

С323.5

F-212

2 - 5466

В.Р. Гарсеванишвили

**ЭЙКОНАЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ
ДЛЯ АМПЛИТУД РАССЕЯНИЯ
ПРИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЯХ
В КВАЗИПОТЕНЦИАЛЬНОМ ПОДХОДЕ**

**Специальность 041 - теоретическая
и математическая физика**

Автореферат диссертации на соискание учёной
степени кандидата физико-математических наук

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики
Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:
член-корреспондент АН ГССР А.Н. Тавхелидзе

Официальные оппоненты:
член-корреспондент АН УССР В.П. Шелест
кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник А.Н. Лезнов

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Москов-
ский государственный университет.

Автореферат разослан " " 1970 года.
Защита диссертации состоится " " 1970 года
на заседании Ученого совета Лаборатории теоретической физики
Объединенного института ядерных исследований.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета

Р.А. Асанов

2 - 5466

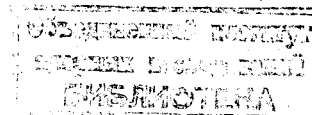
В.Р. Гарсеванишвили

**ЭКОНОМАЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ
ДЛЯ АМПЛИТУД РАССЕЯНИЯ
ПРИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЯХ
В КВАЗИПОТЕНЦИАЛЬНОМ ПОДХОДЕ**

**Специальность 041 - теоретическая
и математическая физика**

Автореферат диссертации на соискание учёной
степени кандидата физико-математических наук

7301 бр.



Процессы взаимодействия частиц при высоких энергиях являются в настоящее время предметом интенсивного теоретического и экспериментального исследования.

Создание и дальнейшее развитие существующего аппарата теории сильных взаимодействий тесно связано с разработкой метода дисперсионных соотношений в квантовой теории поля^{/1/}.

В работах Н.Н. Боголюбова по теории дисперсионных соотношений было введено фундаментальное понятие об амплитуде рассеяния как о единой аналитической функции, выражающее важную физическую идею взаимосвязи различных физических процессов, и дано строгое доказательство дисперсионных соотношений в квантовой теории поля^{/2/}. Эта концепция взаимосвязи сыграла существенную роль в развитии теории, а в настоящее время позволяет взглянуть с единой точки зрения на существующие феноменологические подходы как возможные аппроксимации к теории сильных взаимодействий.

Предположение об аналитичности амплитуды рассеяния как функции своих инвариантных переменных с привлечением условия унитарности позволяет получить ряд строгих ограничений на фи-

зически наблюдаемые величины (см., например, обзоры^{/3/}).

Применение дисперсионных соотношений послужило основой для фундаментальных работ по асимптотическому подходу в квантовой теории поля. На основе свойств аналитичности амплитуды рассеяния был получен ряд интересных соотношений, доступных экспериментальной проверке. Отметим среди них асимптотическое равенство полных сечений взаимодействия частицы и античастицы^{/4/}, ограничение роста амплитуды рассеяния и полного сечения в области высоких энергий^{/5/}, нижнюю границу убывания амплитуды рассеяния на фиксированный угол при высоких энергиях^{/6,7/}, ряд асимптотических равенств между дифференциальными сечениями и поляризациями при высоких энергиях^{/8/}.

Связь между короткодействующим характером ядерных сил и свойством аналитичности амплитуды как функции квадрата переданного импульса привела к квазиоптической картине процессов рассеяния при высоких энергиях.

На квазиоптический характер рассеяния частиц высоких энергий указывают и основные экспериментальные закономерности, на которых мы кратко остановимся. Анализ данных, полученных на современных ускорителях, показывает тенденцию полных сечений оставаться постоянными при высоких энергиях. Дифференциальные сечения в области малых передаваемых импульсов имеют ярко выраженный дифракционный характер с характерным пиком рассеяния вперед и последующим чередованием минимумов и максимумов.

Идея о квазиоптическом характере рассеяния частиц высоких энергий оказалась весьма плодотворной, и в последнее время ее развитию уделяется большое внимание. В этом подходе используется понятие эффективного комплексного потенциала^{/9/}.

Отметим, что это понятие имеет свой аналог в оптической модели ядра, где рассеяние частиц высоких энергий ядрами рассматривается по типу рассеяния света полупрозрачной оптической средой.

