

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

2 - 5463

А.Н. Сисакян

**ПРИБЛИЖЕНИЕ ПРЯМОЛИНЕЙНЫХ ПУТЕЙ
В КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ ПОЛЯ
И МНОЖЕСТВЕННОЕ РОЖДЕНИЕ ЧАСТИЦ
ПРИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЯХ**

**Специальность 041 - теоретическая
и математическая физика**

Автореферат диссертации на соискание учёной
степени кандидата физико-математических наук

Дубна. 1970

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики
Объединенного института ядерных исследований.

Научные руководители:

академик Н.Н. Боголюбов;

кандидат физико-математических наук В.А. Матвеев.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук Р.М. Мурадян,

доктор физико-математических наук О.А. Хрусталеv.

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Математи-
ческий институт им. В.А. Стеклова АН СССР.

Автореферат разослан " " 1970 года

Защита диссертации состоится " " 1970 года

на заседании Учёного совета Лаборатории теоретической физики
ОИЯИ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Учёный секретарь Совета

Р.А. Асанов

2 - 5463

А.Н. Сисакян

**ПРИБЛИЖЕНИЕ ПРЯМОЛИНЕЙНЫХ ПУТЕЙ
В КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ ПОЛЯ
И МНОЖЕСТВЕННОЕ РОЖДЕНИЕ ЧАСТИЦ
ПРИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЯХ**

**Специальность 041 - теоретическая
и математическая физика**

Автореферат диссертации на соискание учёной
степени кандидата физико-математических наук

Диссертация посвящена формулировке и развитию приближения прямолинейных путей в квантовой теории поля. Это приближение опирается на подход, основанный на представлении решений точных уравнений квантовой теории поля в виде функциональных интегралов ^{/1,2/}.

Метод функционального интегрирования является удобным при нахождении замкнутых выражений для полных функций Грина. Напомним, однако, принципиальную трудность, связанную с тем, что отсутствует техника вычисления функциональных квадратур, отличных от гауссовых.

Несколько лет назад для исследования инфракрасных особенностей сечения рассеяния в рамках функционального интегрирования в работах ^{/3,4/} были предложены методы аппроксимации негауссовых континуальных интегралов. Эти аппроксимации в электродинамике часто называют приближением " $k_1 k_2 = 0$ ". В диссертации отмечается, что приближение прямолинейных путей основано на методе оценки интегралов, сформулированном в работе ^{/4/}.

Приближение прямолинейных путей возникло ^{/5-7/} первоначально для обоснования в рамках теоретико-полевых моделей известного из квантовой механики эйконального представления

Мольера-Глаубера для амплитуды рассеяния ^{/8/}, а также для полевой интерпретации роли гладкого квазипотенциала при описании рассеяния адронов высоких энергий.

Такая программа была стимулирована достижениями квазипотенциального подхода Логунова-Тавхелидзе в квантовой теории поля ^{/9/}. Как было показано работами ^{/10,11/}, в рамках этого подхода эйкональное представление амплитуды рассеяния может рассматриваться как следствие предположения о гладкости локального квазипотенциала. На роль гладкого квазипотенциала для описания взаимодействия частиц высоких энергий впервые было указано в исследованиях ^{/12,13/}. Важные результаты на основе гипотезы гладкости квазипотенциала получены в работах ^{/14/}, где разработан новый метод решений уравнений типа уравнения Шредингера и условия унитарности.

Дальнейшее развитие приближение прямолинейных путей получило при исследовании в рамках моделей теории поля процессов множественного рождения частиц. В диссертации на эти вопросы обращено основное внимание.

Среди ряда подходов, развивающихся в этом направлении, методу прямолинейных путей наиболее близка идея об интерпретации мезонного рождения в сильных взаимодействиях по аналогии с тормозным излучением "мягких" частиц в электродинамике. Общим для этих подходов является предположение о возможности пренебречь отдачей при испускании вторичных частиц. В диссертации отмечаются работы ^{/15,16/}, в которых

ных системах со многими внутренними степенями свободы. На этих представлениях основана "партонная" модель^{/18/}, модель "фрагментов"^{/19/}, модель когерентных состояний^{/20/}. В диссертации вопрос о связи картины множественного рождения в приближении прямолинейных путей с этими подходами обсуждается на примере модели когерентных состояний.

Среди других важных исследований, посвященных проблеме асимптотических сечений и амплитуд неупругого рассеяния, отмечаются работы, основанные на статистическом^{/21/} и вероятностном^{/22/} подходах.

