

А. ДАДАЯН

ЯДЕРНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПРОТОНОВ ВЫСОКОЙ ЭНЕРГИИ

(Представлено академиком А. И. Алихановым 9 VIII 1952)

За последнее время в ряде работ (¹⁻³) приводились результаты измерений эффективного сечения ядерного взаимодействия протонов и нейтронов с энергиями до 340 эв. Полное эффективное сечение взаимодействия, обусловленное образованием звезд, рассеянием и остановками протонов указанных энергий, оказалось близким к геометрическому поперечному сечению ядра. Представляет интерес определить эффективное сечение ядерного взаимодействия протонов значительно больших энергий, когда наряду с образованием звезд, рассеянием и остановками заметную роль играют процессы образования π -мезонов и более тяжелых частиц. Весьма существенно также проследить за тем, как изменяется вероятность указанных процессов с увеличением энергии протонов.

Определение эффективного сечения взаимодействия протонов больших энергий, входящих в состав космического излучения, связано с большими трудностями вследствие малой интенсивности потока быстрых протонов на доступных высотах, где они составляют всего несколько процентов от потока μ -мезонов. В ряде работ (^{4, 5}) удавалось определить средний пробег протонов высоких энергий, вызывающих в веществе проникающие ливни. В указанных работах было найдено, что эффективное поперечное сечение протонов, способных создать проникающие ливни данного типа в веществе, составляет около половины геометрического поперечного сечения ядра или равно геометрическому. Однако это значение эффективного сечения нельзя сопоставить протонам определенной, известной энергии, и оно соответствует только процессу образования проникающих ливней, эффективно регистрируемых данной конкретной установкой.

В настоящей работе приводятся результаты измерения поперечного сечения взаимодействия с ядром углерода протонов с энергиями от 0,4 до $2,5 \cdot 10^9$ эв.

Измерения производились при помощи большого магнитного спектрометра (⁶) на высоте 3200 м над уровнем моря. В этой установке наряду с измерением импульса частицы, мы имели возможность следить за ее поведением при выходе из магнитного поля и отмечать акты взаимодействия при прохождении частицы через плотные поглотители (рис. 1).

Для определения эффективного сечения взаимодействия протонов с ядрами углерода мы воспользовались протонами, генерированными в блоке свинца, расположенном над магнитным спектрометром. Как показано в работе (⁷), положительными частицы, генерированные нейтронами в свинцовом блоке, в подавляющем большинстве являются протонами с импульсами от 0,4 до $5,0 \cdot 10^9$ эв/с. Нами было зарегистрировано 162 траектории генерированных протонов в интервале импульсов $0,95 \cdot 10^9$ — $5 \cdot 10^9$ эв/с. Из них 4 протона с импульсами $0,95$ — $1,5 \cdot 10^9$ эв/с остановились в графитовых пластинах общей толщиной $13,2$ г/см², расположенных между рядами счетчиков VI—IX. При этом остановки этих 4 частиц не сопровождалась дополнительными срабатываниями счетчиков в VII—

IX рядах. 6 протонов испытали в графите рассеяние на углы большие, чем 15° , и вышли за пределы улавливающего устройства. 16 протонов с импульсами от $0,95$ до $4,0 \cdot 10^9$ эв/с образовали вторичные частицы в графитовых пластинах, расположенных между рядами счетчиков VI—IX.

Таким образом, из 162 протонов с импульсами в указанном интервале по крайней мере 26 испытали взаимодействие с ядрами углерода.

Полное сечение взаимодействия протонов указанных импульсов может быть оценено и оказалось равным

