

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ГОС.КОМИТЕТА ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ СССР

На правах рукописи
УДК 530.145

ИОАНИСЯН АРА НИКОЛАЕВИЧ

НАРУШЕНИЕ СИММЕТРИИ, ВРЕМЯ ЖИЗНИ ПРОТОНА
И МАССЫ ЧАСТИЦ В ОБЫЧНОЙ И СУПЕРСИММЕТРИЧНОЙ
ТЕОРИИ ВЕЛИКОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ $SO(10)$

Специальность: 01.04.02 - Теоретическая и
математическая физика

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

ЕРЕВАН-1987

Работа выполнена в Ереванском физическом институте

Научные руководители: член-корр. АН АрмССР, доктор физико-математических наук, профессор
МАТИНЯН С.Г.,
кандидат физико-математических наук
АСАТРЯН Г.М.

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,
профессор АНСЕЛЬМ А.А.
(Ленинградский институт ядерной физики
им. Б.П.Константинова АН СССР),
кандидат физико-математических наук
БЕРЕЖИАНИ З.Г.
(Институт физики АН ГССР)

Ведущая организация: Институт физики высоких энергий
(Серпухов)

Защита состоится " _____ " _____ 1987 г. в 14⁰⁰ на заседании Специализированного совета Д.034.03.01 при Ереванском физическом институте (375036, г. Ереван, ул.Маркарян, д.2).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Ереванского физического института.

Автореферат разослан " _____ " _____ 1987 г.

Ученый секретарь
Специализированного совета
кандидат физ.-мат.наук

В.А. Шахбазян

ШАХБАЗЯН В.А.

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. За последние два десятилетия достигнут существенный прогресс в понимании динамики взаимодействий элементарных частиц.

Успехи КХД и модели Вайнберга-Салама породили стремление построить теорию поля, основанную на идее неабелевой внутренней симметрии и объединяющую сильные, слабые и электромагнитные взаимодействия. Это позволило бы привести к уменьшению числа свободных параметров теории. Впервые предложенная теория великого объединения (ТВО) была основана на группе $SU(5)$. Указанная модель наряду с правильным предсказанием значения $\sin^2 \theta_w$ отношения масс b кварка и Σ лептона, объяснением квантования заряда предсказала слишком короткое время жизни протона, а потому оказалась неудовлетворительной.

ТВО, основанная на группе $SO(10)$, обладая всеми достоинствами модели, приведенной выше, имеет ряд существенных преимуществ: позволяет поместить в одно представление все известные фермионы одного поколения; благодаря существованию промежуточных симметрий позволяет также получить большой масштаб объединения и, таким образом, увеличить предсказываемое время жизни протона; наличие более высокой лево-правой симметричной подгруппы предоставляет возможность получить новые, по сравнению с $SU(5)$, соотношения, связывающие углы смешивания с массами фермионов.

На основании изложенного представляется необходимым изучение в ТВО $SO(10)$ масс фермионов и углов смешивания, иерархии масс фермионов и масштабов нарушения калибровочных симметрий, а также вопроса времени жизни протона.

Суперсимметрия – симметрия между фермионами и бозонами, по-видимому, решает проблему иерархии масштабов нарушений калибровочных симметрий, которая существует в ТВО. В связи с этим представляется интересным рассмотрение нарушений симметрии $SO(10)$, промежуточной симметрии, суперсимметрии и симметрии $SU(2)_L \times U(1)_Y$.

Цель и задачи работы. Основной целью работы является исследование обычных и суперсимметричных ТВО, основанных на группе $SO(10)$, в направлении решения следующих задач:

- изучение масс фермионов и углов смешивания в ТВО $SO(10)$;
- исследование проблемы иерархии масс тяжелых кварков, существующей в теории с лево-правой промежуточной симметрией;
- расчет времени жизни протона в ТВО $SO(10)$;
- построение суперпотенциала, вызывающее самосогласованное нарушение $SO(10)$ калибровочной симметрии в присутствии суперсимметрии;
- изучение возможности нарушения суперсимметрии и промежуточной симметрии с помощью одного масштабного параметра;
- изучение нарушения суперсимметрии в секторе обычных частиц;
- изучение вопроса радиационного нарушения электрослабой подгруппы в СТВО $SO(10)$.

