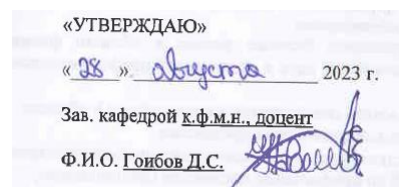


МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
ТАДЖИКИСТАН
МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКО-ТАДЖИКСКИЙ (СЛАВЯНСКИЙ) УНИВЕРСИТЕТ»

Естественнонаучный факультет

Кафедра «Математики и физики»



ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

по учебной дисциплине

Квантовая электродинамика

03.03.02 – физика

Душанбе 2023 г.

**ПАСПОРТ
ФОНДА ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

по дисциплине (модулю) «Квантовая электродинамика»

Общие положения

Фонд оценочных средств (далее ФОС) предназначен для контроля и оценки образовательных достижений обучающихся, освоивших программу учебной дисциплины «Квантовая электродинамика» программы подготовки специалистов по бакалавру для специальности 03.03.02 Физики.

В результате освоения учебной дисциплины квантовой электродинамики обучающийся должен обладать предусмотренными ФГОС следующими умениями, знаниями, а также использовать приобретенные знания и умения в практической деятельности и повседневной жизни.

В результате освоения дисциплины «Квантовая электродинамика» формируются следующие (общепрофессиональные, профессиональные) компетенции обучающегося:

1) Общепрофессиональные компетенции выпускников и индикаторы их

достижения

Коды компетенции	Результаты освоения ООП Содержание компетенций	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине	Вид оценочного средства
ОПК-8	Способностью критически переосмысливать накопленный опыт, изменять при необходимости направление своей деятельности	Знает: – основные сведения об этапах и тенденциях исторического развития основных областей и направлений физики; – базовые представления об основных понятиях и методах естественных наук, понимать и излагать профессиональные задачи в области научно-исследовательской и практической деятельности Умеет: – самостоятельно применять понятийно-категориальный аппарат, необходимый для осмысления выделенной проблемы; – изменять при необходимости вид и характер своей профессиональной деятельности; – определять необходимые для решения проблемы методы и средства познания, участвовать в обсуждении проблем, опираясь на достоверные исторические факты, использовать знания для совершенствования общекультурной и профессиональной компетентности; – выделять и определять проблемы и проблемные ситуации в различных ситуациях Владеет: – навыками систематизации информации, переосмысления опыта; – навыками оценки достижений науки и техники, изучение первоисточников, изучение документов, интервью и др.), физическим научным языком, научной терминологией;	Выступление Коллоквиум Дискуссия

2) Профессиональные компетенции

Уровень и качество знаний обучающихся оценивается по результатам текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины в виде зачета (на 8 семестре).

Текущий контроль включает в себя защиту выполненного практического задания.

Защита задач для самостоятельного решения проводится для проверки способности использовать законы теоретической физики при анализе условия и решения задач по «Квантовой электродинамике», а также умения применять математические методы для описания физических явлений.

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины проводится в виде зачета на 8 семестре.

Зачет предполагает ответ на теоретические вопросы из перечня вопросов по всему курсу. К моменту сдачи зачета должны быть благополучно пройдены предыдущие формы контроля.

Методика формирования результирующей оценки в обязательном порядке учитывает активность студентов на занятиях, посещаемость занятий, выполнение самостоятельных заданий.

Комплект вопросов для письменной работы (ответы на контрольные вопросы) или для собеседования на коллоквиумах (по основным разделам дисциплины), а также для написания рефератов:

