

6
Ж-42

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория высоких энергий

ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. П.Н. ЛЕБЕДЕВА АН СССР

P - 322

Г.Б. Жданов, П.К. Марков, В.Н. Стрельцов, М.И. Третьякова,
Чжен Пу-ин и М.Г. Шафранова

ВТОРИЧНЫЕ ЗВЕЗДЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ПРОТОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ 8,7 БЭВ С ЯДРАМИ ФОТОЭМУЛЬСИИ

ЖЭТФ 1959, т 37, в 3, с 610-615

P - 322

Г.Б.Жданов, П.К.Марков, В.Н.Стрельцов, М.И.Третьякова,
Чжен Пу-ин и М.Г.Шафранова

ВТОРИЧНЫЕ ЗВЕЗДЫ,
ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ
ПРОТОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ 8,7 БЭВ
С ЯДРАМИ ФОТОЭМУЛЬСИИ

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

А н н о т а ц и я

Изучались вторичные взаимодействия быстрых нейтронов, протонов и π -мезонов в фотоэмульсионной стопке, облученной протонами с энергией 8,7 Бэв.

Сделан вывод о том, что в среднем на звезду возникает $0,68 \pm 0,07$ быстрых нейтронов; быстрыми нуклонами уносится $55 \pm 9\%$, а быстрыми π -мезонами $33 \pm 9\%$ энергии первичного нуклона.

В в е д е н и е

При изучении взаимодействия нуклонов больших энергий с нуклонами и ядрами представляет определенный интерес распределение энергии между вторичными нуклонами и π -мезонами. Так, данные работы [1] приводят к выводу о средней передаче 70% начальной энергии быстрому нуклону после столкновения нуклона с энергией 3-40 Бэв с легким ядром. При взаимодействии протонов с энергией ~ 9 Бэв с ядрами фотоэмульсии доля энергии, уносимой быстрыми π -мезонами, составляет 20-40% энергии первичного протона [2], а по данным работы [3] доля энергии, уносимой одним быстрым вторичным нуклоном, составляет $40 \pm 20\%$.

Целью настоящей работы является оценка энергии быстрых нуклонов и π -мезонов, образованных при взаимодействии протонов с энергией 8,7 Бэв с ядрами фотоэмульсии, на основе анализа вторичных звезд.

Методика эксперимента

Работа проводилась на стопке, собранной из 100 слоев эмульсии типа НИКФИ-Р, облученной во внутреннем пучке протонов с энергией 8,7 Бэв на синхрофазотроне Объединенного института ядерных исследований с помощью плунжирующей мишени. Стопка была помещена в вакуумный контейнер из нержавеющей стали с толщиной стенок 3 мм.

Поиск звезд проводился по площади с увеличением $300\times$.

Для разделения звезд, вызванных вторичными быстрыми нейтральными и заряженными частицами, в 274 вторичных звездах были продолжены следы быстрых частиц, дающих ионизацию $\eta \leq 1,4 \eta_0^{x/}$, до их выхода из стопки или до связанной звезды. На основании анализа этих продолжений вторичные звезды были классифицированы следующим образом:

1. Если в звезде имелся хотя бы один след быстрой частицы в направлении задней полусферы с углом в плоскости эмульсии $> 2^\circ$ относи-

^{x/} Через η_0 мы будем всюду обозначать ионизацию протонов с энергией 8,7 Бэв.

тельно направления пучка, то ее считали вызванной вторичной заряженной частицей. При этом в оценке числа таких звезд делается ошибка $\sim 1\%$.

2. Если в звезде имелись такие следы только в направлении передней полусферы, то звезду считали вызванной быстрым нейтроном /с энергией > 500 Мэв/. При этом, число звезд, образованных нейтронами, с $n_s = 1$ завышается на $18 \pm 8\%$, главным образом, за счет вторичных заряженных частиц, летящих в направлении задней полусферы.

Результаты эксперимента

В таблице 1 приведено распределение по числу быстрых частиц n_s для звезд, вызванных быстрыми нейтронами. Число звезд с $n_s = 1$ уменьшено на 18% в соответствии с приведенными выше результатами.

