

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

C323

C-473

2 - 5464

Л.А. Слепченко

КВАЗИПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ МЕТОД
В ОПИСАНИИ РАССЕЯНИЯ АДРОНОВ
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.

Научный руководитель:

кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник

В.А. Матвеев

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук,
профессор

М.К. Поливанов

доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник

А.Т. Филиппов

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Институт
физики высоких энергий, Серпухов.

Автореферат разослан " 1970 года.

Защита диссертации состоится " 1970 года
на заседании Ученого совета Лаборатории теоретической физики
Объединенного института ядерных исследований, г. Дубна.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета

Р.А. Асанов

2 - 5464

Л.А. Слетченко

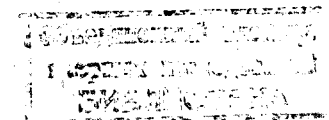
7305 6p.

**КВАЗИПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ МЕТОД
В ОПИСАНИИ РАССЕЯНИЯ АДРОНОВ
ПРИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЯХ**

Специальность 041 - теоретическая

и математическая физика

Автореферат диссертации на соискание учёной
степени кандидата физико-математических наук



Изучение процессов рассеяния адронов при высоких энергиях давно уже выделилось в самостоятельную и довольно обширную ветвь физики сильных взаимодействий. Ее значение определяется прежде всего тем, что понимание механизма адронных взаимодействий в значительной степени связано как с экспериментом в области высоких энергий, так и с его теоретической интерпретацией на базе аппарата квантовой теории поля. Эксперименты на современных ускорителях устанавливают ряд закономерностей во взаимодействии адронов высоких энергий. Детальный анализ данных показывает стремление полных сечений с ростом энергии к постоянному пределу. При малых углах рассеяние носит дифракционный характер, дифференциальные сечения упругих процессов характеризуются быстрым (экспоненциальным по t) падением. В области больших передач падение сечений замедляется и наблюдается некоторая структура в угловом распределении.

Существующие модели в области рассеяния вперед, например, модели, основанные на полюсах Редже, дают лишь прибли-

женное описание экспериментальных данных, ограниченное областью малых передач. Полное описание реакций при любых t довольно сложная задача. С другой стороны, дифракционный характер высокоэнергетического рассеяния позволяет привлечь к описанию методы, близкие квазиклассическим, эйкональному приближению, квантовомеханическому рассеянию на гладких потенциалах.

Круг вопросов, затронутых в диссертации, связан с описанием процессов упругого и квазиупругого рассеяния адронов при высоких энергиях в квазипотенциальном подходе, основанном на квазипотенциальном уравнении Логунова и Тавхелидзе в квантовой теории поля^{/1/} и интенсивно исследованном в ряде последующих работ^{/2,3/}. Идею квазипотенциального подхода близок к оптической модели ядра, т.е. к рассмотрению рассеяния нуклонов на ядрах по типу рассеяния света полупроницаемой оптической средой. При этом задача рассеяния рассматривается не как проблема многих тел, а как задача движения нуклона в поле, описываемом комплексным потенциалом.

Дальнейшее развитие квазипотенциальный метод в теории сильных взаимодействий получил в работах^{/4-11/}. Предлагаемый в диссертации подход является по существу развитием работ Матвеева по высокоэнергетическому рассеянию адронов.

Диссертация состоит из введения, трех глав, приложения и заключения.

Во введении приведен краткий обзор существующих экспериментальных данных по упругому и квазидвухчастичному рассеянию адронов высоких энергий. Анализируются современные теоретические методы и модели высокоэнергетического рассеяния частиц (оптические, статистические и унитарные подходы).

Далее во введении дана краткая характеристика квазипотенциального метода в квантовой теории поля и конспективно изложено содержание диссертации.

В первой главе, на основе квазипотенциального уравнения Логунова и Тавхелидзе, изучается рассеяние скалярных частиц при высоких энергиях. Уравнение представляет собой обобщение уравнения Липпмана-Швингера на случай квантовой теории поля, причём квазипотенциал V в отличие от квантовой механики является, вообще говоря, комплексной функцией, параметрически зависящей от энергии, мнимая часть которого обусловлена неупругими процессами при рассеянии двух частиц и является положительно определенной величиной^{/12/}. Для сильных взаимодействий не существует регулярного метода построения квазипотенциала, в отличие от случая слабой связи, где разработана стандартная процедура построения локального квазипотенциала, использующая разложение амплитуды рассеяния в ряд теории возмущений^{/2/}. Подход к рассеянию адронов при высоких энергиях, развиваемый в диссертации, основан на феноменологическом выборе квазипотенциала.

