

УДК 531.1
PACS 25.40-Ep

КВАРКОВАЯ МОДЕЛЬ И ПРОЦЕССЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НУКЛОНОВ

С.Г.АБДУЛВАГАБОВА, Н.Ш.БАРХАЛОВА, Т.О.БАЙРАМОВА
Бакинский Государственный Университет
sajida.gafar@gmail.com

В кварковой модели взаимодействия элементарных частиц исследованы процессы дифракционного рассеяния нуклонов на нуклонах при высоких энергиях и малых передаваемых импульсах. В работе большое внимание уделяется рассмотрению аналитических свойств амплитуды упругих процессов как функция энергии и возможности расширения соответствующих областей аналитичности при учете условия унитарности. Изучения аналитических свойств амплитуды рассеяния позволяет перевести результаты аксиоматического изучения рассеяния на простой физический язык. Сравнение с кварковой модели дифференциальных сечений протон - протонных и протон – антипротонных упругих рассеяний показывает, что амплитуда рассеяния протона на протоне должна обнаруживать только один дифракционный максимум, амплитуда же протона на антипротоне должна обнаруживать несколько дифракционных максимумов.

Ключевые слова: кварк, рассеяние, дифракция, адрон, дифференциальное сечение, унитарность.

Детальное сравнение с более современными и точными данными по рассеяниям адронов [1] обнаруживает маленькое, но определенное расхождение между данными и некоторыми характерными особенностями модели, в частности, в положении первого дифракционного минимума в направлении вперед, и в относительной высоте сечения. Проведенные анализы показали, что между теорией Глаубера и данными высокоточных экспериментов существует упорное несоответствие, которое не может быть устранено в условной картине тритона, состоящего из трех нуклонов.

Для более точного описания характеристик упругого и неупругого рассеяния высокоэнергетических барионов и π^+ -мезонов на ядрах He, Li и Be в рамках дифракционной модели ГС были использованы кластерные волновые функции (ВФ), хорошо воспроизводящие структуру этих ядер. Использование ВФ, рассчитанных в потенциальных кластерных моделях,

в виде разложения по многомерным гауссоидам и в качестве входных параметров теории ГС позволяет записать оператор взаимодействия в виде ряда многократного рассеяния не на отдельных нуклонах ядра, а на нуклонах и на кластерах (как на бесструктурных образованиях). А это, в свою очередь, позволяет рассчитать амплитуду рассеяния аналитически, без потери точности, которая возникает при обрезании ряда многократного рассеяния и вычислении многомерных интегралов.

Применение в теории ГС кластерных ВФ позволяет более детально исследовать рассчитываемые характеристики: выяснить причины заполнения дифракционных минимумов в сечении, связать поведение сечений с поведением ВФ на асимптотике и в центральной части ядра, выяснить роль малых компонент в ВФ и т.д. С другой стороны, в работе [2] было выполнено глаубероподобное описание прямых реакций и было показано, что основные расхождения между теорией и данными, в частности, позиция дифракционного минимума, корректируются дополнительными членами, вносящими вклад в амплитуду рассеяния, если нуклоны рассматривать как составные объекты.

Амплитуда любого двухчастичного процесса взаимодействия адронов может быть представлена в виде суммы амплитуд однократного рассеяния индивидуальных кварков, из которых составлены взаимодействующие адроны. Обычно кварковая модель используется с целью получения соотношений между сечениями различных процессов, при этом нет необходимости конкретизировать зависимость от энергии и переданного импульса. Мы обращаем внимание на то обстоятельство, что правдоподобное предположение о различной зависимости от t амплитуд рассеяния позволяет получить простое правило для решения вопроса о том, в каких процессах должно наблюдаться несколько дифракционных максимумов в дифференциальных сечениях, а в каких процессах должен наблюдаться только первый главный дифракционный максимум.

