

ДИФРАКЦИОННОЕ РАССЕЯНИЕ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

Е.И. Исмаев, Ж.К. Убаев*

Актюбинский государственный университет им. К.Жубанова, г.Актобе

**Актюбинский государственный педагогический институт, г.Актобе*

Исследованы рассеяние нуклонов на нуклонах при высоких энергиях и угловая зависимость при упругом рассеянии адронов. Детально рассмотрено рассеяние нуклонов на дейтроне. Представлено сечение неупругого рассеяние протонов на ядре ^{12}C .

Взаимодействие между частицами при достаточно высоких энергиях носит дифракционный характер. Дифракционные явления имеют место, если длина волны относительного движения сталкивающихся частиц мала по сравнению с характерными размерами области, в которой проявляется взаимодействие. Дифракционная природа столкновений частиц при высоких энергиях позволяет использовать для описания этих столкновений метод, основанный на аналогии с оптическими принципами Гюйгенса.

Дифракционный характер взаимодействия адронов друг с другом при высоких энергиях. Рассеяние нуклонов на нуклонах при высоких энергиях (порядка ГэВ и выше в лабораторной системе координат) характеризуется рядом свойств, сходных со свойствами рассеяния нуклонов при небольших энергиях (порядка нескольких десятков МэВ) на ядрах. Наличие при высоких энергиях неупругого рассеяния, сопровождающегося образованием π -мезонов, приводит к тому, что при высоких энергиях упругое рассеяние нуклонов друг на друге носит дифракционный характер. Так же, как и в случае рассеяния нуклонов при небольших энергиях на ядрах, в случае рассеяния нуклонов на нуклонах при высоких энергиях угловое распределение характеризуется острым максимумом в направлении вперед, а полные сечения упругого рассеяния и поглощения в хорошем приближении оказываются постоянными с изменением энергии. Ширина максимума в угловом распределении определяется размерами области взаимодействия. Такими же свойствами характеризуется рассеяние и других сильновзаимодействующих частиц - π -мезонов, мезонов, антинуклонов и др. – друг на друге и на нуклонах.

Характер угловой зависимости при упругом рассеянии адронов высоких энергий друг на друга хорошо воспроизводится выбором амплитуды упругого рассеяния в виде гауссовской функции от передаваемого импульса

$$f(q) = (i + \alpha) \frac{k\sigma}{4\pi} e^{-\beta q^2}, \quad (1)$$

где параметры α , β и σ определяются из данных опыта. В случае рассеяния нуклона на нуклоне при энергии $E = 1$ ГэВ параметры α , β и σ согласно [3] равны

$$\alpha \approx -0,3 \quad \beta \approx 2,7 \text{ (ГэВ/с)}^{-2}, \quad \sigma = 44 \text{ тВ.}$$

Значения этих параметров несколько различаются для различных адронов и несколько изменяются с энергией. В настоящее время амплитуда [1] не может быть получена теоретически ввиду отсутствия последовательной теории сильновзаимодействующих частиц.

В случае рассеяния адронов (π -мезонов и нуклонов) высоких энергий на ядрах угловая зависимость характеризуется рядом дифракционных максимумов и минимумов. При таких высоких энергиях ядра становятся прозрачными по отношению к падающим частицам, поэтому модель черного или полупрозрачного ядра, использованная для описания рассеяния нуклонов небольшой энергии на ядрах, оказывается неприменимой. Дифракционная структура в угловом распределении может быть объяснена в терминах интерференции между однократным, двукратным и т.д. рассеянием падающей частицы на отдельных нуклонах ядра [1-5].

