ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

На правах рукописи

УДК 530.12:539.12

2-87-435

ТКАЧ
Владимир Иванович

СУПЕРГРАВИТАЦИИ В ПРОСТРАНСТВАХ d-ИЗМЕРЕНИЙ И СПОНТАННАЯ КОМПАКТИФИКАЦИЯ ПОДПРОСТРАНСТВ

Специальность: 01.04.02 - теоретическая и математическая физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математических наук

Дубна 1987

Работа выполнена в Харьковском физико-техническом институте АН УССР.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук
профессор В.И.Огиевецкий

доктор физико-математических наук
И.Я.Арефьева

доктор физико-математических наук
А.М.Переломов

Ведущая организация - Ленинградский институт ядерной физики им. Б.П.Константинова АН СССР.

Автореферат разослан "____"____________ 1987 г.

Защита состоится "____"__________ 1987 г. на заседании специализированного совета Д 047.01.01 Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований, Дубна Московской обл.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Объединенного института ядерных исследований.

Ученый секретарь совета,
кандидат физико-математических наук В.И.Журавлев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы связана с установлением калибровочной природы фундаментальных взаимодействий и ролью суперсимметрии в физике высоких энергий и квантовой теории поля. Первым успешным шагом на пути построения единой теории всех фундаментальных взаимодействий явилось создание калибровочной теории электромагнитных и слабых взаимодействий на основе локальной $SU(2)\times U(1)$ - группы симметрии и теории сильных взаимодействий на основе локальной $SU(3)$ - группы симметрии. Несмотря на столь значительное продвижение в понимании законов фундаментальных взаимодействий, основанное на использовании требований локальной симметрии с привлечением все более широких внутренних групп симметрии, такой подход содержит трудности, связанные с существенным различием в той роли, которую играют в этих теориях бозонные и фермионные поля, и, как следствие, со всё ещё остающимся произволом в выборе таких параметров теории, как массы частиц, характеристики хиггсовских частиц, а также с невозможностью включения в такие теории гравитационных взаимодействий.

Представляется естественным, что для создания единой теории всех фундаментальных взаимодействий необходимо дальнейшее развитие принципа локальной симметрии с привлечением всё более сложных групповых структур, содержащих преобразования как пространственно-временных, так и внутренних переменных.

Суперсимметрия, являясь новым типом пространственно-временной симметрии, устраняет различие между основными составляющими материи: бозонами, переносчиками фундаментальных взаимодействий, и фермионами, частицами вещества, - и поэтому может уменьшить произвол в выборе параметров в электрослабой теории и в теориях Великого объединения и предложить возможное решение проблемы иерархии масс в этих теориях.

Значительным достижением суперсимметрии стало открытие широкого класса релятивистских моделей теории поля, свободных от расходимостей. Теория тяготения устанавливает тесную связь между материей и свойствами пространства-времени. Сочетание принципа суперсимметрии с теорией гравитации в наиболее яркой форме проявляется в многомерных теориях супергравитации и в теории суперструн. На основе такого подхода удалось осуществить слияние внутренних симметрий с пространственно-временными и объединить гравитацию с калибровочными полями Янга-Миллса. Поэтому в последнее время значительно возрос интерес к многомерным суперсимметричным единым теориям типа Калуцы-Клейна. В результате действия механизма спонтанной компактификации дополнительные измерения в таких теориях образуют пространства малых размеров, недоступные непосредственному наблюдению. Однако такие компактные пространства дополнительных измерений могут проявить себя через свойства физических полей в наблюдаемом 4-мерном пространстве-времени.

Возможно, что именно спонтанная компактификация дополнительных измерений обуславливает определенную групповую структуру сильного и электрослабого взаимодействий, она может дать ключ также к пониманию последовательного спонтанного нарушения внутренних симметрий и суперсимметрии.

В связи с этим для применения теории суперсимметрии к физике элементарных частиц актуальным является изучение механизмов спонтанной компактификации в многомерных теориях супергравитации и теориях суперструны, а также изучение свойств образующихся вакуумных конфигураций в таких теориях. Суперсимметричные теории в пространствах с дополнительными измерениями являются сложными в математическом отношении теориями. Для выяснения различных их конкретных свойств удобно использовать упрощенные модели, которые часто представляют самостоятельный интерес, так, например, суперсимметрия имеет интересные приложения в пространствах двух и одного измерений, многие вопросы квантовой и классической механики частиц со спином удается переформулировать, используя идеи и методы теории супергравитации.

Целью работы является построение механизма спонтанной компактификации дополнительных измерений при взаимодействии гравитационного и калибровочных полей в многомерных теориях Эйнштейна-Янга-Миллса и супергравитациях; исследование свойств, возникающих в результате спонтанной компактификации вакуумов в теориях Эйнштейна-Янга-Миллса с числом измерений $d=4+n$ и в теориях супергравитации в 10- и 11-мерном пространстве-времени; поиск вакуумных конфигураций, содержащих группу симметрий $SU(3)\times SU(2)\times U(1)$, а также последовательное описание динамики частицы со спином $N/2$ на основе одномерной N - расширенной супергравитации.

