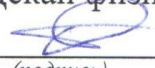


МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова»

Кафедра теоретической физики

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета

(подпись) И.С. Огнев

23 мая 2023 года

Рабочая программа дисциплины

«Амплитуды распределения адронов»

программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре

по научной специальности 1.3.3 Теоретическая физика

Форма обучения очная

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

Ярославль

1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины является изучение методов расчета матричных элементов процессов распада и рождения адронов высоких энергий, в которых волновая функция адрона, как связанного состояния кварков и глюонов, важна и вполне характеризуется (обобщенными) амплитудами распределения, имеющими в этой кинематике определенные значения квантового числа — твиста.

2. Место дисциплины в структуре программы аспирантуры

Данная дисциплина является факультативной.

3. Планируемые результаты освоения дисциплины: -

В результате освоения дисциплины аспирант должен:

Знать:

- квантовые числа адронов;
- конформную группу преобразований пространства Минковского;
- структуру интерполяционных токов адронов;
- методы параметризации матричных элементов переходов адронов.

Уметь:

- строить интерполяционные токи адронов;
- раскладывать адронные матричные элементы переходов по тензорным структурам;
- строить динамические операторы коллинеарной подгруппы конформной группы;
- записывать и решать уравнение эволюции амплитуд распределения.

Владеть навыками:

- факторизации амплитуд распадов адронов;
- вычисления амплитуд распределения на произвольном масштабе.

4. Объем, структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 акад. часа.

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	С е м е с т р	Виды учебных занятий и их трудоемкость (в академических часах)					Формы текущего контроля успеваемости
			лекции	практические	лабораторные	консультации	самостоятельная работа	
1	Волновые функции адронов	3	1				13	Задания для самостоятельной работы
2	Кинематика быстрых адронов и конформные свойства их функций	3	1	1			12	Задания для самостоятельной работы
3	Амплитуды распределения быстрых	3	1	1			13	Задания для самостоятельной

	адронов							работы
4	Эволюция амплитуд распределения	3	1	1			13	Задания для самостоятельной работы
5	Амплитуды распределения тяжелых адронов.	3		1			13	Задания для самостоятельной работы
	Всего 72 час.		4	4			64	

Содержание разделов дисциплины:

Тема 1. Волновые функции адронов

Классификация адронов по ароматам. Локальные интерполяционные токи. Волновые функции адронов как переходные матричные элементы.

Тема 2. Кинематика быстрых адронов и конформные свойства их функций

Группа конформных преобразований в пространстве Минковского. Проецирование квантовых полей на световой конус. Подгруппа конформных преобразований на световом конусе. Конформные спин и твист. Конформное разложение операторов. Составные операторы.

Тема 3. Амплитуды распределения быстрых адронов

Нелокальные интерполяционные токи быстрых адронов. Интерполяционные токи легких мезонов и барионов. Матричный элемент интерполяционного тока определенного конформного спина. Понятие амплитуды распределения партонов в адроне. Классификация по твистам и конформное разложение амплитуд распределения. Асимптотика волновых функций. Учет уравнений движения партонов в адроне. Независимые амплитуды распределения и уравнения связи.

Тема 4. Эволюция амплитуд распределения

Уравнения эволюции амплитуд распределения. Ядро эволюции Ефремова-Радюшкина-Бродского-Лепаж и его собственные функции. Уравнение эволюции с учетом КХД поправок.

Тема 5. Амплитуды распределения тяжелых адронов.

Эффективная теория тяжелых адронов. Тяжелый кварк как статический источник поля. Нелокальные интерполяционные токи тяжелых адронов. Амплитуды распределения. Ядро эволюции Ланге и Нойберта для системы из легкого и тяжелого кварков. Эволюция амплитуд распределения тяжелых мезонов.

5. Образовательные технологии, в том числе технологии электронного обучения и дистанционные 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. 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 литературы.

Академическая лекция с элементами лекции-беседы – последовательное изложение материала, осуществляемое преимущественно в виде монолога преподавателя. Элементы лекции-беседы обеспечивают контакт преподавателя с аудиторией, что позволяет привлекать внимание аспирантов 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 по закреплению полученных на лекции знаний.

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

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

Электронный учебный курс «Амплитуды распределения адронов» в LMS Электронный университет Moodle ЯрГУ, в котором:

- представлены задания для самостоятельной работы аспирантов по темам дисциплины;
- представлен список литературы, рекомендуемой для освоения дисциплины;
- представлена информация о форме и времени проведения консультаций по дисциплине в случае их проведения в дистанционном формате в режиме онлайн.

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

а) основная литература

1. Braun V.M., Korchemsky G.P., Mueller D. The Uses of conformal symmetry in QCD. Prog. Part. Nucl. Phys. 51 (2003) 311; [arXiv:hep-ph/0306057](https://arxiv.org/abs/hep-ph/0306057). (свободный доступ)
2. Brodsky S.J., de Teramond G.F., Dosch H.G., Erlich J. Light-Front Holographic QCD and Emerging Confinement. Phys. Rept. 584 (2015) 1; [arXiv:1407.8131\[hep-ph\]](https://arxiv.org/abs/1407.8131). (свободный доступ)

б) дополнительная литература

1. Берестецкий В. Б., Питаевский Л. П., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика: учебное пособие. В 10 т. Т. 4. Квантовая электродинамика. М.: Физматлит, 2006. 716 с. https://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=82963&sr=1
2. Пескин М., Шредер Д. Введение в квантовую теорию поля. Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2001. — 784 с.
3. Becher T., Broggio A., Ferroglia A. Introduction to Soft-Collinear Effective Theory. Heidelberg: Springer, 2015 <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-319-14848-9.pdf>

в) ресурсы сети «Интернет»

1. Каталог образовательных интернет-ресурсов на сайте <http://www.edu.ru>;
2. Научная энциклопедия на сайте <http://elementy.ru/physics>;
3. Полнотекстовая база данных препринтов на сайте <https://arxiv.org/>.

