

926689

F-616

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

2 - 7049

ГОЛОСКОКОВ
Сергей Витальевич

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ
КВАЗИПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ПРОЦЕССОВ
ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РАССЕЯНИЯ

Специальность 01 - 041 - теоретическая
и математическая физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики
Объединенного института ядерных исследований.

Научные руководители:

член-корреспондент АН СССР,
доктор физико-математических наук,
профессор

Д.В. Ширков,

доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник

В.А. Матвеев.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук

В.А. Мешеряков,

доктор физико-математических наук,
профессор

О.А. Хрусталеv.

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Инсти-
тут теоретической физики, г. Киев.

Автореферат разослан " " 1973 года.

Защита диссертации состоится " " 1973 г.

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 - 7049

ГОЛОСКОКОВ
Сергей Витальевич

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ
КВАЗИПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ПРОЦЕССОВ
ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РАССЕЯНИЯ

Специальность 01 - 041 - теоретическая
и математическая физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Изучение процессов рассеяния адронов при высоких энергиях занимает важное место в физике сильных взаимодействий.

Значительный прогресс в понимании наиболее общих свойств сильных взаимодействий был достигнут благодаря фундаментальным работам Н.Н. Боголюбова^{/1,2/}. Исходя из основных принципов квантовой теории поля^{/1/}, таких, как причинность, унитарность, лоренц-инвариантность и др. были доказаны дисперсионные соотношения и введено понятие об амплитуде рассеяния как единой аналитической функции своих переменных.

Это понятие стало отправным пунктом для развития различных подходов к описанию процессов сильно взаимодействующих частиц: асимптотического подхода, дисперсионных соотношений и дисперсионных правил сумм, квазипотенциального подхода, феноменологического реджевского и эйконального подходов и др.^{/3/}

Представленная диссертация посвящена изучению высокоэнергетического рассеяния частиц в рамках квазипотенциального подхода.

Квазипотенциальный подход, предложенный А.А. Логуновым и А.Н. Тавхелидзе, послужил основой для вывода точных трехмерных уравнений, описывающих системы взаимодействующих частиц в квантовой теории поля^{/4/}.

Квазипотенциальный метод развивался в различных направлениях^{/5-9/}. Одним из них является подход, развитый на

базе гамильтонова формализма в квантовой теории поля^{/5,10/}, который привёл к формулировке релятивистского конфигурационного представления в системе двух тел.

Квазипотенциальные уравнения эффективно используются для описания связанных систем частиц в квантовой электродинамике^{/11/}.

В последнее время квазипотенциальный подход был с успехом применен к системам с сильным взаимодействием^{/12/}.

Одной из основных проблем квазипотенциального метода в применении к теории сильных взаимодействий является проблема выбора квазипотенциала. В этом случае метод построения квазипотенциала по теории возмущений неприменим, и подход к описанию рассеяния основан на феноменологическом выборе квазипотенциала. Одним из главных принципов, заложенных в теорию, является гипотеза о существовании гладкого локального квазипотенциала, дающего адекватное описание процессов рассеяния частиц высоких энергий, высказанная А.А. Логуновым и сотрудниками^{/13/}.

Отметим, что идея о квазиоптическом описании высокоэнергетического рассеяния частиц была впервые высказана в работах Д.И. Блохинцева^{/14/}.

Последовательное развитие и обоснование гипотеза о гладкости локального квазипотенциала получила в рамках квазипотенциального подхода в работах А.А. Логунова, А.Н. Тавхелидзе и сотрудников^{/15-17/}.

Гладкость локального квазипотенциала, по всей видимости, связана с динамикой взаимодействия частиц при высоких энергиях и означает, что частицы в высокоэнергетических столк-

новениях ведут себя, в некотором смысле, как протяжённые объекты конечных размеров.

В работах В.А. Матвеева, А.Н. Тавхелидзе и сотрудников было показано, что квазипотенциальный подход с гладким локальным квазипотенциалом позволяет дать единое описание основных закономерностей процессов высокоэнергетического рассеяния на малые и большие углы. Так, в работах^{/8,12,18/} с помощью чисто мнимого квазипотенциала простейшего гауссовского вида удалось правильно передать общую картину упругого PP -рассеяния и процессов рождения изобар N^* .

В ряде работ^{/8,19,20/} было показано, что квазипотенциальное уравнение с гладким локальным квазипотенциалом позволяет дать строгое обоснование эйконального представления для амплитуды рассеяния частиц высоких энергий на малые углы.