$$\sigma = 2,3 \pm 0,6 \cdot 10^{-25} \text{ см}^2/\text{ядро}.$$

Полученное значение эффективного сечения скорее всего представляет

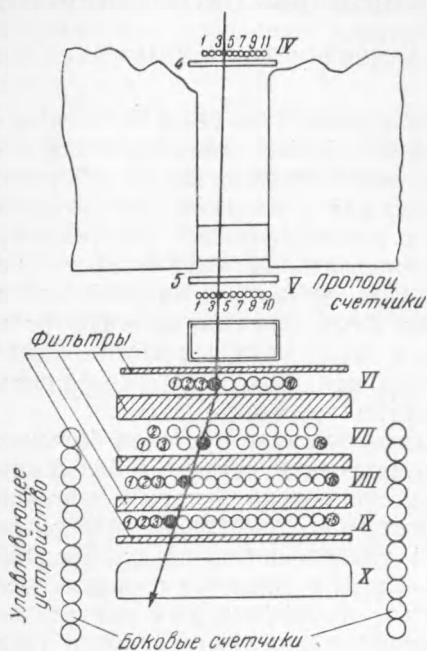


Рис. 1. Траектория частицы в плоскости, параллельной направлению магнитного поля (сработавшие счетчики отмечены черным)

сами большими, чем «ионизационный» импульс протонов для данной толщины поглотителя. Понятно, что остановки протонов больших импульсов, независимо от характера остановки (появление звезд, рассеяние и т. п.), свидетельствуют о неионизационном, ядерном механизме взаимодействия протонов с веществом фильтра. Кроме того измерения показали, что ионизирующая способность частиц, остановившихся в улавливающем устройстве и обладающих импульсами большими, чем $1 \cdot 10^9$ эв/с, всего на 30—40% превышает минимальную ионизирующую способность релятивистских частиц. Аналогичные явления наблюдались в работах (8, 9).

В промежутке $p = 0,9 - 1,2 \cdot 10^9$ эв/с некоторая часть остановившихся частиц обусловлена дейтонами, и эти случаи нами исключались из рассмотрения (см. (10)).

По характеру остановок все наблюдаемые случаи подразделялись нами на три группы. В первую группу мы относили такие протоны, которые, испытав сильные отклонения, остановились в улавливающем устройстве. Возможно, что эти случаи обусловлены рассеянием протонов с практически полной потерей энергии. С другой стороны, не исключено, что рассматриваемые акты отвечают образованию звезд, состоящих из одной

собой нижний предел, так как некоторые случаи взаимодействия, как например рассеяние на углы меньше, чем 15° , не вошли в рассмотрение.

Перри (3) для протонов с энергией 240 эв получил для полного эффективного сечения взаимодействия с углеродом значение, равное $2,1 \pm 0,3 \cdot 10^{-25}$ см²/ядро. Таким образом, из наших данных следует, что в пределах ошибок наблюдений полное эффективное сечение взаимодействия протонов не меняется с увеличением энергии вплоть до $1 \cdot 10^9$ эв.

Нами получены данные, позволяющие более детально изучить зависимость от энергии эффективного сечения взаимодействия протонов с ядрами углерода для процессов, приводящих к остановкам протонов и их продуктов в графите. Для этой цели нами использовались все зарегистрированные установкой протоны, остановившиеся в графитовых пластинах, расположенных между рядами счетчиков VI—IX обладающие импуль-

заряженной частицы и одной или нескольких нейтральных частиц. Всего таких случаев нами было зарегистрировано 215, что составляет 21,5% от всех протонов, остановившихся в фильтрах.

Во вторую группу мы отнесли такие случаи остановок протонов, которые сопровождалась появлением одной или нескольких вторично заряженных частиц с пробегом большим $3,3 \text{ г/см}^2$. Всего таких актов, которые мы будем называть звездами, было зарегистрировано 325.

Наконец, в третью группу мы отнесли протоны, остановки которых не сопровождалась появлением вторичных заряженных частиц и которые до остановки не испытывали заметного рассеяния. Число остановок протонов, образующих третью группу, равно 463, т. е. 46% от всех рассматриваемых частиц. Возможно, что в таких случаях остановка протонов обусловлена появлением одного нейтрона (перезарядка), или нейтронной звезды, или π_0 .

Заметим, однако, что вторичные заряженные частицы, неспособные проникнуть из одного ряда в другой, не могли быть отмечены нашей системой, равно как и рассеяние на не очень большие углы в самом конце траектории. Поэтому в третью группу могли попасть траектории протонов, которые, удовлетворяя формальному критерию отбора, по существу соответствовали другому процессу. Как будет видно дальше, наш, на первый взгляд, формальный отбор различных типов остановок соответствует, повидимому, различному механизму взаимодействия протонов с ядрами.

