ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

2 - 10609

ЖЕЛТУХИН
Александр Александрович

СПОНТАННЫЕ ВАКУУМНЫЕ ПЕРЕХОДЫ И КВАРКОВАЯ СТРУКТУРА РЕЗОНАНСОВ В ДУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ВЕНЕЦИАНО

Специальность 01.04.02 - теоретическая и математическая физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

Дубна 1977

Работа выполнена в Харьковском физико-техническом институте АН УССР.

Научный руководитель:
доктор физико-математических наук
член-корреспондент АН УССР Д.В.Волков

Официальные оппоненты:
доктор физико-математических наук Б.М.Барбашов

доктор физико-математических наук
профессор И.И.Ройзен

Ведущее научно-исследовательское учреждение:
Ленинградский государственный университет

Автореферат разослан " " ________ 1977 г.
Защита диссертации состоится " " ________ 1977 г.
на заседании Специализированного ученого совета К-56 Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований (г.Дубна, Московской обл.).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь совета

В.И.Журавлев

За последние годы в физике сильных взаимодействий возникло и получило активное развитие направление, основанное на использовании дуально-резонансных моделей.

Основной целью этого направления является построение самосогласованной теории адронных взаимодействий.

Изучение физического содержания дуально-резонансных моделей привело к развитию фундаментального представления об адроне как одномерном протяженном объекте - релятивистской струне.

Струнная интерпретация дуальности вместе с одновременным развитием представлений о спонтанно-нарушенных симметриях позволили высказать глубокое предположение о существовании связи между дуально-резонансными моделями и полевыми теориями со спонтанным нарушением симметрий. Основой такой связи является, с одной стороны, возможное существование струноподобных решений в калибровочных теориях, с другой - выводимость полевых теорий из дуальных моделей посредством различных предельных переходов. Наличие отмеченных связей указывает на возможность объединения дуальности с вопросами удержания кварков и кварковой структуры адронов, с проблемами теории неабелевых янг-миллсовских полей, с физикой солитонов. Такое объединение предполагает, в частности, исследование как дуальных лагранжианов, так и вакуумного состояния, содержащегося в дуальной теории. Вопросы, связанные с дуальными лагранжианами, обсуждаются в литературе и получают более или менее удовлетворительное разрешение. Проблема же вакуумного состояния, включающая вопросы о его стабильности, о наличии или отсутствии спонтанных вакуумных переходов и связанных с ними спонтанно нарушенных симметрий, до сих пор не была решена.

Актуальность исследования этой проблемы неоднократно подчеркивалась в литературе в связи с вопросами нереалистичного спектра и наличия тахионов в дуальных моделях. Трудности в исследовании вакуумного состояния связаны, в первую очередь, с тем, что в отличие от лагранжевой теории поля, где имеется простой, заимствованный из классической физики метод рассмотрения свойств вакуумных состояний путем переопределения полевых переменных непосредственно в лагранжиане, в дуальных теориях, вследствие нелокального неполиномиального характера дуальных лагранжианов используется сравнительно более сложный метод аналитического продолжения амплитуд рассеяния по константе индуцированного перехода частиц в вакуум.

Метод аналитического продолжения по константе индуцированных вакуумных переходов включает два этапа: на первом вычисляются амплитуды рассеяния, перестроенные вследствие заданных извне так называемых индуцированных переходов частиц в вакуум, на втором этапе изучается аналитическая зависимость перестроенных амплитуд от константы индуцированных вакуумных переходов β. В том случае, когда перестроенные амплитуды являются многолистными функциями константы β, в теории имеют место спонтанные вакуумные переходы. Применение метода аналитического продолжения по константе индуцированных вакуумных переходов β, обобщенного на случай дуальной теории в работах /1,2/, показало, что перестроенные дуальные амплитуды в модели Венециано являются бесконечнолистными аналитическими функциями константы β. Аналитическое продолжение перестроенных амплитуд к значениям $\beta=0$ на различных листах указанных функций, выполненное в работах /3,5/, позволило решить задачу о спонтанных вакуумных переходах в модели Венециано.

Работы /1-5/ и составили основу диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения.

Во введении кратко обсуждаются основные черты дуально-резонансных моделей, формулируется задача, решаемая в диссертации, и излагаются результаты, выносимые на защиту.