Научная новизна. На основе предложенной ТВО $SO(10)$, где фермионы приобретают массу через взаимодействие с действительным 10-плетом и 126-плетом хиггсовских полей, получена верхняя граница для массы t кварка, а также показана связь между массой t кварка и модами распада протона.

Предложена ТВО $SO(10)$ с лево-правой промежуточной сим-

метрией. В ней с помощью дополнительной дискретной симметрии решена проблема масс тяжелых кварков. При этом масса b кварка генерируется радиационными поправками. Установлена связь между массами тяжелых кварков и отношением масштаба нарушения кварк-лептонной симметрии к масштабу объединения $SO(10)$.

Выявленное отсутствие связи между масштабом нарушения правой симметрии и массами тяжелых кварков позволило в качестве промежуточной симметрии выбрать $SU(3)_C \times SU(2)_L \times SU(2)_R \times U(1)_{B-L}$. Показано, что в этом случае конкретные вычисления в двухпетлевом приближении и с учетом пороговых эффектов приводят к увеличению масштаба объединения и, таким образом, времени жизни протона. В результате проведенных вычислений рассчитаны также значение масштаба нарушения правой симметрии и оценка масс левых нейтрино.

В СТВО $SO(10)$ предложен самосогласованный механизм нарушения калибровочной группы $SO(10)$ до промежуточной, позволяющий избежать появления псевдоголдстоуновских частиц. Показана возможность нарушить суперсимметрию и промежуточную лево-правую симметрию с помощью одного массового параметра, при этом соответствующий выбор параметров в суперпотенциале позволяет добиться нарушения именно $SU(2)_R$ группы за счет радиационных поправок к плотности энергии вакуума. Группа $SU(2)_L$ при этом остается ненарушенной. Значение $\sin^2 \theta_w$ оказывается меньше, чем в СТВО $U(5)$.

Установлены существенные преимущества СТВО $SO(10)$ перед $SU(5)$, обусловленные наличием в $SO(10)$ пяти-саламовской подгруппы, приводящей к более естественному нарушению $SU(2)_L \times U(1)_Y$ симметрии. В рамках $SO(10)$ выявлена также связь

между массой t - кварка и массами суперпартнеров кварков и лептонов, позволившая оценить верхнюю границу для массы самого легкого из них. Установлено, что в СТВО $SO(10)$ отношение диагональных масс суперпартнеров глюона и W^\pm бозона увеличивается, что продлевает предсказываемое время жизни протона по сравнению с СТВО $SU(5)$.

Практическая значимость. Результаты, полученные в диссертационной работе, могут быть использованы как при проведении экспериментальных исследований в области физики элементарных частиц, так и в качестве основы для дальнейших теоретических разработок.

Полученное ограничение на массу t - кварка может быть использовано при планировании экспериментов по поиску связанных состояний топония в e^+e^- аннигиляции на строящемся ускорителе LEP.

Результаты исследований, посвященных изучению вопроса распада протона (моды распада, время жизни протона) могут быть применены при планировании эксперимента по поиску распада протонов.

Полученное ограничение на верхнюю границу массы суперпартнеров фермионов может стимулировать поиск указанных частиц на ускорителях нового поколения.

Выявленная возможность избежать связи масштаба нарушения правой группы с массами тяжелых кварков предоставляет возможность выбрать в качестве промежуточной лево-право симметричную подгруппу, позволяющую решить проблему времени жизни протона в ТВО $SO(10)$, расширить сферу предсказаний в низкоэнергетическом секторе.

