

**УПРУГОЕ РАССЕЯНИЕ ПРОТОНОВ  
НА ЯДРАХ ПРИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЯХ**

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

*Исследуется сечение упругого  $pN$ - рассеяния при высоких энергиях и в области малых переданных импульсах  $|t|$  с точки зрения  $s$  и  $-t$  канальной унитарности. Получено уравнение для матрицы амплитуды рассеяния и получены формулы для сечения  $pN$ - рассеяния. Показано, что при высоких энергиях сечение сохраняет экспоненциальную зависимость от переданного импульса. Обсуждено возможное дальнейшее развитие теоретических исследований.*

**Введение**

Одним из важнейших критериев для сравнения с опытом современных теорий сильного взаимодействия является зависимость от энергии и знака заряда полных сечений при столкновении протонов на ядрах.

В экспериментальном отношении измерения полных сечений представляют все большие трудности по мере увеличения энергии протонов, так как более сложным становится учет кулоновского рассеяния.

Одной из проблем теории нуклон-нуклонных столкновений при очень высоких энергиях является наблюдение большого числа вторичных частиц. Это число, с одной стороны слишком большое, чтобы можно было развить простую теорию, учитывающую обмен только хорошо известными мезонами, с другой стороны, оно слишком мало, чтобы можно было применять методы теории вероятностей.

Экспериментальные данные, полученные на различных современных ускорителях высоких энергий и при изучении  $pN$ - рассеяния, обнаруживают следующие главные черты [1]:

1. Дифференциальное эффективное сечение упругого протон- ядерного рассеяния экспоненциально убывает с ростом  $t$ , и это показывает, что столкновения с большой передаваемой перпендикулярной составляющей импульса происходит редко.

2. Число частиц, рожденных в таких столкновениях, очень быстро падает с ростом импульса в направлении, перпендикулярном падающему пучку частиц;

3. Большинство вторичных частиц - это пионы, причем в системе центра масс сталкивающихся протонов почти все пионы имеют малые импульсы.

Поведение парциальных сечений при большой энергии может служить проверкой гипотезы механизма адронных столкновений Янга [2], согласно которой адроны при столкновении возбуждаются и излучают частицы.

Теоретические модели описывают некоторые закономерности спектров, однако недостаточная точность и систематичность экспериментальных данных не позволяют однозначно выбрать лучшую модель взаимодействия. В настоящей работе рассматривается взаимодействие протонов с ядром при высоких энергиях и больших переданных импульсах.

### Амплитуда упругого рассеяния при малых значениях переданного импульса

Для удобства изложения разобьем весь диапазон значений квадрата переданного 4-импульса  $-t$  от нуля до  $15(\text{ГэВ}/c)^2$  на три области: малых, средних и больших  $|t|$ . Наибольшие значения  $|t|$ , для которых в настоящее время проведены измерения дифференциального поперечного сечения упругого  $pN$ -рассеяния в области больших углов достигает  $25(\text{ГэВ}/c)^2$ . В области малых  $|t|$  можно ограничиться значением  $|t| \approx 1(\text{ГэВ}/c)^2$ .

Упругое рассеяние связано условием унитарности со всеми неупругими процессами. Матрица рассеяния  $T$  в общем случае комплексна:

$$T = D + iA, \quad (1)$$

где  $D$  – действительная;  $A$  – мнимая часть амплитуды. В представлении инвариантных переменных (переменные Мандельштама) стандартная связь амплитуды рассеяния  $F$  с дифференциальным сечением упругого рассеяния

$$\frac{d\sigma_e(s, t)}{dt} = |F(s, t)|^2, \quad s = 4(k^2 + m^2) = 4E^2, \quad t = -(p - k)^2. \quad (2)$$

Для амплитуды рассеяния адронов при высоких энергиях очень удобно переходит от разложения по парциальным волнам к представлению прицельного параметра  $b$ :

$$F(s, t) = i \int b db (1 - \exp[i\chi(s, b)]) J_0(b\sqrt{-t}), \quad (3)$$

где  $J_0$  - функция Бесселя, а эйконал  $\chi(s, b)$  имеет следующий вид [3]:

$$\chi(s, b) = i \left( \exp(-\mu\sqrt{b^2 + a^2}) - \exp(-2\mu\sqrt{b^2 + a^2}) \right), \quad (4)$$

здесь параметры  $\mu_0$  и  $a_0$  имеют смысл приведенной массы и радиуса взаимодействия:

$$\mu = \mu_0 / \sqrt{1 + \ln s - i\pi/2}; \quad a = a_0 / \sqrt{1 - \ln s - i\pi/2}. \quad (5)$$

Однозначное кинематическое соотношение (3) в упругом рассеянии облегчает сравнение с экспериментом, которое в настоящее время с помощью

электронной методики позволяет практически перекрыть весь диапазон изменения  $t$ . При малых  $t$  кулоновское рассеяние не имеет существенного значения и поведение сечения (2) определяется ядерным взаимодействием.