<u>В первой главе</u> развивается метод суммирования по индуцированным вакуумным переходам в дуальных амплитудах в модели Венециано. Изучается перестройка дуальной n- частичной амплитуды в представлении Кобы-Нильсена x)

$$B_n(P_1\dots P_n)=\frac{1}{\Omega}\int\frac{\prod_{j=1}^{n} dZ_j}{\prod_{j=1}^{n}(Z_{j+2}-Z_j)}\prod_{\substack{j,k=1\\ j<k}}^{n} Z_{j,k}^{-\alpha_{j,k}-1} \qquad (1)$$

вследствие индуцированных переходов частиц в вакуум, т.е.

x) Выбор представления амплитуды (1) обусловлен независимостью его от квадратов 4-импульсов отдельных частиц, с одной стороны, и проективной симметрией - с другой.

$$B_n \to B_n^R=\sum_{\substack{N_i=0\\(i=1,2,\dots n)}}^{\infty}\beta^{N_1+N_2+\dots+N_n}B_{n+N_1+\dots+N_n}(P_1,\overbrace{0,\dots 0}^{N_1},P_2,\overbrace{0,0,\dots 0}^{N_2},P_3,\dots) \qquad (2)$$

Суммирование по индуцированным вакуумным переходам в формуле (2) проводится в n этапов, в отдельности по каждому N_i. Показано /1,2/, что суммирование на первом этапе (рис.1)

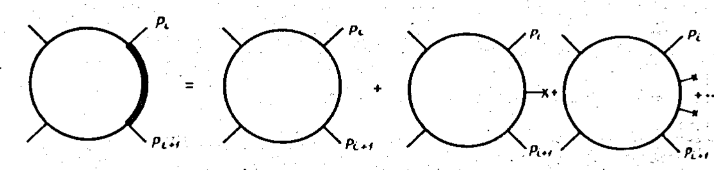

Рис.1

сводится к появлению дополнительного множителя R в подынтегральном выражении в представлении (1):

$$B_n \to B_n^{R_i}(P_1\dots P_n)=\frac{1}{\Omega}\int\frac{\prod_{j=1}^{n} dZ_j}{\prod_{j=1}^{n}(Z_{j+2}-Z_j)}\prod_{\substack{j,k=1\\ j<k}}^{n} Z_{j,k}^{-\alpha_{j,k}-1} R(Z_{i,i+1};\alpha_i,\alpha_{i+1};\alpha_0,\beta) \qquad (3)$$

где $\alpha_i \equiv \alpha(P_i^2)=\alpha_0+\alpha' P_i^2$

$$Z_{i,i+1}=(Z_{i+1}-Z_i)(Z_{i+2}-Z_{i-1})/(Z_{i+2}-Z_i)(Z_{i+1}-Z_{i-1})$$

Функция $R(Z;\alpha_i,\alpha_{i+1};\alpha_0,\beta)$ удовлетворяет соотношениям x) /2/:

x) Функция R удовлетворяет проективно-инвариантному интегральному соотношению. Уравнение (4) приведено в системе координат $Z_i=0,\ Z_{i+1}=1,\ Z_{i+2}=\infty$

$$R(Z;\alpha_i,\alpha_{i+1};\alpha_c,\beta)=1+\beta\int_0^1 dx\, x^{-\alpha_{i+1}-1}(1-x)^{-\alpha_i-1}(1-xZ)^{\alpha_i}\times$$
$$\times R(x;\alpha_c,\alpha_{i-1};\alpha_c,\beta) \qquad (4а)$$

и

$$R(Z;\alpha_c,\alpha_{i+1},\alpha_c,\beta)=1+\beta\int_0^1 dx\, x^{-\alpha_{i+1}-1}(1-x)^{-\alpha_c-1}(1-xZ)^{\alpha_c}\times$$
$$\times R(x;\alpha_c,\alpha_{i+1};\alpha_c,\beta) \qquad (4б)$$

Суммирование по индуцированным вакуумным переходам на последующих этапах между ($i+1$)-й и ($i+2$)-й, ($i+2$)-й и ($i+3$)-й частицами и т.д. сводится также к разрешению интегральных соотношений, аналогичных соотношению (4).