Показанная возможность связи между масштабами нарушения суперсимметрии и промежуточной калибровочной симметрии стимулирует дальнейшие исследования СТВО, имеющие промежуточную между стандартной и объединяющей группами симметрию.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Значение ограничения сверху на массу t - кварка и наличие связи между массой t - кварка и модами распада протона, в рамках предложенной ТВО $SO(10)$, где фермионы приобретают массу через взаимодействие с действительным IO -плетом и $I26$ -плетом хиггсовских полей.
2. Решение проблемы с массовым спектром кварков, возникающей в схемах нарушения $SO(10)$ с промежуточной $SU(2)_L \times SU(2)_R$ симметрией, на основе предлагаемой модели с дополнительной дискретной симметрией.
3. Существование в той же модели связи между массами тяжелых кварков и отношением масштаба нарушения кварк-лептонной симметрии к масштабу объединения $SO(10)$.
4. Время жизни протона в модели $SO(10)$ в рамках современных экспериментальных ограничений на значение угла Вайнберга может быть достаточно большим.
5. Самосогласованный суперпотенциал нарушения калибровочной группы $SO(10)$ до промежуточной $SU(3)_C \times SU(2)_L \times SU(2)_R \times U(1)_{B-L}$ позволяет избежать появления псевдоголдстоуновских частиц.
6. Возможность нарушить одновременно суперсимметрию и промежуточную лево-правую симметрию с помощью одного массового параметра.
7. Увеличение отношения диагональных масс суперпартнеров глюона и W^\pm бозона в СТВО $SO(10)$ по сравнению с $SU(5)$ про-

длеает предсказываемое время жизни протона в согласии с экспериментальными указаниями.

8. Существенные преимущества ТВО $SO(10)$ перед $SU(5)$ обусловлены наличием в $SO(10)$ пяти-саламовской подгруппы, приводящей к более естественному радиационному нарушению $SU(2)_L \times U(1)_Y$ симметрии.

9. Существование связи между массой t - кварка и массами суперпартнеров кварков и лептонов в рамках той же схемы.

Апробация работы. Основные результаты диссертации были доложены на сессиях ОЯФ АН СССР (1984-1986 гг.), на Советско-американском рабочем совещании по калибровочным теориям поля (Ереван, 1983 г.), на Всесоюзном совещании по моделям великого объединения и преонным моделям (Ленинград, 1983 г.), на Международном семинаре Кварки-84 (Тбилиси, 1984 г.), на Международном семинаре по проблемам высоких энергий и квантовой теории поля (Протвино, 1985 г.), на конференции молодых ученых ИФ АН ГССР (Тбилиси, 1985 г.), представлены на Международных конференциях по физике высоких энергий (Лейпциг, ГДР, 1984 г. и Беркли, США, 1986 г.), на Европейской конференции по физике элементарных частиц (Бари, Италия, 1985 г.), обсуждались на теоретических семинарах ЕРФИ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Работа изложена на 121 странице машинописного текста, содержит 2 таблицы, 10 рисунков, 180 библиографических ссылок.

II. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обсуждена актуальность темы, посвященной изучению обычных и суперсимметричных ТВО, основанных на группе $SO(10)$, сформулированы основные задачи исследования, кратко изложено содержание диссертации.

Первая глава посвящена изучению массы фермионов и смешиванию в ТВО $SO(10)$. Первые два параграфа носят вступительный характер.

В § I дано необходимое введение в стандартную модель сильных и электрослабых взаимодействий. Приведена классификация всех простых групп, в которые можно объединить сильные и электрослабые взаимодействия. Изложены основные успехи и неудачи минимальной модели ВО $SU(5)$.

В § 2 подробно обсуждена ТВО, основанная на группе $SO(10)$.

В §§ 3 и 4 предложена модель ВО $SO(10)$, где фермионы получают массу за счет BC действительного 10-плета и 126-плета полей Хиггса. Наличие в модели дискретной симметрии, действующей между тремя поколениями фермионов, а также в хиггсовском секторе теории, ограничивает число вкавских связей. Полученные в результате массовые матрицы позволяют выявить определенные связи между массами фермионов и углами смешивания.

