

На правах рукописи

*Алиев*

АЛИЕВ ТАХМАСИБ МАМЕД ОГЛЫ

СВОЙСТВА НОВЫХ ЧАСТИЦ В СТАНДАРТНОЙ МОДЕЛИ И  
ЕЕ МИНИМАЛЬНЫХ РАСШИРЕНИЯХ

Специальность 01.04.16 - физика ядра и элементарных частиц

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени доктора

физико - математических наук

Харьков - 1993



00343888 (Y)

Работа выполнена в Институте Физики Академии Наук Украины

## Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук Радюшкин Анатолий  
Владимирович  
(Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна)

доктор физико-математических наук, профессор Рекало  
Михаил Петрович  
(Харьковский физико-технический институт, г. Харьков)

доктор физико-математических наук Ткач Владимир Иванович  
(Харьковский инженерно-педагогический институт, г. Харьков)

## Ведущая организация:

Физический Институт им. П. Лебедева, г. Москва.

Защита докторской диссертации состоится "21" мая 1993 г.  
в 15 час. на заседании Специализированного Совета Д 053. 06. 01  
при Харьковском государственном университете  
(310108, ГСП, Харьков, прос. Курчатова, д. 31, аудитория 301).

С диссертацией можно ознакомиться в центральной научной  
библиотеке ХГУ.

Автореферат разослан "20" апреля 1993 года.

Ученый секретарь  
Специализированного Совета

В. Я. Лепкин

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Создание стандартной модели (СМ) - перенормируемой квантовой теории поля, основанной на спонтанно нарушенной калибровочной  $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$  симметрии и экспериментальное подтверждение ее основных положений, в первую очередь открытие переносчиков слабого взаимодействия  $W$  - и  $Z$  - бозонов явилось наиболее крупным достижением физики элементарных частиц последних десятилетий. Как известно, СМ включает в себя модель электрослабого взаимодействия Глэшоу - Вайнберга - Салама и квантовую хромодинамику (КХД) - теорию сильного взаимодействия.

Согласно СМ фундаментальными полями материи являются точечные лептоны и кварки, которые взаимодействуют посредством векторных полей глюонов, фотонов,  $W$  - и  $Z$  - бозонов. Неотъемлемой частью модели являются хиггсовские бозоны, которые ответственны за возникновение масс фермионов,  $W$  - и  $Z$  - бозонов.

К настоящему времени открыты практически все фундаментальные объекты СМ, за исключением  $t$  - кварка и хиггсовского бозона ( $H^0$ ). По современным теоретическим представлениям масса  $t$  - кварка лежит в области  $(150 \pm 30)$  ГэВ, экспериментальные данные коллаборации CDF, а также данные по  $B - \bar{B}$  смешиванию приводят к следующему ограничению на массу  $t$  - кварка:  $m_t > 89$  ГэВ. Эта область в ближайшем будущем будет подвергаться экспериментальному анализу на  $Spp\bar{S}$  коллайдере во ФНАЛе.

В отличие от масс  $W$  - и  $Z$  - бозонов, СМ не предсказывает массу  $H^0$  - бозона, но существуют теоретические аргументы, что она лежит в интервале от нескольких ГэВ до 1 ТэВ. Экспериментальное открытие  $H^0$  - бозона означало бы полный триумф калибровочных теорий, основанных на идее спонтанного нарушения калибровочной симметрии. Отметим, что ТэВный масштаб энергии будет доступен изучению на  $e^+e^-$  и  $pp$  коллайдерах следующего поколения (УНР, SSC, ВЛЭПП, CLIC, JLC), для которых поиск  $H^0$  - бозона является одной из первостепенных задач.

Несмотря на то, что стандартная модель позволяет описать (качественно и количественно) практически всю совокупность существующих экспериментальных данных, остается целый ряд проблем, которые не находят своего решения в ее рамках: нарушение Р-четности вводится "руками" за счет асимметричного выбора левых и правых фермионных изомультиплетов, проблема семейств, проблема масс и углов смешивания матрицы Кобаяши - Маскавы (КМ), CP нарушение и т. д.

Эти трудности указывают на то, что СМ является скорее всего низкоэнергетическим проявлением более фундаментальной теории.

Далее, СМ, точнее ее КЭД часть, не является асимптотически свободной теорией, так как при высоких энергиях константа связи становится большой, и теория возмущений перестает работать. Хотя указанный масштаб на много порядков превышает планковский, это соображение также может служить косвенным указанием на существование более фундаментальной теории.

