

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

Б425

P1-87-443

Р.Н.Бекмирзаев*, В.Г.Гришин, И.Долейши,
Е.Н.Кладницкая, М.М.Муминов*, И.Џуванов*, З.Трка

ХАРАКТЕРИСТИКИ
БЫСТРЫХ ВТОРИЧНЫХ НЕЙТРОНОВ
В $p\text{-}p$ И $p^{12}\text{C}$ -ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ
ПРИ $P = 10$ ГэВ/с

Направлено в журнал "Ядерная физика"

*Самаркандский государственный университет
им. А.Навои

1987

1. ВВЕДЕНИЕ

В работах /1-6/ были опубликованы данные по исследованию процессов образования быстрых нейтронов ($p_n \geq 1$ ГэВ/с) в соударениях π^- -мезонов и протонов высоких энергий с ядрами и нуклонами в интервале импульсов 4-300 ГэВ/с.

В настоящей работе получены новые экспериментальные данные по вторичным быстрым нейтронам в инклюзивных процессах:

$$p + p \rightarrow n + X, \quad /1/$$

$$p + {}^{12}\text{C} \rightarrow n + X, \quad /2/$$

при $P = 10$ ГэВ/с в условиях 4π -геометрии. Представленные данные сравниваются с расчетами по дубненскому варианту каскадной модели /ДКМ/ /7/, а также с результатами предыдущих аналогичных исследований.

2. ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МАТЕРИАЛА

Исследования проводились на стереоснимках, полученных с помощью двухметровой пропановой (C_3H_8) пузырьковой камеры, облученной протонами с $P = 10$ ГэВ/с на синхрофазотроне ЛВЭ ОИЯИ. Было дважды просмотрено 11 тысяч снимков, на которых регистрировались события только с одним первичным взаимодействием на кадре. В эффективной области камеры обнаружена 4261 первичная звезда и 221 вторичная звезда с числом заряженных частиц $n_{\pm} \geq 3$, образованных нейтральными частицами /"0"-звезды/. В "0"-звездах в 86% случаев имеются π^- -мезоны. Эффективность двойного просмотра для нахождения первичных звезд составила $\approx 99\%$, за исключением малолучевых ($n_{\pm} \leq 2$) звезд. Для них эффективность просмотра составила $\approx 85\%$. Эффективность просмотра для "0"-звезд составила $\approx 98\%$.

В число звезд, вызванных вторичными нейтронами, введена поправка / $\approx 7\%$ / на фоновые процессы. Фон от случайных нейтральных звезд был оценен при просмотре снимков, на которых не было первичных взаимодействий, но наблюдались "0"-звезды; он

составил $\approx 5\%$. Вторым фоновым процессом - это ^{10}B -звезды, вызванные взаимодействием нейтральных странных частиц, образованных в первичных столкновениях, он дает поправку около 2% ^{/5/}.

Найденные при просмотре первичные звезды были разделены на $p\bar{p}$ - и pC -взаимодействия по критериям, описанным в ^{/8/}. Аналогично первичным взаимодействиям ^{10}B -звезды разделялись на $p\bar{p}$ - и pC -столкновения ^{/6/}.

В ^{10}B -звездах измеряли импульсы вторичных заряженных частиц со средней ошибкой около 11% . Импульс нейтрона, образовавшего ^{10}B -звезду, полагали равным

$$p_n = k(p_{\text{зар}}) \cdot p_{\text{зар}} \quad /3/$$

где $k(p_{\text{зар}})$ - коэффициент, учитывающий долю импульса, уносимую в среднем нейтральными частицами, и $p_{\text{зар}}$ - сумма импульсов всех заряженных частиц в ^{10}B -звезде. Значения $k(p_{\text{зар}})$ в зависимости от импульса $p_{\text{зар}}$, определенные по данным работ ^{/5,9/}, приведены в табл. 1. Погрешность определения импульсов нейтронов по формуле /3/ не превышает 20% . С учетом значений $k(p_{\text{зар}})$ в табл. 1 оказалось, что около 96% найденных ^{10}B -звезд с $n_{\pm} \geq 3$ образуются нейтронами с $p \geq 1$ ГэВ/с.

