

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Д - 736

2-81-668

ДРЕНСКА

Светла Богомилова

ПРИМЕНЕНИЕ ГАРМОНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА
НА ГРУППЕ ЛОРЕНЦА
К ПОСТРОЕНИЮ АМПЛИТУДЫ
УПРУГОГО РАССЕЯНИЯ АДРОНОВ
ПРИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЯХ

Специальность: 01.04.02 - теоретическая
и математическая физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1981

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Измерения дифференциальных и полных сечений взаимодействий адронов на ускорителях в Серпухове^{/1/}, CERN ISR^{/2-4/} и FERMILAB^{/5-7/} показали, что значения полных сечений начинают расти уже при энергиях $\sqrt{s} \geq 10$ ГэВ (серпуховский эффект) и существует четкий минимум дифференциальных сечений упругого протон-протонного рассеяния при $|t| \approx 1.5$ ГэВ². Эти факты вызвали пересмотр наших представлений об адронных взаимодействиях и уточнение некоторых строгих результатов квантовой теории поля^{/8/}. Появился ряд новых моделей адронов и их взаимодействий^{/9-10/}.

Для объяснения данных при малых переданных импульсах используются модели, основанные на потенциальных аналогиях^{/11/}. При больших передачах импульса используется представление о кварк-глюонном характере адронных взаимодействий в рамках квантовой хромодинамики. Поскольку теория возмущений неприменима при достижимых сейчас сравнительно немалых расстояниях между кварками, то пользуются различными приближениями, например, партонной моделью^{/12/}.

Таким образом, в настоящее время не существует единого описания адрон-адронных взаимодействий, справедливого во всей кинематически допустимой области изменения переданных импульсов.

Поэтому естественно наряду с развитием общих теоретических представлений решать предварительные задачи об эвристической систематике элементарных частиц^{/13/} и данных об их взаимодействиях.

Цель работы

Построить амплитуду упругого протон-протонного рассеяния и получить эвристическое описание экспериментальных данных адрон-адронных взаимодействий при высоких энергиях.

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:

кандидат физико-математических наук
старший научный сотрудник

С.Щ.Мавроциев

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук
старший научный сотрудник

Н.Е.Турин

Кандидат физико-математических наук
старший научный сотрудник

А.Н.Квинихидзе

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Институт математики СО АН СССР, г. Новосибирск

Автореферат разослан " _____ " _____ 1981 года.

Защита диссертации состоится " _____ " _____ 1981 года

на заседании Специализированного совета КО 47.01.01 Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований, г. Дубна, Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета
кандидат физико-математических наук

В.И.Журавлев

Научная новизна и практическая ценность

На основе предположения о квазипотенциальном характере адрон-адронных взаимодействий^{/14/} с применением методов гармонического анализа на группе Лоренца в диссертации впервые построена амплитуда упругого протон-протонного рассеяния, которая описывает экспериментальные данные: по дифференциальным сечениям упругого протон-протонного рассеяния при $\sqrt{s} \geq 10$ ГэВ и $0,0375 \leq |t| \leq 9,75$ ГэВ²; по полным сечениям взаимодействия \bar{p} , p , π^+ , K^+ с протоном, нейтроном и дейтроном при $\sqrt{s} \geq 10$ ГэВ и по величине $\rho(s) = \frac{\text{Re} T(s,0)}{Im T(s,0)}$ для упругого протон-протонного рассеяния при $\sqrt{s} \geq 10$ ГэВ.

Полученные формулы позволяют систематизировать большое количество экспериментальных данных по адрон-адронным взаимодействиям при высоких энергиях.

Предсказания для полных сечений гиперонов на протоне и протона на ⁴Не подтверждаются предварительными экспериментальными данными.

Апробация работы

Результаты, полученные в диссертации, докладывались и обсуждались на семинарах ЛТФ ОИЯИ и ИФВЭ, на III Международной конференции Hadron Constituents and Symmetries (Смоленце, СССР, 1976 г.), на VII Международной конференции по физике высоких энергий (Ванкувер, Канада, 1979 г.) и на Международном семинаре по проблемам квантовой теории поля и физике высоких энергий (Протвино, 1981 г.).

Публикации

По результатам диссертации опубликовано пять статей.

Объем работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и двух приложений, содержит 92 страницы машинописного текста, включая 8 таблиц и 20 рисунков. Библиографический список литературы включает 114 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении аргументируется актуальность темы диссертации, сделан краткий обзор экспериментальных данных по упругому рассеянию адронов и некоторых теоретических моделей (§ I). В § 2 сформулированы основные предположения^{/14-17/}, которые позволяют поставить задачу об эвристическом описании экспериментальных данных, и описан метод построения амплитуды упругого протон-протонного рассеяния.