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

7. 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 (семинаров);
- 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 оборудования.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет».

Автор:

Заведующий кафедрой теоретической физики, к.ф.-м.н. _____ А.Я. Пархоменко

**Приложение №1 к рабочей программе дисциплины
«Амплитуды распределения адронов»**

**Оценочные материалы
для проведения текущей и/или промежуточной аттестации
аспирантов по дисциплине**

**1. Контрольные задания и (или) иные материалы,
используемые в процессе текущего контроля успеваемости**

Задания для самостоятельной работы:

1. Ввести преобразования конформной группы в пространстве Минковского и соответствующие им генераторы преобразований.
2. Вычислить коммутационные соотношения для генераторов конформной группы.
3. Спроецировать генераторы конформных преобразований и их коммутаторы на световой конус.
4. Решить задачу о собственных функциях и собственных значениях операторов L_+ , L_- , L_0 и E , представляющих собой линейные комбинации проекций генераторов на световой конус.
5. Разложить произвольный составной оператор определенного твиста в ряд по конформному спину.
6. Представить оператор векторного тока, построенного из разнесенных на световом конусе кварка и антикварка, в виде суммы операторов определенного твиста.
7. Представить тензорного оператор, построенный из разнесенных на световом конусе двух глюонов, в виде суммы операторов определенного твиста.
8. Ввести полный набор амплитуд распределения для π -мезона на световом конусе.
9. Записать уравнение эволюции для амплитуды распределения главного твиста (уравнение Ефремова-Радюшкина-Бродского-Лепаж) и вычислить ядро эволюции в первом исчезающем порядке теории возмущений КХД.
10. Вычислить аномальную размерность интерполяционного оператора π -мезона главного твиста, а также найти решение уравнения эволюции.
11. Ввести полный набор амплитуд распределения для ρ -мезона на световом конусе.
12. Вычислить аномальную размерность интерполяционных операторов ρ -мезона главного твиста, а также найти соответствующие решения уравнений эволюции.
13. Найти асимптотическое выражение для амплитуды распределения произвольного числа частиц, расположенных на световом конусе.
14. Получить уравнения Вандзуры-Вильчека для π - и ρ -мезонов.
15. Записать уравнения эволюции в гамильтоновой форме.
16. Вычислить оператор Гамильтона, возникающий в уравнении эволюции обычного бариона.

2. Список вопросов и (или) заданий для проведения промежуточной аттестации

Список вопросов к зачету:

1. Классификация адронов по ароматам. Локальные интерполяционные токи.
2. Волновые функции адронов как переходные матричные элементы.
3. Группа конформных преобразований в пространстве Минковского.
4. Проецирование квантовых полей на световой конус.
5. Подгруппа конформных преобразований на световом конусе.

6. Конформные спин и твист. Конформное разложение операторов.
7. Составные операторы.
8. Нелокальные интерполяционные токи быстрых адронов.
9. Интерполяционные токи легких мезонов и барионов.
10. Матричный элемент интерполяционного тока определенного конформного спина.
11. Понятие амплитуды распределения партонов в адроне.
12. Классификация по твистам и конформное разложение амплитуд распределения.
13. Асимптотика волновых функций. Учет уравнений движения партонов в адроне.
14. Независимые амплитуды распределения и уравнения связи.
15. Уравнения эволюции амплитуд распределения.
16. Ядро эволюции Ефремова-Радюшкина-Бродского-Лепаж и его собственные функции.
17. Уравнение эволюции с учетом КХД поправок.
18. Эффективная теория тяжелых адронов. Тяжелый кварк как статический источник поля.
19. Нелокальные интерполяционные токи тяжелых адронов. Амплитуды распределения.
20. Ядро эволюции Ланге и Нойберта для системы из легкого и тяжелого кварков.
21. Эволюция амплитуд распределения тяжелых мезонов.

2.1 Описание процедуры выставления оценки

Зачет выставляется по результатам выполнения текущей самостоятельной работы и собеседования по вопросам к зачету.

Оценка «зачет» выставляется студенту, который владеет основным объемом знаний по программе дисциплины; знает основную терминологию данной области знаний; логически правильно излагает материал; отвечает на вопросы без существенных ошибок; владеет инструментарием дисциплины, умеет его использовать в решении стандартных (типовых) задач; способен самостоятельно применять типовые решения.

Оценка «незачтено» выставляется студенту, который не владеет основным объемом знаний по программе дисциплины; не знает основную терминологию данной области знаний; логически неправильно излагает материал; отвечает на вопросы с существенными ошибками; не владеет инструментарием дисциплины, не умеет его использовать в решении стандартных (типовых) задач; не способен самостоятельно применять типовые решения.