Наконец, следует особо отметить проблему "натуральности", т. е. нестабильности механизма Хиггса по отношению к квадратично расходящимся вакуумным флуктуациям скалярных полей, решение которой требует существования новой физики в масштабе от 1-10 Тэв. Действительно, радиационные поправки к массе хиггса приводят к

$$\delta m_H^2 \sim O(\alpha/\pi)\Lambda^2 \quad (1)$$

где  $\Lambda$  - некий энергетический масштаб. Чтобы это выражение было осмысленным в рамках теории возмущений, (1) должно быть меньше, чем  $m_W$ , поскольку  $W$  является естественным масштабом слабого взаимодействия. Таким образом

$$O(\alpha/\pi)\Lambda^2 \leq m_W^2$$

следовательно

$$\Lambda \leq m_W/\sqrt{\alpha} \quad (2)$$

Более консервативная оценка масштаба получается из следующих соображений. Как известно, при  $m_H > 1$  Тэв взаимодействие в секторе

H-, W- и Z- бозонов становится сильным, и теория возмущения перестает работать. По этой причине в (2) вместо  $m_w$  должно входить 1 Тэв. В любом случае для "естественного" решения проблемы "натуральности" с необходимостью должна существовать "новая" физика в масштабах 1-10 Тэв.

Вышеуказанные проблемы SM могут найти свое решение только за ее пределами. Многообразие различных возможностей выхода за рамки стандартной модели можно свести к следующим основным направлениям:

1. Расширение калибровочного сектора стандартной модели со специально подобранным фермионным и хиггсовским сектором. Это направление тесно связано с так называемыми теориями Великого объединения (ТВО). Такие теории были введены с целью объединения сильного и электрослабого взаимодействия в рамках одной калибровочной группы. Отметим, что ТВО предсказывает целый ряд новых явлений: нестабильность протона, n-n осцилляции и т. д. Одним из веских доводов в пользу ТВО является возможность описания в их рамках барионной асимметрии Вселенной.

В последние годы особую популярность приобрела  $E_6$  теория Великого объединения, что связано с развитием теории суперструны (см. следующий пункт). Отметим здесь следующие важные особенности  $E_6$  теории:

а) В низкоэнергетическом пределе предсказывается существование по крайней мере одного дополнительного Z-бозона.

б) Фермионы одного семейства входят в фундаментальное представление 27-плет, то есть предсказывается существование новых частиц, т. к. одно семейство SM включает в себя 15 киральных фермионов.

2. Суперсимметричное обобщение SM (СУСИ). Нетривиальным моментом в таких теориях является симметрия между бозонами и фермионами. Другими словами, такие теории объединяют внутренние и пространственно - временные симметрии. Как следствие, СУСИ теории предсказывают существование новых частиц, которые являются партнерами обычных частиц и отличаются от них спином  $1/2$ , то есть, каждой частице спина  $J$  соответствует частица спина  $J \pm 1/2$  с теми же внутренними квантовыми числами. При этом фермионные и бозонные степени свободы должны быть равными друг другу. Вышеуказанные свойства СУСИ

теорий приводят к естественному решению проблемы "натуральности", так как фермионы и бозоны входят в теорию симметрично и дают одинаковые по величине вклады в  $\delta m_N^2$ , но с разными знаками.

В отличие от СМ в СУСИ теориях необходимо ввести как минимум два хиггсовских дублета. Причина здесь в том, что в СМ с помощью операции зарядового сопряжения удается придать массы как верхним, так и нижним фермионам. В случае СУСИ теории специфика построения лагранжиана взаимодействия не допускает введения зарядового - сопряженных мультиплетов. Удвоение хиггсов приводит к появлению новых физических хиггсов и их суперсимметричных партнеров с  $J=1/2$ .

Если в теории нет членов, явно нарушающих фермионное число, то она обладает так называемой R инвариантностью, которая определяется выражением  $R=(-1)^{2j+3B+L}$ , где  $j$  - спин частицы,  $B$  и  $L$  - ее барионное и лептонное число, соответственно. Из определения следует, что обычные частицы имеют  $R=1$ , а их СУСИ партнеры  $R=-1$ . Сохранение R - четности имеет два важных следствия: а) суперсимметричные частицы должны рождаться парами; б) наилегчайшая СУСИ частица абсолютно стабильна.

Суперсимметричные расширения СМ обладают наибольшей предсказательной силой среди других теорий. Тип частицы, их взаимодействия, константы связи однозначно фиксируются структурой выбранной модели. Вся неопределенность связана с нарушением суперсимметрии и порождаемым этим нарушением спектром масс.