Диссертация состоит из трех глав, Введения и Заключения.

Введение посвящено краткому обзору литературы.

В I главе диссертации дается формулировка приближения прямолинейных путей и приводятся некоторые результаты этого метода.

II глава посвящена изучению амплитуды рассеяния двух нуклонов с множественным рождением мезонов в рамках моделей квантовой теории поля.

В III главе методом прямолинейных путей исследуются вопросы поведения при высоких энергиях сечений неупругих процессов и средней множественности.

В Заключении даются основные выводы проведенного в диссертации рассмотрения.

В §1 на примере построения амплитуды упругого рассеяния в скалярной модели $L_{вз.} = g: \psi^2(x)\phi(x)$ формулируются основные особенности и приводится рецепт приближения прямолинейных путей^{/6,7/}. Это приближение используется для оценки возникающих функциональных интегралов. Оно заключается в подстановке в выражения для амплитуды рассеяния, вместо про-

изведений точных квантовых токов, произведений токов, усредненных по функциональным переменным, со снятием в полном выражении интегрирования по этим переменным. Процедура опирается на формулу усреднения, полученную в работе ^{/4/}, и приводит к модификации нуклонных пропагаторов.

На основании фейнмановской интерпретации амплитуды рассеяния как суммы по путям, в диссертации показывается, что приближение прямолинейных путей эквивалентно учету путей, наиболее близко приближающихся к классическим траекториям частиц (приблизительно прямолинейным в области высоких энергий и фиксированных переданных импульсов). В §1 обсуждается также вопрос справедливости приближения.

В §2, который приводится для полноты изложения, показано, какие результаты были получены в рамках метода прямолинейных путей при изучении амплитуды упругого рассеяния частиц высоких энергий ^{/23,24/}. Среди этих результатов в первую очередь отмечается вывод и обоснование релятивистского эйконального представления, а также выяснение роли гладкого квазипотенциала в рамках моделей квантовой теории поля.

В §3 подробно рассмотрено ^{/25,26/} рождение одной частицы в скалярной модели $L_{вз.} = g : \psi^2(x) \phi(x)$: при высоких энергиях сталкивающихся нуклонов. Получены замкнутые выражения для амплитуд рассеяния с рождением одной и двух частиц. В частности, в случае рождения одной частицы амплитуда имеет вид

$$f(p_1, p_2 | q_1, q_2 | k) = \int dx D(x) \int [\delta^4 \nu_1] [\delta^4 \nu_2]$$

$$i g \int_0^1 d\lambda \left\{ \int d\zeta_1 \exp[-i(p_2 - q_2)x - ika_1(\zeta_1) + ik^2 |\zeta_1| + i\lambda \kappa_1] + \right. \quad (1)$$

$$\left. + \int d\zeta_2 \exp[i(p_1 - q_1)x - ika_2(\zeta_2) + ik^2 |\zeta_2| + i\lambda \kappa_2] \right\},$$

где

$$\kappa_1 = g^2 \int_{-\infty}^{\infty} d\xi_1 d\xi_2 D(x + a_1(\xi_1) - a_2(\xi_2) +$$

(2)

$$+ \int_0^{\xi_1} \nu_1(\eta) d\eta - \int_0^{\xi_2} \nu_2(\eta) d\eta + 2k [\min(\xi_1, \xi_2) - \min(0, \xi_1)])$$

и

$$a_1(\xi_1) = 2p_1 \xi_1 \theta(\xi_1) + 2q_1 \xi_1 \theta(-\xi_1). \quad (3)$$

В формулах (1)-(3) p_1 , p_2 и q_1 , q_2 - начальные и конечные импульсы нуклонов, k - импульс родившегося мезона, $[\delta^4 \nu]$ - означает функциональное усреднение по гауссовой мере.

Выражения, полученные в §3, оказываются удобными для выяснения условий факторизации вкладов неупругих процессов. В §4 показывается /25,26/, что если на компоненты родившихся мезонов наложить условия в системе центра масс

$$\frac{1}{\sqrt{s}} \sum_{i=1}^n k_{0i} \ll 1,$$

$$\left| \sum_{i=1}^n \vec{k}_{i\perp} \right| \ll \left| \vec{p}_{\ell\perp} - \vec{q}_{\ell\perp} \right|, \quad \ell = 1, 2, \quad (4)$$

то амплитуда рождения n мезонов факторизуется

$$f_{\text{неупр.}}^{(n)}(p_1, p_2 | q_1, q_2) \prod_{i=1}^n g \sum_{\ell=1}^2 J^{(\ell)}(p_\ell, q_\ell, k_i, k_i^2 = \mu^2), \quad (5)$$

где $J^{(\ell)}(p_\ell, q_\ell, k_i, k_i^2 = \mu^2)$ - нуклонный ток в модели со скалярными мезонами, усредненный по функциональным переменным.