В предложенной модели получена модифицированная связь между массами нижних кварков и заряженных лептонов, вследствие чего связь масс b - кварка и τ лептона практически не изменяется, а связь между легкими фермионами не имеет места.

Из массовых матриц получено также соотношение между массами всех кварков и заряженных лептонов. Однако вследствие неопределенности фаз решение полученного кубического уравнения

относительно массы \hat{t} - кварка позволяет получить только ее ограничение сверху. Результат зависит также от параметра Λ КХД Λ , в частности, для $\Lambda^2 = 0.03 \text{ ГэВ}^2$, $m_{\hat{t}} < 39.3 \text{ ГэВ}$.

Показана также связь между углами смешивания токов, вызывающих распад протонов, и массами кварков и заряженных лептонов, позволившая, в частности, связать углы смешивания с массой кварка. Так, в случае $\Lambda^2 = 0.03 \text{ ГэВ}^2$ и $28.6 \text{ ГэВ} < m_{\hat{t}} < 39.3 \text{ ГэВ}$ протоны распадаются главным образом по каналам

$p \rightarrow e^+ \pi^0$, $p \rightarrow \mu^+ \pi^0$ и т.д. В случае $m_{\hat{t}} < 28.6 \text{ ГэВ}$ моды распада протонов будут: $p \rightarrow e^+ K^0$, $p \rightarrow \mu^+ K^0$ и т.д.

Вторая глава посвящена изучению ТВО $SO(10)$ с лево-правой промежуточной симметрией.

В § I описана проблема с массовым спектром кварков, которая возникает в схемах нарушения $SO(10)$ с промежуточной $SU(2)_L \times SU(2)_R$ симметрией при условии существования одного легкого бозона Хиггса. В этой схеме масса \hat{b} - кварка равна массе \hat{t} - кварка. Это соотношение радиационные поправки могут изменить только на величину порядка M_R/M_X , где M_R - масштаб нарушения правой $SU(2)_R$ группы, а M_X - масштаб объединения $SO(10)$. Так как массы \hat{b} и \hat{t} - кварков не равны, масштаб нарушения правой группы не может сильно отличаться от масштаба объединения $SO(10)$ и, таким образом, не может существовать лево-правая симметричная подгруппа.

В § 2 предложена модель В0, где путем введения дополнительной дискретной симметрии (\hat{D}) решена изложенная проблема. Цепочка нарушения выглядит следующим образом:

$$SO(10) \times \hat{D} \xrightarrow{\langle \hat{\sigma} \rangle = M_X} SU(4) \times SU(2)_L \times SU(2)_R \times \hat{P} \times \hat{D} \xrightarrow{\langle \hat{\rho} \rangle = M_P}$$

$$\rightarrow SU(4) \times SU(2)_L \times SU(2)_R \times \hat{D} \xrightarrow{\langle \hat{\sigma} \rangle = M_X} SU(3)_C \times SU(2)_L \times SU(2)_R \times U(1)_{B-L} \xrightarrow{\langle \hat{\rho} \rangle = M_P}$$

$$\rightarrow SU(3)_C \times SU(2)_L \times U(1)_Y \xrightarrow{\langle \hat{\rho} \rangle = M_P} SU(3)_C \times U(1)_{em}$$

где \hat{P} - лево-правая дискретная симметрия, которая имеется в $SO(10)$ группе.

Показано, что в данной схеме масса \hat{b} - кварка в нулевом приближении равна нулю, генерируется она лишь после учета радиационных поправок. В результате получено соотношение между массами \hat{b} и \hat{t} - кварков:

$$\frac{m_{\hat{b}}}{m_{\hat{t}}} = \frac{1}{2} \lambda \frac{M_C}{M_X}$$

В модели лево-правая дискретная симметрия, которая существует в $SO(10)$ группе, нарушается на масштабе, близком к масштабу объединения $SO(10)$, что согласуется с космологией и дает приемлемую барионную асимметрию. Таким образом, масштаб нарушения правой $SU(2)_R$ группы никак не связан с массами фермионов, что позволяет в ТВО $SO(10)$ в качестве промежуточной выбрать лево-правую симметричную подгруппу.