Рассеяние адронов на дейтронах при высоких энергиях. Рассмотрим детальнее рассеяние нуклона (или π -мезона) высокой энергии на дейтроне. Амплитуда упругого рассеяния нуклона на дейтроне определяется общей формулой:

$$F_0(q) = \{f_n(q) + f_p(q)\} S\left(\frac{1}{2}q\right) + \frac{i}{2\pi k} \int d\vec{q}' f_n\left(\frac{\vec{q}}{2} + \vec{q}'\right) f_p\left(\frac{\vec{q}}{2} - \vec{q}'\right) s(q'), \quad (2)$$

Используя эту формулу, с помощью оптического соотношения $\sigma_t = \frac{4\pi}{k} I_m F_{00}(0)$ нетрудно получить для полного сечения взаимодействия нуклона с дейтроном следующее выражение:

$$\sigma_t = \sigma_n + \sigma_p + \frac{2}{k^2} \int d\vec{q} f_n(\vec{q}) f_p(-\vec{q}) S(q), \quad (3)$$

где σ_n и σ_p – соответственно полные сечения взаимодействия падающей частицы со свободным нейтроном и протоном. Если амплитуды f_n и f_p чисто мнимы, то добавка в полном сечении (3), связанная с двукратным рассеянием, является отрицательной. Предполагая, что размеры дейтрона значительно превосходят радиус области взаимодействия падающей частицы с отдельным нуклоном дейтрона, в (2) из-под знака интеграла можно вынести значения амплитуд в точке $q = 0$, и таким образом получим приближенную формулу Глаубера-Ситенко

$$\sigma_t = \sigma_n + \sigma_p - \frac{1}{4\pi} \left\langle \frac{1}{r^2} \right\rangle \sigma_n \sigma_p. \quad (4)$$

На основе формул (3) и (4) из экспериментальных данных по взаимодействию частиц высоких энергий с дейтронами обычно определяются сечения взаимодействия частиц с нейтроном.

Используя представление (1) для однонуклонной амплитуды и выбирая волновую функцию основного состояния дейтрона в виде гауссовской функции, амплитуду нетрудно найти в неявном виде. На рис.1 представлена зависимость частей амплитуды, связанных с однократным и двукратным рассеянием, от передаваемого импульса в предположении, что $f_n = f_p$ и $\alpha = 0$. При $q = 0$ часть амплитуды, связанная с двукратным рассеянием, значительно меньше части амплитуды, связанной с ростом q , амплитуда двукратного рассеяния при небольших значениях q оказывается значительно больше амплитуды однократного рассеяния.

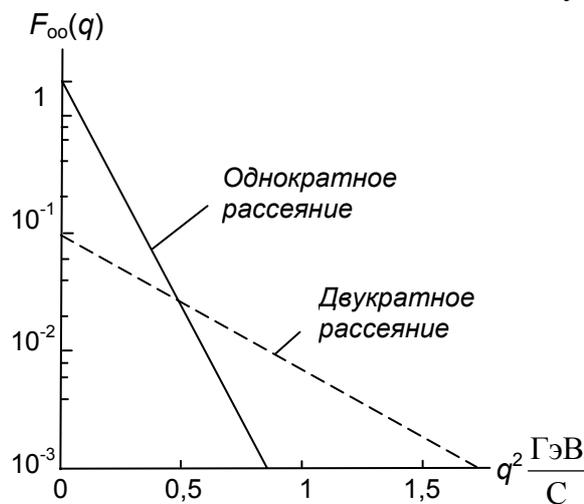


Рис. 1. Вклад однократного и двукратного рассеяния в амплитуду упругого рассеяния протона на дейтроне

В случае чисто мнимых амплитуд f_n и f_p части амплитуды [5], связанные с однократным и двукратным рассеянием, имеют противоположный знак, поэтому при определённом значении передаваемого импульса ($q \approx 0,7$ ГэВ/с) амплитуда [5] в силу интерференции обращается в нуль. Так как в действительности амплитуды f_n и f_p имеют небольшие вещественные части, то сечение рассеяния на дейтроне не должно обращаться в нуль, однако должно иметь чётко выраженный интерференционный минимум. На рис.2 представлена угловая зависимость сечения рассеяния протона на дейтроне при энергии $E = 1$ ГэВ, рассчитанная на основе [5], и экспериментальная угловая зависимость [3].

