка «Неудовлетворительно» выставляется также студенту, который взял экзаменационный билет, но отвечать отказался.

Приложение №2 к рабочей программе дисциплины «Введение в физику адронов»

Методические указания для студентов по освоению дисциплины

Основной формой изложения учебного материала по дисциплине «Введение в физику адронов» являются лекции. По ряду тем предусмотрены практические занятия, на которых происходит закрепление лекционного материала путем его применения для решения задач и выполнения упражнений.

Основная цель решения задач – помочь усвоить фундаментальные понятия ароматовой симметрии адронов и приобрести навыки извлечения следствий из этой симметрии. Для решения всех задач необходимо знать и понимать лекционный материал. Поэтому в процессе изучения дисциплины рекомендуется регулярное повторение пройденного лекционного материала. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо дома еще раз прорабатывать и при необходимости дополнять информацией, полученной на консультациях, практических занятиях или из учебной литературы.

Для проверки и контроля усвоения теоретического материала и приобретенных практических навыков в течение обучения проводятся мероприятия текущей аттестации в течение семестра изучения дисциплины. Также (при необходимости) проводятся консультации по вопросам, вызывающим затруднения при их усвоении.

В конце семестра изучения дисциплины студенты сдают зачет. Зачет проводится по теории с учетом умения получать из ароматовой симметрии адронов экспериментально проверяемые результаты.

Успешное усвоение курса предполагает серьезную над ним работу, и посещение всех аудиторных занятий является совершенно необходимым для этого условием.

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов по дисциплине

Для самостоятельной работы рекомендуется использовать учебную литературу:

а) основная литература

1. Смирнов А.Д. Введение в квантовую хромодинамику: учеб. пособие для вузов. / А.Д. Смирнов; Науч.-метод. совет ун-та ; Яросл. гос. ун-т им. П. Г. Демидова - Ярославль: Б.и., 2008. - 99 с.

б) дополнительная литература

1. Новожилов Ю. В. Введение в теорию элементарных частиц. – М.: Наука, 1972.
2. Нелипа Н. Ф. Физика элементарных частиц. — М.: Высшая школа, 1977.
3. Газиорович С. Физика элементарных частиц. — М.: Наука, 1969.
4. Нгуен Ван Хьеу. Лекции по теории унитарной симметрии элементарных частиц. — М.: Атомиздат, 1967.
5. P.A. Zyla et al. (Particle Data Group). Review of Particle Physics,), Prog. Theor. Exp. Phys. 2020, 083C01 (2020).

Также для подбора учебной литературы рекомендуется использовать широкий спектр интернет-ресурсов.