В работах О.А. Хрусталёва и сотрудников^{/21/} изучена связь метода анализа рассеяния частиц с помощью условия унитарности и квазипотенциального метода с гладкими квазипотенциалами достаточно общего вида.

Из сказанного выше следует, что гипотеза о гладкости взаимодействия при высоких энергиях может служить основой для построения на базе квазипотенциального метода эффективного аппарата для описания рассеяния частиц высоких энергий.

В представляемой диссертации особое внимание уделяется описанию взаимодействия частиц со спином и изучению асимпто-

ческих свойств рассеяния бесспиновых частиц в рамках квазипотенциального подхода Логунова-Тавхелидзе на основе гипотезы о гладкости локального квазипотенциала при высоких энергиях.

Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения. Первый параграф каждой из глав является вводным. Первая глава диссертации посвящена изучению спиновых эффектов при взаимодействии частиц. Во втором параграфе главы получено квазипотенциальное уравнение, описывающее взаимодействие частиц со спином 0 и $1/2^x$. В представлении Фолди-Вотхойзена уравнение может быть записано в виде^{/24/}:

$$(E\gamma_0 - \omega(\vec{p}) - W(\vec{p}))\Psi(\vec{p}) = -\frac{1}{\omega(\vec{p})} \int d^3k V(E; \vec{p}, \vec{k}) \Psi(\vec{k}), \quad (I)$$

где E - полная энергия в системе центра масс, $\omega(\vec{p}) = \sqrt{m^2 + \vec{p}^2}$, $W(\vec{p}) = \sqrt{M^2 + \vec{p}^2}$, m и M - массы скалярной и спиновой частиц соответственно. Показано, что в случае выбора квазипотенциала в стандартном представлении^{/22/} уравнение (I) может быть сведено к двухкомпонентной форме.

В третьем параграфе, исходя из гипотезы о гладкости локального квазипотенциала, исследовано асимптотическое решение уравнения (I) для амплитуды рассеяния на малые углы в t ^{/25/} или u ^{/26/} - каналах при высоких энергиях.

^{x)} Квазипотенциальные уравнения для частиц со спином рассматривались в ряде работ^{/22, 23/}.

Показано, что уравнение (I) в указанных областях эквивалентно следующей системе линейных дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} 2ip\partial_z \Phi_{(+)}(\vec{r}) &= -(1 + \frac{i\partial_z}{p}) V_{(g,+)}(E; \vec{r}) \Phi_{(+)}(\vec{r}) \\ 2ip\partial_z \Phi_{(-)}(\vec{r}) &= (1 - \frac{i\partial_z}{p}) [V_{(g,-)}(E; \vec{r}) \Phi_{(-)}(\vec{r}) + \\ &+ V_{(e,-)}(E; \vec{r}) \Phi_{(+)}(-\vec{r})] \end{aligned} \quad (2a)$$

Здесь $\Phi_{(\pm)}$ связаны с волновыми функциями рассеяния вперед и назад, соответственно, квазипотенциалы $V_{(g,\pm)}$ -матрицы 2×2 . Решение системы уравнений (2 а, б) имеет вид:

$$\begin{aligned} \Phi_{(+)}(\vec{r}) &= \exp\left\{-\frac{1}{2ip} \int_{-\infty}^z U_1(E; \vec{r}') dz'\right\} + O\left(\frac{1}{p}\right); (\vec{r}' = (\vec{p}, z')) \quad (3a) \\ \Phi_{(-)}(\vec{r}) &= -\frac{1}{2ip} \exp\left\{\frac{1}{2ip} \int_{-\infty}^z H(E; \vec{r}') dz'\right\} \cdot \int_{-\infty}^z \exp\left\{-\frac{1}{2ip} \int_{-\infty}^{z'} H(E; \vec{r}'') dz''\right\} V_{(e,-)}(E; \vec{r}') \Phi_{(+)}(-\vec{r}') dz' + O\left(\frac{V_{(e,-)}}{p^2}\right) \end{aligned} \quad (3б)$$

Матрицы $U_1(E; \vec{r})$ и $H(E; \vec{r})$ связаны с квазипотенциалами^{/26/}.

