

Член-корреспондент АН СССР М. Г. МЕЩЕРЯКОВ, Н. П. БОГАЧЕВ,
Б. С. НЕГАНОВ и Е. В. ПИСКАРЕВ

УПРУГОЕ РАССЕЯНИЕ ПРОТОНОВ ПРОТОНАМИ ПРИ ЭНЕРГИИ 460 МЭВ *

Одним из основных источников сведений о природе ядерных сил служат опыты по рассеянию нуклонов свободными нуклонами. Особый интерес представляют подобные опыты при высоких энергиях, когда становится возможным тесное сближение частиц и начинают проявляться силы, действующие на малых расстояниях между нуклонами.

В настоящей работе для изучения упругого (p—p)-рассеяния мы использовали коллимированный пучок протонов интенсивностью 10^8 протонов/см²·сек, выведенный из синхроциклотрона Института ядерных проблем Академии наук СССР. Энергия протонов, найденная по углу эмиссии излучения Черенкова, равнялась $460,0 \pm 0,9$ Мэв⁽³⁾. Разброс по импульсам протонов в пучке не превосходил $\pm 1\%$. Угловое расхождение протонов в пучке не превышало $0,7^\circ$. Интенсивность пучка протонов контролировалась ионизационной камерой, наполненной аргоном. Камера была прокалибрована посредством определения абсолютного значения заряда, собираемого массивным улавливателем протонов, смонтированным на изоляторах внутри вакуумного сосуда, установленного на пути пучка. При этом вводились найденные экспериментально поправки, учитывающие: а) потерю заряда улавливателем вследствие испускания заряженных частиц — продуктов ядерных расщеплений; б) попадание на улавливатель δ -электронов, выбитых из фольги, закрывавшей окно, через которое протоны входили в сосуд; в) выбивание из поверхности улавливателя δ -электронов. В сумме эти поправки составляли около 3% .

На рис. 1 показана схема опыта. Упругое (p—p)-рассеяние выделялось из общего фона сопутствующих неупругих процессов посредством регистрации обеих соударившихся частиц сопряженными телескопами, каждый из которых был составлен из трех сцинтилляционных счетчиков. Счетчики и пучок находились в одной плоскости. Электронные устройства давали возможность наблюдать одновременно как совпадения импульсов от телескопов, так и тройные совпадения в

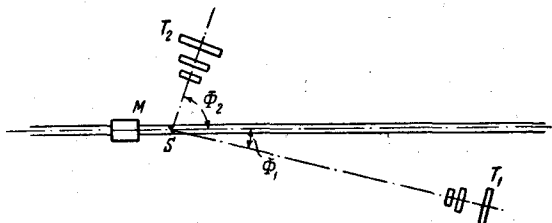


Рис. 1. Схема опыта. T_1 — определяющий телескоп, T_2 — сопряженный телескоп, M — монитор, S — рассеиватель

* Это сообщение основано на результатах работы, выполненной в 1952 г. и ранее описанной в отчетах Института ядерных проблем АН СССР^(1,2).

телескопах, вызванные одиночными частицами. Эффективность регистрации протонов телескопами и эффективность схемы, отбирающей совпадения импульсов от телескопов, регулярно определялись в диапазоне энергий 100—400 Мэв.

Использованная в этих опытах аппаратура позволяла производить идентификацию частиц по их пробегаем в фильтрах, установленных между счетчиками телескопов, равно как и по интенсивности вызываемых ими световых вспышек в сцинтиллирующих кристаллах. Кроме того, аппаратура обеспечивала возможность идентификации

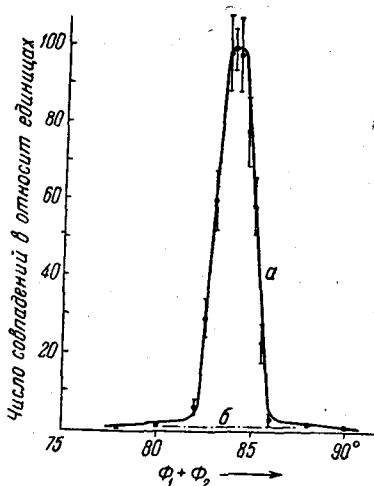


Рис. 2. Скорость счета совпадений в зависимости от угла разлета. а — эффект от водорода, б — фон от углерода

ядерных процессов по углам разлета вторичных частиц в тех случаях, когда соударение завершалось испусканием только двух заряженных частиц (упругое $(p-p)$ - и $(p-d)$ -рассеяние, реакция $p + p \rightarrow d + \pi^+$). Использование этого приема сводится к определению зависимости числа совпадений импульсов от угла между телескопами.