В основе квазиоптического подхода лежит предположение о справедливости эйконального представления для амплитуды рассеяния двух частиц при высоких энергиях на малые углы:

$$T(s, t) = i\rho \sqrt{s} \int d^2\rho e^{i\vec{p} \cdot \vec{\Delta}_\perp} \{ e^{2i\chi(E; \vec{\rho})} - 1 \}, \quad (1)$$

где $\vec{\Delta}_\perp = (\vec{p} - \vec{k})_\perp$ — двумерная поперечная составляющая передачи импульса, ρ — прицельный параметр, χ — так называемая эйкональная фаза.

Идея квазиоптического рассеяния адронов получает свою наиболее последовательную формулировку в рамках квазипотенциального подхода в квантовой теории поля, предложенного Логуновым и Тавхелидзе^{/10,11/}.

В основе квазипотенциального подхода лежат уравнения для амплитуды рассеяния и волновой функции двух взаимодействующих частиц. Эти уравнения являются обобщениями уравнений Липпмана-Швингера и Шредингера на случай квантовой теории поля.

Важной особенностью уравнений является их трехмерность, что выгодно отличает их от уравнений Бете-Солпитера в смысле возможности квантовомеханической вероятностной интерпретации и отсутствия нефизического параметра относительного времени.

Квазипотенциальные уравнения с успехом были использованы для описания связанных состояний двух частиц в рамках квантовой электродинамики^{/12/}.

В последнее время в работах Матвеева и Тавхелидзе^{/13/} квазипотенциальный метод успешно был применен к вопросам сильных взаимодействий.

Предлагаемый нами подход^{/14-21/} описания рассеяния частиц высоких энергий является, по существу, развитием этого метода в применении к высокоэнергетическому рассеянию. В применении к высокоэнергетическому рассеянию квазипотенциальный подход позволяет дать единое описание рассеяния во всем угловом интервале, описывать квазидвухчастичные процессы и т.д.

Оригинальный вариант квазипотенциального подхода был предложен Кадышевским^{/22/}. В основном уравнении этого подхода естественным образом возникает интегрирование по гипер-болоиду

$$p^2 = m^2, \quad (2)$$

т.е. по массовой поверхности частицы. Группа движений гипер-болоида (2) есть группа Лоренца. Поэтому естественно, что аппарат разложений по полным системам функций, связанных с унитарными бесконечномерными представлениями группы Лоренца^{/23/}, хорошо приспособлен для изучения свойств квазипотенциального уравнения.

В работах^{/24/} этот аппарат был применен при формулировке релятивистского конфигурационного представления в проблеме двух тел. В работе^{/21/} на основе уравнения Кадышевского с помощью разложения по унитарным представлениям группы орисферических сдвигов на гиперболоиде было получено обобщение эйконального представления для амплитуды упругого рассеяния двух бесспиновых частиц:

$$T(s, t) = i p \sqrt{s} \int_0^\infty p dp J_0(p \sqrt{-t}) \left\{ e^{\int_{-\infty}^{\infty} \ln \left[1 - \frac{V(z, p)}{2p} \right] dz} - 1 \right\} (3)$$

где $V(z, p)$ - квазипотенциал.

Важным вопросом при рассмотрении высокоэнергетического рассеяния адронов является изучение выполнимости условия унитарности. П. Боголюбовым было показано^{/25/}, что при условии положительной определенности мнимой части квазипотенциала, матрица рассеяния двух частиц удовлетворяет так называемому условию "недоунитарности":

$$SS^+ < 1. \quad (4)$$

В случае чисто вещественного квазипотенциала, например, имеется релятивистское двухчастичное условие унитарности.

Следует отметить, что в последнее время релятивистским двухчастичным уравнениям уделялось большое внимание в связи с построением составных моделей элементарных частиц (см. работы П. Боголюбова и Шелеста^{/26/}).

Диссертация состоит из пяти глав, заключения и двух приложений.

В первой главе, носящей вводный характер, дан краткий обзор моделей взаимодействия адронов при высоких энергиях. Основное внимание уделено квазиоптической картине рассеяния. В этом подходе адроны в высокоэнергетических столкновениях рассматриваются как протяженные объекты с конечными размерами.

Во второй главе рассматривается рассеяние при высоких энергиях на малые углы. В предположении гладкости локального квазипотенциала^{/27/} при высоких энергиях получено решение квази-

тенциального уравнения в области изменения кинематических инвариантов s и t , ограниченной условием $|t/s| \ll 1$, и показано, что полученное решение может быть записано в эйкональной форме, с функцией эйконала χ , связанной с квазипотенциалом соотношением

$$\chi = \frac{1}{s} \int_{-\infty}^{\infty} V(E; \vec{r}) dz; \quad \vec{r} = (\vec{p}, z). \quad (5)$$

В области сравнительно больших передач полученное решение для амплитуды рассеяния обнаруживает орировское поведение.