В приближении прямолинейных путей при условии

$$\mu, \sum_i |\vec{k}_{i\perp}| \ll \sum_i |k_{iz}| \quad (6)$$

возможно эйкональное представление для $f(p_1, p_2 | q_1, q_2)$

$$f(p_1, p_2 | q_1, q_2) = e^{N(t)} f_{\text{эйк.}}(s, t), \quad (7)$$

где $e^{N(t)}$ - вклад радиационных поправок, а $f_{\text{эйк}}(s, t)$ имеет вид релятивистского эйконального представления /23,29/.

В §5 амплитуда рождения и факторизация этих амплитуд исследуются в рамках более реалистической модели скалярных нуклонов, взаимодействующих с векторным полем /6,7/. Показано, что основные результаты §4 остаются справедливыми и в этой модели.

Факторизация амплитуд (5) указывает, что в предлагаемом рассмотрении вторичные частицы являются статистически независимыми.

§6 и §7 посвящены исследованию методом прямолинейных путей распределения вторичных частиц в скалярной модели $L_{\text{вз}} = g: \psi^2(x)\phi(x)$, а также в модели скалярных нуклонов и векторных мезонов /6,27,28/. Установлена факторизация в сечении вкладов мезонов, испущенных с различных нуклонных линий /6/:

$$(d\sigma)_{n_1, n_2} \rightarrow \frac{1}{2s} \frac{d^4\Delta}{(2\pi)^4} |f(s, t)|^2 W_{n_1}(p_1, \Delta) W_{n_2}(p_2, -\Delta) \quad (8)$$

при $s \rightarrow \infty$

Δ - фикс ($\Delta^2 \approx t$),

где

$$W_{n_1}(p_1, \Delta) = \frac{2\pi}{n!} \int \frac{dq_1}{q_{10}} \delta(p_1 - q_1 - \sum_{i=1}^{n_1} k_i + \Delta) \prod_{i=1}^{n_1} \frac{dk_i}{k_{0i}} \frac{(-g^2)}{(2\pi)^3} |J(p_1, q_1, k_1, k_{1=\mu}^2)|^2 \quad (9)$$

и аналогичное выражение для $W_{n_2}(p_2, -\Delta)$.

Дифференциальное сечение рождения $N = n_1 + n_2$ "мягких" мезонов в приближении прямолинейных путей имеет вид:

$$\left(\frac{d\sigma}{dt} \right)_{n_1, n_2} = \frac{1}{4\pi} |f_{\text{упр.}}^{(0)}|^2 w_{n_1}(s, t) w_{n_2}(s, t), \quad (10)$$

$$w_n(s, t) = \frac{1}{n!} e^{2\alpha t} [\bar{n}(s, t)]^n, \quad (11)$$

где средняя множественность

$$\bar{n}(s, t) = - \frac{g^2}{(2\pi)^3} \int \frac{d\vec{k}}{2k_0} |J^{(\ell)}(q_\ell, q_\ell, k_1^2 = \mu^2)|. \quad (12)$$

$f_{\text{упр.}}^{(0)}$ соответствует упругой амплитуде без радиационных поправок, а $e^{2\alpha t}$ - фактор радиационных поправок.

При получении формул (10), (11) использовался результат /23/ метода прямолинейных путей о линейной зависимости показателя дифракционной экспоненты ($e^{2\alpha t}$) от квадрата переданного импульса при $|t| \ll m^2$.

Возникновение пуассоновского распределения (11) в рамках приближения прямолинейных путей указывает на аналогию предлагаемой картины множественного рождения мезонов с торозным излучением "мягких" фотонов в электродинамике. Это связано с тем, что, как показывается в диссертации, приближение прямолинейных путей ведет к частичному пренебрежению отдачей нуклонов при испускании вторичных частиц.

Средняя множественность вторичных мезонов (12) оказывается зависящей от ограничений на импульсы родившихся частиц. Этот факт согласуется с результатом работы /30/, где показано, что множественность не может быть последовательно описана одним лишь параметром упругого рассеяния. §8 посвящен изучению средней множественности /7,27,28/. Существенным результатом является линейная зависимость средней множественности от t при $|t| \ll m^2$.