В §§ 3 и 4 рассмотрена модель В0 $SO(10)$ с $SU(3)_C \times SU(2)_L \times SU(2)_R \times U(1)_{B-L}$ промежуточной симметрией. Сперва $SO(10)$ симметрия нарушается 45-плетом, оставшаяся промежуточная симметрия - 126-плетом полей Хиггса. Подробно описана гипотеза выживания для полей Хиггса. Показано, что, согласно этой гипотезе, массы порядка M_W имеют один дублет Хиггса, порядка M_R - дублет Хиггса и $SU(2)_R$ триплет хиггсовских полей, нарушающий промежуточную симметрию до стандартной. Учитывая изложенное в двухпетлевом приближении (в ренормализационных уравнениях учитывались вклады хиггсовских полей) и с учетом пороговых эффектов вычислены масштаб нарушения $SO(10)$ сим-

метрии M_X и масштаб нарушения лево-правой симметрии M_R в зависимости от квадрата синуса угла Вайнберга. Результаты вычисления приведены на диаграмме (рис. 1) для двух разных значений параметра КХД Λ . Точка пересечения кривых соответствует масштабу объединения M_X и $\sin^2 \theta_w$ предсказываемой $SU(5)$ модели (с точностью пороговых эффектов).

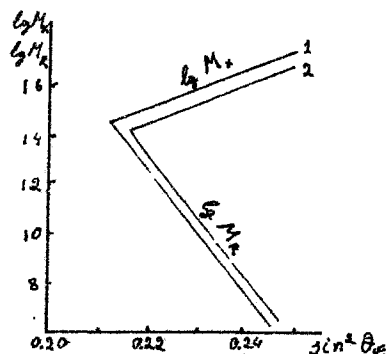


Рис. 1. Зависимость $\lg M_X$, $\lg M_R$ от $\sin^2 \theta_w$ для $\Lambda = 0.2$ ГэВ (кривая 1) и $\Lambda = 0.1$ ГэВ (кривая 2). M_X и M_R измеряются в ГэВх.

Как видно из рис. 1, в рамках экспериментального значения $\sin^2 \theta_w$, равного $0.229 \pm 0.003 \pm 0.006$, масштаб нарушения $SO(10)$ симметрии M_X может быть значительно выше, чем в $SU(5)$ модели. Таким образом, показано, что в $SO(10)$ модели нет противоречий с точки зрения времени жизни протона, которое может быть $\sim 10^{37}$ лет. Используя полученные результаты, найдены оценки на массы левых нейтрино.

В третьей главе рассмотрена суперсимметричная ТВО. В §§ 1 и 2 дано необходимое введение в суперсимметрию и изложены некоторые аспекты СТВО $SU(5)$.

В § 3 рассмотрено нарушение калибровочной $SO(10)$ симметрии до $SU(3)_C \times SU(2)_L \times SU(2)_R \times U(1)_{B-L}$, причем суперсимметрия предлагается ненарушенной. Использование для нарушения $SO(10)$ калибровочной симметрии кирального суперполя в представлении 45 невозможно, так как член самовзадействия 45-плета в суперпотенциале тождественно равен нулю. В связи с этим использовали представления более высокой размерности. В данной работе применяли представление 210-антисимметричный тензор 4-го ранга, который может нарушить $SO(10)$ симметрию до $SU(4) \times SU(2)_L \times SU(2)_R$ или $SU(3) \times SU(2)_L \times SU(2)_R \times U(1)_{B-L} \times \hat{P}$. Подробно показано, что использование одного суперполя представления 210 не дает самосогласованного нарушения $SO(10)$ симметрии. После нарушения $SO(10)$ симметрии часть 210-плета остается безмассовой, т.е. в теории появляются псевдоголдстоуновские частицы. С целью получения самосогласованного нарушения использовали еще одно суперполе в представлении 210. При этом ВС одного 210-плета связано с нарушением $SO(10)$ симметрии до $SU(3)_C \times SU(2)_L \times SU(2)_R \times U(1)_{B-L} \times \hat{P}$, а другого - с нарушением до $SU(4) \times SU(2)_L \times SU(2)_R$. Показано, что в этом случае симметрия $SO(10)$ нарушается до $SU(3)_C \times SU(2)_L \times SU(2)_R \times U(1)_{B-L}$, при этом в теории не появляются голдстоуновские частицы.