№ п/п	Контролируемые разделы, темы, модули ¹	Формируемые компетенции	Оценочные средства		
			Количество тестовых заданий	Другие оценочные средства	
				Вид	Количество
1	Тема 1. Введение. (Предпосылки к созданию квантовой хромодинамики. SU(3) симметрия в физике адронов и кварковая модель. Квантовое число “цвет”. Неабелевы калибровочные поля. Кварки и глюоны. Локальная калибровочная инвариантность теории. Лагранжиан квантовой хромодинамики. Ковариантные и аксиальные калибровки. Особенности квантования калибровочных теорий. Представление взаимодействия и матрица рассеяния в квантовой хромодинамике. Общие свойства S -матрицы. Теоремы Вика. Правила Фейнмана для квантовой хромодинамики)	ОПК-8		Решение задач Опрос Реферат	3 5 3
2	Тема 2. Расходимости в квантовой теории поля и их устранение методом перенормировки. (Техника вычисления петлевых поправок. Методы регуляризации импульсных интегралов. Схемы вычитания расходимостей. Контрчлены и перенормировки. Преобразования Дайсона. Причины расходимостей в квантовой теории поля)	ОПК-8		Решение задач Опрос Реферат	3 5 3
3	Тема 3. Метод ренормализационной группы в квантовой хромодинамике. (Перенормировка в глюодинамике. Метод ренормализационной	ОПК-8		Решение задач Опрос	3 5

¹Наименования разделов, тем, модулей соответствуют рабочей программе дисциплины.

	группы. Инвариантный заряд квантовой хромодинамики. Уравнения ренормгруппы в функциональной и дифференциальной форме. Ренормгрупповая бета - функция в рамках теории возмущений. Вычисление бета -функции квантовой хромодинамики в однопетлевом приближении)			Реферат	3
4	Тема 4. Инвариантный заряд и асимптотическая свобода в квантовой хромодинамике. (Бегущая константа связи сильного взаимодействия на однопетлевом уровне. Масштабный параметр теории. Инвариантный заряд в высших петлевых приближениях. Извлечение бегущей константы связи квантовой хромодинамики из экспериментальных данных. Пороговые эффекты. Зависимость результатов теории возмущений от схемы вычитания.)	ОПК-8		Решение задач Опрос Реферат	3 5 3
5	Тема 5. Партоновая модель. (Кинематика процессов лептон-адронного рассеяния. Сечения упругого рассеяния электрона на точечном и реальном протоне. Глубоконеупругое рассеяние лептонов на нуклонах. Структурные функции, бьеркеновский скейлинг. Дифференциальное сечение глубоконеупругого электрон - протонного рассеяния. Экспериментальные данные. Партоновые функции распределения, функции фрагментации, способы их параметризации. Операторное разложение и моменты структурных функций. Уравнение ренормализационной группы для моментов структурных функций и его решение в рамках теории возмущений.)	ОПК-8		Решение задач Опрос Реферат	3 5 3
6	Тема 6. Электрон - позитронная аннигиляция в адроны. (Кинематика и сечение процесса электрон - позитронной аннигиляции в адроны. Особенности описания процессов сильного взаимодействия во времениподобной области. Дисперсионное соотношение для адронной функции поляризации вакуума. Дисперсионное соотношение для функции Адлера. Вклад сильного взаимодействия в адронную функцию поляризации вакуума. Вычисление R -отношения в рамках теории возмущений. Экспериментальные данные и их теоретический анализ.)	ОПК-8		Решение задач Опрос Реферат	3 5 3
7	Тема 7. Инвариантная теория возмущений. (Хронологическое произведение. Диаграммы Фейнмана для рассеяния электронов. Диаграммы Фейнмана для рассеяния фотона. Электронный пропагатор. Фотонный пропагатор. Общие правила диаграммной техники. Перекрестная инвариантность.)	ОПК-8		Решение задач Опрос Реферат	3 5 3

8	Тема 8. Вклад сильного взаимодействия в электрослабые процессы. (Аномальный магнитный момент мюона. Экспериментальные данные и их теоретический анализ. Эволюция бегущей константы связи электромагнитного взаимодействия: вычисление сдвига постоянной тонкой структуры на масштабе массы Z -бозона. Экспериментальные данные и их теоретический анализ.)	ОПК-8		Решение задач Опрос Реферат	3 5 3
---	--	-------	--	-----------------------------------	-------------

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Изучение дисциплины «Квантовая электродинамика» организуется в виде лекций, практических занятий и самостоятельной работы. Продолжительность изучения дисциплины - 8 семестра. Уровень и качество знаний обучающихся оцениваются по результатам входного контроля, текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины в виде зачета.