Отметим также следующие важные особенности СУСИ теорий: СУСИ-обобщение ТВО приводит к изменению предсказаний относительно времени жизни и мод распада протона. В ряде моделей доминирующим оказывается распад с испусканием К мезона  $p \rightarrow k^+ \gamma$ . В СУСИ теориях появляется потенциально новый источник недиагональных токов - обмен глюино.

Следующим крупным достижением физики элементарных частиц последних лет является построение суперструнных теорий, основанных на калибровочной  $SO(32)$  - или  $E_8 \times E_8$  - группе в 10 - мерном пространстве, которые претендуют на роль единой теории всех видов взаимодействия, включая и гравитацию. В наиболее популярных сценариях  $E_8 \times E_8$  - суперструнные теории после компактификации на планковском масштабе эффективно сводятся к  $E_6$  - теории Великого Объединения с  $N=1$  суперсимметрией.

3. Составные модели кварков, лептонов, H - бозонов, калибровочных W - и Z - бозонов, обсуждение которых не входит в круг задач, рассматриваемых в данной диссертации.

Как отмечалось выше, все эти направления предсказывают существование целого спектра новых частиц и взаимодействий в Тэвной области. Таким образом, имеются два главных направления физических исследований в Тэвной области:

- проверка стандартной модели;
- поиск "новой" физики.

Что касается первого направления, то для КХД это решение проблемы конфайнмента, более детальное исследование свойств адронов (формфакторы, ширин распадов и т. д.), а в электрослабом секторе это поиск t - кварка и H - бозона (а, возможно, и четвертого семейства), а также проверка предсказаний СМ с учетом радиационных поправок.

Поиск "новой" физики должен осуществляться по двум путям. Во-первых, прямое наблюдение новых частиц и взаимодействий на коллайдерах высоких энергий. Во-вторых, поиск отклонений от предсказаний СМ в "низкоэнергетической" физике (косвенные проявления).

Оба эти направления составляют предмет исследования настоящей диссертационной работы.

Целью работы является развитие метода правил сумм КХД и расширение области их применения, а также изучение минимальных расширений СМ и их экспериментальных следствий.

#### Новизна работы.

1. Правила сумм КХД впервые применены к исследованию свойств тензорных мезонов, радиационных распадов тяжелых мезонов  $Z_c$ ,  $\psi/\psi'$ ,  $Z_c'$ , лептонных и полулептонных распадов D и B мезонов и распада  $\pi \rightarrow e\nu\gamma$ . Впервые вычислены массы тензорных мезонов  $f_1$ ,  $a_2$  и  $a_3$  мезонов, дано теоретическое обоснование вырождения по массе между  $f_1$  и  $a_2$  и относительное утяжеления  $a_3$  - мезона, а также определена константа распада  $f_1 \rightarrow \pi\pi$ . Развита метод, учитывающий степенные поправки для описания радиационных переходов в чармонии ( $Z_c \rightarrow 2\gamma$ ,  $\psi/\psi' \rightarrow Z_c$  и т. д.). В рамках релятивистских правил сумм предсказаны константы лептонных распадов D и B мезонов:  $\Gamma_D = 170$  Мэв,  $\Gamma_B = 130$  Мэв. Вычислены формфакторы полулептонных распадов  $D \rightarrow K e\nu$ ,  $D \rightarrow K^* e\nu$  и  $D \rightarrow \pi e\nu$

и найдены ограничения на элементы  $V_{es}$  и  $V_{cd}$  матрицы КМ. Предложен новый метод для вычисления аксиального формфактора распада  $\pi \rightarrow e \nu \gamma$

2. Детально исследован целый класс процессов рождения новых частиц, предсказываемых суперсимметричными и суперструнными теориями, на вращечных  $e^+e^-$  и  $\gamma e^-$  пучках высоких энергий:  $e^+e^- \rightarrow \tilde{\nu} \tilde{\nu} \gamma$ ,  $e^+e^- \rightarrow n \tilde{\mu} \tilde{\mu}$ ,  $e^+e^- \rightarrow Z' e^+ e^-$ ,  $e^+e^- \rightarrow e^+ u^c D$ ,  $e^+e^- \rightarrow e^+ \tilde{u}^c D$ ,  $\gamma e^- \rightarrow Z' e^-$ ,  $\gamma e^- \rightarrow \tilde{D} u^c$ ,  $\gamma e^- \rightarrow \tilde{D} \tilde{u}^c$ ,  $\gamma e^- \rightarrow \chi_i^- \tilde{\nu}$ ,  $\gamma e^- \rightarrow \chi_i^0 \tilde{e}^-$ , где  $\tilde{\nu}$  ( $\tilde{\mu}$ ) - скалярное нейтрино (мюон),  $Z'$  - дополнительный нейтральный калибровочный бозон,  $\tilde{D}(D)$  - скалярный (фермионный) лептокварк,  $\chi_i^-$  ( $\chi_i^0$ ) - заряженные (нейтральные) калибрино,  $\tilde{e}$  - скалярный электрон. Показано, что изучение поляризаационных характеристик может сыграть весьма существенную роль при идентификации этих частиц, а исследование энергетического спектра конечного электрона является эффективным инструментом для определения масс лептокварков и дополнительного Z-бозона.