Используя выражения (3а, б), можно найти амплитуду рассеяния в виде разложения по обратным степеням энергии^{/19/}, причём главный член амплитуды рассеяния вблизи пика вперед имеет эйкональную форму^{/25/}:

$$T(E; \vec{\Delta}_t) = \chi_{\frac{1}{2}, m_t}^+ [T(E; \vec{\Delta}_t) + i\sigma_y T(E; \vec{\Delta}_t)] \chi_{\frac{1}{2}, m_t} \quad (4)$$

$$\vec{\Delta}_t = (\vec{p} - \vec{k})_t$$

где

$$T(E, \vec{\Delta}_t^{(+)}) = -i p \int_0^{\infty} \rho d\rho J_0(\rho \Delta_t) [e^{i\chi^{(+)}(E; \rho)} \cos \chi^{(-)}(E; \rho) - 1] \quad (5a)$$

$$T(E, \vec{\Delta}_t^{(-)}) = p \int_0^{\infty} \rho d\rho J_1(\rho \Delta_t) e^{i\chi^{(+)}(E; \rho)} \sin \chi^{(-)}(E; \rho) \quad (5b)$$

с фазами $\chi^{(\pm)}(E; \rho)$, простым образом связанными с квазипотенциалами.

Во второй главе диссертации приведенные выше результаты используются для описания экспериментальных данных по πN -рассеянию в интервале энергий $10 \frac{\text{GeV}}{c^2} \leq p_L \leq 60 \frac{\text{GeV}}{c^2}$ и передач $0.01 (\frac{\text{GeV}}{c^2})^2 \leq |t| \leq 1 (\frac{\text{GeV}}{c^2})^2$. Получено статистически удовлетворительное описание экспериментальных данных в указанной области энергий и передач с квазипотенциалами экспоненциальной формы, содержащими 25 параметров. Даны предсказания на область более высоких энергий^{/27/}.

Проведенный анализ показывает, что на основе гипотезы о гладкости локального квазипотенциала удаётся получить не только качественное, но и количественное описание экспериментальных данных.

Третья глава содержит рассмотрение ряда вопросов, касающихся асимптотического поведения амплитуды рассеяния в рамках квазипотенциального подхода. Здесь изучается квазиклассический предел $\hbar \rightarrow 0$ квазипотенциального уравнения для бесспиновых частиц с гладким локальным квазипотенциалом^{/28/}.

Отметим, что проблема квазиклассического приближения в квазипотенциальном подходе существенно отличается от соответствующего вопроса в квантовой механике. Локальный квазипотенциал содержит информацию о неупругих каналах реакции и, таким образом, имеет сложную квантовую природу. Поэтому вопрос о существовании и характере квазиклассического предела $\hbar \rightarrow 0$ в физике адронов нетривиален.

Несколько примеров возможных зависимостей квазипотенциала от \hbar рассмотрено во втором параграфе главы с помощью анализа размерностей. Они приводят к различным результатам в области высоких энергий.

Так, для квазипотенциала, исчезающего в классическом пределе: $V \sim \hbar$, волновая функция может быть записана в эйкональной форме^{/28, 29/}. Этот результат находится в близкой связи с результатами работ^{/19, 30/}, где изучалось эйкональное разложение амплитуды рассеяния двух частиц на гладких квазипотенциалах. Для квазипотенциалов, имеющих классический предел, получено выражение для фазы рассеяния в квазиклассическом приближении^{/31/}:

$$\delta_e = \frac{1}{\hbar} \left[\int_{r_0}^{\infty} \left(\sqrt{p^2 - \frac{\nu^2}{r^2} + \frac{V(E; r)}{E} - \frac{V^2(E; r)}{2E^4}} - p \right) dr + \frac{\sqrt{\pi}}{2} - p r_0 \right] + \dots, \quad (6)$$

где $\nu = \hbar(\ell + 1/2)$, r_0 — точка поворота.