Обоснованию эйконального представления в рамках квантовой теории поля посвящен ряд работ (см., например, /28/).

В этой же главе рассматривается подход к рассеянию частиц высоких энергий, основанный на решении уравнения унитарности при высоких энергиях и обсуждается его связь с квазипотенциальным подходом.

В третьей главе проведен расчёт поправок к эйкональному приближению относительного порядка $1/p$ по сравнению с главными вкладами при высоких энергиях. Расчёт проведен на основе квазипотенциального уравнения в конфигурационном представлении, подробно проанализированного Хрусталевым /29/. Показано, что учёт этих поправок приводит к частичному "заполнению минимумов" в дифференциальном сечении упругого рассеяния. Обсуждается роль этих поправок при феноменологическом анализе данных эксперимента. Рассмотрена возможная модификация квазипотенциала упругого рассеяния.

В четвертой главе дано решение квазипотенциального уравнения, отвечающее рассеянию на большие фиксированные углы. Показано, что амплитуда рассеяния на большой фиксированный угол является экспоненциально падающей функцией энергии и насыщается нижняя граница убывания амплитуды на фиксированный угол при высоких энергиях.

Вторая часть этой главы посвящена изучению рассеяния назад. Решается двухканальная квазипотенциальная задача с учётом обменных сил в системе двух частиц. Полученные результаты используются для анализа данных по упругому пр-рассеянию назад при $p_L = 8 \text{ GeV}/c$ и $|u| < 0,6 (\frac{\text{GeV}}{c})^{2/30}$. Теоретические результаты, полученные в этой главе на основе квазипотенциального уравнения с квазипотенциалом гауссовского типа с небольшим числом параметров, находятся в хорошем согласии с экспериментальными данными.

В пятой главе дан вывод квазипотенциального уравнения для случая взаимодействия частиц со спинами 0 и 1/2. В первом параграфе этой главы в случае невзаимодействующих частиц продемонстрирован ряд основных моментов квазипотенциального подхода. Полученное во втором параграфе квазипотенциальное уравнение имеет следующий вид:

$$[E \gamma_0 + (1 + \frac{\omega}{w})(\vec{\gamma} \vec{q} - M)] \psi_E(\vec{q}) = \frac{1}{\omega} \int V(E; \vec{q}, \vec{q}') \psi_E(\vec{q}') d\vec{q}'. \quad (6)$$

Здесь $\omega = \sqrt{\mu^2 + \vec{q}^2}$, $w = \sqrt{M^2 + \vec{q}^2}$, M и μ - массы спиновой и скалярной частиц соответственно. Показано, что в высокоэнергетическом пределе для локального квазипотенциала

это уравнение сводится к уравнению Дирака с эффективным квазипотенциалом $\frac{1}{p} V(E; \vec{r})$. Приведено решение полученного уравнения, отвечающее рассеянию на малые углы ^{/31/}.

В приложениях А и Б дан подробный вывод основных формул, полученных во II и IV главах.

Основные результаты диссертации докладывались на сессиях Отделения ядерной физики АН СССР в Дубне (1968) и Ленинграде (1969), на Международной конференции по фундаментальным взаимодействиям в Корал Гейблс (1969), на XV Международной конференции по физике высоких энергий в Киеве (1970) и опубликованы в работах ^{/15,17-19/}.

Л и т е р а т у р а

1. M. Gell-Mann, M. Goldberger, W. Thirring. Phys.Rev., 95, 1612 (1954).
2. Н.Н. Боголюбов. Доклад на конгрессе математиков в Сиэтле, 1956. Н.Н. Боголюбов, Б.В. Медведев, М.К. Поливанов. Вопросы теории дисперсионных соотношений. Физматгиз, Москва, 1958.
3. H. Epstein. Rigorous Theoretical Considerations on High Energy Scattering. In Topical Conference on High Energy Collisions of Hadrons, CERN, 1968. A.A. Logunov, Nguyen Van Hieu. On Some Consequences of Analyticity and Unitarity. In Topical Conference on High Energy Collisions of Hadrons, CERN, 1968.
4. И.Я. Померанчук. ЖЭТФ, 34, 725 (1958).
5. M. Froissart. Phys.Rev., 123, 1053 (1961).
6. F. Cerulus, A. Martin. Phys.Lett., 8, 80 (1964).
7. A.A. Logunov, M.A. Mestvirishvili. Phys.Lett., 24B 583 (1967).