3. Изучены эффекты суперсимметричных частиц и 4-поколения в редких распадах В мезонов:

$$B \rightarrow K^+ \pi^-, K\bar{0}, K^{*0} \bar{0}, K_s^0 \bar{0}, \Phi\bar{\Phi}, \Phi\bar{\Phi}, K^{*-} \bar{0}, K^+ \rho^-, K^{*+} \pi^-, K^* \gamma.$$

Показано, что в ряде случаев вклад суперсимметричных частиц в амплитуду распада превышает вклад обычных частиц. Проведен анализ асимметрии, характеризующей CP нарушение. Получены ограничения на массы суперсимметричных частиц, которые вполне конкурируемы с прямыми ограничениями, полученными из экспериментов на коллайдерах высоких энергий.

4. Впервые в рамках СУСИ теории вычислены аномальные магнитный и квадрупольный момент W бозона, аномальный магнитный момент нейтрино и ширина распада  $Z \rightarrow n \gamma$ .

5. Рассмотрена возможность поиска нового легкого калибровочного бозона X в распадах  $K^+ \rightarrow \pi^+ X$  и  $Z \rightarrow \gamma X$ .

#### Научная и практическая значимость.

Все результаты, полученные в диссертации, имеют экспериментально проверяемые следствия, которые могут стимулировать соответствующие исследования как на действующих, так и на планируемых ускорителях. В частности, теоретические предсказания относительно свойств мезонов, содержащих c- и b- кварки, могут быть использованы при составлении программ физических исследований на c и b фабриках.

Экспериментальные исследования предсказаний относительно редких распадов В- мезонов, в том числе планируемые на МС, могут дать ценную информацию о возможном существовании суперсимметрии и четвертого поколения. Полученные результаты относительно свойств новых частиц на поляризованных  $e^+e^-$  - и  $J$ e - пучках могут проверяться на  $e^+e^-$  - коллайдерах нового поколения (ВЛЭПП, CLIC, JLC) и оказаться полезными при выборе приемлемой СУСИ и суперструнной модели. Результаты диссертации могут быть предметом постановки экспериментов по поиску нового легкого нейтрального калибровочного бозона.

Основные положения и результаты, выносимые на защиту.

1) Теоретическое описание свойств тензорных мезонов  $f, a_2$  и  $a_3$  в рамках правил сумм КХД.

2) Вычисление ширины распада  $Z_c \rightarrow ZJ$  с учетом степенных поправок с целью проверки рецепта Appelqvista - Полицера.

3) Развитие количественного метода в радиационных переходах

$$Z/\psi \rightarrow ZcJ, \psi' \rightarrow ZcJ, \psi' \rightarrow Zc'J, Z_c' \rightarrow Z/\psi J.$$

4) Определение константы лептонных распадов псевдоскалярных D и В мезонов.

5) Анализ полулептонных распадов  $D \rightarrow KeJ, K^* \rightarrow eJ, \pi eJ$  и определение элементов матрицы КМ  $V_{cs}, V_{cd}$ , описывающие переходы очарованного кварка в странный и d-кварк.

6) Предсказание аксиального формфактора радиационного перехода  $\pi \rightarrow eJ$ .

7) Обоснование экспериментов по поиску нового, легкого, нейтрального калибровочного бозона X в распадах  $K^+ \rightarrow \pi^+ X, Z \rightarrow JX$ .

8) Расчет сечений рождения скалярных нейтрино в  $e^+e^-$  аннигиляции и сечений рождения хиггсовского бозона в СУСИ теориях.

9) Анализ образования СУСИ частиц на поляризованных  $J$ e-пучках.

10) Анализ свойств дополнительного бозона и лептокварков на поляризованных  $J$ e-пучках.

11) Изучение процессов одиночного рождения дополнительного калибровочного бозона и лептокварков на будущих  $e^+e^-$  пучках.

12) Исследование косвенных проявлений дополнительного Z бозона и лептокварков на будущих  $e^+e^-$  коллайдерах.

13) Вычисление вклада СУСИ частиц в распаде  $Z \rightarrow nJ$ .