При этом было использовано предположение, что взаимодействие адронов высоких энергий может быть описано как рассеяние на гладком, комплексном квазипотенциале $V(\vec{r}, E)$, являющемся несингулярной функцией относительного расстояния \vec{r} ^{/13,14/} (Аллилуев, Герштейн, Логунов и др.). Это предположение, по существу, означает, что рассеяние адронов при высоких энергиях может рассматриваться как взаимодействие двух протяженных, "рыхлых" объектов. В частности, в первой главе показано, что простейший несингулярный квазипотенциал гауссовского типа

$$V(\vec{r}, E) = i s g_0 \left(\frac{\pi}{a}\right)^{3/2} e^{-\vec{r}^2/4a} \quad (1)$$

позволяет передать в основных чертах характер поведения амплитуды рассеяния адронов при высоких энергиях /4-8/.

В §1 обсуждается решение квазипотенциального уравнения с квазипотенциалом (1), которое в области малых углов рассеяния и высоких энергий ($|\frac{t}{s}| \ll 1, as \gg 1$) /4/ может быть найдено в виде сходящегося ряда борновских приближений:

$$T(\vec{\Delta}^2, E) = i s g_0 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{e^{at/n}}{n \cdot n!} \left(-\frac{4\pi^2 g_0}{a}\right)^{n-1} \quad (2)$$

В области дифракционного пика главный вклад в (2) вносят первые два члена и вблизи точки $t = (-\frac{2}{a}) \chi_n(a/\pi^2 g_0)$ в дифференциальном сечении может наблюдаться минимум. В частности, если $g_0(s)$ не зависит от энергии, то полное сечение стремится к своему асимптотическому значению снизу.

В §2 рассматривается построение "обменного" квазипотенциала и изучаются его возможные свойства в процессах, описывающих рассеяние с обменом изотоп-спина в t -канале /7/.

На основании некоторых предположений об аналитических свойствах обменного квазипотенциала в комплексной t -плоскости, для него были предложены следующие интегральные представления /15/:

$$V^{I=1}(s, t) = \int_0^1 dx x^{-1-t} f(x, s) \quad (3)$$

$$f(x, s) = \frac{1}{\pi} \int_{t_0}^{\infty} dt x^t \rho(s, t) \quad (4)$$

справедливые, в частности, для суперпозиции юкавских потенциалов. Отметим, что представление (3) включает в себя как сингулярные, так и гладкие квазипотенциалы.

В §3 в качестве примера рассмотрено представление типа Венециано /16/ для обменного квазипотенциала. Показано, что в рамках этой модели экспериментальные данные о разности полных сечений πN -рассеяния /17/ приводят к нелинейности в фермионных траекториях Редже, и предсказано поведение сечения перезарядки $\pi^+ p \rightarrow \pi^0 n$ на нулевой угол при высоких энергиях.

Во второй главе проводится сравнение результатов, полученных на основе квазипотенциального уравнения с квазипотенциалом (1), с экспериментальными данными об упругом pp -рассеянии на малые и большие углы при высоких энергиях /13/. Численные значения параметров, входящих в (2), находятся из экспериментальных данных при нулевых и малых переданных импульсах, т.е. из полного сечения σ_{tot} и ширины дифракционного пика $1/A$ следующим образом:

$$\sigma_{tot} = 8\pi a I(x), \quad x = \frac{4\pi^2 g_0}{a} \quad (5)$$

$$A = 2a \frac{1}{I(x)} \int_0^x \frac{d\xi}{\xi} I(\xi)$$

где

$$I(x) = - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-x)^n}{n \cdot n!} = \int_0^x \frac{d\xi}{\xi} (1 - e^{-\xi})$$

Полученные теоретические кривые (при $p_L = 8,5; 12,4$ и $18,4 \text{ GeV}/c$) достаточно хорошо передают поведение дифференциального сечения упругого pp -рассеяния в области, ограниченной не слишком большими переданными импульсами, а также положение дифракционных минимумов и их зависимость от энергии.

В §2 рассмотрен случай рассеяния двух частиц на фиксированный (большой) угол.

$$as \gg 1, \quad \left| \frac{t}{s} \right| \approx \sin^2 \frac{\theta}{2} = \text{фикс.}$$

В этом случае, в решении квазипотенциального уравнения

$$T(\vec{\Delta}^2, E) = isg_0 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{n^{2n}}{(n!)^2} \frac{e^{at/n}}{n^{2/2}} \left(\frac{isg_0 \pi \sqrt{\pi}}{t p a \sqrt{a}} \right)^{n-1}, \quad (6)$$

при $a|t| \gg 1$ основной вклад в сумме дают члены с $n \gg 1$. Преобразуя ряд к интегральной форме для дифференциального сечения рассеяния на большие углы, получим выражение