В четвертой главе в рамках теории суперобъединения $SO(10)$ рассмотрены вопросы нарушения промежуточной $SU(3)_C \times SU(2)_L \times SU(2)_R \times U(1)_{B-L}$ симметрии, суперсимметрии, суперсимметрии в секторе обычных частиц и салам-вайнбергской $SU(2)_L \times U(1)_Y$ симметрии.

§ 1 носит вводный характер, в нем описаны идеи получения

одного масштаба нарушения калибровочной симметрии из другого в СТВО, показана необходимость существования еще одного масштаба между масштабами M_X и M_W .

В § 2 продолжено построение модели суперобъединения $SO(10)$, начатое в § 3 третьей главы. Оставшаяся $SU(3)_C \times SU(2)_L \times SU(2)_R \times U(1)_{B-L}$ симметрию нарушали до стандартной группы Хиггсовскими суперполями из представлений $126 + \bar{126}$. Поскольку суперсимметрия и эта промежуточная симметрия нарушаются на масштабе между M_X и M_W , изучена возможность нарушения обеих симметрий одним массовым параметром на одной и той же шкале. Построен суперпотенциал, вызывающий эти нарушения.

В § 3 найден минимум потенциала скалярных полей, полученного из суперпотенциала. Доказано, что одним массовым параметром индуцируется нарушение и суперсимметрии, и промежуточной $SU(2)_R$ группы. Одновременно показано, что наряду с этим решением существует другой, совершенно неприемлемый минимум потенциала, соответствующий нарушению группы $SU(2)_L$, в то время, как правая группа $SU(2)_R$ остается ненарушенной. При этом на древесном уровне эти два решения не отличаются друг от друга, т.е. вакуум вырожден. Но, так как лево-правая симметрия уже нарушена на масштабе объединения $SO(10)$, радиационными поправками эти два решения удается различить. Соответствующим выбором параметров в древесном лагранжиане можно добиться нарушения именно правой $SU(2)_R$ группы, тогда как левая $SU(2)_L$ группа остается ненарушенной.

В однопетлевом приближении в модели посчитана зависимость M_X и M_R (M_R — масштаб нарушения лево-правой симметрии и

суперсимметрии) от $\sin^2 \theta_w$. Показано, что в точке $\sin^2 \theta_w = 0.226$ $M_R \sim 10^{10} + 10^{11}$ ГэВ.

В § 4 представлены результаты изучения радиационного нарушения суперсимметрии в секторе обычных частиц в той же модели. При этом суперпартнеры кварков и лептонов получают массу за счет трехпетлевых супердиаграмм, а суперпартнеры калибровочных частиц — за счет двухпетлевых супердиаграмм. При этом рассматривается случай, когда основной вклад дают суперчастицы, имеющие $SU(4)$ квантовые заряды. Показано, что, поскольку в группе Пати-Салама $SU(4)$ лептон является как бы четвертым цветом, может случиться, что массы суперпартнеров кварков и лептонов, полученные ими за счет этих диаграмм, равны. Там же установлено, что, поскольку суперпартнер W^{\pm} -бозона не имеет $SU(4)$ квантовых чисел, его масса оказывается намного меньше, чем масса суперпартнера глюона. В связи с этим в рассмотренной схеме отношение диагональных масс суперпартнеров глюона и W^{\pm} -бозона увеличивается по сравнению с СТВО $SU(5)$: $m_{\tilde{g}}/m_{\tilde{W}} < 2/3$, что увеличивает предсказываемое время жизни протона в согласии с экспериментальными указаниями.