- 14) Изучение редкого распада  $B \rightarrow K^* \ell$  в стандартной и СУСИ теориях.
- 15) Обоснование путей поиска СУСИ в редких распадах В-мезонов.
- 16) Исследование CP нарушения в редких распадах В-мезонов.
- 17) Изучение эффектов 4-поколения и СУСИ частиц в редких распадах В-мезонов.
- 18) Определение аномального магнитного и квадрупольного момента W бозона в СУСИ теориях.
- 19) Исследование электромагнитных свойств нейтрино в СУСИ теориях.

Полнота опубликованных результатов диссертации.

Материалы работ, результаты которых обобщены в диссертации, представлялись на Международных конференциях по физике элементарных частиц и атомного ядра: Гамбург (ФРГ, 1988), Париж (Франция, 1988), Триест (Италия, 1989, 1990), Москва (СССР, 1986, 1990, 1991), Стамбул (Турция, 1989, 1992), - на Всесоюзных конференциях и семинарах: Москва (1982, 1985, 1989, 1991), Баку (1984, 1987), Киев (1986) и опубликованы в отечественных и зарубежных изданиях [1 - 26].

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, приложений и списка цитируемой литературы из 208 наименований, общим объемом 245 страниц машинописного текста. Диссертация содержит 78 рисунков и 8 таблиц.

## СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении дается краткий обзор современного состояния физики элементарных частиц, обосновывается актуальность рассматриваемых в диссертации задач, кратко излагается содержание диссертации.

Первая глава посвящена исследованию свойств тензорных  $f, a_2$  и  $a_3$ -мезонов, теоретическому изучению радиационных распадов тяжелых  $Z_c, \psi, \psi', Z_c'$  мезонов, лептонных и полулептонных распадов D и B мезонов и распада  $\pi \rightarrow e\nu\gamma$ . §1 носит вспомогательный характер и посвящен описанию основных технических моментов правила сумм, которые используются в следующих параграфах. В §2 определены массы тензорных  $f, a_2$  и  $a_3$  мезонов:  $m_f \approx m_{a_2} = 1,25$  Гэв,  $m_{a_3} = 1,63$  Гэв, что находится в хорошем согласии с экспериментом:  $m_f = 1,27$  Гэв,  $m_{a_2} = 1,32$  Гэв,  $m_{a_3} = 1,66$  Гэв. Дано теоретическое объяснение вырождения по массе  $f$  и  $a_2$  и относительного утяжеления  $a_3$ -мезона. Теоретически определена константа распада  $f \rightarrow \pi\pi$ . В §3 вычислены ширины распадов  $\psi/\psi' \rightarrow Z_c\gamma, \psi' \rightarrow Z_c'\gamma, Z_c' \rightarrow \psi/\psi\gamma, \psi' \rightarrow Z_c'$  с учетом степенных поправок, получены надежные теоретические предсказания и проведен сравнительный анализ с экспериментом для ширин рассматриваемых распадов. Показано, что степенные поправки составляют 15 - 20 % от вклада пертурбативной части. В §4 изучен распад  $Z_c \rightarrow 2\gamma$ , вычислен вклад степенных поправок, связанных с глюонным конденсатом и показано, что они составляют 10 - 15 % от вклада пертурбативной части, и, следовательно, даже при учете степенных поправок к распаду  $Z_c \rightarrow 2\gamma$ , расхождение между экспериментом и теоретически вычисленной шириной распада  $\Gamma(Z_c \rightarrow \text{agr})$  по рецепту А - П все же остается.

В §5 в рамках релятивистических правил сумм найдены значения лептонных констант D и B мезонов:  $\Gamma_D = 170$  Мэв,  $\Gamma_B = 130$  Мэв, и проведен сравнительный анализ с результатами других авторов.

В §6 детально исследованы полулептонные распады  $D \rightarrow Ke\nu, D \rightarrow K^*e\nu, D \rightarrow \pi e\nu$ . Вычислены формфакторы этих распадов и проведен сравнительный анализ с экспериментальными данными. Используя найденные значения формфакторов, получены ограничения на элементы матрицы КМ  $V_{cs}, V_{cd}$  описывающие переходы очарованного кварка в странный и

d-кварк:  $|V_{cs}| > 0.75$ ,  $0.19 < |V_{cd}| < 0.28$ . Теоретически определено поляризационное свойство  $K^*$ -мезона, которое характеризуется отношением ширин распада D мезона в состоянии с продольной и поперечной поляризацией  $K^*$  мезона.