Научная новизна. В диссертации решена проблема, имеющая принципиальное значение в многомерных теориях Калуцы-Клейна: обнаружен механизм спонтанной компактификации дополнительных измерений при взаимодействии гравитационного поля с калибровочными полями, основанный на вложении вакуумных значений калибровочных полей в лоренцеву связность компактных подпространств.

На основе предложенного в диссертации механизма исследованы спонтанная компактификация в произвольные симметрические пространства и широкий класс однородных пространств в теориях Эйнштейна-Янга-Миллса.

Получены решения уравнений $d=11$ супергравитации, отвечающие основным состояниям с компактными 7-мерными подпространствами и обладающие $N=3,2,1,0$ суперсимметриями.

Предложен механизм спонтанной компактификации в $d=11$ супергравитации, приводящий к образованию 6-мерных компактных подпространств.

Найдены основные состояния в $N=2$, $d=10$ супергравитации, среди которых есть допускающие $SU(3)\times SU(2)\times U(1)$ - группу симметрии.

На основе установленной связи решений $d=11$ супергравитации и соответствующих решений некиральной $N=2$, $d=10$ супергравитации определены суперсимметричные вакуумы $N=2$, $d=10$ супергравитации.

На основе использования грассмановых и параграссмановых величин в расширенной $d=1$ супергравитации дана формулировка релятивистских уравнений для частиц с произвольным спином.

Научная и практическая ценность. Результаты предлагаемой диссертации образуют основу нового направления в теории суперсимметрии и в теориях Калуцы-Клейна - спонтанной компактификации подпространств в теориях с дополнительными измерениями. На основе проведенных исследований получили дальнейшее развитие идеи о многомерности пространства-времени.

Значение этих результатов состоит в том, что они дают возможность выделить из теорий Калуцы-Клейна наиболее реалистические, допускающие появление в физическом пространстве-времени киральных фермионов и групп симметрий, соответствующих симметрии сильных и электрослабых взаимодействий.

Развитый в диссертации подход активно применяется, в частности, не только в супергравитациях с максимальным числом измерений $d=10$, 11, но и в других вариантах супергравитаций, а также получил интересное приложение в теории суперструн. По-видимому, дальнейшее развитие разработанных общих методов обнаружения и исследований вакуумов Калуцы-Клейна будет идти по пути их распространения на струнные модели.

Тем самым результаты диссертации имеют существенное значение для реализации программы объединения двух многообещающих идей современной теории элементарных частиц: суперсимметрии, с одной стороны, и калибровочной теории фундаментальных взаимодействий, с другой.

Основные результаты, выдвигаемые для защиты

1. Установлена возможность спонтанной компактификации дополнительных измерений при взаимодействии гравитационного поля с калибровочными полями $SO(n)$ -группы в сферы $S^n = SO(n+1)/SO(n)$.

2. Впервые рассмотрена спонтанная компактификация в симметрические пространства G/H при помощи калибровочных полей с локальной группой, изоморфной группе голономии H симметрического пространства.

3. Показано, что для образования симметрических пространств с непростой группой голономии в компактификации достаточно участия калибровочных полей, преобразующихся по группе, изоморфной одной из инвариантных подгрупп группы голономии.

4. Установлены возможные варианты спонтанной компактификации 6-мерного подпространства в симметрические и однородные пространства в $d=10$ теории Эйнштейна-Максвелла.

5. Найдена и изучена конфигурация, обладающая $SU(3)xSU(2)xU(1)$ - симметрией. Показано, что $SU(2)$ - группа может быть нарушена за счет многоступенчатого механизма спонтанной компактификации, приводящего к образованию $\frac{SU(3)}{U(1)xU'(1)}$ - основного состояния.

6. Изучены возбуждения над вакуумами $d=10$ теории, соответствующие калибровочным полям $SU(3)xSU(2)xU(1)$- группы, а также калибровочным полям $SU(3)xU(1)$ - группы, и возникающие при перестройке основного состояния CP^2xS^1 в $\frac{SU(3)}{U(1)xU'(1)}$. Определена зависимость значений калибровочных констант связи от параметров компактификации.

7. Найдены новые вакуумные конфигурации в $d=11$ супергравитации, такие как $P(\frac{SU(3)}{U(1)xU'(1)}, S^1)$, $P(S^2xS^2xS^2, S^1)$, $\frac{SU(3)}{U(1)} \sim P(CP^2, SU(2))$, $P(\frac{SO(5)}{SO(3)xO(2)}, S^1) \sim \frac{SO(5)xO(2)}{SO(3)xO'(2)}$.