Таблица 1

$p_{\text{зар}}$ (ГэВ/с)	$\leq 0,80$	$0,81 \div 0,99$	$1,00 \div 1,20$	$1,30 \div 1,49$	$\geq 1,5$
$k(p_{\text{зар}})$	1,0	1,30	1,35	1,40	1,50

Угол вылета нейтральной частицы, образовавшей ^{10}B -звезду, определялся как угол между направлением пучковой частицы, вызвавшей первичную звезду, и прямой, соединяющей вершины первичной и ^{10}B -звезды. Экспериментальная ошибка в определении углов не превышала $0,7^\circ$.

Для учета нейтронов, не провзаимодействовавших в эффективном объеме камеры, вводились геометрические веса для каждой зарегистрированной ^{10}B -звезды:

$$W_n = [1 - \exp(-\ell/L)]^{-1} \quad /4/$$

где ℓ - длина потенциального пробега нейтрона от первичной звезды до границы эффективной области; $L = 1/n\sigma$ - средняя длина свободного пробега нейтрона с импульсом p_n ; n - число мо-

лекул протона в 1 см^3 пропана при $\rho(\text{C}_3\text{H}_8) = 0,43 \text{ г/см}^3$; σ - сечение неупругого взаимодействия нейтрона с $n_{\pm} \geq 3$ и данным p_n с молекулой пропана, которое вычислялось с учетом сечений взаимодействий нейтронов с ядрами водорода ^{/10/} и ядрами углерода ^{/11/}.

Статистика событий с учетом поправок на эффективность просмотра, фон и сечение неупругих $p\bar{p}$ - и pC -взаимодействий, веса событий представлена в табл. 2.

Таблица 2
Статистика событий

Тип взаимодействия	$N_{\text{соб}}$	N_n^f	$N_n^f(W)$
$(p\bar{p})_{\text{неупр.}}$	1078	60 ± 8	888 ± 120
$(p^{12}\text{C})_{\text{неупр.}}$	2913	161 ± 13	2850 ± 248

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

В табл. 3 приведено среднее число быстрых нейтронов $\langle N_n^f \rangle$ на одно неупругое $p\bar{p}$ - и $p^{12}\text{C}$ -взаимодействие, а также средние значения импульсов быстрых нейтронов в этих взаимодействиях. Сравнение экспериментальных значений средней множественности и среднего импульса быстрых нейтронов, образованных в $p^{12}\text{C}$ -столкновениях, с расчетами по ДКМ дает совпадение в пределах ошибок эксперимента /см. табл. 3/.

Таблица 3
Средние числа и средние импульсы быстрых нейтронов

Тип взаимодействия	$\langle N_n^f(W)/N_{\text{соб}} \rangle$	$\langle p_n^f \rangle$ (ГэВ/с)
$(p\bar{p})_{\text{неупр.}}$	$0,70 \pm 0,14$	$2,5 \pm 0,1$
$(p^{12}\text{C})_{\text{неупр.}}$	$0,89 \pm 0,09$	$2,7 \pm 0,1$
$p^{12}\text{C}$ (ДКМ)	1,02	2,9

Значение $\langle N_n^f \rangle_{p\bar{p}} = 0,32 \pm 0,11$, полученное в настоящем эксперименте, совпадает в пределах ошибок с величиной $\langle N_n^f \rangle_{p\bar{p}}$, определенной для нейтронов с $p_n \geq 1$ ГэВ/с при 300 ГэВ/с для

неупругих взаимодействий ^{6/}. По-видимому, средняя множественность быстрых нейтронов ($p_n \geq 1$ ГэВ/с) в pp-столкновениях не зависит от энергии взаимодействия в интервале импульсов (10÷300) ГэВ/с. Отметим, что в π^-p -соударениях при 4,75 и 40 ГэВ/с средняя множественность быстрых нейтронов одинакова ($\langle N_n^f \rangle_{\pi^-p} = 0,28 \pm 0,06$), то есть не зависит от энергии. Разницу в значениях $\langle N_n^f \rangle_{pp}$ и $\langle N_n^f \rangle_{\pi^-p}$ можно объяснить перезарядкой первичного протона. Для грубой оценки можно предположить, что в pp-столкновениях при 10 ГэВ/с падающий протон и протон-мишень имеют одинаковые значения коэффициента неупругой перезарядки $\alpha(p \rightarrow n)$, для N_n^f получим