В первой главе (§ I и § 2) приведены основные формулы нерелятивистского и релятивистского гармонического анализа. В § 3 показано, что экспоненциально-степенное поведение дифференциальных сечений упругого протон-протонного рассеяния может быть объяснено геометрически.

Во второй главе построена амплитуда упругого протон-протонного рассеяния. В § I исследуется возможность построения амплитуды на основе интегрального представления

$$T(s, t) = -\frac{m}{4\pi} \int d^3\vec{r} \zeta(m, \vec{q}, \vec{r}) T(s, \vec{r}),$$

где

$$\zeta(m, \vec{q}, \vec{r}) = \left(\sqrt{1 + \frac{\vec{q}^2}{m^2}} - \frac{\vec{q} \cdot \vec{n}}{m} \right)^{-1 - imr}$$

есть релятивистская плоская волна ($t = -\vec{q}^2$, $\vec{n}^2 = 1$). Переменная \vec{r} имеет смысл относительной координаты. Затем $T(s, r)$ представляется в виде суммы "потенциальных ям и барьеров". В § 2 неизвестные функции энергии находятся из сравнения с экспериментальными данными. Возникающие при этом переопределенные нелинейные алгебраические системы уравнений решаются методом авторегуляризованных итерационных гаусс-ньютоновских процессов^{/18/}. В § 3 приведены полученные аналитические выражения для амплитуды в импульсном и координатном представлениях. Оказывается, что

$$T(s, t) = f[R(s), \chi(t, R(s))],$$

причем функция $R(s)$ имеет вид

$$R(s) = R_0 + R_1 / (s/s_0)^{R_2} + R_3 \ln(s/s_0)^{R_4}$$

где $R_i / i = 0, \dots, 4$ и S_0 являются константами,

$\chi = \ln \left(\sqrt{1 - \frac{t}{m^2(s)}} + \sqrt{-\frac{t}{m^2(s)}} \right)$ - переданная быстрота,
 $m(s) = a R(s)$ - эффективная масса. В § 4 приведено полученное описание $\frac{d\sigma}{dt}(s, t)$, $\sigma_T(s)$, (см. рис. 1-3) и $\rho(s)$ при $\sqrt{s} \geq 10$ ГэВ и $0,0375 \leq |t| \leq 9,75$ ГэВ². Из явного вида амплитуды и оптической теоремы получено, что $\sigma_T(s) = 2\pi R^2(s)$. Функцию $R(s)$ можно интерпретировать как эффективный радиус. Показано, что амплитуда удовлетворяет свойству геометрического скейлинга^{/19/} при $\sqrt{s} \geq 15$ ГэВ. Предсказывается дифракционная картина упругого протон-протонного рассеяния (см. рис. 4).

В третьей главе получена зависимость параметров эффективного радиуса $R(s)$ от квантовых чисел сталкивающихся адронов при $\sqrt{s} \geq 10$ ГэВ. Дано описание полных сечений рассеяния $\bar{p}, p, \pi^{\pm}, K^{\pm}$ на протоне, нейтроне, дейтроне. Приведены предсказания и исследовано поведение некоторых кварковых правил сумм с ростом энергий.

В четвертой главе получено описание $\bar{p}, p, \pi^{\pm}, K^{\pm}$ - протонных полных сечений, начиная с пороговых энергий. В § 1 для эффективного радиуса адрон-адронного взаимодействия установлен следующий вид:

$$R(s) = \sum_{i=1}^7 \frac{\rho_i^2 s}{(\sqrt{s} - \mu_i)^2 + \Gamma_i^2 s} + R \ln(s/S_0),$$

где $A = 0,999 \pm 0,004$. В § 2 получена оценка энергий, при которых с точностью $\approx 10\%$ выполняются предельные формы теорем Фруассара^{/20/} и Померанчука^{/21/}.

В заключении диссертации перечислены основные результаты.

В приложении I рассмотрен пример, в котором показано экспоненциально-степенное поведение амплитуды $T(s, t)$ при конкретном простом выборе $T(s, r)$.

В приложении 2 приведена программа для быстрого численного вычисления образа Фурье функции вида $\exp(-ax) f(x)$, где $f(x)$ - гладкая функция или функция, имеющая одну интегрируемую особенность.

Основные результаты, полученные в диссертации

1. Предложен метод построения амплитуды упругого протон-протонного рассеяния.