8. Исследованы основные состояния с компактным $\frac{SU(3)}{U(1)}$ - подпространством, допускающим сохранение $N=3,1$ суперсимметрии. Рассмотрена возможность трактовки спонтанного нарушения суперсимметрии как эффекта, связанного с особенностями спонтанной компактификации в многообразие $SU(3)/U(1)$.

9. Найдены основные состояния некиральной $N=2$, $d=10$ супергравитации с компактными 6-мерными подпространствами.

10. Установлено соответствие вакуумных конфигураций $N=2$, $d=10$ (некиральной) супергравитации основным состояниям $d=11$ супергравитации с компактными подпространствами, представимыми в виде расслоения $P(M^6, S^1)$.

11. Определены основные состояния $N=2, d=10$ супергравитации, допускающие сохранение суперсимметрии в 4-мерном пространстве-времени.

12. Обнаружен механизм спонтанной компактификации в $d=11$ супергравитации, приводящий к образованию основного состояния adS^5xM^6 с 6-мерными симметрическими подпространствами $M^6 = \frac{G}{HxU(1)}$.

13. Дана трактовка $d=1$ расширенной супергравитации с локальной $SO(N)$ - группой симметрии как теории, описывающей классические спиновые переменные.

14. Показано, что квантовое описание частицы со спином, основанное на использовании как грассмановых, так и параграссмановых переменных, приводит к уравнениям Баргмана-Вигнера для волновой функции частицы.

Апробация работы. Результаты, составившие основу диссертации, докладывались и обсуждались на семинарах ХФТИ АН УССР, ФИАН, ИТФ АН УССР, Лаборатории теоретической физики ОИЯИ и в ряде других научных учреждений и организаций, а также на ежегодных сессиях отделения ядерной физики АН СССР, на Всесоюзном рабочем совещании "Суперсимметрия-85" (Харьков, 1985). Эти результаты докладывались на международных семинарах и конференциях, в том числе на конференциях по теории поля в Алуште (1981, 1983 гг.), на семинарах "Теоретико-групповые методы в физике"(Звенигород, 1979 г., Юрмала, 1985 г.), на семинарах по проблемам физики высоких энергий и квантовой теории поля в Протвино (1983, 1985 гг.), на семинарах "Квантовая гравитация" (Москва, 1981, 1984 гг.).

Публикации. Фактической основой диссертации являются результаты, опубликованные в 23 статьях, приведенных в конце автореферата.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав основного текста с двумя приложениями и заключения. Она содержит 185 страниц машинописного текста и библиографический список литературы из 170 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении сформулированы основные цели диссертации, обоснована актуальность и важность проведенного исследования. Прокомментированы работы, относящиеся к истокам. В конце введения кратко изложено содержание работы.

В первой главе на основе N - расширенной супергравитации в $d=1$ с внутренней группой симметрии SO(N) построена классическая и квантовая механика частиц со спином N/2.

В разд. I.2 для описания динамики частицы со спином I проведено расширение фазового пространства частицы введением двух наборов грассмановых переменных ψ_μ^i (i = 1, 2), принадлежащих к векторному представлению группы Лоренца. Построен лагранжиан, описывающий N=2 супергравитацию с полями e, λ^k, V, взаимодействующую с "материальным" супермультиплетом X_μ, ψ_μ^i в одномерном пространстве собственного времени. В таком рассмотрении поле $e(\tau)$ играет роль гравитационного поля в $d=1$, $\lambda^k(\tau)$ является аналогом гравитино и $V(\tau)$ является калибровочным полем SO(2) - группы. В одномерном пространстве отсутствуют кинетические члены для этих полей, поэтому такая теория приводит к классической динамике частицы со спиновыми переменными $\psi_\mu^i(\tau)$, ограниченной связями.

В применении к спиновым степеням свободы процедура квантования такой системы состоит в замене грассмановых переменных матрицами Дирака $\hat{\psi}_\mu^i = \sqrt{\frac{\hbar}{2}}\,\Gamma^i_k \gamma_5^k \gamma_\mu^i$ и переходе алгебры Грассмана для динамических переменных ψ_μ^i в алгебру Клиффорда.

Связи, накладываемые на волновую функцию, приводят к уравнениям Даффина-Кеммера для безмассовой частицы. Наличие локальной SO(2) - инвариантности в квантовой теории приводит к условию, выделяющему из волновой функции неприводимое представление со спином I.

Для описания спиновых степеней свободы на классическом уровне требуется только, чтобы величины ψ_μ^1 и ψ_μ^2 антикоммутировали сами с собой. Вследствие этого обстоятельства остается свобода в задании перестановочных соотношений между величинами, принадлежащими разным компонентам. В этом разделе была использована возможность, связанная с выбором $\psi_\mu^1\psi_\nu^2 + \psi_\nu^2\psi_\mu^1 = 0$, т.е. рассмотрен случай, когда ψ_μ^i являются образующими грассмановой алгебры. В том случае, когда ψ_μ^1 и ψ_ν^2 коммутируют между собой, а сами с собой антикоммутируют, ψ_μ^i являются параграссмановыми величинами.