В § 5 рассмотрено радиационное нарушение $SU(2)_L \times U(1)_Y$ симметрии в той же модели. Поскольку в модели в массы суперпартнеров основной вклад дают частицы, имеющие $SU(4)$ квантовые заряды, $SU(2)_L$ дублеты полей Хиггса получают очень малые массы по сравнению с полученными массами суперпартнеров кварков и лептонов. Это объясняется тем, что последние имеют $SU(4)$ заряды, а дублеты Хиггса не имеют.

Указанные значительные различия в массах приводят к тому,

что после перенормировки с 10^{15} ГэВ до 10^2 ГэВ дублеты хиггсовских бозонов получают отрицательный квадрат массы, в результате чего происходит нарушение электрослабой подгруппы. При анализе потенциалов дублетов хиггсовских бозонов выявлена связь между массой t - кварка и массами суперпартнеров кварков и лептонов, вследствие чего получено ограничение сверху на самого легкого суперпартнера фермионов $\min(m_{\tilde{q}}, m_{\tilde{l}}) < 160 \text{ ГэВ} \times (40/m_t \text{ (ГэВ)})$.

III. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ

1. На основе предложенной ТВО $SO(10)$, где фермионы приобретают массу через взаимодействие с действительным 10-плетом и 126-плетом хиггсовских полей, получено ограничение сверху на массу t - кварка: $m_t < 40 \text{ ГэВ}$.

2. В той же модели установлена связь между массой t - кварка и модами распада протона. Так, если $26,5 \text{ ГэВ} < m_t < 36,4 \text{ ГэВ}$ для $\Lambda^2 = 0,005 \text{ ГэВ}^2$ и/или $28,6 \text{ ГэВ} < m_t < 39,3 \text{ ГэВ}$ для $\Lambda^2 = 0,03 \text{ ГэВ}^2$, то матрица смешивания в токах, связанных с распадом протона, почти диагональна и, следовательно, доминируют распады типа $p \rightarrow e^+ \pi^0$, $K^0 \mu^+$ и т.д. При $m_t < 26,5 \text{ ГэВ}$ для $\Lambda^2 = 0,005 \text{ ГэВ}^2$ и/или $m_t < 28,6 \text{ ГэВ}$ для $\Lambda^2 = 0,03 \text{ ГэВ}^2$ отмечается обратная картина: $p \rightarrow e^+ K^0$, $p \rightarrow \mu^+ \pi^0$ и т.д.

3. С помощью введения дискретной симметрии решена проблема с массами тяжелых кварков, возникающая в схеме $SO(10)$ с лево-правой промежуточной симметрией. Показано, что при этом масса b - кварка генерируется радиационными поправками.

4. В той же схеме установлена связь между массами тяжелых кварков и отношением масштаба нарушения кварк-лептонной сим-

метрии M_c к масштабу объединения $SO(10) M_u$:

$$\frac{m_c}{m_t} \approx \frac{1}{2} \lambda \frac{M_c}{M_u}$$

5. В рамках ТВО $SO(10)$ с $SU(3)_c \times SU(2)_L \times SU(2)_R \times U(1)_{B-L}$ промежуточной симметрией с помощью уравнений ренормгруппы в двухпетлевом приближении вычислены масштаб нарушения $SO(10)$ симметрии и масштаб нарушения лево-правой симметрии. Показано, что время жизни протона в модели $SO(10)$ в рамках современных экспериментальных ограничений на $\sin^2 \theta_w$ может быть достаточно большим и согласуется с последними экспериментальными данными по распаду протона.