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} \rightarrow \left| \frac{r_0^2}{6} \right|^2 q^2 e^{-2q \text{Im } r_0} \quad (7)$$

$$s \rightarrow \infty, \quad \theta = \text{фикс.}, \quad q^2 = -t,$$

где

$$r_0 = i \sqrt{2\pi i a (1 + 2i/\pi \ln \gamma)}; \quad \gamma = \frac{s g e^2}{p|t|} \left(\frac{\pi}{a} \right)^{3/2} \quad (8)$$

В частности, в области энергий и переданных импульсов, где можно пренебречь вторым членом под корнем в (8), дифференциальное сечение (7) слабо зависит от энергии. В этом случае вся зависимость $d\sigma/d\Omega$ входит лишь через параметры a и g_0 , которые определяются из экспериментальных данных в области дифракционного пика.

Интересным является то обстоятельство, что при логарифмическом росте параметра a с энергией получается, следующая из строгих результатов теории поля, оценка нижней границы убывания амплитуды рассеяния на фиксированный угол при высоких энергиях (Cenulus, Martin; Логунов, Мествиришвили) /19/.

Соответствующая упругому pp -рассеянию теоретическая кривая передает характер спадания и абсолютное значение дифференциального сечения в области больших углов рассеяния /18/.

В третьей главе проводится обобщение данного подхода на случай неупругих квазидвухчастичных процессов и проводится сравнение результатов с данными по рождению изобар в pp -столкновениях.

В §1 рассмотрена многоканальная задача квазидвухчастичного рассеяния. При условии гладкости обобщенного квазипотенциала при высоких энергиях и определенных предположениях о характере неупругих процессов, получено решение эффективной двухканальной задачи для амплитуды перехода $T_{pp \rightarrow pN}^*$ в виде:

$$T^*(\Delta^2, E) = \phi(s) \sum_{n=0}^{\infty} \frac{a e^{-\frac{ab}{a+bn} t}}{(a+bn) \cdot n!} \left(-\frac{4\pi^2 g_0}{a} \right)^n, \quad (9)$$

где $\phi(s) = isg^*$, b, g^* - параметры, связанные с квазипотенциалом перехода $pp \rightarrow pN^*$; a, g_0 - параметры квазипотенциала упругого pp -рассеяния.

В §2 полученное решение (9) используется при сравнении с экспериментом по рождению изобар $N^*(1400), N^*(4518), N^*(1688)$ (с изотоп-спином $I=1/2$) при больших переданных импульсах и высоких энергиях \sqrt{s} . На основе анализа экспериментальных данных по наклонам пиков в рождении изобар ($|t| \lesssim 0,5 \left(\frac{\text{GeV}}{c}\right)^2$) проводится вычисление дифференциальных сечений при $|t| = (0,5 \text{ GeV}/c)$. Полученные кривые для $p_L = 20 \text{ GeV}/c$ хорошо описывают наблюдаемую структуру дифференциальных сечений рождения N^* . Далее во второй главе рассмотрено решение уравнения для амплитуды T^* при фиксированных углах. Сравнивая решение с результатом для амплитуды pp -рассеяния при фиксированных углах и проводя аналогичные вычисления, полученное дифференциальное сечение рождения оказывается зависящим только от параметров упругого рассеяния

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)^* \approx c q^2 e^{-2q\sqrt{\pi a}} = f(a, g_0). \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \theta &= \text{фикс.} \\ s &\rightarrow \infty \end{aligned}$$

Эта универсальность сечений указывает на то, что при больших передачах становятся существенными многократные перерасеяния на упругом квазипотенциале, т.е. должен существовать общий механизм, ответственный за процессы $pp \rightarrow pN^*$ и упругое

pp -рассеяние на большие углы, независимо от деталей конечного состояния. Отметим, что недавние эксперименты по измерению $d\sigma/d\Omega(pp \rightarrow pN^*)$ в области больших t при высоких энергиях подтверждают наши выводы.

В заключении приведена сводка полученных результатов, а приложение содержит вывод решения квазипотенциального уравнения с потенциалом типа (1). Основные результаты диссертации содержатся в работах ^{/4-8/} и докладывались на сессиях отделения ядерной физики АН СССР (1968, 1969), Международной конференции по фундаментальным взаимодействиям (Майами, 1969), XV Международной конференции по физике высоких энергий (Киев, 1970).

Литература

1. А.А. Logunov, А.Н. Tavkhelidze. Nuovo Cim., 29, 380, 1963.
2. А.Н. Tavkhelidze. Lectures on Quasipotential Method in Field Theory, Tata Institute of Fundamental Research, Bombay, 1964.
В.Г. Кадышевский, А.Н. Тавхелидзе. Квазипотенциальный метод в релятивистской задаче двух тел. В сборнике, посвященном 60-летию Н.Н. Боголюбова, стр.261, М., Наука, 1969.
3. В.А. Матвеев, Р.М. Мурадян, А.Н. Тавхелидзе. Препринт ОИЯИ E2-3498, Дубна 1967; P2-3900, Дубна 1968.