В разд. I.2 построен канонический формализм динамической системы, описываемой набором c - числовых и параграссмановых переменных. Сформулирована процедура перехода к квантовым перестановочным соотношениям для параграссмановых динамических величин.

В разд. I.3 проведено описание динамики безмассовой частицы со спиновыми переменными, принадлежащими к параграссмановой алгебре второго порядка (применение таких переменных более естественно для описания частиц со спином $S > 1/2$). Отличия от классической динамики, рассмотренной в разд. I.I, обусловлены различием в свойствах перестановочности для грассмановых и параграссмановых величин, которое приводит в квантовом случае к реализации операторов $\hat{\psi}_\mu^i$ через два независимых набора матриц Дирака $\hat{\psi}_\mu^i = \sqrt{\frac{\hbar}{2}}\,\gamma_\mu^i$. Волновая функция в этом случае также задает состояния частицы со спином I.

Для описания классической и квантовой динамики массивной частицы со спином I в разд. I.4. проведено расширение фазового пространства дополнительными по отношению к случаю безмассовой частицы параграссмановыми переменными.

В разд. I.5 показано, что алгебру Клиффорда, отвечающую случаю безмассовой частицы со спином I, можно расширить введением в классическую динамику грассмановых переменных и перейти к описанию частицы с массой и со спином I на основе использования грассмановых переменных. Таким образом, классический предел ($\hbar \to 0$) квантовой динамики массивной частицы со спином I, так же как и в безмассовом случае, может быть реализован набором как грассмановых, так и параграссмановых динамических переменных. Переход к рассмотрению частицы со спином $N/2$ связан с увеличением набора классических спиновых переменных ψ_μ^i (i = 1,2, ... N) и с последовательным использованием N - расширенной локальной суперсимметрии и локальной внутренней группы симметрии, которые приводят к уравнениям Баргмана-Вигнера для волновой функции частицы со спином N/2.

Вторая глава посвящена установлению механизма спонтанной компактификации подпространств дополнительных измерений при взаимодействии гравитационного поля с калибровочными полями.

В разд. 2.I рассмотрена спонтанная компактификация в $S^n = \frac{SO(n+1)}{SO(n)}$ сферы. Для нахождения основного состояния системы взаимодействующих гравитационного и калибровочных полей, являющегося прямым произведением пространства Минковского и n - мерного компактного пространства S^n, предложено использовать условие параллелизуемости для вакуумных значений компонент тензора напряженностей калибровочных полей на S^n- сфере. Такое требование приводит к простой связи тензора напряженностей калибровочных полей SO(n)- группы с тензором кривизны пространства S^n. Вследствие этого система уравнений Эйнштейна-Янга-

Миллса в $4+n$ - мерном пространстве-времени имеет решение, отвечающее указанной вакуумной конфигурации при выполнении соотношения между гравитационной $\varkappa$ и калибровочной e константами взаимодействия, характеризующего размеры компактного подпространства S^n ($K = \frac{e^2}{2\varkappa^2}$, K - постоянная кривизны).

В разд. 2.2 проведен переход к более широкому классу компактных подпространств, для которых тензор кривизны ковариантно постоянен, - к симметрическим пространствам G/H. Показано, что и в этом случае нетривиальные вакуумные значения калибровочных полей, приводящие к образованию компактного пространства G/H, задаются ковариантно постоянным (относительно римановой на G/H и калибровочной связностей) тензором напряженностей. Компоненты тензора напряженностей имеют простой вид и с точностью до постоянной K в ортогональном базисе выражаются через структурные константы группы G :

$$F^B_{(m)(n)} = -KC^B_{(m)(n)}, \qquad (1)$$

где B - индекс калибровочной группы, совпадающей с группой голономии H симметрического пространства, a (m),(n) - индексы касательного к G/H пространства. Вакуумные значения калибровочных полей с таким тензором напряженностей совпадают с θ^A_m - формой :

$$\mathcal{A}_m{}^B = \theta^B_m(y), \qquad (2)$$

задающей связность на симметрическом пространстве G/H$(\omega_{m(k)}{}^{(1)} = -\theta^A_m C_{A(k)}{}^{(1)})$. Таким образом,на примере симметрических пространств обнаружен механизм спонтанной компактификации пространств дополнительных измерений, основанный на вложении вакуумных значений калибровочных полей в лоренцеву (риманову) связность компактного пространства. Связность произвольного риманова пространства задается группой голономии; наличие простого выражения для тензора напряженностей (I) для случая симметрических пространств связана с тем, что симметрическая подгруппа H группы движений G симметрического пространства G/H совпадает с группой голономии.