В третьем параграфе выражение (6) для фазы рассеяния используется для нахождения асимптотических оценок для амплитуды рассеяния в области больших углов на квазипотенциалах общего экспоненциального вида, предложенных в работах [21].

$$V(E; r) = iE^2 g \varphi\left(\frac{r^2}{R^2}\right) e^{-\psi\left(\frac{r^2}{R^2}\right)} \quad (7)$$

Функции $\varphi(x^2)$ и $\psi(x^2)$ предполагаются полиномиально ограниченными, причём

$$\psi(x^2) \sim dx^{2\nu} \quad \text{при } x \rightarrow \infty. \quad (8)$$

Показано, что для амплитуды рассеяния справедливы следующие оценки:

(I). Если $\frac{d\delta(\epsilon)}{d\epsilon}$ — гладкая функция в ϵ -плоскости, тогда:

$$T(E; \theta) \sim e^{-\phi(\theta)ER(\ln E)^{1/\nu}} \quad (9a)$$

(II). Если $\frac{d\delta(\epsilon)}{d\epsilon}$ имеет особенности в ϵ -плоскости, главный вклад в амплитуду рассеяния даёт ближайшая из них (обладающая $\min\{\text{Im} \ell\}$). Тогда:

$$T(E; \theta) = e^{-\phi(\theta)ER} \quad (9b)$$

Выражения (9a, б) могут быть представлены в виде:

$$T(s, t) \sim e^{-c(s)\sqrt{|t|}} \quad (10)$$

где $c(s)$ — медленно меняющаяся функция. На основе приведённых выше оценок для амплитуды рассеяния найдены ограничения на характерные параметры квазипотенциала [32], не нарушающие строгих неравенств для физических величин, доказанных в квантовой теории поля.

Так, в случае (I), когда интенсивность взаимодействия ограничена степенью логарифма:

$$|g| \leq (\ln E)^\delta \quad (\delta - \text{произвольное}), \quad (11)$$

при $\nu \geq 1$ для радиуса взаимодействия R справедливо ограничение:

$$R \leq (\ln E)^{1-1/2\nu} \quad (12)$$

Показано, что при $v < 1$ обязательно должны присутствовать особенности производной фазы в плоскости углового момента.

В случае (П) для интенсивности и радиуса взаимодействия получены следующие ограничения:

$$|g| \leq (\ln E)^{\delta}; \quad R \leq \ln E. \quad (13)$$

Основные результаты, полученные в диссертации, перечислены в заключении. Они были опубликованы в работах /24-29, 31, 32/ и докладывались на сессиях Отделения ядерной физики АН СССР в Москве (1971), в Дубне (1972), на XV Международной конференции по физике высоких энергий, на международных школах и симпозиумах.

Литература:

- 1 Н.Н. Боголюбов, Д.В. Ширков. "Введение в теорию квантованных полей". ГИИТД, М., 1957.
- 2 Н.Н. Боголюбов, Б.В. Медведев, И.К. Поливанов. "Вопросы теории дисперсионных соотношений". Физматгиз., М., 1958.
- 3 А.Н. Tavkhelidze. In "Proceedings of the XV-th International Conference on High Energy Physics." p.337, Naukova Dumka, Kiev, 1972.
- 4 А.А. Logunov, А.Н. Tavkhelidze. Nuovo Cim., 29, 380 (1963); А.А. Logunov, А.Н. Tavkhelidze, I.Т. Todorov, O.A. Khrustalev. Nuovo Cim., 30, 134 (1963)
- 5 В.Г. Кадышевский, А.Н. Тавхелидзе. В сб. "Проблемы теоретической физики". Наука, 1969.
- 6 I.Т. Todorov. In "International JINR-CERN School on High Energy Physics", E2-5813, JINR, 1971.
- 7 В.А. Матвеев, А.Н. Тавхелидзе. В сб. "Бинарные реакции при высоких энергиях". Д-6004, стр. 440, Дубна, 1972.
- 8 В.А. Матвеев. Автореферат докторской диссертации, ОИЯИ, 2-6177, Дубна, 1971.
- 9 А.А. Логунов, В.И. Саврин, Н.Е. Тюрин, О.А. Хрусталёв. ТМФ, 6, 157, (1971).