Успех составных моделей адронов, квантовой хромодинамики и спектроскопией кварковых систем, стимулировали попытки более детального учета структуры адронов и использования идей квантовой хромодинамики при описании упругого рассеяния адронов в широкой области переданных импульсов. Заметим, что и реджионная модель допускает естественную интерпретацию в терминах партонов. Полюсы Редже представляется в виде лесенки партонов. Поэтому подобно ядру вполне естественно интерпретировать эйкональную картину рассеяния адронов в терминах глауберовского многократного рассеяния на составляющих адронов [3], так как в основе квантовой теории поля лежит чрезвычайно ясное, на первый взгляд, представление о взаимодействии как об обмене частицами-переносчиками тех или иных квантовых чисел.

Модельный формализм

Ядро в модели кварковых мешков (кластеров) описывается [4] как система многих мешков – полностью антисимметричных относительно кварковых переменных. Каждый мешок состоит из трех кварков и нуклонного квантового числа, а именно симметрии по спин-изоспину, симметрии по цвету и радиальной симметрии.

В соответствии с глауберовой теорией эйконал определяется перекрытием плотностей распределения материи

$$\chi(b) \approx i\Gamma(\mathbf{b}) = iA \int d^2b' D(\mathbf{b}') D(\mathbf{b} - \mathbf{b}'), \quad (1)$$

где

$$D(b) = \int_{-\infty}^{\infty} dz \rho(x, y, z), \text{ а } b = \sqrt{x^2 + y^2}, \quad (2)$$

а A неизвестный параметр, определяющий силу взаимодействия, который можно выразить через полное сечение.

Если предположить, что распределение материи и заряда в адроне совпадает, т.е.

$$\rho(\mathbf{b}) = \frac{1}{2\pi} \int d^2q [G(t)]^2 \exp(-i\mathbf{q}\mathbf{b}), \quad (3)$$

тогда

$$D(\mathbf{b}) = \frac{1}{2\pi} \int d^2q \exp(i\mathbf{q}\mathbf{b}) G(t), \quad t = -\mathbf{q}^2. \quad (4)$$

В этих выражениях $G(t)$ электромагнитный форм-фактор адрона. Тогда амплитуда рассеяния определяется выражением

$$T(t) = \frac{i}{2\pi} \int d^2b (1 - \exp[-A\rho(\mathbf{b})]) \exp(i\mathbf{q}\mathbf{b}). \quad (5)$$

Так, в рамках гипотезы о существовании кварковых мешков в ядрах мы можем описать структурные функции ядер и поведение форм-факторов ядер при малых переданных моментах q . Распределение кварков в мешках обычно выявляется из данных по форм-факторам и по глубоко неупругому рассеянию нуклонов на ядрах

$$D(b) = m_N / M_B \sum_i 12(e_i^2 / \pi) \ln[1 + e^{-(b-b_0)}], \quad b_0 = \mu / 2m_N, \quad (6)$$

где μ приведенная масса мешка и нуклона.

Учитывая выражение (5) для параметра A , находим: $A \approx 10 \text{ ГэВ}/c^2$ и следовательно $G(t)$ параметризуется как

$$G(t) = [(1-t | 0,5)(1-t | 1,5)]^{-1} . \quad (7)$$

Известно, что на поверхности энергии амплитуда $T(t)$ совпадает с физической амплитудой рассеяния. При этом имеет место стандартная связь T с дифференциальным сечением

$$\frac{d\sigma}{dt} = |T(t)|^2 . \quad (8)$$

При импульсах сталкивающихся адронов не превышающих 10Гэв/с, полное сечение $p\bar{p}$ взаимодействия в 1,5-2 раза превышает полное сечение pp рассеяния [5]. Если справедлива идея о связи между эффектами поглощения и дифракционным рассеянием, то это означает, что эффекты поглощения в протон-антипротонных рассеяниях играют большую роль, чем в протон-протонных рассеяниях. В кварковой модели амплитуда $p\bar{p}$ - рассеяния определяется амплитудами аннигиляционного рассеяния кварков на антикварках, амплитуда же pp -рассеяния определяется амплитудами рассеяния кварков кварками. Поэтому дифракционная картина рассеяния должна быть более резко выражена в $p\bar{p}$ -рассеянии, чем в pp -рассеянии. И действительно, в $p\bar{p}$ -рассеянии обнаружена отчетливая дифракционная картина с двумя максимумами, в то время как в pp -рассеянии обнаружен только один максимум.