В §7 вычислен аксиальный формфактор распада  $\pi \rightarrow e\nu\gamma$  с помощью предложенного нами нового метода и найдено значение  $\gamma = F_A(0)/F_V(0) = 0.6 \pm 0.15$ , которое хорошо согласуется с экспериментом.

Вторая глава посвящена изучению возможности поиска легкого нейтрального калибровочного бозона X в распадах  $K^+ \rightarrow \pi^+ X$  и  $Z \rightarrow \gamma X$ .

В §1 подробно исследуется возможность поиска X-бозона в распаде  $K^+ \rightarrow \pi^+ X$ , детальное теоретическое изучение которого стимулировано в связи с постановкой новых чувствительных экспериментов в Брукхейвенской Национальной Лаборатории (BNL). Проведен анализ возможного вида лагранжиана взаимодействия X-бозона с кварками, вычислена эффективная sdx вершина и в пределе ЧСАТ для K-мезона оценен вклад аннигиляционных диаграмм в матричный элемент распада. Показано, что если  $U'(1)$  заряды u- и d-кварков равны единице и константа связи X-бозона с кварками  $g'_X > 10^{-3}$ , то распад  $K^+ \rightarrow \pi^+ +$  "ничто" можно обнаружить в экспериментах BNL.

В §2 вычислена ширина распада  $Z \rightarrow \gamma X$ . Этот распад представляет особый интерес в связи с тем, что при  $m_X \ll m_Z$ , ширина распада содержит фактор усиления  $(m_Z/m_X)^2$ , связанный с продольной поляризацией X-бозона. Используя ограничения на массу и константу связи X-бозона, полученные из модельно-независимого анализа, показано, что частичная ширина может быть большая (~4%). Отмечено, что с экспериментальной точки зрения для поиска X-бозона самым подходящим является поиск пика в фотонном спектре распада  $Z \rightarrow \gamma +$  "все".

В третьей главе исследован целый класс процессов рождения новых частиц, а также их косвенные проявления, которые предсказываются суперсимметричными и суперструнными теориями, на встречных  $e^+e^-$  и  $\gamma e^-$  пучках высоких энергий.

В §1 изучен процесс  $e^+e^- \rightarrow \tilde{\nu} \tilde{\nu} \gamma$  (где  $\tilde{\nu}$  здесь и в дальнейшем будет означать суперсимметричных партнеров обычных частиц), изучение которого стимулировалось экспериментами по поиску рождения одиночных фотонов на установке ASP. Проведены подробные исследова-

ния энергетико-углового распределения, энергетического спектра фотонов и полного сечения процесса применительно к условиям эксперимента. Используя экспериментальные ограничения на полное сечение процесса, найдено ограничение на массу  $m_{\tilde{W}}$  в зависимости от массы скалярного нейтрино.

В S2 исследовано ассоциативное рождение хиггсовского бозона на  $e^+e^-$  коллайдерах. Показано, что при  $\sqrt{s} > 1$  Тэв полное сечение процесса  $e^+e^- \rightarrow H\tilde{\mu}\tilde{\mu}$  примерно на 2 порядка превышает сечение стандартного процесса  $e^+e^- \rightarrow H\mu^+\mu^-$ , что связано с "выживанием" продольного компонента Z-бозона. Далее получено, что в рассматриваемых процессах спиновая асимметрия и эффект поляризации одного из начальных пучков отличается знаком, что может быть полезным для поиска суперсимметрии.

В S3 изучено одиночное рождение дополнительного Z-бозона и лептокварков в  $e^+e^-$  аннигиляции при  $\sqrt{s} = 2$  Тэв. Детально изучен энергетический спектр конечного электрона и показано, что изучение смещения максимума в энергетическом спектре является весьма эффективным инструментом для определения массы нового Z-бозона и лептокварков.

В S4 рассмотрены процессы рождения СУСИ частиц на поляризованных встречных  $\gamma e$ -пучках высоких энергий и показано, что сечения изучаемых процессов весьма чувствительны к поляризации начальных частиц.

В S5 и S6 исследованы возможности образования дополнительного Z-бозона и лептокварков на встречных поляризованных  $\gamma e$ -пучках. Показано, что поляризационные эффекты могут быть подходящим инструментом для определения массы этих частиц, а также для выбора приемлемой модели.

В S7 изучены возможные косвенные проявления Z-бозона и лептокварков на поляризованных  $e^+e^-$ -пучках (коллайдеры LEP II, ВЛЭП III и CLIC). Получено, что подходящей величиной для поиска Z-бозона является изучение полного сечения процесса  $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$ , а для лептокварков асимметрия вперед-назад -  $A_{FB}$ .