В §8 также показывается, что в инфракрасном пределе и в более широкой области

$$\max |k_{\perp}| \sim m^2,$$

$$1 \gg \alpha^2 \gg \frac{\mu^2}{m^2}, \quad \alpha \equiv \frac{\max |k_z|}{P_0} \quad (13)$$

$$\ln \left| \frac{\mu^2}{m^2} \right| \gg \ln \left| \frac{1}{\alpha^2} \right|$$

коэффициент при $-t$ в выражении для множественности совпадает с параметром наклона дифракционного пика. При этом наблюдается точечноподобное или автомодельное поведение сечений, находящееся в аналогии с поведением сечений глубоко-неупругих лептон-адронных взаимодействий /31,32/.

Исследован случай, когда граница ограничений на импульсы родившихся частиц при $s \rightarrow \infty$ фиксирована. При этом с ростом энергии количество частиц, родившихся с импульсами, не пре-

вышающими эту границу, падает степенным образом по s . Обсуждается также возможность логарифмической зависимости средней множественности от энергии.

§9 посвящен сравнению метода прямолинейных путей с моделью когерентных состояний^{/20/}. Делается вывод, что приближение прямолинейных путей дает теоретико-полевую реализацию идеи об адронах, как о сложных системах со многими внутренними степенями свободы.

В Заключении отмечается, что интересной перспективой развития метода является дальнейшее уточнение рамок применимости, а также его применение при изучении конкретных процессов взаимодействия адронов высоких энергий.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах /6,7,25-28/ и докладывались на семинарах, сессиях ядерного отделения АН СССР и на международных конференциях.

Л и т е р а т у р а

1. R.P. Feynman. Rev.Mod.Phys., 20, 376 (1947).
2. Н.Н. Боголюбов. ДАН СССР 99, 225 (1954);
Н.Н. Боголюбов, Д.В. Ширков. "Введение в теорию квантованных полей", ГИТТЛ, М. (1957).
3. Е.С. Фрадкин. Труды ФИАН, 29, 7 (1965).
4. Б.М. Барбашов. ЖЭТФ, 48, 607 (1965).
5. А.Н. Тавхелидзе. Раппортерский доклад на XV Международной конференции по физике высоких энергий, Киев-1970.
Издание ОИЯИ, 5454, Дубна, 1970.

6. B.M. Barbashov, S.P. Kuleshov, V.A. Matveev, V.N. Per-
vushin, A.N. Sissakian, A.N. Tavkhelidze. JINR Preprint
E2-5217, Dubna 1970; ТМФ, 5, 330 (1970).
7. Б.М. Барбашов, С.П. Кулешов, В.А. Матвеев, В.Н. Перву-
шин, А.Н. Сисакян, А.Н. Тавхелидзе. Доклад на XV Между-
народной конференции по физике высоких энергий, Киев-1970.
Тезисы. Изд. ОИЯИ, Дубна (1970). Phys.Lett., В (1970).
8. G. Moliere. Z.Naturforsch., 2A, 133 (1947).
R.J. Glauber. "Lectures in Theoretical Physics", I, 315,
N.Y. 1959; L.I. Schiff. Phys.Rev., 103, 443 (1956);
S.P. Kuleshov, V.A. Matveev, A.N. Sissakian. JINR
Communication E2-4455, Dubna 1969; ТМФ, 2, 73 (1970).
9. A.A. Logunov, A.N. Tavkhelidze. Nuovo Cim., 29, 380 (1963).
10. V.R. Garsevanishvili, V.A. Matveev, L.A. Slepchenko,
A.N. Tavkhelidze. Phys.Lett., 29B, 191 (1969).
11. В.Р. Гарсеванишвили, В.А. Матвеев, Л.А. Слепченко. "Про-
блемы физики элементарных частиц и атомного ядра",
том I, вып. 1,92, "Атомиздат", М. (1970).
12. D.I. Blokhintsev. Nucl.Phys., 31, 628 (1962).
13. S.P. Alliluyev, S.S. Gershtein, A.A. Logunov. Phys.Lett.,
18, 195 (1965).
14. В.И. Саврин, О.А. Хрусталеv. ЯФ, 8, 1016 (1968);
В.И. Саврин, Н.Е. Тюрин, О.А. Хрусталеv. ЯФ, 10, 856
(1969); ЯФ, 11, 880 (1970); Сообщения ОИЯИ E2-4479,
Дубна (1969).
15. W. Heisenberg. Z. Physik., 113, 61 (1939).
16. H.W. Lewis, R. Oppenheimer, S.A. Wouthuysen. Phys.Rev.,
73, 127 (1948).