Для оценки средней энергии быстрых нуклонов один из авторов [П.К.М.] предложил ввести в рассмотрение относительную вероятность появления звезд с числом быстрых частиц $n_s \geq 3$ и $n_s \geq 1$:

$$\eta = \frac{N(n_s \geq 3)}{N(n_s \geq 1)} .$$

Анализ экспериментальных данных по взаимодействию протонов с ядрами фотоэмульсии при разных энергиях [3],[4] показывает, что зависимость $\eta(E)$ линейна в интервале энергий E от 3 до 9 Бэв /рис.1/, а это существенно при оценке средней энергии вторичных нуклонов при немонаохроматическом спектре. Подобной зависимости для звезд, образованных нейтронами, нельзя построить, так как в литературе нет соответствующих данных. Однако, можно предположить, что зависимость $\eta(E)$ для звезд, образованных протонами и нейтронами, одинакова и тогда можно оценить среднюю энергию рассматриваемых звезд, образованных нейтронами, используя зависимость $\eta(E)$ для звезд, образованных протонами.

Для рассматриваемых звезд, образованных нейтронами, $\eta = 0,12 \pm 0,03$ */

*/ Всюду в работе указаны лишь статистические ошибки.

Такому значению η соответствует энергия $/3,7 \pm 0,5/$ Бэв. Среднюю энергию звезд, образованных нейтронами, можно определить и другим методом, используя известную зависимость $\overline{n_s(E)}$ для звезд, образованных протонами [5], аналогично тому, как это было сделано в работе [3] для определения энергии быстрых заряженных частиц. Следует отметить, что этот метод не является полностью независимым от первого метода. Из распределений по n_s звезд, вызванных протонами разных энергий [4], можно оценить долю звезд, образованных нейтронами, с $n_s = 0$, соответствующую средней энергии 3,7 Бэв. Их должно быть 37%. Существенно при этом, что процент звезд с $n_s = 0$ линейно зависит от энергии в области 3-6 Бэв [4]. Таким образом, число звезд, образованных нейтронами, должно быть 192, /с учетом звезд с $n_s = 0/$. Среднее число быстрых частиц, приходящихся на нейтронную звезду, равно $\overline{n_s} = 0,97 \pm 0,08$; отсюда средняя энергия нейтронных звезд получается равной $/3,3 \pm 0,5/$ Бэв.

Как видно, обе оценки согласуются в пределах ошибок. Будем считать средней энергией быстрых нейтронов среднее значение энергии, полученное описанными выше двумя методами, т.е. $/3,5 \pm 0,5/$ Бэв. Средней энергией быстрых протонов будем считать также $/3,5 \pm 0,5/$ Бэв.

Сопоставляя число найденных звезд, образованных нейтронами, и звезд, вызванных заряженными частицами с ионизацией $]\leq 1,4]_0$, можно оценить абсолютное число быстрых нейтронов, приходящихся в среднем на одну звезду, считая сечение взаимодействия вторичных заряженных частиц и нейтронов одинаковым и не зависящим от энергии. Тогда в одинаковых геометрических условиях число вторичных звезд пропорционально числу возникших в первичной звезде частиц. На рис.2 приведено угловое распределение быстрых заряженных частиц, вызвавших вторичные звезды, с поправками и без поправок на неэффективность регистрации звезд в интервале $0^\circ - 5^\circ$, а также угловое распределение быстрых /с ионизацией $]\leq 1,4]_0$ / заряженных вторичных частиц в интервале от 0° до 90° , по данным работы [3]. Чтобы оба распределения совпали, нужно ввести поправку на геометрические условия для звезд, образованных быстрыми заряженными частицами, вылетающими под углом 20° к направлению пучка. После этого оказалось, что 192 звездам, образованным нейтронами, соответствует 857 звезд от

быстрых заряженных частиц. Их распределение по множественности приведено в таблице II.

Ввиду того, что средняя энергия нейтронов, вызывающих наблюдаемые звезды, велика, следует предположить, что лишь незначительный процент этих нейтронов может лететь под углом $> 20^\circ$ к направлению пучка первичных протонов. Поэтому геометрические поправки для звезд, образованных нейтронами, не вводились. В угловом интервале $0^\circ - 90^\circ$ испускается в среднем на одну первичную звезду 3,03 быстрых заряженных частицы [3]. Таким образом, среднее число быстрых нейтронов на звезду

$$\frac{192 \times 3,03}{857} = 0,68 \pm 0,07.$$

Принимая, что при взаимодействии протон-ядро возникает одинаковое число быстрых протонов и нейтронов, средняя энергия которых оценена выше, получим, что энергия, уносимая быстрыми нуклонами в расчете на одну звезду, будет равна $/4,8 \pm 0,8/$ Бэв, т.е. $/55 \pm 9/$ % энергии первичного протона.