2. Дано описание экспериментальных данных по $\frac{d\sigma}{dt}(s, t)$, $\sigma_T(s)$, (рис. 1-3) и $\rho(s)$ при $\sqrt{s} \geq 10$ ГэВ и $0,0375 \leq |t| \leq 9,75$ ГэВ². Построенная амплитуда упругого протон-протонного рассеяния удовлетворяет свойству геометрического скейлинга при $\sqrt{s} \geq 15$ ГэВ.

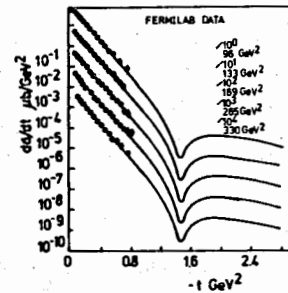


Рис. 1

Экспериментальные данные FERMILAB и графики дифференциальных сечений $\frac{d\sigma}{dt}(s, t)$ (в мб/ГэВ²) упругого протон-протонного рассеяния

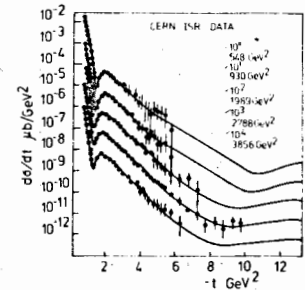


Рис. 2

Экспериментальные данные CERN ISR и графики дифференциальных сечений $\frac{d\sigma}{dt}(s, t)$ (в мб/ГэВ²) упругого протон-протонного рассеяния

3. Получено выражение для эффективного радиуса $R(s)$ адрон-адронных взаимодействий при $\sqrt{s} \geq 10$ ГэВ и формула для полного сечения в виде $\sigma_T(s) = 2\pi R^2(s)$. Исследована зависимость эффективного радиуса взаимодействия от квантовых чисел сталкивающихся адронов.

4. Установлена пропорциональность массы "эффективной частицы" эффективному радиусу.

5. Получено описание полных сечений взаимодействий $\bar{p}, p, \pi^{\pm}, K^{\pm}$ с протоном в терминах эффективного радиуса, начиная с пороговых энергий (рис.5).

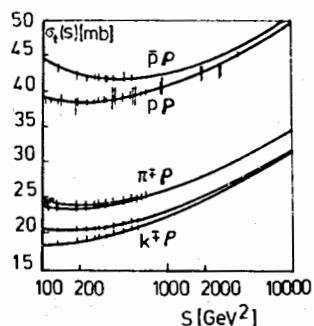


Рис. 3

Экспериментальные данные и графики полных сечений $\sigma_T(s)$ (в мб) $\bar{p}p$, pp , π^+p , k^+p на протоне



Рис. 4

Предсказания для поведения дифференциальных сечений $\frac{d^2\sigma}{d^2t}(s,t)$ (в мб/ГэВ²) упругого протон-протонного рассеяния

6. Найдены значения энергий, при которых выполняются с хорошей точностью предельные формы теорем Фруассара и Померанчука.

7. Предсказана дифракционная картина дифференциальных сечений упругого рассеяния адронов (рис.4).

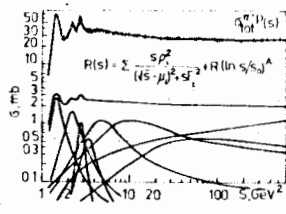
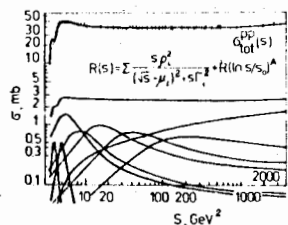


Рис. 5

Экспериментальные данные и графики полных сечений pp и π^+p -взаимодействий $\sigma_T(s)$ (мб) как функции квадрата инвариантной энергии s /ГэВ²/ (верхние кривые). Внизу приведены графики эффективного радиуса взаимодействия $R(s)$, а также его структура.