8. А.А. Логунов, М.А. Мествиришвили, О.А. Хрусталеv. Препринт ИФВЭ, СТФ 67-40-К, Серпухов (1967). A.A. Logunov, Ngyen Van Xъуеу, И.Т. Тодоров. УФН, 88, 51 (1966).
9. D.I. Blokhintsev. Nucl.Phys., 31, 328 (1959). Д.И. Блохинцев, В.С. Барашенков, Б.М. Барбашов. УФН, 28, 417 (1959). S. Fernbach, R. Serber, T. Taylor. Phys.Rev., 75, 1352 (1959).
10. A.A. Logunov, A.N. Tavkheldidze. Nuovo Cim., 28, 380 (1963).
11. В.Г. Кадышевский, А.Н. Тавхелидзе. В сб. "Проблемы теоретической физики", посвященном Н.Н. Боголюбову в связи с его 60-летием. "Наука", Москва, 1969.
12. Р.Н. Фаустов. Лекции в Международной зимней школе теоретической физики. ОИЯИ, Дубна, 1964.
13. В.А. Матвеев. Препринт ОИЯИ P2-3847, Дубна, 1968. A.N. Tavkheldidze. Talk Given at the Solvey Congress. 1967.
14. V.R. Garsevanishvili, V.A. Matveev, L.A. Slepchenko, A.N. Tavkheldidze. Phys.Lett., 29B, 191 (1969).
15. V.R. Garsevanishvili, V.A. Matveev, L.A. Slepchenko, A.N. Tavkheldidze. In "Coral Gables Conference on Fundamental Interactions", p. 74. Gordon and Breach, Science Publishers. N.Y. (1969).
16. В.Р. Гарсеванишвили, С.В. Голоскоков, В.А. Матвеев, Л.А. Слеченко. ЯФ, 10, 627 (1969).
17. V.R. Garsevanishvili, V.A. Matveev, L.A. Slepchenko, A.N. Tavkheldidze. ICTP-preprint IC/69/87, Trieste, 1969.

18. В.Р. Гарсеванишвили, В.А. Матвеев, Л.А. Слеченко.
В сб. "Проблемы физики элементарных частиц и атомного ядра", том. 1, вып. 1, стр. 91. Атомиздат, Москва, 1970.
19. V.R. Garsevanishvili, S.V. Goloskokov, V.A. Matveev, L.A. Slepchenko, A.N. Tavkhelidze. JINR-preprint E2-5244, Dubna (1970).
20. V.A. Matveev, L.A. Slepchenko. JINR-preprint E2-5226, Dubna (1970).
21. V.R. Garsevanishvili, V.G. Kadyshevsky, R.M. Mir-Kasimov, N.B. Skachkov. JINR-preprint E2-5341, Dubna (1970).
22. V.G. Kadyshevsky. Nucl.Phys., B6, 125 (1968).
23. И.С. Шапиро. ДАН, 106, 647 (1956).
24. В.Г. Кадышевский, Р.М. Мир-Касимов, Н.Б. Скачков. ЯФ, 219 (1969), 9, 462 (1969).
25. P. Bogolubov. ICTP-preprint IC/69/76, Trieste, 1969.
26. В.П. Шелест. Препринты ИТФ 67-47, 67-51.; Киев (1967).
П. Боголюбов. Препринт ОИЯИ P2-3115, Дубна (1967).
27. S.P. Aliluyev, S.S. Gershtein, A.A. Logunov. Phys.Lett., 18, 195 (1965).
28. H. Cheng, T.T. Wu Доклад на XV Международной конференции по физике высоких энергий, Киев, 1970. Издание ОИЯИ, 5454, Дубна, 1970. В.М. Barbashov, S.P. Kuleshov, V.A. Matveev, A.N. Sissakian. JINR-preprint E2-4692, Dubna (1969).
И.В. Андреев, И.А. Баталин. Препринт ФИАН №60 (1970).
В.М. Barbashov, S.P. Kuleshov, V.A. Matveev, V.N. Per-vushin, A.N. Sissakian, A.N. Tavkhelidze. JINR-preprint E2-5217, Dubna (1970).
29. О.А. Хрусталеv. Препринт ИФВЭ 69-24, Серпухов (1969).

30. G. Manning et al. Nuovo Cim., 41, 167 (1966).

31. С.П. Кулешов, В.А. Матвеев, А.Н. Сисакян. ТМФ, 2, 73 (1970).

Рукопись поступила в издательский отдел

16 ноября 1970 года.