17. F. Bloch, A. Nordsieck. *Phys.Rev.*, 52, 54 (1937).
18. R.P. Feynman. *Phys.Rev.Lett.*, 23, 1415 (1969).
19. C.N.Yang. Доклад на XV Международной конференции по физике высоких энергий. Киев-1970. Издание ОИЯИ, 5454, Дубна, 1970.
20. V.A. Matveev, A.N. Tavkhelidze. *JINR Commun.* E2-5141, Dubna 1970;
В.А. Матвеев. Доклад на XV Международной конференции по физике высоких энергий. Киев 1970. Издание ОИЯИ, 5454, Дубна, 1970.
21. L. Van Hove. *Rev.Mod.Phys.*, 36, 655 (1964);
И.Н. Сисакян, Д.С. Чернавский. *Изв. АН СССР (сер. физ.)*, 32, 346 (1968); Е.Л. Файнберг, Д.С. Чернавский. *Изв. АН СССР (сер. физ.)*, 33, 1461 (1969).
R. Hagedorn. Preprint CERN TH-1174 (1970).
22. А.А. Логунов, О.А. Хрусталеv. Препринты ИФВЭ 69-20, 69-21. 1969; "Проблемы физики элементарных частиц и атомного ядра", т. 1, вып. 1, 71, "Атомиздат", М. (1970).
23. В.М. Barbashov, S.P. Kuleshov, V.A. Matveev, A.N. Sissakian. *JINR Commun.* E2-4692, Dubna 1969; ТМФ, 3, 342 (1970).
JINR Commun. E2-4983, Dubna 1970;
Доклад на XV Международной конференции по физике высоких энергий, Киев, 1970. Тезисы. Изд. ОИЯИ, Дубна, 1970.
24. В.М. Barbashov, S.P. Kuleshov, V.A. Matveev, A.N. Sissakian, A.N. Tavkhelidze. Preprint CNRS 70/P343, Marseille 1970; *JINR Preprint* E2-5365, Dubna 1970; *Phys.Lett.*, B (1971).
25. В.М. Барбашов, С.П. Кулешов, В.Н. Первушин, А.Н. Сисакян. Доклад на XV Международной конференции по физике высоких энергий. Киев, 1970. Тезисы. Изд. ОИЯИ, Дубна, 1970.

26. B.M. Barbashov, S.P. Kuleshov, V.N. Pervushin ,
A.N. Sissakian. JINR Commun. E2-4455, Dubna, 1970.
27. B.M. Barbashov, S.P. Kuleshov, V.A. Matveev, V.N. Per-
vushin, A.N. Sissakian. JINR Commun., E2-5329, Dubna
(1970). Preprint CNRS 70/p344, Marseille 1970; Nuovo Cim., (1971).
28. Б.М. Барбашов, С.П. Кулешов, В.А. Матвеев, В.Н. Перву-
шин, А.Н. Сисакян. ТМФ, 6, (1971).
29. H. Cheng, T.T. Wu. Доклад на XV Международной конфе-
ренции по физике высоких энергий. Киев, 1970. Издание
ОИЯИ, 5454, Дубна, 1970.
H.D.I. Abarbanel, S. Itzykson. Phys.Rev.Lett., 23, 53 (1969).
И.В. Андреев. ЖЭТФ, 58, 257 (1970).
M. Lévy, J. Sucher. Phys.Rev., 186, 1656 (1969).
30. В.И. Саврин, Н.Е. Тюрин, О.А. Хрусталеv. Доклад на XV
Международной конференции по физике высоких энергий.
Киев, 1970. Тезисы. Изд. ОИЯИ, Дубна (1970).
Препринт ИФВЭ 70-62, 1970.
31. В.А. Матвеев, Р.М. Мурадян, А.Н. Тавхелидзе. Сообщение
ОИЯИ, P2-4578, Дубна (1969). Р.М. Мурадян. Труды
Международного симпозиума по теории элементарных час-
тиц. Варна, Болгария, 1968.
32. М.А. Марков. "Нейтрино". Наука, М. (1964).
M.A. Markov. JINR Preprint E2-4370, Dubna 1969.

Рукопись поступила в издательский отдел
16 ноября 1970 года.