Литература

1. S.P.Denisov, S.V.Donskov, Yu.P.Gorin, A.I.Petrukhin, Yu.D.Prokoshkin and D.A.Stoyanova. Differences of Total Cross Sections for Momenta up to 65 GeV/c. Nucl.Phys., 1973, B65, p.1.
2. E.Bracci, J.P.Drouler, E.Flaminio, Y.D.Hansen and D.R.O.Morrisson. Compilation of Cross Sections. CERN/HERA, 72-1.2.1972, 73-1.1973.
3. V.Egert, B.Betev et al. A measurement of the Proton-Proton of the CERN-ISR. Nucl.Phys., 1975, v.B98, p.93.
4. E.Nagy et al. (CERN-Geneva-Switzerland-Hamburg-Haidelberg-Annecy-Wien Collaboration), Measurements of Elastic Proton-Proton Scattering at Large Momentum Transfer at the CERN ISR. Nucl.Phys., 1979, v. B150, p.221.
5. D.S.Ayres et al. π^+p , k^+p , pp and $\bar{p}p$ Elastic Scattering from 50 to 175 GeV/c. Phys.Rev., 1975, v.D15, p.3105.
6. A.S.Carrol et al. Total Cross Sections of π^+p , k^+p , pp and $\bar{p}p$ on protons and deuterons between 200 and 370 GeV/c. Phys.Lett., 1979, v. B80, p.423.
7. L.A.Fajardo et al. The Real Part of the Forward Elastic Nuclear Amplitude for pp , $\bar{p}p$, π^+p , k^+p , k^-p Scattering between 70 and 200 GeV/c. Preprint Fermilab, 80-27, 1980.
8. А.А.Логунов, М.А.Мествиришвили, О.А.Хрусталеv. Ограничения на поведение упругих и неупругих процессов при высоких энергиях, I и II. ЭЧАЯ, 1972, т.3, вып.1, стр.3.
9. Л.Д.Соловьев, А.В.Щелкачев. О росте полных сечений при высоких энергиях. ЭЧАЯ, 1975, т. 6, вып.3, стр.571.
10. В.И.Саврин, Н.Е.Турин, О.А.Хрусталеv. Метод U -матрицы в теории сильных взаимодействий. ЭЧАЯ, 1976, т.7, вып.1, стр.21.
11. В.Р.Гарсеванишвили, В.А.Матвеев, Л.А.Слепченко. Рассеяние адронов при высоких энергиях и квазипотенциальный подход в квантовой теории поля. ЭЧАЯ, 1970, т.1, вып.1, стр.91.
12. Р.Р.Фейнман. Photon-Hadron Interactions. Benjamin, 1972. (Русск.пер. Р.Фейнман. Взаимодействие фотонов с адронами, М., Мир, 1975).
13. Н.Н.Боголюбов. Теория симметрии элементарных частиц. В об. Физика высоких энергий и теория элементарных частиц. "Наукова думка", Киев, 1967.

14. А.А. Logunov, А.Н. Tavkhelidze. Quasi-Optical Approach in Quantum Field Theory. Nuovo Cim., 1963, v.29, p.380.
15. V.G. Kadyshevsky. Quasipotential Type Equation for the Relativistic Scattering Amplitude. Nucl.Phys., 1968, v.886, p.125.
16. В.Г. Кацшевский, Р.М. Мир-Касимов, Н.Б. Скачков. Трехмерная формулировка релятивистской проблемы двух тел. ЭЧАЯ, 1972, т.2, вып.3, стр.637.
17. S.Cht.Mavrodiev. Harmonic Analysis the Lorentz Group as Dynamical Relativistic Fourier Analysis. Fizika, 1977, v.9, p.117.
18. Л.А. Александров. Регуляризованные вычислительные процессы ньютоновского типа и их применение на ЭИМ для решения нелинейных систем уравнений. ОИЯИ, Б1-5-9969, Дубна, 1976.
19. V.Barger. Reaction Mechanism at High Energy. Plenary Session Talk at the XVII Int.Conf.on High Energy Phys., London, 1974.
20. M.Froissart. Asymptotic Behaviour and Subtraction in the Mandelstam-Representation. Phys.Rev., 1961, v.123, p.1053.
21. И.Я. Померанчук. Равенство полных сечений взаимодействия нуклонов и антинуклонов. ЖЭТФ, 1958, т.34, стр.725.

Результаты диссертации опубликованы в работах:

1. С.Дренска, С.Щ.Мавродиев. Эффективный радиус и полные сечения адрон-адронных взаимодействий элементарных частиц. ЯФ, 1978, т.28, вып.3/9/, стр.749; препринт ОИЯИ, P2-III59, Дубна, 1978.
2. Л.Александров, С.Дренска, С.Щ.Мавродиев. Зависимость эффективного радиуса некоторых адронных взаимодействий от квантовых чисел. ЯФ, 1980, т.32, вып.2/8/, стр.520; препринт ОИЯИ, P2-I272I, Дубна, 1979.
3. S.Drenska, S.Cht.Mavrodiev. On Modelling of Hadron Interactions. JINR, E2-12844, Dubna, 1979.
4. S.Drenska, S.Cht.Mavrodiev. On Proton-Proton Elastic Scattering at High Energies. Preprint JINR, E2-81-146, Dubna, 1981.
5. С.Дренска, С.Щ.Мавродиев. Программа быстрого вычисления образа Фурье функции вида $\exp(ax) f(x)$. ОИЯИ, Б3-II-8I-145, Дубна, 1981.

Рукопись поступила в издательский отдел
26 октября 1981 года.