Лекция - основная форма систематического, последовательного устного изложения учебного материала. Чтение лекций, как правило, осуществляется наиболее профессионально подготовленными преподавателями университета. Основными задачами лекций являются:

- ознакомление обучающихся с целями, задачами и структурой изучаемой дисциплины, ее местом в системе наук и связями с другими дисциплинами;
- изложение комплекса основных научных понятий, законов, методов, принципов данной дисциплины;

Лекции мотивируют обучающегося на самостоятельный поиск и изучение научной и специальной литературы и других источников по темам дисциплины, ориентируют на выявление, формулирование и исследование наиболее актуальных вопросов и проблем теоретической физики. Значимым фактором полноценной и плодотворной работы обучающегося на лекции является культура ведения конспекта. Слушая лекцию, необходимо научиться выделять и фиксировать ее ключевые моменты, записывая их более четко и выделяя каким-либо способом из общего текста. Кроме того, необходимо научиться делать понятные для обучающегося сокращения при записи текста лекции и стремиться освоить быструю манеру письма и рубрикацию материала.

Интерактивные лекции проводятся в форме проблемных лекций. В ходе проблемной лекции преподаватель включает в процесс изложения материала серию проблемных вопросов. Как правило, это сложные, ключевые для темы вопросы. Студенты приглашаются для размышлений и поиску ответов на них по мере их постановки. Типовая структура проблемной лекции включает:

- создание проблемной ситуации через постановку учебной проблемы; конкретизацию этой проблемы, выдвижение гипотез по ее решению;
- мысленный эксперимент по проверке выдвинутых гипотез;
- проверку сформулированных гипотез, подбор аргументов и фактов для их подтверждения;
- формулировку выводов;
- подведение к новым противоречиям или перспективам изучения последующего материала;
- вопросы для обратной связи, помогающие корректировать умственную деятельность студентов на лекции. В ходе проблемной лекции проводится дискуссия по актуальным вопросам.

Практические занятия по дисциплине «Квантовая электродинамика» проводятся в соответствии с учебно-тематическим планом по отдельным группам. Цель практических занятий - закрепить теоретические знания, полученные студентами на лекциях и в результате самостоятельного изучения соответствующих разделов рекомендуемой литературы, а также приобрести начальные практические навыки анализа наблюдаемых физических явлений.

Темы практических занятий заранее сообщаются обучающимся для того, чтобы они имели возможность подготовиться и проработать соответствующие теоретические вопросы дисциплины. В начале каждого практического занятия преподаватель кратко доводит до обучающихся цель и

задачи занятия и сообщает обучающимся основные законы необходимые для решения задач на занятии.

В рамках практического занятия обучающиеся решают задачи и разбирают практические задачи самостоятельно или при помощи преподавателя. Преподаватель выступает в роли консультанта, осуществляет контроль полученных обучающимися результатов.

Интерактивными являются практические занятия в форме метода развивающейся кооперации (решение задач в группах с последующим обсуждением).

Отсутствие обучающихся на занятиях или их неактивное участие на них может быть компенсировано самостоятельным выполнением дополнительных заданий и представлением их на проверку преподавателю.

Целью самостоятельной работы обучающихся при изучении настоящей учебной дисциплины является выработка ими навыков работы с научной и учебной литературой, а также развитие у обучающихся устойчивых способностей к самостоятельному изучению и обработке полученной информации.

В процессе самостоятельной работы обучающийся должен воспринимать, осмысливать и углублять получаемую информацию, решать практические задачи, подготавливать доклады, выполнять домашние задания, овладевать профессионально необходимыми навыками. Самостоятельная работа обучающегося весьма многообразна и содержательна. Она включает следующие виды занятий:

- самостоятельный подбор, изучение, конспектирование, анализ учебно-методической и научной литературы, периодических научных изданий,

- индивидуальная творческая работа по осмыслению собранной информации, проведению сравнительного анализа и синтеза материалов, полученных из разных источников, интерпретации информации, выполнение домашних заданий;

- завершающий этап самостоятельной работы;

- подготовка к сдаче экзамена по дисциплине, предполагающая интеграцию и систематизацию всех полученных при изучении учебной дисциплины знаний.

Опрос — это выяснение мнения сообщества по тем или иным вопросам. По итогам опроса могут быть изменены или отменены существующие либо приняты новые правила и руководства (за исключением противоречащих общим принципам проекта). Опрос студентов проводится с целью:

- систематизации и закрепления полученных теоретических знаний и практических умений студентов;

- углубления и расширения теоретических знаний;

- формирования умений использовать справочную и специальную литературу;

- развития познавательных способностей и активности студентов:

- творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;

- формирования самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;

- развития исследовательских умений.