Четвертая глава посвящена поиску суперсимметрии в редких распадах B-мезонов.

В §1 исследованы распады  $B \rightarrow K\Phi$ ,  $K^+\pi^-$ ,  $\Phi_2^0$  и показано, что вклад СУСИ частиц в амплитуду рассматриваемых распадов превышает вклады обычных частиц. Найдены ограничения на массы СУСИ частиц:  $m_{\tilde{g}} \geq 47$  Гэв,  $m_{\tilde{q}} > 73$  Гэв.

В §2 рассмотрен распад  $B \rightarrow K^*\gamma$  в СМ и СУСИ теориях. Вычислен формфактор распада и, используя экспериментальное ограничение на  $BR(B \rightarrow K^*\gamma)$ , найдены ограничения на массы СУСИ частиц, согласующиеся с ограничениями, известными из коллайдерных экспериментов.

В §3 исследованы распады  $B \rightarrow K\Phi$ ,  $K^*\Phi$ . Показано, что в случаях СМ и ее суперсимметричного обобщения, CP-нарушающая асимметрия меньше 1%, но при учете вклада четвертого поколения она достигает 30%. В этом случае учет СУСИ меняет знак асимметрии, что может служить тестом для установления СУСИ в природе.

В §4 с учетом влияния формфакторов изучена асимметрия  $A$ , характеризующая CP нарушения, в распадах  $B \rightarrow K^+\pi^-$ ,  $K^+\rho^-$ ,  $K^+\pi^-$ . Показано, что асимметрия весьма чувствительна к импульсу глюона и учет вклада СУСИ незначительно меняет результат.

В пятой главе исследованы косвенные проявления СУСИ частиц в свойствах промежуточных бозонов и нейтрино.

В §1 в рамках СУСИ теорий вычислен вклад СУСИ частиц в аномальные магнитный и квадрупольный моменты W-бозона и показано, что они составляют  $\sim 25\%$  и  $\sim 70\%$  вклада СМ, соответственно.

В §2 вычислен аномальный магнитный момент нейтрино в СУСИ теориях и показано, что вклад СУСИ частиц составляет 50% вклада СМ.

В §3 вычислен вклад СУСИ частиц в распад  $Z \rightarrow H\gamma$  и показано, что вклад СУСИ частиц уменьшает ширину распада и их вклада, и их вклады составляют  $\sim 25\%$  вклада СМ.

В заключении приводятся основные результаты и выводы, полученные в диссертации.

#### Основные публикации по теме диссертации

1. T. M. Aliev, M. A. Shifman. Old tensor mesons in QCD sum rules. Phys. Lett. 112B, 401 - 405 (1982).
2. T. M. Aliev. The  $J/\psi \rightarrow Z_c \gamma$  decay in QCD sum rules. Zeit. fur Phys. C26, 275 - 278 (1984).

3. Алиев Т. М. Распад  $Z_c \rightarrow ZJ$  и степенные поправки, ЯФ, т. 37, вып. 2, стр. 403 - 407, 1983.
4. Т. М. Алиев, В. Л. Елещкий. О константах лептонных распадов псевдоскалярных D и B-мезонов. ЯФ, т. 38, вып. 12, 1537 - 1541 (1983).
5. Т. М. Алиев, В. Л. Елещкий, Я. И. Коган. Вычисление формфактора перехода  $D \rightarrow K e \bar{\nu}$  и элемент матрицы Кобаяши - Маскавы ЯФ, т. 38, вып. 4, 936 - 941 (1983).
6. T. M. Aliev, A. A. Ovchinnikov and V. A. Slobodenyuk. Decay  $\Phi \rightarrow Ke \bar{\nu}$ ,  $D \rightarrow K^* e \bar{\nu}$ ,  $D \rightarrow \pi e \nu$  in QCD sum rules method. Prepr. ICTP 89/382 Trieste, 1989, p. 1 - 14.
7. T. M. Aliev, A. A. Ovchinnikov. Formfactor of radiative pion decay in QCD. Modern phys. Lett. vol. 6, N = 25, p. 2327 - 2334 (1991).
8. T. M. Aliev, M. I. Dobroliubov, A. Yu. Ignatiev. The decay  $K \rightarrow \pi X$  in  $SU(2) \times U(1) \times U'(1)$  gauge theories. Nucl. Phys. B335, p. 311 - 333 (1990).
9. T. M. Aliev, M. I. Dobroliubov. Search new gauge boson in radiative decay  $Z \rightarrow J X$ . Phys. Lett. B271, 145-147 (1991).
10. T. M. Aliev, M. I. Dobroliubov, Ignatiev A. Yu. Do kaon decays constrain the fifth force? - Phys. Lett. B221, 151 - 158 (1990).
11. Т. М. Алиев, Х. А. Мустафаев, Ф. Т. Халил-гаде. Радиационное рождение скалярных нейтрино в  $e^+ e^-$  аннигиляции. ЯФ, т. 46, вып. 3, 858 - 863 (1987).
12. Т. М. Алиев, Ф. Т. Халил-гаде. Рождение хиггсовского бозона на поляризованных встречных  $e^+ e^-$  пучках и суперсимметрия. ЯФ, т. 48, вып. 5, 1461 - 1466 (1988).
13. Т. М. Алиев, А. А. Байрамов. Одиночные рождения дополнительного  $Z'$  - бозона и лептокварков в будущих  $e^+ e^-$  коллайдерах. ЯФ, т. 52, вып. 10, 1082 - 1094 (1990).
14. Т. М. Алиев, Н. А. Гулиев, Х. А. Мустафаев. Рождение дополнительного Z - бозона на поляризованных  $J e$  -пучках. ЯФ, т. 50, вып. 4, 1078 - 1083 (1989).
15. Т. М. Алиев, Х. А. Мустафаев. Рождения лептокварков на поляризованных  $J e$  -пучках. ЯФ, т. 53, вып. 3, 771 - 776 (1991).