$$\alpha(p \rightarrow n) = \frac{\langle N_n^f \rangle}{2} = 0,41 \pm 0,07.$$

Это значение α согласуется с неизвестным значением $\alpha(n \rightarrow p) = 0,33 \pm 0,05$, полученным в π^-p -столкновениях /тоже для случая быстрых нейтронов/ в импульсном интервале 4÷40 ГэВ/с ^{5/} и в pp-столкновениях при 300 ГэВ/с ^{6/}.

Для отношения средних множественностей быстрых нейтронов в $p^{12}C$ - и pp-столкновениях получаем при $p = 10$ ГэВ/с

$$R \langle N_n^f \rangle_{pC}^{pp} = \frac{\langle N_n^f \rangle_{pC}}{\langle N_n^f \rangle_{pp}} = 1,27 \pm 0,20.$$

По данным ^{6/} множественность нейтронов с $p_n \geq 1$ ГэВ/с, образованных от перезарядки налетающего протона в pp-взаимодействиях, приблизительно равна 0,33. Согласно этому, если от общего числа нейтронов, образующихся в $p^{12}C$ - и pp-столкновениях, вычесть часть нейтронов от перезарядки падающего протона, то можно получить отношение множественностей быстрых нейтронов, выбитых из ядер - мишени:

$$R(\langle N_n^f \rangle) = \frac{(0,89 \pm 0,09) - 0,33}{(0,70 \pm 0,14) - 0,33} \approx 1,50 \pm 0,25.$$

Основываясь на данных ^{6/}, можно заключить, что $R(N_n^f)$ приблизительно равно среднему числу внутриядерных соударений $\langle \nu \rangle$. Таким образом, число внутриядерных соударений на одно $p^{12}C$ -взаимодействие приблизительно равно ν ($\nu \approx 1,3$).

На рис. 1 показаны импульсные распределения быстрых нейтронов в pp- и $p^{12}C$ -соударениях в л.с.к. Соответствующие значения $\langle p_n^f \rangle$ приведены в табл. 3. Импульсные спектры в области $p_n^f = (1-4)$ ГэВ/с при переходе от протонной мишени к ядерной ($^{12}C_6$) становятся более жесткими, и значение $\langle p_n^f \rangle$ увеличива-

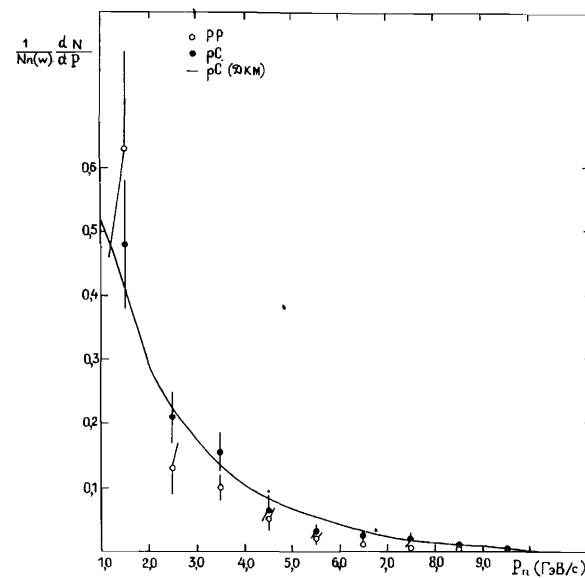


Рис. 1

ется, что, вероятно, связано с большим числом нейтронов с $p \geq 1$ ГэВ/с в pC-взаимодействиях. Однако при $p_n^f > 4$ ГэВ/с спектры нейтронов для соударений с ядерной и нуклонной мишенями совпадают. Отметим, что в ^{12/} обнаружена независимость высокоимпульсной части спектра вторичных протонов от A ядра-мишени в dA-взаимодействиях при $p_d = 9$ ГэВ/с. В связи с этим можно предположить, что есть универсальность высокоимпульсной части нейтронного спектра в pC- и pp-взаимодействиях. Для выяснения этого обстоятельства нужны дальнейшие исследования импульсного спектра нейтронов во взаимодействиях протонов с различными ядрами.