6. В рассмотренной схеме получены также оценки для масс левых нейтрино: $10^{-4} \text{ эВ} < m_{\nu_e} < 1 \text{ эВ}$; $0,1 \text{ эВ} < m_{\nu_\mu} < 100 \text{ эВ}$; $10 \text{ эВ} < m_{\nu_\tau} < 100 \text{ мэВ}$.

7. На базе СТВО $SO(10)$ предложен самосогласованный механизм нарушения калибровочной группы $SO(10)$ до промежуточной $SU(3)_c \times SU(2)_L \times SU(2)_R \times U(1)_{B-L}$, позволяющей избежать появления псевдоголдстоуновских частиц.

8. Показано, что можно одновременно нарушить суперсимметрию и промежуточную лево-правую симметрию с помощью одного массового параметра, причем соответствующий выбор параметров в суперпотенциале позволяет добиться нарушения $SU(2)_R$ группы за счет радиационных поправок к плотности энергии вакуума, тогда как левая группа остается при этом ненарушенной.

9. Показано, что в рассмотренной схеме отношение диагональных масс суперпартнеров глюона и W^I - бозона увеличивается по сравнению с СТВО $SU(5)$: $\frac{m_{\tilde{g}}}{m_{\tilde{g}_3}} < \frac{\alpha_3}{\alpha_1}$, что увеличивает предсказываемое время жизни протона в согласии с экспери-

ментальными указаниями.

Ю. Показаны существенные преимущества СТВО $SO(10)$ перед $SU(5)$, обусловленные наличием в $SO(10)$ пати-саламовской подгруппы. В частности, в СТВО $SO(10)$ нарушение $SU(2)_L \times U(1)$ симметрии происходит более естественным образом, чем в СТВО $SU(5)$.

II. В рамках той же схемы установлена связь между массой t - кварка и массами суперпартнеров кварков и лептонов и получено ограничение сверху на массу самого легкого суперпартнера фермионов $\min(m_{\tilde{q}}, m_{\tilde{e}}) < 160 \text{ ГэВ} \left(\frac{40 \text{ ГэВ}}{m_E} \right)$.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах:

1. Asatryan H.M., Ioannissyan A.N. Particle masses and mixings in grand unified model $SO(10)$. - Preprint EPI-708(23) (1984).
2. Asatryan H.M., Ioannissyan A.N. Hierarchy of breaking scales in $SO(10)$ grand unified theory and particle masses. - Preprint EPI-883(34) (1986).
Асатрян Г.М., Иоаннисян А.Н. Иерархия масштабов нарушения в теории великого объединения $SO(10)$ и массы частиц. - ЯФ, т. 45, вып. 4 (1987) с. II77.
3. Asatryan H.M., Ioannissyan A.N. The proton lifetime in $SO(10)$ grand unification model. - Preprint EPI-726(41) (1984).
Асатрян Г.М., Иоаннисян А.Н. Время жизни протона в модели великого объединения $SO(10)$. - ЯФ, т. 41, с. I097 (1985).
4. Asatryan H.M., Ioannissyan A.N. Supersymmetry and intermediate symmetry breaking in $SO(10)$ superunification. - Preprint EPI-817(44) (1985).
Асатрян Г.М., Иоаннисян А.Н. Нарушение суперсимметрии и промежуточной симметрии в теории суперобъединения $SO(10)$. - ЯФ, т. 44, с. 264 (1986).

5. Asatryan H.M., Ioannissyan A.N. Superunification model $SO(10)$. - Preprint EPI-941(92) (1986).

Асатрян Г.М., Иоаннисян А.Н. Модель суперобъединения $SO(10)$. - ЯФ, т. 46, вып. I (10) (1987).

Технический редактор А.С.Абрамян

Подписано в печать 02.04.87г. ВФ-02305 Формат 60x84/16
Офсетная печать. Уч.изд.л. I,3 Тираж 170 экз.
Зак.тип. 23I Индекс 3624

Отпечатано в Ереванском физическом институте
Ереван 36, Маркарьяна 2