- 10 V.G.Kadyshevsky. Nucl.Phys., В6, 125 (1968);
V.G.Kadyshevsky, R.M.Mir-Kasimov, N.B.Skachkov
Nuovo Cim., 55A, 233 (1968).
- 11 Р.Н. Фаустов. ЭЧАЯ т. 3, вып. I, стр. 238, Атом-
издат, 1972.
- 12 В.Р. Гарсеванишвили, В.А. Матвеев, Л.А. Слепченко.
ЭЧАЯ т. I, в. I, стр. 91, Атомиздат (1970).
- 13 S.P.Alliluyev, S.S.Gershtein, A.A.Logunov.
Phys.Lett., 18, 195 (1965).
- 14 D.I.Blokhintsev. Nucl. Phys., 31, 328 (1958);
Д.И. Блохинцев, В.С. Барашенков, Б.М. Барбашов.
УФН, 68, 417 (1959).
- 15 А.А. Логунов, О.А. Хрусталёв. ЭЧАЯ т. I., в. I, стр.
71, Атомиздат, 1970.
- 16 В.М. Barbashov, S.P.Kuleshov, V.A.Matveev, A.N.Sissakian,
A.N.Tavkhelidze. Phys.Lett., 32B, 419 (1970).
- 17 V.A.Matveev, A.N.Tavkhelidze. JINR E2-5141, Dubna, 1970.
- 18 V.R.Garsevanishvili, V.A.Matveev, L.A.Slepchenko, A.N.
Tavkhelidze. Phys.Lett., 29B, 191 (1969); In "Coral
Gabbles Conference on Fundamental Interactions at High
Energies", Gordon and Breach Publ., 1969; Phys.Rev.,
D1, 849 (1971);
Л.А. Слепченко. Автореферат кандидатской диссертации, ОИЯИ,
2-5464, Дубна, 1970.

- 19 В.Р.Гарсеванишвили, С.В. Голоскоков, В.А. Матвеев,
Л.А. Слепченко, А.Н.Тавхелидзе. ТМФ, 6, 36 (1971).
- 20 В.Р. Гарсеванишвили. Автореферат кандидатской диссертации,
ОИЯИ, 2-5466, Дубна, 1970.
- 21 В.И. Саврин, О.А. Хрусталёв. ЯФ, 8, 1016 (1968);
В.И. Саврин, Н.Е. Тюрин, О.А. Хрусталёв. ЯФ, 10, 856
(1969); ТМФ, 2, 338 (1970), ЯФ, 11, 880 (1970).
- 22 V.A.Matveev, R.M.Muradyan, A.N.Tavkhelidze. JINR,
E2-3498, Dubna, 1967.
- 23 Г.М. Десимиров, Д.Ц. Стоянов. ОИЯИ P-1568, Дубна, 1964;
Р.Н. Фаустов. ОИЯИ P-1572, Дубна, 1964;
V.G.Kadyshevsky, M.D.Mateev. Nuovo Cim., 55A, 275 (1968);
А.А. Хелашвили. ОИЯИ P2-4327, Дубна, 1969;
М.Д. Матеев, Р.М.Мир-Касимов, Н.Б. Скачков. ОИЯИ P2-5605,
Дубна, 1971.
- 24 В.Р. Гарсеванишвили, С.В. Голоскоков, В.А. Матвеев,
Л.А. Слепченко. ТМФ, 12, 384 (1972).
- 25 В.Р. Гарсеванишвили, С.В. Голоскоков, В.А. Матвеев,
Л.А. Слепченко. ТМФ, 11, 37 (1972).
- 26 В.Р. Гарсеванишвили, С.В. Голоскоков. ОИЯИ, P2-6833,
Дубна, (1972).
- 27 В.Р. Гарсеванишвили, С.В. Голоскоков, М.И. Джгаркава,
Ю.М. Казаринов, В.А. Матвеев, И.К. Поташникова, И.Н.Силин,
А.Н. Тавхелидзе. Материалы междунар. семинара "Взаимодей-
ствие адронов при высоких энергиях". Баку, апрель 1972.

- M.I.Dzhgarkava, V.R.Garsevanishvili, S.V.Goloskokov,
Yu.M.Kazarinov, V.A.Matveev, I.K.Potashnikova, I.N.
Silin, L.A.Slepchenko. JINR, E2-6803, Dubna, 1972.
- 28 С.В. Голоскоков, В.А. Матвеев. Труды 2-го международного симпозиума по физике высоких энергий и элементарных частиц. Д-6840, Дубна, 1972.
- 29 В.Р. Гарсеванишвили, С.В. Голоскоков, В.А. Матвеев, Л.А. Слепченко. ОИЯИ, P2-6677, Дубна, 1972.
- 30 С.П. Кулешов, В.А. Матвеев, А.Н. Сисаян, М.А. Смандырев, ОИЯИ, P2-6437, Дубна, 1972.
- 31 С.В. Голоскоков. ОИЯИ, P2-6442, Дубна, 1972.
- 32 С.В. Голоскоков, В.А. Матвеев. ЯФ, 16, 1297 (1972).

Рукопись поступила в издательский отдел
30 марта 1973 года.