Избыточное рождение нейтронов в области относительно малых импульсов ($p_n \leq 3$ ГэВ/с) в pC-взаимодействиях можно объяснить в рамках моделей, учитывающих процессы внутриядерного перераспределения ^{4/}.

Сплошная кривая на рис. 1 - результат расчета, проведенного по ДКМ для $p^{12}C$ -взаимодействий. Видно, что ДКМ удовлетворительно согласуется с экспериментальными данными.

Распределения по углам $\nu_{пл}$ быстрых нейтронов в л.с.к. /см. рис. 2/ обнаруживает пик вперед при $\nu_{пл} \leq 40^\circ$, который больше выделяется в pp-столкновениях по сравнению с $p^{12}C$ -взаимодействиями. Это согласуется с данными ^{6/} для pp- и $p^{12}Ne$ -взаимодействий при $p_p = 300$ ГэВ/с. Расчеты по ДКМ для $p^{12}C$ -взаимодействий /см. рис. 2/ воспроизводят экспериментальное распределение.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На общей статистике /4261 событие/ анализировались множественности, импульсные и угловые распределения вторичных быст-

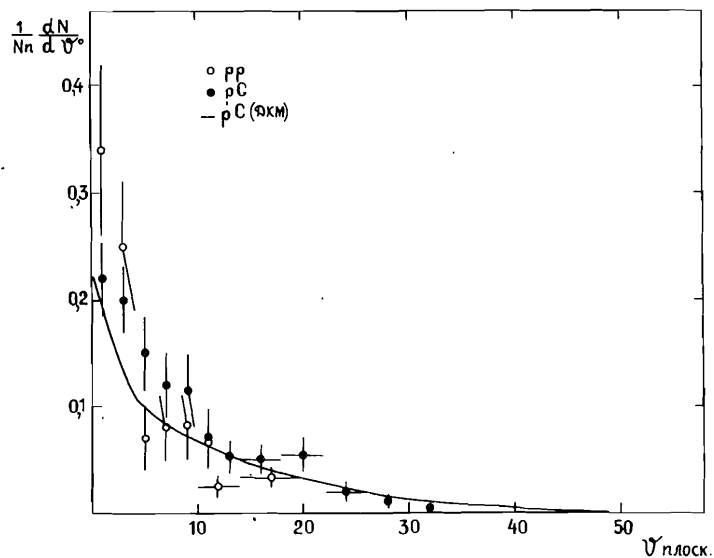


Рис. 2

рых ($p_n \geq 1$ ГэВ/с) нейтронов в pp - и $p^{12}\text{C}$ -взаимодействиях при $p_p = 10$ ГэВ/с. По результатам работы можно сделать следующие выводы.

1. Средние множественности нейтронов с $p_n \geq 1$ ГэВ/с в протон-протонных взаимодействиях при $p_p = 10$ ГэВ/с и $p_p = 300$ ГэВ/с $^{6/}$ в пределах погрешностей экспериментов совпадают.

2. Полученное значение $\alpha(p \rightarrow n)$ в pp -взаимодействиях при 10 ГэВ/с согласуется со значением $\alpha(p \rightarrow n)$ при 300 ГэВ/с $^{6/}$, а также с величиной $\alpha(p \rightarrow n)$ в π^-p -столкновениях при 4,75 и 40 ГэВ $^{5/}$. Это позволяет сделать вывод, что, по-видимому, величина коэффициента неупругой $\alpha(p \rightarrow n)$ -перезарядки нуклонов постоянна и практически не зависит ни от энергии взаимодействия в области первичных импульсов от 4 до 300 ГэВ/с, ни от типа первичных частиц (π^-, p).