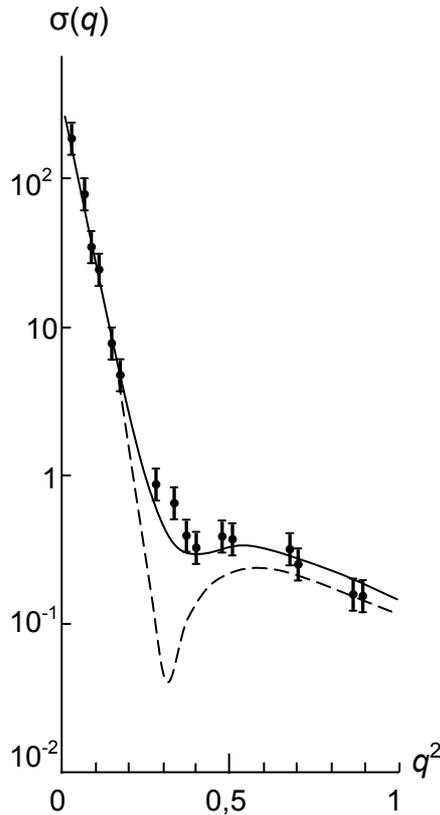


Рис. 2. Дифференциальное сечение рассеяния протонов на дейтроне при энергии $E = 1$ ГэВ в зависимости от квадрата переданного импульса q^2 . (Сечение выражено в единицах мбарн/стерад, а переданный импульс – в единицах ЕэВ/с).

Пунктирная кривая соответствует учёту в основном состоянии дейтрона только S -волны, сплошная кривая соответствует учёту D -волны с весом $P_D = 6,7\%$

Рассчитанные и экспериментальные значения сечения хорошо согласуются в широкой области углов, за исключением области интерференционного минимума. Это расхождение связано с тем, что в области интерференционного минимума существенную роль играет несферичность дейтрона, обусловленная нецентральным характером ядерного взаимодействия. Учет несферичности дейтрона позволяет полностью объяснить указанное расхождение [1-3]. Величина сечения в области интерференционного минимума очень чувствительна к весу D -волны в основном состоянии дейтрона. Поэтому, располагая надежными значениями однонуклонных амплитуд, из данных по рассеянию нуклонов и π -мезонов на дейтроне оказалось возможным определить вес D -волны в основном состоянии дейтрона с наибольшей точностью ($P_D = 6,7\%$).

Литература

1. Арушанов Г.Г., Исмаев Е.И. Упругие и неупругие дифракционные ядерные взаимодействия. – Ташкент: ФАН, 1988, 284 с.
2. Алхазов Г.Д. Анисович В.В. Дифракционное взаимодействие адронов с ядрами при высоких энергиях. - Ленинград: Наука, 1991 г., 157 с.
3. Ситенко А.Г. Теория ядерных реакций. – М.: Энергоатомиздат, 1983, 352 с.
4. Исмаев Е.И., Джураев Ш.Х., Кутербеков К.А. Упругие и неупругие взаимодействия нуклонов при низких, средних и промежуточных энергиях. - Алматы, 2001. 311 с.
5. Clauber R. High Energy Physics and Nuclear Structure. // Plenum Press New York, 1970, p.207.

ЗАРЯДТАЛҒАН БӨЛШЕКТЕРДІҢ ДИФРАКЦИЯЛЫҚ ТАРАЛУЫ

Е.И. Исмаев, Ж.Қ. Убаев

Жоғары энергия кезінде нуклондардың таралу көрсеткіштері зерттелді. Адрондардың серпімді таралу кезінде бұрыштық тәуелділігі қарастырылды. Дейтрондағы нуклондардың таралуы жекелеп жіктеледі. Зерттеуде ^{12}C ядросының серпімсіз таралған протондарының кескіні алынды.

DIFFRACTIVE SCATTERING OF CHARGED PARTICLES

E.I. Ismatov, J.K. Ubaev

Studied the scattering of nucleons on nucleons at high energies; studied the angular dependence under the elastic scattering of hadrons. In details considered the scattering of nucleons by deuterons. Inelastic scattering cross section of protons in the nucleus ^{12}C was presented.