Для случая $(p-p)$ -рассеяния при $E = 460$ Мэв результаты подобных измерений, изображенные на рис. 2, были получены с эквивалентными по числу ядер углерода парафиновым и графитовым излучателями в условиях, когда один телескоп был установлен под углом 42° относительно пучка, а второй перемещался с противоположной стороны пучка в пределах от 36 до 48° . Расчет показывает, что в этих условиях связанное с релятивизмом отклонение от угла 90° между направлениями вылета рассеянного протона и протона отдачи должно дости-

гать $6,26^\circ$, экспериментальное же значение, отвечающее максимальной скорости счета совпадений, составляет $6,2 \pm 0,2^\circ$. Такое количественное согласие показывает, что при $E = 460$ Мэв соударение протона с протоном, не приводящее к образованию мезона, является строго упругим процессом*. Скорость счета становилась равной нулю при углах раствора больше 86° . Это означает, что в пучке не содержится примеси протонов низких энергий. Присутствие в одном из телескопов фильтра, полностью тормозившего упруго рассеянные протоны, приводило к исчезновению совпадений. При замене парафинового излучателя графитовым скорость счета совпадений уменьшалась примерно в 40 раз.

Дифференциальное сечение $\sigma(\theta)$ рассеяния протона протоном на угол θ в системе центра масс определялось из соотношения:

$$\sigma(\theta) = \frac{\left(1 + \frac{E}{2Mc^2} \sin^2 \Phi\right)^2}{1 + \frac{E}{2Mc^2}} \cdot \frac{1}{4 \cos \Phi} \cdot \frac{Q(\Phi)}{\eta(\Phi)} \cdot \frac{1}{N\pi\omega},$$

* В связи с этим следует отметить, что в (4) была сделана попытка интерпретировать наблюдаемые при больших энергиях дифференциальные сечения рассеяния протонов протонами на основе предположения, что в $(p-p)$ -соударениях возникает различие в массах сталкивающихся частиц (образование изобара). При $E = 460$ Мэв и угле рассеяния 90° в системе центра масс возбуждение в каждом соударении одного из протонов до энергии 5 Мэв должно было на опыте вызвать уменьшение угла разлета на $\sim 0,5^\circ$. Наши эксперименты не дают никаких указаний на существование подобного эффекта.

где E — кинетическая энергия первичного протона в лабораторной системе; Mc^2 — собственная энергия протона, N — число атомов водорода на единицу поверхности излучателя в направлении пучка; n — число протонов, упавших на излучатель в единицу времени; $Q(\Phi)$ и $\eta(\Phi)$ — соответственно, скорость счета и эффективность регистрации протонов, рассеянных внутри телесного угла ω под углом Φ в лабораторной системе. Угол рассеяния θ в системе центра масс двух протонов связан с соответствующим углом Φ в лабораторной системе соотношением:

$$\operatorname{tg} \frac{\theta}{2} = \left(1 + \frac{E}{2Mc^2}\right)^{1/2} \operatorname{tg} \Phi.$$

В типичных условиях эксперимента $\omega = (1,01 \pm 0,01) \cdot 10^{-3}$ стерад.

В интервале углов $55^\circ < \theta < 90^\circ$ упругое (p — p)-рассеяние наблюдалось посредством регистрации рассеянного протона и протона отдачи сопряженными теле-

скопами. Наряду с этим в интервале углов $20^\circ < \theta < 90^\circ$ рассеянные протоны регистрировались также и одиночными телескопами. В результаты наблюдений вносились поправки, учитывающие фон случайных совпадений, просчет числа совпадений, а также поглощение и многократное рассеяние протонов в излучателе. Из результатов

измерений, выполненных при помощи одиночных телескопов, исключался эффект, обусловленный наличием примеси π -мезонов среди рассеянных протонов. Были также проведены контрольные опыты для того, чтобы показать, что: 1) скорость счета рассеянных протонов была пропорциональна толщинам использованных парафиновых рассеивателей; 2) прохождение упруго рассеянного протона через телескоп, определявший ω , всегда сопровождалось прохождением протона отдачи через сопряженный телескоп.

