

6
Б-23
654



Б.П. Банник, В.Г. Гришин, Л.В. Сильвестров

P-654

УПРУГОЕ РАССЕЯНИЕ ПРОТОНОВ
С ЭНЕРГИЕЙ 8,7 БЭВ
НА ЯДРАХ ФОТОЭМУЛЬСИИ

ЖЭТФ, 1961, т 40, в 6, с 1653.

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Б.П. Банник, В.Г. Гришин, Л.В. Сильвестров

P-654

УПРУГОЕ РАССЕЯНИЕ ПРОТОНОВ
С ЭНЕРГИЕЙ 8,7 БЭВ
НА ЯДРАХ ФОТОЭМУЛЬСИИ

Направлено в ЖЭТФ

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

975/5 тр.

А н н о т а ц и я

Измерено угловое распределение упругого рассеяния протонов с $E \approx 8,7$ Бэв на ядрах фотоэмульсии. Полученные результаты обработаны с помощью оптической модели.

Настоящая работа была предпринята для уточнения результатов измерений упругого рассеяния протонов на ядрах фотоэмульсии^{/1/}.

1. Методика эксперимента

Опыты проводились с помощью эмульсионной камеры, облученной внутренним пучком протонов с энергией 8,7 Бэв на синхрофазотроне Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований. Камера была составлена из слоев типа НИКФИ-Р толщиной 400μ с размерами $10 \times 20 \text{ см}^2$, интенсивность составляла примерно $3 \cdot 10^4 \frac{\text{частиц}}{\text{см}^2}$. Пучок протонов с угловым разбросом около $0,1$ проходил вдоль камеры под углом $0,1^\circ - 0,2^\circ$ к плоскости эмульсионного слоя. Поиск случаев рассеяния и последующие измерения проводились на микроскопе МБИ-9 при увеличении $60 \times 15 \times$.

Для просмотра отбирались следы, удовлетворяющие следующим условиям: 1/ релятивистская ионизация; 2/ отсутствует заметный на глаз угол между следом и осью пучка протонов, а также угол наклона следа к плоскости эмульсионного слоя.

Случаи рассеяния искались методом ускоренного просмотра фотоэмульсий по следу^{/2/}.

Регистрировались изломы следов с проекцией φ угла излома на плоскость эмульсии приблизительно от $0,1^\circ$ и выше.

У каждого найденного случая величина φ измерялась с точностью $\Delta\varphi = 0,05^\circ$ при ячейке $\ell = 3 \text{ мм}$ ^{х/}. Все случаи с углами $\varphi > 0,17^\circ$ измерялись повторно с ячейкой $\ell = 1 \text{ мм}$. По полученным данным определялся интервал на следе величиной 1 мм, на котором произошло рассеяние и находилась точка рассеяния.

Все случаи, имевшие после вторичных измерений значение угла $\varphi > 0,17^\circ$, измерялись еще раз относительно двух - трех близлежащих следов, при $\ell = 3 \text{ мм}$.

^{х/} Углы измерялись так же, как в предыдущей работе.^{/1/}

При этом кроме проекции φ измерялась проекция θ угла на плоскость, перпендикулярную к плоскости эмульсии. Относительные измерения проводились с целью исключения случаев, обусловленных искажениями в эмульсии. Точность относительных измерений $\Delta\varphi = 0,04^\circ$. Случай связывался с искажением, если хотя бы на одном соседнем следе на соответствующем интервале следа был обнаружен излом с углом $\varphi \geq 0,1^\circ$. Большая плотность следов частиц обеспечила высокую эффективность исключения случаев искажений относительными измерениями.

В результате относительных измерений 331 случая оказалось, что 4 случая были связаны с дисторсией, 25 случаев имели значение $\varphi < 0,17^\circ$, 2 случая были вызваны вторичными частицами, 12 случаев имели угол $\varphi > 2^\circ$ или $\theta > 2^\circ$. 16 случаев, как выяснилось при внимательном просмотре следов, являлись "звездами".

При построении углового распределения упругого рассеяния в интервале $0,17^\circ < \varphi < 2^\circ$ все перечисленные случаи были исключены.

Некоторая часть пластинок просматривалась таким образом, что регистрировались изломы следов с проекцией угла от $0,25^\circ$ и выше. Случаи из этой части пластинок использовались при построении углового распределения для углов $\varphi \geq 0,3^\circ$. В связи с этим из общей статистики было исключено еще 13 случаев.