Заключение

Таким образом, кварковая модель приводит к несомненному успеху, улучшилось описание данных, восстановив, таким образом, согласие между теорией Глаубера и экспериментом. Важно подчеркнуть, что этот успех фактически является результатом предположения о малом числе конституентов, носящего качественный характер. Вместе с тем в рассматриваемой модели не удастся получить правильного описания величины $d\sigma/dt$ в широкой области t . Причина этого состоит в том, что если параметры модели зафиксированы по данным в переднем дифракционном пике, то вычисленные в рамках модели вклады двух- и трехкратного рассеяния слишком большие. Прежде всего неудачу традиционных подходов можно связать не столько со спецификой эйконольного подхода, сколько с дополнительными упрощающими предположениями, которые используются при вычислениях. Несмотря на все это, существование кварковых мешков в ядре позволяет просто объяснить ряд известных в настоящее время экспериментальных фактов, более детально проанализировать имеющиеся экспериментальные данные и сделать некоторые вычисления, имеющие предсказательный характер и рассчитанные на будущие эксперименты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Barger Y.E. Elastic pp scattering with composite nucleons. Phys. Rev. 187, 2001, p. 2210-2221.
2. Shabalin E.P. Scalar resonance as two-quark states. ITEP –128, 1984, p. 1-26.
3. Абдулвагабова С.К. Редже-эйкональный метод для высокоэнергетического упругого pp рассеяния. Journal of Qafqaz University, 2010, №29, v.2, p. 112-117.
4. Дорохов А.Е., Каноков З.И., Рахимов А.М. Спинозависимые структурные функции нуклона в киральной модели мешков с учетом эффектов отдачи. Я.Ф., 1999, т.50, в. 3(9), с. 790-796.
5. Hartmann J.L. Polarization effects in proton-proton scattering. Phys. Rev. Lett, 2007, v.39, p. 975-980.

KVARK MODELİ VƏ NUKLONLARIN QARŞILIQLI TƏSİR PROSESLƏRİ

S.Q.ƏBDÜLVƏHABOVA, N.Ş.BARXALOVA, T.O.BAYRAMOVA

XÜLASƏ

Elementar zərrəciklərin qarşılıqlı təsirlərinin kvark modelində adronların adronlardan yüksək enerjilərdə və ötürülən impulsun kiçik qiymətlərində difraksiya səpilməsi tədqiq edilmişdir. İşdə unitarlıq şərti nəzərə alınaraq enerjinin funksiyası olan elastiki səpilmənin amplitudunun analitiklik xassəsinə diqqət yetirilmiş və analitiklik oblastının genişlənməsinə baxılmışdır. Səpilmənin amplitudunun analitik xassələrinin öyrənilməsi səpilmənin aksiomatik tədqiqinin nəticələrini sadə fiziki məna verməyə imkan verir. Proton-proton və proton-antiproton elastiki səpilmələrinin diferensial kəsiklərinin kvark modeli ilə müqayisəsi proton-proton səpilməsi zamanı amplitud yalnız bir difraksiya maksimumuna, proton-antiproton səpilməsi zamanı isə bir neçə difraksiya maksimumuna malik olur.

Açar sözlər: kvark, səpilmə, difraksiya, adron, diferensial kəsik, unitarlıq.

QUARK MODEL AND PROCESSES OF NUCLEONS INTERACTION

S.G.ABDULVAHABOVA, N.Sh.BARKHALOVA, T.O.BAYRAMOVA

SUMMARY

In the quark model of elementary particle interactions an investigation is made of the hadron diffraction scattering processes at high energies and small momentum transfers. For this purpose, the analytical properties of the amplitudes of elastic processes as functions of angle variables and the possibility to extend the corresponding holomorphic domains by using the unitary condition were studied. This allows translating the results of the axiomatic consideration into a simple language. From comparison of the differential cross section of proton-proton and proton-antiproton elastic scattering in the quark model, it is seen that the proton-proton scattering amplitude must show only one diffraction peak while the proton-antiproton scattering amplitude must show several diffraction peaks.

Key words: quark, scattering, diffraction, hadron, differential cross-section, unitary.

Поступила в редакцию: 09.03.2012 г.

Подписано к печати: 08.05.2012 г.