Требование к опросу:

- точность ответа на поставленный вопрос;

- формулировка целей и задач работы;

- раскрытие (определение) рассматриваемого понятия (определения, проблемы, термина);

- четкость структуры работы;

- самостоятельность, логичность изложения;

- наличие выводов, сделанных самостоятельно.

ПРИМЕРЫ ОПРОСОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА ПО ОСВОЕНИЮ МАТЕРИАЛА

1. Что изучает квантовая электродинамика?
2. Что такое уравнения непрерывности?
3. Как пишется физические величины в квантовой физике?
4. Как пишется оператор импульса?
5. Как пишется оператор энергии?
6. Что такое принцип неопределённости?
7. Как пишется волновая функция?
8. Какой физический смысл имеет волновая функция?
9. Что такое принцип соответствия?
10. Как определяют уравнений непрерывности?
11. Что характеризует уравнений непрерывности?
12. Где принимается приближенное решение кинетического уравнения?
13. Как пишется волновое уравнение для частиц со спином?
14. Что характеризует диаграмма Феймана?
15. Как происходит рассеяние электрона во внешнем поле.
16. Как характеризуется рассеяние электронов и позитронов на электроне.
17. Как происходит взаимодействия электронов с фотонами.
18. Инвариантные амплитуды. Условие унитарности.
19. Что объясняет рассеяние фотона электроном.
20. Общие правила диаграммной техники. Перекрестная инвариантность.
21. Что означает тормозное излучение электрона на ядре.
22. Тормозное излучение электрона на электроне в ультрарелятивистском случае.
23. Излучение мягких фотонов при столкновениях.
24. Метод эквивалентных фотонов.
25. Образование пар при столкновениях частиц.

ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТА ПО РЕШЕНИЮ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ.

1. Какой вид имеет метрический тензор $g^{\mu\nu}$ в n -мерном евклидовом пространстве? А в n -мерном пространстве Минковского, которое содержит p временных и q пространственных измерений (естественно, что $n=p+q$)?
2. В пространстве Минковского даны два 4-вектора $a^\mu=(1/2, 1/3, -1/4, 1/2)$ и $b^\mu=(1/6, 1, 1/2, -3/4)$. Вычислить, чему равны скалярные произведения $a^\mu a_\mu \equiv a^2$, $b^\mu b_\mu \equiv b^2$ и $a^\mu b_\mu \equiv (ab)$.
3. Найти, чему равны свертки и произведения $g_{\mu\mu}$; $g_{\mu\nu}g^{\mu\alpha}$; $g_{\mu\nu}g^{\alpha\mu}$; $g_{\mu\nu}g^{\mu\nu}$ в 4-мерном пространстве Минковского.
4. Объясните, почему все нижеперечисленные свертки $g_{\mu\mu}$; $g_{\mu\nu}a^\mu b^\nu$; $g_\mu{}^\nu q^\nu b_\mu c^\mu$; $a^\mu b_\mu c^\mu d_\mu$ не имеют никакого смысла.
5. При помощи явного вида матрицы преобразования Лоренца $A_\mu{}^\nu(v)$ показать, что скалярное произведение двух 4-векторов является лоренц-инвариантом.
6. Проверить, что в теории поля два лагранжиана, отличающиеся между собой на 4-дивергенцию некоторого 4-вектора (т.е. на величину $\partial_\mu V^\mu(x)$), приводят к одинаковым уравнениям Лагранжа.
7. Зная явный вид тензора напряженности электромагнитного поля $F_\mu{}^\nu(x)$ получить явный вид $F_\mu{}^\nu(x)$.
8. Получить выражение для тензора энергии-импульса $T_\mu{}^\nu$ свободного электромагнитного поля в произвольной калибровке.
9. Привести примеры истинно нейтральных адронов, отличных от π^0 -мезона. Встречаются ли среди них барионы?
10. Предполагая, что движение электрона в атоме водорода можно описать при помощи уравнения Клейна–Гордона–Фока с кулоновским взаимодействием, получить выражение для тонкой структуры спектра. Совпадает ли полученная формула с экспериментальными данными?