При выбранном способе поиска событий по следу эффективность обнаружения изломов могла отличаться от 100% в начале следа и на его конце. С целью избежания ошибок просмотра в начале следа, из статистики были исключены все случаи изломов на первых трех миллиметрах /17 случаев/.

Исследование распределения случаев рассеяния вдоль длины следов показало, что на конце следа эффективность просмотра действительно падает. В связи с этим были исключены из статистики все случаи изломов на последних девяти миллиметрах /41 случай/.

При оценке эффективности просмотра в середине следа предполагалось, что случаи с углами $\varphi \geq 0,3^\circ$ были обнаружены с эффективностью 100% /см. /2/ /. Проводилась оценка эффективности для случаев с углами φ

в интервале $0,2^{\circ} - 0,3^{\circ}$. Для этого сравнивалось число случаев, имеющих угол φ в этом интервале, с числом случаев, имеющих угол θ в интервале $0,2^{\circ} - 0,3^{\circ}$. В пределах ошибок эти числа оказались одинаковыми. Отсюда, в предположении об азимутальной симметрии рассеяния, следовало, что эффективность обнаружения случаев с углами φ в интервале $0,2^{\circ} - 0,3^{\circ}$ близка к 100%.

После исключения из статистики случаев на концах следов осталось всего 201 случай рассеяния. При этом для углов $\varphi > 0,3^{\circ}$ использовались случаи, найденные при просмотре следов с общей длиной $L = 151,6$ м, а для углов от $0,17^{\circ}$ до $0,3^{\circ}$ - с $L = 123$ м.

2. Обсуждение результатов

Полученное распределение приведено в таблице №1. Здесь же даны результаты предыдущей работы. Поскольку в пределах ошибок результаты двух работ совпадают, было построено суммарное распределение /рис. 1/^{x/}. В таблице № 1 приведено также распределение по пространственному углу случаев рассеяния, найденных при просмотре следов с общей длиной $L = 123$ м. При его построении использовалось предположение об азимутальной симметрии рассеяния.

Для сравнения на рис. 1 нанесены также теоретические кривые зависимости дифференциального сечения от проекции угла рассеяния. Расчет проводился по оптической модели с учетом интерференции ядерного и кулоновского рассеяния^{xx/}, в предположении, что в лабораторной системе координат реальная часть амплитуды нуклон-нуклонного рассеяния вперед $Re f_{NN}(0) = 0; +14,4f; -14,4$ ^{xxx/}. При расчете дифференциального сечения, соответствующего значению $Re f_{NN}(0) = 0$, использовалось полное сечение нуклон-нуклонного взаимодействия, усредненное по нуклонам ядра, $\bar{\sigma} = 38$ мб. Последнее было рассчитано по данным измерения сечений $p-p$ и $p-n$ рассеяния^{4/}. Дифференциальное сечение для $Re f_{NN}(0) = +14,4f$ и

^{x/} В интервале углов $0,2^{\circ} < \varphi < 0,3^{\circ}$ часть случаев была потеряна из-за принятой системы отбора. Согласно проведенным оценкам, потеря составляла примерно 5 случаев. В угловое распределение поправка не вводилась.

^{xx/} Детали расчета см. в работе^{3/}.

^{xxx/} Это соответствует эффективному потенциалу 30 Мэв для взаимодействия нуклон - ядро.

$\bar{\sigma} = 38$ мб было рассчитано с помощью линейной экстраполяции, с использованием результатов расчетов сечений для $Ref_{nn}(0)=0$ и $\bar{\sigma} = 38$ мб и для $Ref_{nn}(0)=0; \pm 14,4f$ и $\bar{\sigma} = 34$ мб.

Ниже приводится оценка чувствительности формы рассчитанных кривых к параметрам, использованным при расчете. Измерения в фотоэмульсии дают величину $\bar{\sigma}$ с точностью $\pm 10\%^{x/}$. Это сдвигает рассчитанные кривые в области малых углов на $\pm 7\%$.

Неопределенность в величине радиального параметра, согласно работе /6/, равна $\pm 2\%$. Для малых углов это приводит к неточности рассчитанных кривых $\pm 2\%$. В области больших углов $|\varphi| > 1^\circ$ неточность этих величин дает ошибку в рассчитанных кривых до 100%.