В табл. 1 приведены результаты наблюдений остановок протонов с различными импульсами.

На рис. 2 в логарифмическом масштабе приведены спектры импульсов протонов I и III групп. Из кривой I следует, что распределение I группы протонов по импульсам неплохо согласуется со степенной функцией с показателем $\gamma = 2,8$.

В настоящее время нам известно, что импульсный спектр протонов на высоте 3200 м удовлетворяет степенному закону

$$N(p) = Ap^{-\gamma},$$

где $\gamma = 2,8-3,0$.

Поскольку спектр протонов I группы (рассеяние с остановкой) подчиняется степенному закону с тем же значением γ , следует допустить, что в диапазоне импульсов от $0,9 \cdot 10^9$ до $2,9 \cdot 10^9$ эв/с эффективное сечение рассматриваемого процесса не зависит от энергии.

Таблица 1

Интервал импульсов $p \cdot 10^{-8}$	Число протонов		
	испытанных сильное рассеяние	в сопровожден. вторично заряжен. частиц	остановивш. без образования звезд и излома траектории
9—11	78	97	209
11—13	44	74	110
13—17	52	88	96
17—29	41	66	48

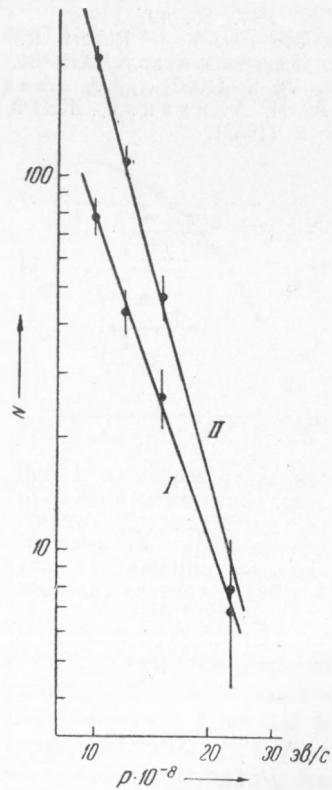


Рис. 2. Спектры протонов, остановившихся в фильтрах (N — число частиц, приходящееся на интервал импульсов $1 \cdot 10^8$ эв/с)

Кривая II представляет собой распределение по импульсам протонов, образующих III группу. Как видно из рис. 2, в этом случае число протонов убывает с энергией значительно резче. Показатель степени здесь оказывается равным $\gamma = 3,8$. Отсюда следует, что эффективное сечение остановки убывает обратно пропорционально импульсу протона. Не исключено, однако, что наблюдаемое уменьшение вероятности остановки с увеличением энергии протонов связано с появлением заряженных частиц. Детальное рассмотрение этого выходит за рамки настоящей статьи.

В заключение выражаю глубокую благодарность чл.-корр. АН СССР А. И. Алиханяну за помощь в работе и дискуссию. Приношу благодарность также Г. И. Мерзону за помощь в измерениях и обработке результатов и М. И. Дайону, Г. А. Марикяну и Л. И. Потапову за проведение части измерений.

Физический институт им. П. Н. Лебедева
Академии наук СССР
Физический институт
Академии наук Арм.ССР

Поступило
27 V 1952

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ J. Dejuen, B. J. Mover, Phys. Rev., 81, 919 (1951). ² R. E. Richardson, W. P. Ball et al., Phys. Rev., 83, 859 (1951). ³ Alfred M. Perry jr., Phys. Rev., 85, 497 (1952). ⁴ W. D. Walker, S. P. Walker, K. Greisen, *ibid.*, 80, 546 (1950). ⁵ Robert R. Brown, *ibid.*, 85, 773 (1952). ⁶ А. Алиханян, А. Дадаян и др., ДАН, 80, № 1, 37 (1951). ⁷ А. Дадаян, Г. Мерзон, ДАН, 86, № 2 (1952). ⁸ А. Алиханов, Г. Елисеев, ЖЭТФ, 21, в. 9 (1951). ⁹ А. И. Алиханян, ЖЭТФ, 21, в. 9, 1062 (1951). ¹⁰ Г. Марикян, ДАН, 85, № 2 (1952).