В разд. 2.3 показано, что в механизме спонтанной компактификации в симметрические пространства G/H , предложенном Креммером-Шерком-Лучиани и основанном на сопоставлении вакуумных значений калибровочных полей группы G векторам Киллинга группы движений пространства (этот механизм не допускает обобщения на случай произвольных римановых пространств), эффективно принимают участие не все калибровочные поля группы G , а только калибровочные поля подгруппы H.

Дополнительные компоненты вакуумных значений калибровочных полей группы G могут быть устранены калибровочным преобразованием. Найдены матрицы такого преобразования для S^n - сферы и для симметрических пространств. После устранения "лишних" вакуумных значений калибровочных полей группы G такой механизм компактификации в пространства G/H сводится к механизму, основанному на вложении (сопоставлении) вакуумных значений калибровочных полей в связность на симметрических пространствах в том случае, когда симметрическая группа H проста.

В разд. 2.4 рассмотрены симметрические пространства, для которых стационарная группа H представляет собой прямое произведение простых групп H_i: $H = H_0 \times H_i \times \ldots \times H_s$. В этом случае калибровочные константы связи e_i, отвечающие калибровочным полям, преобразующимся по изоморфным H_i группам, являются независимыми. Как следствие, образование такого компактного пространства может быть обеспечено взаимодействием гравитационного поля с калибровочными полями, преобразующимися по калибровочной группе, совпадающей с одной из инвариантных подгрупп H_i группы H. Так как вакуумные значения калибровочных полей в этом случае совпадают с компонентами связности симметрического пространства $G/\prod_i H_i$, преобразующимися только по подгруппе H_i, а структура симметрического пространства задается всей группой H, то действие механизма вложения калибровочных полей в связности на компактном пространстве сводится к погружению вакуумных значений калибровочных полей группы H_i в риманову связность пространства $G/\prod_i H_i$. Тогда в выражении для вакуумного значения тензора напряженностей (I) индекс B принимает значения не всей группы H, а только одной какой-либо из её инвариантных подгрупп H_i.

Таким образом, при компактификации в симметрические пространства с непростой группой голономии допускается участие минимального набора исходных калибровочных полей в образовании компактного подпространства. Например, компактификация в широкий класс пространств $\frac{SU(p+q)}{SU(p)\times SU(q)\times U(1)}$ и $\frac{SO(p+2)}{SO(p)\times O(2)}$ может обеспечиваться одним абелевым полем. Такая "экономность" механизма в выборе калибровочных полей играет определяющую роль при образовании компактных подпространств в многомерных вариантах супергравитаций.

В разд. 2.5 найдены основные состояния I0-мерной теории Эйнштейна-Максвелла с 6-мерными компактными подпространствами. Показано, что компактификация в приводимое симметрическое пространство, например CP^2xS^2, осуществляется абелевым калибровочным полем, вакуумные значения которого на S^2 - сфере и на на $CP^2 = \frac{SU(3)}{SU(2)xU(1)}$ соответствуют полю монополя.

Рассмотрен случай последовательной компактификации (многоступенчатый механизм), на первом этапе которой калибровочное поле $U(1)$ - группы приводит к образованию S^2-сферы и появлению калибровочных полей $SU(2)$-группы, вакуумные значения которых на CP^2-пространстве являются инстантонами. Такие поля представляют собой тип инстантонов, "живущих" на CP^2-пространстве, и обладают свойствами, сходными со свойствами инстантона, "живущего" на S^4-сфере. Возникновение таких полей приводит к нарушению $SU(3)xSU(2)xU(1)$- группы симметрии основного состояния и к перестройке компактного подпространства CP^2xS^2 в однородное пространство $\frac{SU(3)}{U(1)xU'(1)}$.

В разд. 2.6 проведено изучение возбуждений над основным состоянием с 6-мерным подпространством CP^2xS^2, соответствующим калибровочным полям $SU(3)xSU(2)xU(1)$- группы. Из действия исходной $d=10$ теории Эйнштейна-Максвелла выделен лагранжиан, описывающий безмассовые $SU(3)xSU(2)xU(1)$ - калибровочные поля в 4-мерном пространстве-времени.

Калибровочные константы связи в такой модели при подходящем выборе параметров компактификации могут иметь значения, близкие к значениям в стандартной теории электрослабых взаимодействий, свобода в таком выборе связана со спецификой спонтанной компактификации абелевым калибровочным полем. Включение в такую схему фермионов из-за наличия нетривиальных вакуумных значений калибровочных полей на компактном пространстве может приводить к киральной асимметрии фермионов в физическом пространстве-времени.

При "деформации" CP^2xS^2 - пространства в основное состояние с однородным $\frac{SU(3)}{U(1)xU'(1)}$-пространством происходит изменение структуры возбуждений над основным состоянием, являющихся калибровочными полями. Ввиду наличия инстантонных мод $SU(2)$- калибровочная группа нарушается и в эффективной 4-мерной теории будут присутствовать безмассовые калибровочные поля $SU(3)xU(1)$ - группы.