- В.А. Матвеев. Препринт ОИЯИ P2-3847, Дубна 1968.
- Н.Н. Боголюбов, В.А. Матвеев, А.Н. Тавхелидзе. Вопросы теории элементарных частиц, стр. 269, Варна 1968.
- В.А. Матвеев, В.П. Шелест. Препринт ОИЯИ P-2757, Дубна 1966; в книге "Физика высоких энергий и теория элементарных частиц", стр. 481, Киев, Наукова думка, 1967.
4. V.R. Garsevanishvili, V.A. Matveev, L.A. Slepchenko, A.N. Tavkhelidze. Phys.Lett., 29B, 191, 1969.
 5. В.Р. Гарсеванишвили, С.В. Голоскоков, В.А. Матвеев, Л.А. Слепченко. ЯФ, 10, 627, 1969; Препринт ОИЯИ E2-4361, Дубна 1969.
 6. V.R. Garsevanishvili, V.A. Matveev, L.A. Slepchenko, A.N. Tavkhelidze. Preprint ICTP, IC/ 69/ 87, Trieste, 1969.
 7. В.А. Матвеев, Л.А. Слепченко. Препринт ОИЯИ E2-5226, Дубна 1970. Программа и сборник тезисов докладов ХУ Международной конференции по физике высоких энергий, стр.514, Киев 1970. Издание ОИЯИ, Дубна, 1970.
 8. В.Р. Гарсеванишвили, В.А. Матвеев, Л.А. Слепченко, А.Н. Тавхелидзе. Программа и сборник тезисов докладов ХУ Международной конференции по физике высоких энергий, стр. 513, Киев, 1970. Издание ОИЯИ, Дубна 1970.
 9. V.R. Garsevanishvili, V.A. Matveev, L.A. Slepchenko, A.N. Tavkhelidze. Preprint JINR E2-4251, Dubna, 1969; Talk Given at the Coral Gables Conference, Miami, Gordon and Breach Sciences Publish, p. 74, 1969.

10. В.Р. Гарсеванишвили, В.А. Матвеев, Л.А. Слепченко. В сборнике "Проблемы физики элементарных частиц и атомного ядра", т.1, в.1, стр. 90, Атомиздат, Москва, 1970.
11. В.Р. Гарсеванишвили, С.В. Голоскоков, В.А. Матвеев, Л.А. Слепченко, А.Н. Тавхелидзе. Препринт ОИЯИ E2-5244, Дубна 1970.
12. P.N. Bogolubov. Preprint ICTP, 69/ 77, Trieste, 1969.
13. S.P. Alliluyev, S.S. Gershtein, A.A. Logunov. Phys.Lett., 18, 195, 1965.
А.А. Логунов, О.А. Хрусталеv. Сб. "Проблемы физики элементарных частиц и атомного ядра", т.1, в.1, стр. 71, Атомиздат, Москва, 1970.
14. V.A. Matveev, A.N. Tavkhelidze. Preprint JINR E2-5141, Dubna, 1970.
15. V.A. Matveev, A.N. Tavkhelidze. Preprint JINR E2-4844, Dubna, 1970. V.A. Matveev, D.Ть. Stoyanov, A.N. Tavkhelidze. Phys.Lett., 32B, 61, 1970.
16. G. Veneziano. Nuovo Cim., 57A, 190, 1969.
17. Ю.Д. Прокошкин. Доклад на ХУ Международной конференции по физике высоких энергий, Киев, 1970; Издание ОИЯИ, Дубна, 1970.
18. D. Harting et al. Nuovo Cim., 38, 60, 1965.
J. Orear et al. Phys.Rev., 152, 1162, 1966.
W. Garbraith et al. Phys.Rev., 138B, 913, 1965.
J.V. Allaby et al. Phys.Lett., 25B, 156, 1967; 28B, 67, 1968.
G. Cocconi et al. Phys.Rev., 138B, 165, 1965.

19. F. Cerulus, A. Matrin. Phys.Lett., 8, 80, 1964.
A.A. Logunov, M.A. Mestvirishvili. Phys.Lett., 24B 583, 1967.
20. E.W. Anderson et al. Phys.Rev.Lett., 16, 855, 1966.
J.V. Allaby et al. Phys.Lett., 28B, 229, 1968,
C.N. Ankenbrandt et al. Phys.Rev., 170, 1233, 1968,
J.V. Allaby et al. Preprint CERN , 70, 1970.

Рукопись поступила в издательский отдел
16 ноября 1970 года.