На рис. 3 показаны найденные значения дифференциальных сечений (p — p)-рассеяния: кружками представлены результаты, полученные при помощи одиночных телескопов; данные, полученные треугольниками, получены методом двух сопряженных телескопов. Указанные там же ошибки являются стандартными, обусловленными только статистическим разбросом результатов измерений. Учет всех других ошибок показывает, что в настоящих опытах суммарная погрешность определения абсолютных значений $\sigma(\theta)$ достигает 10%.

Как видно из рис. 3, дифференциальное сечение упругого (p — p)-рассеяния слабо возрастает с уменьшением угла от 90° до 30° . Подобной же величины отступление от изотропности в рассеянии протонов протонами было выявлено и в опытах, в которых при помощи одиночных телескопов измерялся относительный выход рассеянных протонов. Из полученных таким образом данных следует, что отношение $\sigma(\theta)$ под углами 30° и 90° составляет: $\frac{\sigma(30^\circ)}{\sigma(90^\circ)} = 1,14 \pm 0,06$. Линейная экстраполяция в область малых углов дает для полного сечения упругого рассеяния протонов протонами величину $22 \cdot 10^{-27}$ см².

В случае столкновения тождественных нуклонов только $^1S_0$ - и $^3P_0$ -состояния приводят к изотропному рассеянию. Максимальный вклад в сечение этих состояний равен $2 \lambda^2$ см²/стерад. Для энергии 460 Мэв величина $2 \lambda^2 \approx 3,5 \cdot 10^{-27}$ см²/стерад. Таким образом, найденное на опыте



Рис. 3. Дифференциальное сечение (p — p)-рассеяния при энергии протонов 460 Мэв

значение дифференциального сечения можно качественно объяснить, если предположить, что сдвиги фаз $^1S_0$ - и $^3P_0$ -волн не намного отличаются от 90° . Дальнейшее уточнение вопроса о свойствах $(p-p)$ -взаимодействия должно быть связано с замеченным в настоящих опытах отступлением от изотропности $(p-p)$ -рассеяния. Этот факт, несомненно, свидетельствует о том, что при высоких энергиях в $(p-p)$ -рассеянии, кроме $^1S_0$ - и $^3P_0$ -состояний, принимают участие и другие состояния, дающие асимметричную добавку к сечению. Имеющиеся опытные данные еще не достаточны для того, чтобы вычислить непосредственно фазы $^1S_0$ - и $^3P_0$ -состояний.

Ранее на больших ускорителях упругое рассеяние протонов протонами исследовалось в области 146—350 Мэв ($^{5-8}$). Было найдено, что на протяжении всего этого энергетического интервала при больших углах рассеяния сечение в пределах ошибок эксперимента не зависит от энергии и угла. Неоднократные попытки ($^9-12$) описать взаимодействие между нуклонами при помощи возможных потенциалов не привели к правильному предсказанию общих свойств $(p-p)$ -рассеяния при больших энергиях.

Пользуемся случаем выразить благодарность Я. А. Смородинскому за дискуссии.

Институт ядерных проблем
Академии наук СССР

Поступило
4 XI 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ М. Г. Мещеряков, Н. П. Богачев, Б. С. Неганов, Е. В. Пискарев, Отчет Инст. ядерных проблем АН СССР, 1952. ² Б. С. Неганов, там же, 1954. ³ В. П. Зрелов, там же, 1952. ⁴ J. Breit, Phys. Rev., **84**, 1053 (1951). ⁵ O. Chamberlain, E. Segré, C. Wiegand, ibid., **83**, 923 (1951). ⁶ O. Towler, ibid., **84**, 1262 (1951). ⁷ J. Cassels, T. Pickavance, G. Stafford, Proc. Roy. Soc., **214 A**, 262 (1952). ⁸ C. Oxley, R. Schamberger, Phys. Rev., **85**, 416 (1952). ⁹ R. Christian, H. Hoyer, ibid., **79**, 85 (1950). ¹⁰ K. Case, A. Pais, ibid., **80**, 203 (1950). ¹¹ R. Jastrow, ibid., **79**, 389 (1950); **81**, 636 (1951). ¹² L. Goldfarb, D. Feldman, ibid., **88**, 1099 (1952).