Следует отметить, что если звезды, образованные нейтронами и протонами, имеют различную зависимость $\overline{n_s(E)}$, то это обстоятельство приведет к занижению энергии нуклонов, определенной двумя описанными выше методами. Однако, при этом дополнительное число звезд, образованных нейтронами, с $n_s = 0$ получится, наоборот, завышенным, так что средняя энергия, уносимая нуклонами, изменится несущественно. Так, например, если энергия нейтронов была занижена на 1 Бэв, то энергия, уносимая быстрыми нуклонами, составляет в среднем $/63 \pm 9/$ % энергии первичного протона.

Зная среднюю энергию, уносимую быстрыми нуклонами, а также среднюю энергию ядерного расщепления, равную $/1,0 \pm 0,1/$ Бэв на звезду, согласно работе [3], можно оценить среднюю суммарную энергию быстрых Π - мезонов. Она оказывается равной $/2,9 \pm 0,8/$ Бэв в расчете на звезду или $/33 \pm 9/$ % энергии первичного протона.

В пределах статистической ошибки это значение совпадает с результатами, полученными в работе [2].

Из работы [3] известно, что среднее число быстрых заряженных частиц на звезду равно 3,2. Если на звезду приходится 0,68 быстрых протонов, то быстрых π -мезонов получается $3,8 \pm 0,3$. Отсюда следует, что средняя полная энергия π -мезонов равна $10,8 \pm 0,2$ Бэв.

Изложенные до сих пор методы оценки энергии вторичных частиц были основаны на определении числа частиц в звездах, образованных этими вторичными частицами. Наряду с этим, нами производились измерения углов вылета быстрых частиц в звездах с $n_s \geq 2$, как относительно направления первичного протонного пучка, так и относительно направления генерирующей частицы, если последняя была заряженной. Основная задача этих измерений заключалась в разделении звезд, вызванных нуклонами и мезонами большой энергии, поскольку в последнем случае угловые распределения должны быть значительно более широкими^{х/}.

Для выполнения указанной задачи каждой звезде целесообразно приписать одну угловую характеристику, например, средний угол вылета $\bar{\theta}$ быстрых частиц относительно первичных протонов. При этом мы могли убедиться, что в случае звезд, образованных заряженными частицами средние характеристики, как правило, мало меняются при переходе к отсчету всех углов относительно направления генерирующей частицы. На рис.3 представлены распределения по угловым характеристикам вторичных звезд, вызванных нейтронами / А /, быстрыми заряженными частицами, направленными под углом к первичному пучку $\leq 10^\circ$ /Б/ и $> 10^\circ$ /В/.

Детальный анализ рис.3 позволяет прийти к следующим выводам:

1. Отношение числа быстрых протонов к числу быстрых нейтронов незначительно превышает единицу.

2. Отношение числа протонов и мезонов среди частиц, образующих звезды с $n_s \geq 2$, составляет 1,5-2, что является свидетельством значительно более высокой средней энергии протонов по сравнению с мезонами.

^{х/} Это связано, во-первых, с более низкой /в среднем/ энергией мезонов по сравнению с нуклонами и, во-вторых, с меньшей скоростью системы центра инерции налетающей и неподвижной системы при равных энергиях мезонов и нуклонов.

Т а б л и ц а 11

Распределение по n_s звезд, вызванных заряженными частицами с ионизацией $\gamma \leq 1,4 \gamma_0$ с углами вылета $0^\circ - 90^\circ$ к направлению пучка

n_s	0	1	2	3	4	5	Всего
Число звезд /после введения поправки/	499 [*]	240	85	24	5	4	857
Эксперимент. обнаруженное число звезд	266	201	64	18	5	2	556

*/ Звезды с $n_s = 0$ регистрировались не на всей площади. После введения поправок их число оказалось 499.

Л и т е р а т у р а

1. Н.Л.Григоров, УФН, 58, 599 /1956/.
2. Г.Л.Баятян, И.М.Граменицкий, А.А.Номофилов, М.И.Подгорецкий, Э.С.Скжипчак. ЖЭТФ /в печати/.
3. V.Belyakov, Van Scu-fen, V.Glagolev, Dalkhazhav, L.Kirillova, P.Markov, R.Lebedev, K.Tolstov, E.Tziganov, M.Shafra-nova, Jao Tsyng-se. 1958, Annual International Conference on High Energy Physics at CERN, 309-318 p.
4. W.R.Johnson, Phys.Rev. 99, 1049. (1955).
5. Н.П.Богачев, Ван Шу-фень, И.М.Граменицкий, Л.Ф.Кириллова, Р.М.Лебедев, В.Б.Любимов, П.К.Марков, Ю.П.Мереков, М.И.Подгорецкий, В.М.Сидоров, К.Д.Толстов, М.Г.Шафранова. Атомная энергия, 4, 281 /1958/.