Неопределенность при выборе формы кривой распределения плотности нуклонов в ядре /трапецидальное, фермиевское или гауссовское распределение/ дает неточность в рассчитанных сечениях $\pm 2\%$.

В результате вместе с ошибками расчета, равными 3%, суммарная ошибка в рассчитанных сечениях была порядка 10% в области малых углов φ .

Сравнение экспериментальной гистограммы с теоретическими кривыми по критерию χ^2 показало, что экспериментальные точки согласуются с теоретической кривой для $Ref_{nn}(0)=+14,4$ с вероятностью 0,3, для $Ref_{nn}(0)=0$ - с вероятностью 0,001 и для $Ref_{nn}(0)=-14,4f$ - с вероятностью $< 0,001$.

Учитывая неопределенность в рассчитанных кривых, можно сделать вывод, что полученные данные исключают значение

^{x/} По материалам, любезно предоставленным нам авторами работы /5/, нами был оценен средний свободный пробег для неупругого взаимодействия протонов с $E = 8,7$ Бэв в эмульсии. Из полученного значения $R_{неуп.} = /33,7 \pm 1,8$ см. следует значение $\bar{\sigma} = /38 \pm 4 /$ мб /7/. В предыдущей работе использовалось $R_{неуп.} = /34,7 \pm 1,5 /$ см. Соответственно $\bar{\sigma} = /36 \pm 5 /$ мб. Таким образом, результаты измерения $R_{неуп.}$ в эмульсии не противоречат друг другу и величине $\bar{\sigma} = 38$ мб, используемой в расчетах.

$Ref_{NN}(0) = -14,4f$, быть может, не противоречат значению $Ref_{NN}(0) = 0$ и хорошо согласуются со значением $Ref_{NN}(0) = +14,4f$.

Не исключено, что часть случаев, принятых за упругие рассеяния, в самом деле вызвана неупругими взаимодействиями^{x/}. В связи с этим оценивался вклад в измеренное сечение от неупругих процессов, которые могли быть приняты при измерениях за упругие.

Квазиупругое рассеяние протонов на нейтронах ядер оценивалось по результатам измерения сечения квазиупругого рассеяния протонов на связанных протонах^{8/}. В предположении, что сечения квазиупругого рассеяния на связанном протоне и нейтроне равны, рассчитывалось число случаев квазиупругого рассеяния на нейтронах на 225м пробега в эмульсии. Оно оказалось равным ~ 7 . При этом на интервал углов $0^\circ - 1^\circ$ приходится 2 случая, а на интервал $1^\circ - 2^\circ$ приблизительно $5^{xx/}$.

При оценке возбуждения ядер при ядерном рассеянии предполагалось, что отношение сечения упругого рассеяния к сечению возбуждения ядра $\frac{\sigma_{\text{расс.}}}{\sigma_{\text{возб.}}}$ зависит только от передаваемого импульса. Используя результаты измерений ядерного возбуждения при $E=185^{9/}$ Мэв, для наших условий можно получить $\frac{\sigma_{\text{расс.}}}{\sigma_{\text{возб.}}} \approx 100$ для углов рассеяния $0,2^\circ - 0,8^\circ$ и $\frac{\sigma_{\text{расс.}}}{\sigma_{\text{возб.}}} \approx 10$ для углов $1^\circ - 2^\circ$. Сечение кулоновского возбуждения определялось для углов $\varphi \lesssim 0,5^\circ$, так как при $\varphi > 0,5^\circ$ сечение кулоновского рассеяния резко падает. Вклад кулоновского возбуждения оказался порядка 1% или меньше. Вклад от дифракционной генерации π - мезонов^{10/}, по расчетам, меньше 1% от полного сечения и около 10% в интервале углов $1^\circ - 2^\circ$. Оценка примеси однолучевых звезд, полученная из углового распределения вторичных релятивистских частиц в ядерных взаимодействиях, дала величину вклада 1% от общего числа случаев.

^{x/} Возможный фон случаев неупругого взаимодействия при малых углах φ усиливает вывод об исключении $Ref_{NN}(0) = -14,4f$, но делает более затруднительным выбор между $Ref_{NN}(0) = 0$ и $Ref_{NN}(0) = +14,4f$.