11. Найти унитарные матрицы переходов от стандартного к спинорному представлению и от спирального к спинорному представлению.
12. Предполагая, что движение электрона в атоме водорода можно описать при помощи уравнения Дирака с кулоновским взаимодействием, получить выражение для тонкой структуры спектра.
13. Найти явный вид $u(p, \lambda)$ в спиральном и спинорном представлениях.
14. Основываясь на результатах предыдущей задачи покажите, что операторы $P_{\pm} = 1/\sqrt{2} (I \pm \gamma^5)$ можно рассматривать как проекционные операторы. На какие состояния проецируют эти операторы?
15. Доказать, что операция взятия следа двух матриц удовлетворяет всем аксиомам скалярного произведения. Самостоятельно сформулируйте, каким свойствам при этом должны удовлетворять указанные матрицы.
16. Найти явный вид оператора зарядового сопряжения в спиральном и спинорном представлениях.
17. Найти явный вид $v(p, \lambda)$ в спиральном и спинорном представлениях.
18. Найти явный вид операторов пространственной четности P и обращения времени T для спирального и спинорного представлений.
19. Прямыми вычислениями показать, что C – четность электромагнитного тока отрицательна.
20. Показать, что если $A^{\wedge}(S)$ и $A^{\wedge}(H)$ – операторы одной и той же наблюдаемой в представлении Шредингера (S) и представлении Гейзенберга (H) соответственно, то собственные значения обоих операторов совпадают. Как этот факт можно объяснить с физической, а не с математической точки зрения? Обобщите утверждение на произвольное представление (в том числе и на представление взаимодействия).
21. Доказать, что коммутационные соотношения в представлениях Шредингера и Гейзенберга имеют один и тот же вид. Как обобщить данное утверждение на любое другое представление (в том числе и на представление взаимодействия)?
22. Доказать, что распад $\rho^0 \rightarrow \pi^0 \pi^0$ запрещен. Воспользоваться тем, что π^0 – мезоны являются бозонами.
23. Доказать, что из-за бозовости фотонов распад $\rho^0 \rightarrow \gamma\gamma$ запрещен не только за счет электромагнитного взаимодействия (теорема Фарри), но и за счет любого другого взаимодействия.
24. Получить уравнение эволюции для оператора $A^{\wedge}(I)$ некоторой физической величины A в представлении взаимодействия.

ТЕМЫ РЕФЕРАТОВ

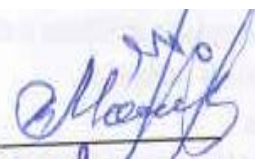
1. Лагранжиан квантовой электродинамики.
2. Особенности квантования калибровочных теорий.
3. Правила Фейнмана для квантовой электродинамики.
4. Методы регуляризации импульсных интегралов.
5. Схемы вычитания расходимостей.
6. Уравнения ренормализационной группы в функциональной и дифференциальной форме.
7. Инвариантный заряд квантовой электродинамики.
8. Ренормгрупповая бета-функция квантовой электродинамики и в рамках теории возмущений.
9. Бегущая константа связи сильного взаимодействия на однопетлевом уровне.
10. Масштабный параметр квантовой электродинамики.
11. Инвариантный заряд квантовой электродинамики в высших петлевых приближениях.
12. Извлечение бегущей константы связи квантовой электродинамики из экспериментальных данных.
13. Кинематика процессов лептон-адронного рассеяния.
14. Глубоконеупругое рассеяние лептонов на нуклонах.
15. Структурные функции, бьеркеновский скейлинг.
16. Дифференциальное сечение глубоконеупругого электрон-протонного рассеяния.