Работа поступила в издательский отдел
21 марта 1959 года.

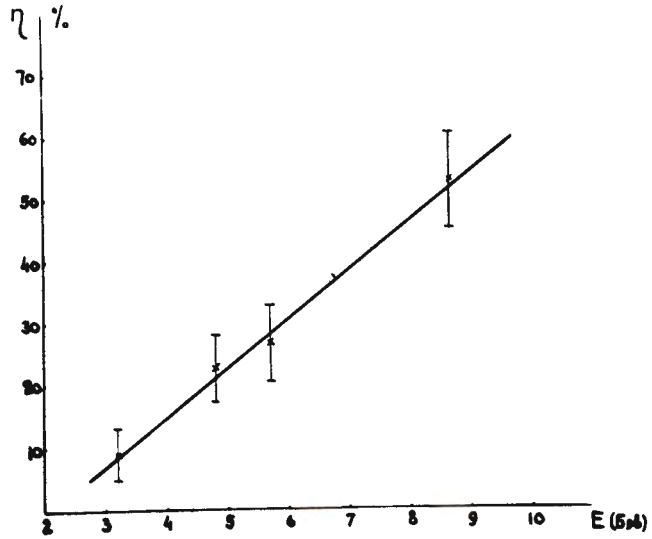


Рис. 1. Зависимость относительной вероятности появления звезд с числом быстрых частиц $n_s \geq 3$ и $n_s \geq 1$ $\eta(E) = \frac{N(n_s \geq 3)}{N(n_s \geq 1)}$ от кинетической энергии протонов, согласно данным [3] и [4] /Прямая проведена методом наименьших квадратов/.

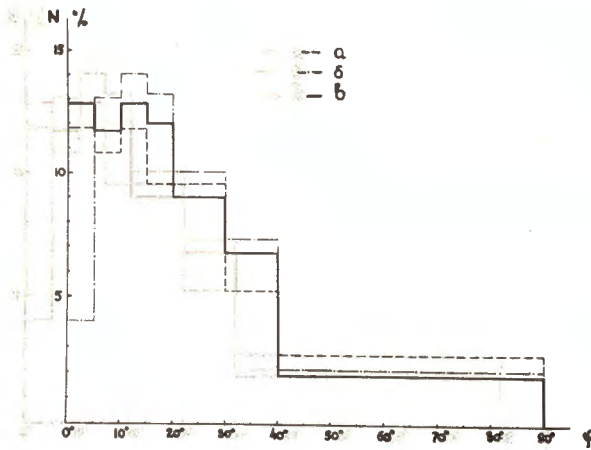


Рис. 2. Угловое распределение быстрых заряженных частиц:
а/ вылетающих из первичных звезд, согласно [3],
б/ генерирующих наблюдаемые вторичные звезды,
в/ генерирующих вторичные звезды с учетом поправок на частицы, пропущенные в интервале $0^{\circ} - 5^{\circ}$.

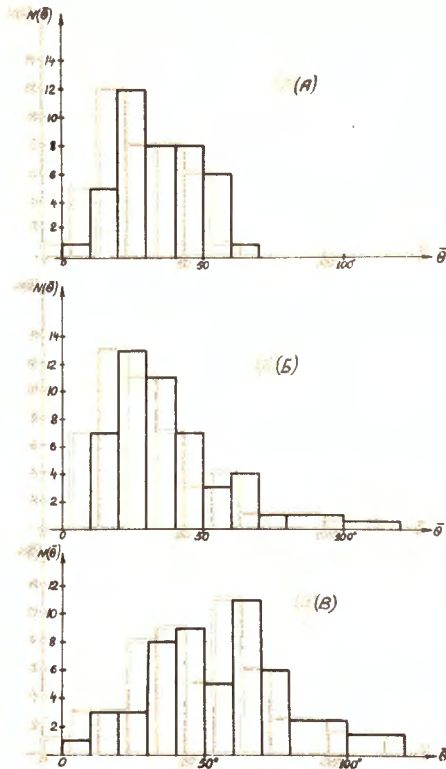


Рис. 3. Распределение по среднему углу вылета $\bar{\theta}$ вторичных звезд, вызванных нейтронами /А/, быстрыми заряженными частицами, направленными под углом $\varphi \leq 10^\circ$ /Б/ и $\varphi > 10^\circ$ /В/ по отношению к первичному пучку.