<u>Во второй главе</u> исследуется возможность спонтанных вакуумных переходов в модели Венециано с интерсептом траектории $\alpha_c=-1$ /1,2/ . Выбор значения интерсепта α_c равным -I обусловлен тем, что в этом случае интегральное соотношение для основной структурной функции $R(Z;\alpha_c,\alpha_c;\alpha_c,\beta)$ существенно упрощается и имеет вид:

$$G(Z,\beta)=1+\beta\int_0^1 dx\,(1-xZ)^{-1}G(x,\beta),$$

где

$$G(Z,\beta)\equiv R(Z;-1,-1;-1,\beta). \qquad (5а)$$

В §3 показывается, что решение интегрального уравнения (5а) сводится к решению функционального уравнения

$$\frac{1}{2\pi i}\Delta\bar{f}(u,\beta)=\beta\bar{f}(u,\beta), \qquad (5б)$$

где $\Delta\bar{f}(u,\beta)=f_+(u,\beta)-f_-(u,\beta)$ скачок функции $\bar{f}(u,\beta)$ на разрезе в комплексной плоскости переменной u . Функциональное уравнение (5б) имеет решением гипергеометрическую функцию Гаусса /2/

$$\bar{f}(u,\beta)={}_2F_1(-\rho,1+\rho;1,u),$$

где

$$\rho(\beta)=-\frac{1}{\pi}\operatorname{Arcsin}\pi\beta.$$

В §4 вычисляется парциальная сумма по индуцированным вакуумным переходам $R(Z;\alpha_i,\alpha_{i+1};-1,\beta)$ и находится выражение для перестроенной n — частичной дуальной амплитуды.

Анализ структуры однократно перестроенной амплитуды показал, что аналитическая зависимость последней от константы β индуцированных вакуумных переходов локализуется в сдвижке интерсептов траектории исходной модели, равной

$$\Delta\alpha_0=-\frac{1}{\pi}\operatorname{Arcsin}\pi\beta. \qquad (6)$$

Вследствие бесконечнолистности функции арксинуса сдвижка траекторий имеет отличные от нуля значения при β =0 на всех листах римановой поверхности, кроме исходного нулевого листа, соответствующего решению теории возмущений. Возможность аналитического продолжения перестроенных амплитуд к значениям β на других римановых листах указывает на наличие спонтанных вакуумных переходов в рассматриваемой модели.

В §5 выводится интегральное представление для перестроенной дуальной амплитуды, позволяющее выполнить указанное аналитическое продолжение перестроенных амплитуд рассеяния.

<u>В третьей главе</u> решается задача о суммировании по индуцированным вакуумным переходам в модели Венециано с произвольным интерсептом траектории α_0 /3-5/ .

В §6 выводится интегральное представление для однократно перестроенной амплитуды рассеяния:

$$B_n^{R_i}(P_1,\dots P_n)=\frac{1}{\Omega}\int\frac{\prod\limits_{j=1}^{n}dZ_j}{\prod\limits_{j=1}^{n}(Z_{j+2}-Z_j)}\prod_{\substack{j<k\\ j,k=1}}^{n}Z_{j,k}^{-\alpha_{j,k}}\frac{1}{2\pi i}\frac{1}{\Gamma(-\alpha_i)\Gamma(-\alpha_{i+1})}\times$$
$$\times\int_\gamma ds\,\mathcal{K}(s;\alpha_0,\beta)\sum_{n=0}^{\infty}\frac{\Gamma(-\alpha_i+s+n)\Gamma(-\alpha_{i+1}+s+n)}{\Gamma(2s-\alpha_c+n+1)\,n!}\prod_{\ell=2}^{n-2}Z_{i+1,i+\ell}^{s+n}, \qquad (7)$$

где

$$\mathcal{K}(s;\alpha_0,\beta)=\frac{(\alpha_0-2s)\Gamma(-s)\Gamma(s-\alpha_c)}{1-\beta B(-s,s-\alpha_0)} \qquad (8)$$

Контур интегрирования γ в представлении (7), изображенный на рис.5, обходит все корни $S_m(\beta)$ уравнения

$$1-\beta B(-s,s-\alpha_c)^{-1}=0, \qquad (9)$$

совпадающие при $\beta=0$ с корнями $S_m(0)=m$ ($m=0,1,2\dots$). Из формулы (7) следует, что первый этап суммирования может интерпретироваться на языке кварков как "утяжеление" внешней кварковой линии, принадлежащей i – ой и $i+1$ -й частицам (рис.2).