В разд. 2.7 подводятся итоги и даются комментарии к главе 2. Указывается, что частным примером предложенного механизма спонтанной компактификации в $S^4 = \frac{SO(5)}{SU(2)xSU(2)}$ - и $CP^2 = \frac{SU(3)}{SU(2)xU(1)}$ - пространства является компактификация только при участии калибровочных полей $SU(2)$- группы, вакуумные значения которых на пространствах S^4 и CP^2 являются инстантонами - т.н. инстантонный механизм спонтанной компактификации. Если же группа H содержит абелеву инвариантную подгруппу, как, например, для пространств CP^n, то для образования таких пространств достаточно только одного абелева поля, взаимодействующего с гравитационным полем, -"монопольная" компактификация.

<u>В главе 3</u> на основе использования результатов второй главы изучена спонтанная компактификация в $d=10,11$ супергравитациях и проведено исследование геометрической структуры возникающих вакуумных конфигураций.

В разд. 3.I рассмотрена спонтанная компактификация в $d=11$ супергравитации, основанная на механизме Фройнда-Рубина. На основе многоступенчатого механизма спонтанной компактификации проведена классификация 7-мерных однородных пространств вакуумных конфигураций в $d=11$ супергравитации.

В разд. 3.2 при отыскании 7-мерных компактных подпространств основных состояний $d=11$ супергравитации предложено рассматривать такие пространства как расслоения $P(M^6,S^1)$ над 6-мерной базой со структурной группой $U(1)$; метрика таких пространств может быть представлена в виде, аналогичном анзацу теории Калуцы-Клейна.

Такой подход позволил с единой точки зрения описать широкий класс однородных компактных подпространств в $d=11$ супергравитации, как известных (S^7 - сферы и M^{pqr} - пространства), так и ряд новых конфигураций: $P(\frac{SU(3)}{U(1)xU'(1)},S^1)$, $\frac{SU(3)}{U(1)} \sim P((E(CP^2,S^2),SU(2))S^1) \sim$ $P(CP^2,SU(2))$, $P(S^2xS^2xS^2,S^1)$, $P(\frac{SO(5)}{SO(3)xO(2)},S^1) \sim \frac{SO(5)xO(2)}{SO(3)xO(2)}$.

Этот подход привел к выявлению аналогии между вакуумами $M^7 = S^7$ и $M^7 = \frac{SU(3)}{U(1)}$. Оба эти пространства могут быть реализованы как инстантонные расслоения над S^4 и CP^2.

В разд. 3.3 рассмотрены наиболее интересные вакуумные конфигурации $d=11$ супергравитации, соответствующие компактификации подпространств дополнительных измерений в многообразия с топологией 7-мерной сферы и однородного пространства $SU(3)/U(1)$. Физические поля над $SU(3)/U(1)$ содержат не только калибровочные поля $SU(3)xSU(2)$-группы, связанные с симметрией такой конфигурации, но и $U(1)$- калибровочные поля, присутствие которых связано с ненулевым вакуумным значением антисимметричного поля $d=11$ супергравитации. Компактификация в $\frac{SU(3)}{U(1)}$ приводит к появлению в физическом пространстве-времени калибровочных полей $SU(3)xSU(2)xU(1)$- группы. Каждое из пространств S^7 и $\frac{SU(3)}{U(1)}$ обладает двумя эйнштейновскими метриками, получающимися одна из другой путем деформации. При определенном выборе ориентации оба пространства допускают сохранение суперсимметрии.

Так, стандартная S^7 – сфера сохраняет $N=8$ суперсимметрию в $d = 4$ теории. Аналогичное вакуумное состояние, соответствующее пространству $\frac{SU(3)}{U(1)}$, ориентированное правым образом, имеет $N=3$ суперсимметрию и характеризуется группой симметрии $Osp(4,3)xSU(3)$. В случае так называемых левых деформированных S^7 – сферы и $\frac{SU(3)}{U(1)}$ – пространства сохраняется $N=1$ суперсимметрия и группами симметрий этих вакуумов являются $Osp(4,1)xSO(5)xSO(2)$ и $Osp(4,1)xSU(3)xSU(2)$ – группы.

При непрерывной деформации компактного пространства основного состояния $\frac{SU(3)}{U(1)}$ с правой ориентацией и $N=3$ суперсимметриями оно превращается в правое деформированное $\frac{SU(3)}{U(1)}$ – пространство, компактификация в которое полностью нарушает суперсимметрию. Поэтому вакуумная конфигурация, соответствующая правому деформированному $\frac{SU(3)}{U(1)}$ – пространству, может рассматриваться как спонтанно нарушенная фаза $N = 3$ суперсимметричного вакуума.