17. Партонные функции распределения и функции фрагментации.
18. Кинематика и сечение процесса электрон-позитронной аннигиляции в адроны.
19. Особенности описания процессов сильного взаимодействия во времениподобной области.
20. Дисперсионное соотношение для адронной функции поляризации вакуума.
21. Дисперсионное соотношение для функции Адлера.
22. Вычисление R-отношения электрон-позитронной аннигиляции в адроны.
23. Специфика описания инклюзивного распада тау-лептона в адроны в рамках теории возмущений.
24. Описание адронного вклада в аномальный магнитный момент мюона.
25. Вычисление адронного вклада в сдвиг постоянной тонкой структуры на масштабе массы Z-бозона.
26. Правила сумм в квантовой электродинамике.
27. Операторное разложение и вакуумные конденсаты. Кварк-адронная дуальность.
28. Кварк-антикварковый потенциал в приближении одноглюонного обмена.
29. Методы регуляризации сингулярных Фурье-преобразований.
30. Модель мешков, граничные условия для кварковых и глюонных полей.
31. Уравнения самодуальности. Индекс Понтрягина.
32. Инстантоны в теории Янга-Миллса и их физическая интерпретация

ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ К ЗАЧЕТУ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ КОНТРОЛЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Предпосылки к созданию квантовой электродинамики.
2. SU(3) симметрия в физике адронов и кварковая модель.
3. Квантовое число "цвет".
4. Неабелевы калибровочные поля.
5. Кварки и глюоны.
6. Локальная калибровочная инвариантность теории.
7. Лагранжиан квантовой хромодинамики.
8. Ковариантные и аксиальные калибровки.
9. Особенности квантования калибровочных теорий.
10. Представление взаимодействия и матрица рассеяния в квантовой хромодинамике.
11. Общие свойства S -матрицы.
12. Теоремы Вика.
13. Правила Фейнмана для квантовой хромодинамики)
14. Техника вычисления петлевых поправок.
15. Методы регуляризации импульсных интегралов.
16. Схемы вычитания расходимостей.
17. Контрчлены и перенормировки.
18. Преобразования Дайсона.
19. Причины расходимостей в квантовой теории поля
20. Перенормировка в глюодинамике.
21. Метод ренормализационной группы.
22. Инвариантный заряд квантовой хромодинамики.
23. Уравнения ренормгруппы в функциональной и дифференциальной форме.
24. Ренормгрупповая бета - функция в рамках теории возмущений.
25. Вычисление бета -функции квантовой хромодинамики в однопетлевом приближении
26. Бегущая константа связи сильного взаимодействия на однопетлевом уровне.
27. Масштабный параметр теории.
28. Инвариантный заряд в высших петлевых приближениях.
29. Извлечение бегущей константы связи квантовой хромодинамики из экспериментальных данных.
30. Пороговые эффекты.

31. Зависимость результатов теории возмущений от схемы вычитания.
 32. Кинематика процессов лептон-адронного рассеяния.
 33. Сечения упругого рассеяния электрона на точечном и реальном протоне.
 34. Глубоконеупругое рассеяние лептонов на нуклонах.
 35. Структурные функции, бьеркеновский скейлинг.
 36. Дифференциальное сечение глубоконеупругого электрон - протонного рассеяния.
- Экспериментальные данные.
37. Партонные функции распределения, функции фрагментации, способы их параметризации.
 38. Операторное разложение и моменты структурных функций.
 39. Уравнение ренормализационной группы для моментов структурных функций и его решение в рамках теории возмущений.
 40. Кинематика и сечение процесса электрон - позитронной аннигиляции в адроны.
 41. Особенности описания процессов сильного взаимодействия во времениподобной области.
 42. Дисперсионное соотношение для адронной функции поляризации вакуума.
 43. Дисперсионное соотношение для функции Адлера.
 44. Вклад сильного взаимодействия в адронную функцию поляризации вакуума.
 45. Вычисление R -отношения в рамках теории возмущений.
 46. Экспериментальные данные и их теоретический анализ.
 47. Хронологическое произведение.
 48. Диаграммы Фейнмана для рассеяния электронов.
 49. Диаграммы Фейнмана для рассеяния фотона.
 50. Электронный пропагатор.
 51. Фотонный пропагатор.
 52. Общие правила диаграммной техники.
 53. Перекрестная инвариантность.
 54. Аномальный магнитный момент мюона. Экспериментальные данные и их теоретический анализ.
 55. Эволюция бегущей константы связи электромагнитного взаимодействия: вычисление сдвига постоянной тонкой структуры на масштабе массы Z -бозона. Экспериментальные данные и их теоретический анализ

Разработчик: к.ф.-м.н., Махмадбегов Р.С. 
 «28» августа 2023г.