16. Т. М. Алиев, М. И. Добролюбов. Поиск новых  $Z'$ -бозонов и лептокварков на будущих  $e^+ e^-$  коллайдерах. ЯФ. т. 50, вып. 5, 1392 - 1397 (1989).  
T. M. Aliev, M. I. Dobroliubov. Searching for new  $Z'$ -bosonz and leptoquarks at future  $e^+ e^-$ -colliders. Mod. Phys. Lett. A4, p. 1521 - 1530 (1989).
17. Алиев Т. М., Х. А. Мустафаев, С. Ф. Султанов, Халил-заде Ф. Т. Рождение суперсимметричных частиц на поляризованных  $J e$ -пучках, - Препр. ИФАН N 325, Баку, 1989, с. 1 - 16.
18. Т. М. Алиев, М. И. Добролюбов. Поиск суперсимметрии в редких распадах В-мезонов. Письма в ЖЭТФ. т. 51, вып. 2, 78 - 81 (1990).  
T. M. Aliev, M. I. Dobroliubov. Looking for supersymmetry in rare B-meson decays. Phys. Lett. B227, 573 - 576 (1990).
19. Aliev T. M. Search for CP violation in rare B-meson decays, Nuovo Cimento A, vol. 104A, N=7, p. 1025 - 1034 (1991).
20. Aliev T. M., Yilmaz O. Fourth generation and SUSY effects on CP violation in rare  $B \rightarrow K^* \Phi$ ,  $K^* \Phi$  transitions., - Phys. Lett., 1991, vol. 257B, N = 2, p. 91 - 98.
21. T. M. Aliev, A. A. Ovchinnikov, V. A. Slobodenyk. Rare decay  $B \rightarrow K^* J$  in standard and supersymmetric models. Phys. Lett. 237B, 569 - 572 (1990).
22. Aliev T. M. Anomalous magnetic and quadrupole moments of the W boson in SUSY theories., - Phys. Lett., 1985, vol. 155B, N = 5,6, p. 365 - 368.
23. Aliev T. M., Vysotsky M. I. Neutrino electrodynamics, Prepr. ITP N 37, Moscow, 1981, p. 1 - 21.
24. Алиев Т. М., Высоцкий М. И. О возможности регистрации реликтовых нейтрино от распада фотонов во Вселенной., - УФН, 1981, т. 135, вып. 12, с. 709 - 716.
25. Алиев Т. М. Электромагнитные свойства нейтрино в суперсимметричных теориях, - ЯФ, 1985, т. 44, вып. 4, с. 1043 - 1046.
26. Алиев Т. М., Касумзаде Ю. М. Рождение хиггсовского бозона в  $Z \rightarrow H J$  в СУСИ теориях, - ЯФ, т. 48, вып. 2, с. 464 - 467 (1988).

Институт физики им. В. Стефанова  
АН Удмуртской Респ.

Подп. к печ. *06.04.93* Формат  $60 \times 84^{1/16}$ . Бумага тип. Печать офсетная. Усл. печ. л. *10*.  
Уч.-изд. л. *10* Тираж *100* экз. Зак. № *1093*. Бесплатно.

---

Харьковское межвузовское арендное полиграфическое предприятие.  
310093, Харьков, ул. Свердлова, 115.





AB 27.213