^{xx/} В реакции квазиупругого рассеяния протона на нейтроне может образоваться возбужденное ядро с последующим β - распадом. Энергия β электронов при этом достигает величины нескольких Мэв. В таком случае в точке "рассеяния" должен наблюдаться соответствующий след. В настоящей работе на 201 случай рассеяния с углами $0,2^\circ < \varphi < 2,0^\circ$ не наблюдалось ни одного такого события.

Для контроля были проведены измерения многократного рассеяния на 37 следах рассеянных частиц. Распределение средних значений вторых разностей для каждой рассеянной частицы сравнивалось с аналогичным распределением для первичных частиц пучка протонов. Параметры распределений оказались в пределах ошибок одинаковыми.

Обращает на себя внимание большое число случаев рассеяния на углы от 1° до 2° . В этом интервале найдено 27 случаев рассеяния / в том числе несколько случаев с ядрами отдачи/, тогда как согласно оптической модели, при $Re f_{NN}(0) = 0$ должно быть около 7 случаев. Наблюдаемое различие не может быть объяснено только вкладом неупругих взаимодействий, составляющим по приведенным выше оценкам в сумме 40%. Естественно предположить, что оно связано с неточностью рассчитанных сечений в интервале больших углов.

Авторы выражают свою глубокую благодарность М.И.Подгорецкому за многочисленные плодотворные обсуждения и большую помощь в работе, а также И.М.Граменицкому и В.Н.Стрельцову - за помощь в работе и ценные советы.

Авторы благодарят группу лаборантов: Г.А.Нурушеву, Г.П.Тюпикову, Т.А.Журавлеву, Э.В.Есию и М.А.Варганову - за проведение измерений и просмотр фотопластинок; О.В.Кольгу и М.И.Филиппову - за помощь при проведении расчетов.

Интервалы углов в град. Число случаев/проекция углового распределения на плоскость/ Пространственное распределение. Число случаев на ед. тел. угол $X \cdot 10^{-4}$

Предыдущая работа $L = 151,6$ м / Настоящая работа $L = 224,2$ м / Сумма $L = 224,2$ м / Рассчитано для $L = 224,2$ м

$Ref = +14,4$ / $Ref = -14,4$ / $Ref = 0$

Измеренное, $L = 123$ м / Рассчитанное, $L = 123$ м при $Ref = 0$

0,2 - 0,3	50,2 ± 10	66,5** ± 9	98 ± 13	96,6	131,7	83,8	141 ± 27	126,1
0,3 - 0,4	33,5 ± 8	46 ± 7	70 ± 8	69,8	85,5	51,3	76 ± 14	65,2
0,4 - 0,5	18,8 ± 6	20 ± 5	36 ± 6	46,0	53,1	31,7	49,2 ± 9,0	38,2
0,5 - 0,6	8,4 ± 4	17 ± 4	26 ± 5	26,7	31,4	17,9	21,8 ± 5,2	21,4
0,6 - 0,7	2,1	8,5 ± 3	12,5 ± 4	16,6	21,4	9,8	11,0 ± 3,3	11,1
0,7 - 0,8	-	6,5	7,5	9,9	14,5	5,2	6,3 ± 2,3	4,5
0,8 - 0,9	4,2	4,5	4,5	6,5	9,5	3,3	3,6 ± 1,6	2,0
0,9 - 1,0	-	4,5	6,5	6,2	8,8	2,6	2,6 ± 1,3	1,5
1,0 - 1,1	6,3	6	6	5,4	7,9	2,0	3,4 ± 1,4	1,3
1,1 - 1,2	4,2	5	8	4,1	5,7	1,5	3,1 ± 1,3	1,2
1,2 - 1,3	-	2	4	3,3	4,6	1,1	0,9 ± 0,7	0,8
1,3 - 1,4	-	1	1	2,0	2,8	0,5	0,4 ± 0,4	0,4
1,4 - 1,5	-	2	2	-	-	-	1,2 ± 0,7	-
1,5 - 1,6	2,1	1,5	1,5	-	-	-	-	-
1,6 - 1,7	-	1,5	2,5	-	-	-	0,3 ± 0,3	-
1,7 - 1,8	-	2	3	-	-	-	0,6 ± 0,5	-
1,8 - 1,9	-	-	-	-	-	-	0,6 ± 0,4	-
1,9 - 2,0	-	-	-	-	-	-	0,3 ± 0,3	-

* / Данные получены для $L = 72,54$ м и пересчитаны для $L = 151,6$ м

** / Если величина угла рассеяния равна значению угла на конце интервала $0,1^\circ$, считается, что на каждый из соседних интервалов приходится по 0,5 случаев.