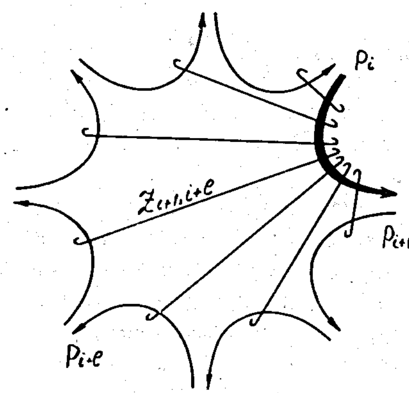

Рис.2

Анализ структуры перестроенных амплитуд, выполненный в §7, показал наличие скрытой кварковой структуры резонансов в модели Венециано, однозначно определяемой внутренними свойствами рассматриваемой модели. Установленная кварковая структура соответствует наличию бесконечного числа кварков, спектр масс которых определяется следующей формулой:

$$\mu_m^2(\beta)=-\alpha_c/2+S_m(\beta), \qquad (10)$$

где μ_m^2 – квадрат массы m -ого кварка, а $S_m(\beta)$ – корень

уравнения (9), равный m при $\beta=0$ ($m=0,1\dots$). Как следствие, перестроенная дуальная модель обладает симметрией $U(1)\times U(1)\times U(1)\times\dots$ группы, соответствующей наличию в модели ∞ числа сохраняющихся гиперзарядов, аналогичных странности и шарму (рис.3).

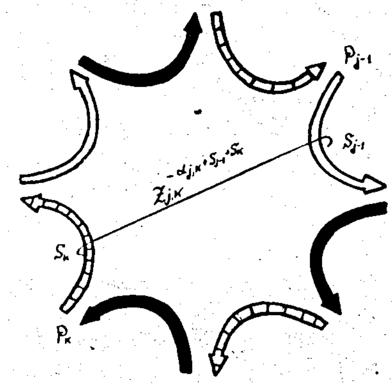

Рис.3

Указанная кварковая структура проявляется в наличии дополнительного вырождения реджевских траекторий в модели Венециано. Индуцированные вакуумные переходы играют роль дополнительного возмущения, позволяющего снять скрытое вырождение. В результате введения индуцированных вакуумных переходов реджевские траектории расщепляются. Расщепление траекторий определяется следующим соотношением:

$$\alpha(P_i^2)=n+\tau+S_m(\beta) \qquad (m,n,\tau=0,1,2,\dots)$$

или, при малых β,

$$\alpha(P_i^2)\cong n+\tau+m+\frac{(-1)^{m+1}\Gamma(m-\alpha_c)}{\Gamma(-\alpha_0)}\beta. \qquad (11)$$

Сдвиги дочерних траекторий определяются при малых β выражением (11) при $n+\tau+m=J$ ($J=1,2\dots$). Величина сдвига определяется последним слагаемым в выражении (11). Зависимость этого слагаемого от m приводит к ($J+1$)-кратному расщеплению J -ой дочерней траектории рис.4.

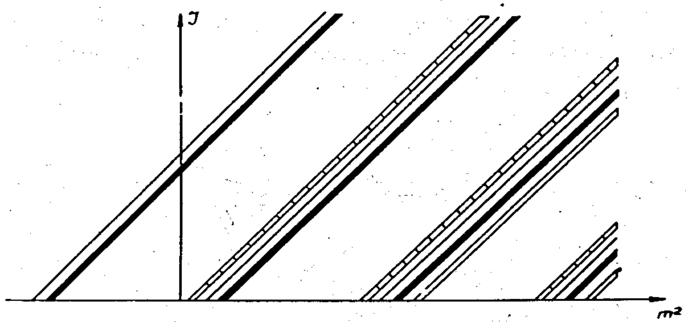

Рис.4

Метод индуцированных вакуумных переходов дополняет известный факторизационный метод Фубини–Гордона–Венециано и оказывается свободным от существенного ограничения последнего, связанного с неявным предположением отсутствия в модели внутренних аддитивных законов сохранения. Результаты, полученные в главе 3, показывают, что кварковая структура резонансов является следствием дуальности.

В четвертой главе решается задача о спонтанных вакуумных переходах в модели Венециано [3,4].

В §9 изучается аналитическое продолжение перестроенных дуальных амплитуд (7) по произвольному контуру, проходящему через точки β =0 на нулевом и других листах римановой поверхности функции $S(\beta)$, определяемой уравнением (9). При β =0 уравнение (9) приводит к двум совокупностям корней

$$S_m(c)=m \qquad (m=0,I,2\ \ldots)$$

$$S'_m(0)=\alpha_c-m \qquad (m=0,I,2\ \ldots)$$

Показывается, что аналитическое продолжение амплитуд по константе β в общем случае сводится к некоторой перестановке корней $S_m(0)$ с корнями $S'_m(0)$. На рис.5 показано движение корней $S_m(\beta)$ и $S'_m(\beta)$, приводящее к деформации контура интегрирования γ и вследствие этого к другому значению перестроенной амплитуды при β =0.