Состояние с $N=0$ суперсимметрией, соответствующее левому $\frac{SU(3)}{U(1)}$ – пространству, может быть охарактеризовано как спонтанно нарушенная фаза $N=1$ суперсимметричного вакуума.

В разд. 3.4 рассмотрена спонтанная компактификация в $N=2$, $d=10$ супергравитации (некиральной). Из уравнений такой теории следует, что для компактификации подпространства шести дополнительных координат в этом варианте супергравитации недостаточно участия только одного вакуумного значения поля A_{MNL}. В образовании вакуумных конфигураций в этом случае определяющее значение имеет взаимодействие гравитационного поля с абелевым калибровочным полем, отличные от нуля вакуумные значения которых сопоставлены связностям на M^6.

6-мерными компактными пространствами основного состояния в $N=2$, $d=10$ супергравитации являются те же пространства, что и пространства, образующиеся при спонтанной компактификации в $d=10$ теории Эйнштейна-

Максвелла (разд. 2.5) : CP^3, CP^2xS^2, S^4xS^2, $S^2xS^2xS^2$, $\frac{SO(5)}{SO(3)xO(2)}$, $\frac{SU(3)}{U(1)xU'(1)}$, $\frac{Sp(4)}{Sp(2)xU(1)}$.

В разд. 3.5 проведено изучение симметрий вакуумных конфигураций некиральной $N=2$, $d=10$ супергравитации.

Несмотря на связь между вакуумами $d=11$ и $d=10$ супергравитаций, устанавливаемую посредством представления 7-мерных подпространств в $d=11$ супергравитации в виде $P(M^6,S^1)$, метрика таких пространств может быть представлена

$$g^{M^7}_{\hat{m}\hat{n}} = \begin{pmatrix} g^{M^6}_{mn} + R_0 A_m A_n & R_0 A_n \\ R_0 A_m & 1 \end{pmatrix}, \qquad (3)$$

где $A_m(y)$ – вакуумные значения компонент абелева поля, являющиеся решениями уравнений движений $N=2$, $d=10$ супергравитации, R_0 – радиус окружности S^1, образованной седьмым дополнительным измерением, а $g^{M^6}_{mn}$ – метрика компактного M^6-подпространства основных состояний $N=2$, $d=10$ супергравитации.

Показано, что только решения с $M^6 = T^6$, CP^3, K^3xT^2, $\frac{Sp(4)}{Sp(2)xU(1)}$, $\frac{SU(3)}{U(1)xU'(1)}$ $N=2$, $d=10$ супергравитации допускают сохранение суперсимметрии в 4-мерной теории. Причем сохраняются только суперсимметрии с $N = 8,6,4,1$, в то время как в $d=11$ супергравитации существуют $N = 8,4,3,2,1$ суперсимметричные конфигурации. Различие в свойствах симметрии вакуумных конфигураций в $d=11$ и $d=10$ супергравитациях скажется в спектре физических полей.

В разд. 3.6 предложен механизм спонтанной компактификации в $d=11$ супергравитации. В этом механизме вакуумные значения тензорного поля A^{cccc}_{MNL}, обеспечивающие образование компактных подпространств, имеют отличные от нуля значения только на компактном подпространстве. Вакуумные значения тензорных полей, обеспечивающих компактификацию, специальным образом согласованы со связностью на пространствах, группа голономии которых содержит абелеву инвариантную подгруппу.

Такой механизм спонтанной компактификации приводит к образованию пространства основного состояния, являющегося прямым произведением 5-мерного пространства анти-де-Ситтера и 6-мерного симметрического пространства $M^6 = CP^3$, S^4xS^2, CP^2xS^2, $S^2xS^2xS^2$, $\frac{SO(5)}{SO(3)xO(2)}$.

Подробно рассмотрен случай компактификации в $CP^2 x S^2$ - пространства.

В разд. 3.7 подведены итоги и приведены доводы, указывающие на универсальность механизма спонтанной компактификации, основанного на вложении калибровочных полей в связности на компактифицированных подпространствах во всех известных вариантах многомерных супергравитаций.

В заключении сформулирован основной результат диссертации и приведен перечень новых результатов, полученных в работе.

В приложении I выписаны определения структуры симметрических пространств, используемые во второй главе.

В приложении 2 приведен явный вид многомерных матриц Дирака, использованных при вычислениях в третьей главе.

Результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

I. Гершун В.Д., Ткач В.И. Классическая и квантовая динамика частицы с произвольным спином // Письма в ЖЭТФ.-1979.- т.29,№ 5.-с.320-324.
2. Гершун В.Д., Ткач В.И. Описание частицы со спином на основе локальной суперсимметрии // Теоретико-групповые методы в физике. 2т. - М.: Наука, I980. - Т. 2, с. 2I7-220.
3. Гершун В.Д., Ткач В.И. Грассмановы и параграссмановы переменные и динамика безмассовых частиц со спином I // Проблемы ядерной физики и космических лучей. - Харьков, Выща школа, I985.- в.23.- с.42-60.
4. Гершун В.Д., Ткач В.И. Параграссмановы переменные и описание частиц со спином, равным единице // УФЖ.- I984.- т.29,№ II.- с.I620-I627.
5. Гершун В.Д., Ткач В.И. Описание частицы с произвольным спином на основе локальной суперсимметрии // Проблемы ядерной физики и космических лечей.- Харьков,Выща школа, I984.- т.22.- с.36-47.
6. Волков Д.В., Ткач В.И. О спонтанной компактификации подпространств при взаимодействии полей Эйнштейна с калибровочными полями // Письма в ЖЭТФ.- I980. - т.32, в. II. - с. 68I-684.
7. Волков Д.В., Ткач В.И. Спонтанная компактификация подпространств // Проблемы квантовой теории поля.- ОИЯИ, Д2-8I-543, Дубна, I98I.- с.20I-205.
8. Волков Д.В., Ткач В.И. Спонтанная компактификация подпространств // ТМФ.- I982. - т.5I, № 2.- с. I7I-I77.
9. Волков Д.В., Сорокин Д.П., Ткач В.И. Калибровочные поля в механизмах спонтанной компактификации.// ТМФ.- I983.- т.56, № 2.- с.I7I-I79.

I0. Волков Д.В., Сорокин Д.П., Ткач В.И. Калибровочные поля в теориях Калуцы-Клейна // Проблемы ядерной физики и космических лучей.- Харьков, Выща школа, I985.- в.24. - с.3-8.
II. Волков Д.В., Сорокин Д.П., Ткач В.И. Спонтанная компактификация в симметрические пространства с непростой группой голономии // ТМФ.- I984.- т. 6I, № 2. - с. 24I-253.
I2. Сорокин Д.П., Ткач В.И. Десятимерная теория Калуцы-Клейна. I. Основные состояния с компактными шестимерными подпространствами // УФЖ.- I984.- т. 29, № II.- с. I605-I6I2.
I3. Сорокин Д.П., Ткач В.И. Десятимерная теория Калуцы-Клейна. 2. Возбуждения над вакуумами Калуцы-Клейна // УФЖ.- I984.- т. 29, № I2.- с. I765-I769.
I4. Волков Д.В., Сорокин Д.П., Ткач В.И. О геометрической структуре компактифицированных подпространств в d=11 супергравитации // ЯФ.- I985.- т. 4I, № 5.- с. I37I-I384.
I5. Волков Д.В., Сорокин Д.П., Ткач В.И. Суперсимметричные вакуумные конфигурации в d=11 супергравитации // Письма в ЖЭТФ.- I984.- т. 40, в. 8.- с. 356-359.
I6. **Sorokin D.P., Tkach V.I., Volkov D.V. Kaluza-Klein theories and spontaneous compactification mechanisms of extra space dimensions // Proceedings of the Therd Seminar on guantum gravity. World Scientific Publising.- Singapore, 1985. - p. 376-392.** (Теории Калуцы-Клейна и механизмы спонтанной компактификации пространств дополнительных измерений).
I7. Волков Д.В., Сорокин Д.П., Ткач В.И. Структура N = 3,I суперсимметричных вакуумов в d=11 супергравитации // ЯФ.- I986.- т.43, № I.- с. 222-230.
I8. Волков Д.В., Сорокин Д.П., Ткач В.И. О механизмах спонтанной компактификации N=2, d=10 супергравитации // Письма в ЖЭТФ.- I983.- т. 38, в. 8. - с. 397-399.
I9. Волков Д.В., Ткач В.И. Спонтанная компактификация подпространств // Проблемы физики высоких энергий и квантовой теории поля. 2т.- ИФВЭ, Протвино, I983. - т.2, с.72-78.
20. Волков Д.В., Сорокин Д.П., Ткач В.И. Спонтанная компактификация подпространств в супергравитациях с d=11,10 // ЯФ.- I984.- т. 39, № 3. - с. I3I4-I322.

21. Sorokin D.P., Tkach V.I., Volkov D.V. On the relationship between compactified vacuums of d=11 and d=10 supergravities // Phys. Lett.B.- 1985.- v. 161, nn.4,5,6.- p. 301-306 (О возможной связи компактифицированных вакуумных решений в d=11 и d=10 супергравитациях).
22. Волков Д.В., Сорокин Д.П., Ткач В.И. Взаимосвязь вакуумных конфигураций в d=11 и d=10 супергравитациях // ЯФ. - 1986.- т.43, № 2.- с. 443-449.
23. Волков Д.В., Ткач В.И. Геометрия и теоретическая физика элементарных частиц // Проблемы теоретической физики.- Киев: Наукова думка, 1986.- с. 77-86.

Рукопись поступила в издательский отдел
17 июня 1987 года.