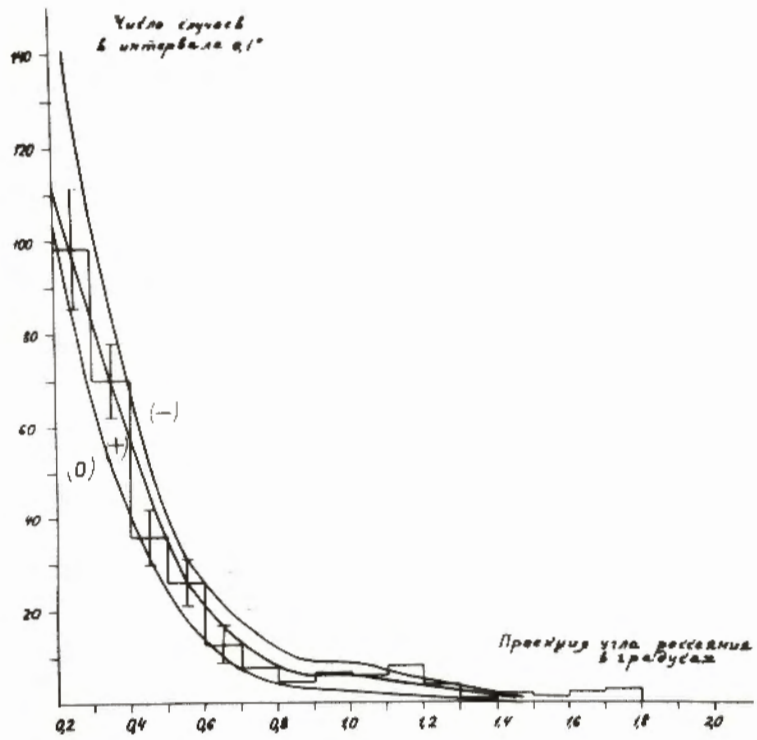


Рис.1. Угловое распределение упругого рассеяния протонов с энергией 8,7 Бэв на ядрах фотоэмульсии. Значками $+/-$, $-/-$, $0/0$ отмечены кривые, соответствующие $Re f_{NN}(q) + 14,4f$; $- 14,4f$; 0 .

Л и т е р а т у р а

1. Б.П.Банник, В.Г.Гришин, М.Я.Даныш, В.Б.Любимов, М.И.Подгорецкий. ЖЭТФ, 37, 157 /1959/.
2. Б.П.Банник, М.И.Подгорецкий. ПТЭ, №3, стр. 36 /1960/.
3. Б.П.Банник, В.Г.Гришин. ЖЭТФ, 39, 94 /1960/.
4. G. von Dardel, D.H.Frishi, R.Mermod, R.H.Milburn, P.A.Pirone, M.Vivargent, G.Weber and K.Winter. Phys.Rev.Lett. 5, 383 (1960); V.Perez-Mendez, I.H.Atkinson, W.N.Hess, R.W.Wallace. Bull.Amer.Phys.Soc., 4, 253 (1959).
5. Ван Шу-фень, Т.Вишки, И.М.Граменицкий, В.Г.Гришин, Н.Далхажав, Р.М.Лебедев, А.А.Номофилов, М.И.Подгорецкий, В.Н.Стрельцов. ЖЭТФ, 39, 957 /1960/.
6. R.Hofstadter. Rev.Mag.Phys. 28, 214 (1956).
7. В.С.Барашенков. УФН, 72 53 /1960/.
8. В.А.Никитин, Э.Н.Цыганов. ЖЭТФ /в печати/.
9. Th. A.J.Mavis and H.Tyren, Nucl.Phys. 3, 35 (1957).; H.Tyren and Th. A.J.Mavis. Nucl.Phys. 6, 82 (1958); 6, 446 (1958).
10. И.Я.Померанчук, Е.Л.Фейнберг. ДАН СССР, 93, 439 /1953/.

Рукопись поступила в издательский отдел
14 января 1961 года.