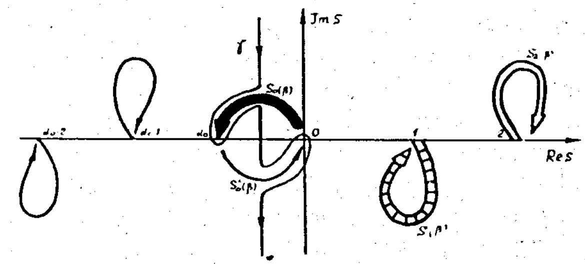

Рис.5

В §10 показывается, что спонтанные вакуумные переходы приводят к перестройке дуальных амплитуд, которые могут интерпретироваться как изменение знака у квадратов масс отдельных кварков ($\mu_m^2 \to -\mu_m^2$ правило). Так, движению корней, показанному на рис.5, соответствует, в силу формулы (10), изменение знака квадрата массы только у кварка с m =0. В силу аддитивной зависимости квадратов масс резонансов от квадратов масс составляющих кварков все тахионные состояния можно исключить посредством спонтанных вакуумных переходов, изменяющих знаки у квадратов масс тахионных кварков.

В §11 показано, что в частном случае интерсепта $\alpha_0=I$, соответствующем так называемой модели Вирасоро, не содержащей "духовых" состояний, главные траектории после спонтанных вакуумных переходов становятся двукратно вырожденными, что приводит к увеличению симметрии кварковых состояний, и, как следствие, к повышению симметрии рассматриваемой модели до симметрии $SU(2)\times U(1)\times U(1)\times\ldots$ группы. Однако вопрос с "духами" остается открытым.

В заключение перечислим основные результаты, полученные в диссертации.

I. Развит метод суммирования по индуцированным вакуумным переходам в дуальной модели Венециано, основанный на составлении интегрального уравнения для перестроенной дуальной амплитуды.

2 . На основе решения интегрального уравнения получено интегральное представление для перестроенной дуальной амплитуды, допускающее аналитическое продолжение последней по константе индуцированных вакуумных переходов.

3. Обнаружено скрытое вырождение и кварковая структура в спектре резонансов в модели Венециано, соответствующие наличию бесконечного числа кварков с возрастающими массами.

Установлена роль индуцированных вакуумных переходов как дополнительного возмущения, снимающего это вырождение.

4. Посредством аналитического продолжения перестроенных дуальных амплитуд по константе индуцированных вакуумных переходов решена проблема спонтанных вакуумных переходов в модели Венециано.

5. Установлено наличие внутренней симметрии $SU(2)\times U(1)\times$ $\times\, U(1)\times U(1)\times\ldots$ группы в модели Вирасоро в результате спонтанных вакуумных переходов. Появление указанной симметрии, возможно, связано с симметрией сильных взаимодействий, соответствующей наличию изотопического спина, странности, шарма и других, еще не открытых гиперзарядов.

6. Предложена кварковая интерпретация спонтанных вакуумных переходов в модели Венециано.

Показано, что при наличии в модели тахионов, последние могут быть исключены посредством спонтанных вакуумных переходов. Показано, что результат спонтанных вакуумных переходов может интерпретироваться как изменение знака у квадратов масс отдельных кварков ($\mu_m^2 \to -\mu_m^2$ правило).

Основные результаты диссертации докладывались на сессиях отделения ядерной физики АН СССР, семинарах лаборатории теоретической физики ОИЯИ, на У международном симпозиуме по физике высоких энергий (Варшава, I975), на ХУШ международной конференции по физике высоких энергий (Тбилиси, I976).

Материалы диссертации опубликованы в следующих работах:

I. Д.В.Волков, А.А.Желтухин, А.И.Пашнев. Письма в ЖЭТФ, 20, 488 (I974).

2. Д.В.Волков, А.А.Желтухин, А.И.Пашнев. Ядерная физика, 2I, II04 (I975).

3. Д.В.Волков, А.А.Желтухин, А.И.Пашнев. Письма в ЖЭТФ, 2I, 454 (I975).

4. Д.В.Волков, А.А.Желтухин, А.И.Пашнев. Препринт ХФТИ АН УССР, 75-5, Харьков.

5. Д.В.Волков, А.А.Желтухин, А.И.Пашнев. Ядерная физика, 22, I225 (I975).

Рукопись поступила в издательский отдел
I9 апреля I977 года