Пренебрегая спиновыми эффектами и предполагать, что  $t$  зависимости действительной и мнимой частей амплитуды ядерного рассеяния  $F_N$  одинаковы, можно параметризовать амплитуды (3) при малых  $|t|$  в виде

$$F_N = (\sigma_{total}/4\pi)(i + \rho) \exp(bt/2), \quad (6)$$

где

$$\rho = \text{Re } F_N(0) / \text{Im } F_N(0). \quad (7)$$

При высоких энергиях в рассеянии участвует слишком большое число волн и дифференциальное сечение имеет ясно выраженный пик в направлении вперед, т.е.  $d\sigma/d\Omega \sim \exp(bt)$ , что и наблюдается в эксперименте. Вследствие интенсивного мезонообразования, все фазы становятся комплексными и ядерная амплитуда  $pN$  рассеяния вперед почти полностью мнима. Однако рассеяние в области, непосредственно примыкающей к этим углам, можно представить как обусловленное действием однопионного обменного потенциала. Это можно видеть по полному отсутствию кулоновской интерференции, откуда следует, что  $\text{Re } A(0) \ll \text{Im } A(0)$ . Кроме того, сечение рассеяния лишь незначительно превышает величину квадрата мнимой части. Эта разница не может быть приписана действительной части  $A(0)$ . Ее появление следует отнести за счет спиново-зависимой части матрицы рассеяния.

### Заключение

В объяснении энергетической зависимости сечения  $pN$  рассеяния более адекватна  $t$ -канальная обменная картина, которая для высоких энергий была сформулирована в форме модели Редже [4]. В рамках модели Редже учет неупругих состояний производится на основе квазиэйконоального приближения. Однако здесь не учитывается вклад неупругих дифракционных состояний периферического характера, что не позволяет получить правильное описание рассеяния при больших  $|t|$ .

Рассеяние в указанной области энергий и переданных импульсов носит черты как дифракционного рассеяния, определяемого геометрией рассеивающихся адронов, так и автомодельного, связанного с взаимодействием точечно-подобных конститuentов. Можно предположить, что обнаруженное при больших  $|t|$  поведение сечения упругого рассеяния является отражением каких-то особенностей внутренней структуры адронов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ableev V.G., et al., Acta. Phys. Pol., 1995, b.16, p.1895.
2. Лашко Ю.А., Филиппов Г.Ф. Многоканальное рассеяние нейтрона на ядре  $^{11}\text{Be}$ . «Ядерная физика», т. 70, №6, с. 1052, 2007.
3. Abdulvahabova S.G., Rasulov E.A. // International workshop "Quantum particles, fields and strings" Fizika, 2002, №3, p.83.
4. Боресков К.Г. Ядерная физика, 1991, т.14, с. 814.

# **YÜKSƏK ENERJİLƏRDƏ PROTONLARIN NÜVƏLƏRDƏN ELASTİKİ SƏPİLMƏSİ**

**S.Q.ƏBDÜLVAHABOVA, N.Ş.BARXALOVA, T.O.BAYRAMOVA**

## **XÜLASƏ**

İşdə  $s$  – və  $-t$  kanal unitarlığı şərtində yüksək enerjilərdə və ötürülən impulsun  $|t|$  kiçik qiymətlərində  $pN$  - səpilməsinin effektiv kəsiyi tədqiq edilir. Səpilmənin keçid amplitudu və  $pN$  - səpilməsinin effektiv kəsiyi üçün ifadələr alınmışdır. Yüksək enerjilərdə effektiv kəsiyin ötürülən impulsdan eksponensial asılılığı göstərilmişdir. Bu istiqamətdə aparılacaq gələcək nəzəri tədqiqatlar da təhlil edilir.

## **PROTON - NUCLEI ELASTIC SCATTERING AT HIGH ENERGIES**

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

## **SUMMARY**

At high energies and little transfer momentum  $|t|$  the cross section of the  $pN$ -scattering is analyzed from the viewpoint of  $s$ - $t$  channel unitarity. The equation for the amplitude scattering is obtained and formulas are written for the  $pN$ - cross sections. It is shown that at high energies cross section exponentially depends on transfer momentum. The general lines of further theoretical investigations are sketched.