3. Импульсные спектры быстрых нейтронов ($p_n \geq 1$ ГэВ/с) для соударений протонов с углеродной и протонной мишенями при $p_p = 10$ ГэВ/с в области $p_n = (1 \div 4)$ ГэВ/с различаются: при переходе от нуклонной мишени к ядерной спектры становятся более жесткими, $\langle p_n^f \rangle$ увеличивается.

4. Совпадение спектров вторичных нейтронов при $p_n^f > 4$ ГэВ/с в pp - и $p^{12}\text{C}$ -столкновениях, возможно, связано, как и для протонных спектров в dA -взаимодействиях при 9 ГэВ/с, с предполагаемой универсальностью высокоимпульсной части pA -взаимодействий, то есть его независимостью от ядра-мишени.

5. Расчет по ДКМ удовлетворительно согласуется с экспериментальными данными.

Авторы признательны участникам сотрудничества по исследованию множественных процессов на пропановых пузырьковых камерах за полезные обсуждения и помощь в работе. Нам приятно поблагодарить лаборантов Самаркандского государственного университета за просмотр стереоснимков и измерения события.

ЛИТЕРАТУРА

1. Dao F.T. et al. - Phys.Rev.D., 1974, Vol.10, p.3588.
2. Blobel V. et al. - Nucl.Phys.B, 1978, Vol.135, p.379.
3. Fortney L.R. et al. - Phys.Rev.D, 1978, Vol.14, p.1190.
4. Баюков Ю.Д. и др. - ЯФ, 1979, т.30, с.1283; ЯФ, 1981, т.34, с.785; ЯФ, 1982, т.35, с.960; Препринты ИТЭФ: 1982, № 4; 1983, № 8, Москва.
5. Гришин В.Г. и др. - ЯФ, 1983, т.37, с.641; ЯФ, 1984, т.39, с.1212; Сообщения ОИЯИ, 1-84-734, Дубна, 1984.
6. Азимов С.А. и др. Препринт ФТИ АН УзССР, 1984, 23-84, ФВЭ, Ташкент.
7. Гудима К.К., Тонеев В.Д. - ЯФ, 1978, т.27, с.669.
8. Агакишиев Г.Н. и др. Препринт ОИЯИ, 1-83-662, Дубна, 1983; ЯФ, 1985, т.30, с.1562.
9. Бекмирзаев Р.Н. и др. Препринт ОИЯИ, P1-84-733, Дубна, 1984.
10. Бешлиу К. и др. - ЯФ, 1986, т.43, с.888.
11. Бабаев А. и др. Препринт ИТЭФ, 1974, № 10, Москва.
12. Ажгирей Л.С. и др. Препринт ОИЯИ, P1-86-728, Дубна, 1986.

Рукопись поступила в издательский отдел
19 июня 1987 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

Д7-83-644	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.	6 р.55 к.
Д2,13-83-689	Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.	2 р.00 к.
Д13-84-63	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р.50 к.
Д2-84-366	Труды 7 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1984.	4 р.30 к.
Д1,2-84-599	Труды VII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1984.	5 р.50 к.
Д10,11-84-818	Труды V Международного совещания по проблемам математического моделирования, программированию и математическим методам решения физических задач. Дубна, 1983.	3 р.50 к.
Д17-84-850	Труды III Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1984. /2 тома/	7 р.75 к.
Д11-85-791	Труды Международного совещания по аналитическим вычислениям на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1985.	4 р.00 к.
Д13-85-793	Труды XII Международного симпозиума по ядерной электронике. Дубна, 1985.	4 р.80 к.
Д4-85-851	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1985.	3 р.75 к.
Д3,4,17-86-747	Труды V Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1986.	4 р.50 к.
	Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1984. /2 тома/	13 р.50 к.
Д1,2-86-668	Труды VIII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1986. /2 тома/	7 р.35 к.
Д9-87-105	Труды X Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1986. /2 тома/	13 р.45 к.
Д7-87-68	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Дубна, 1986	7 р.10 к.
Д2-87-123	Труды Совещания "Ренормгруппа-86". Дубна, 1986	4 р.45 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу: 101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79. Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.

Бекмирзаев Р.Н. и др.
Характеристики быстрых вторичных нейтронов в pp- и p¹²C-взаимодействиях при P = 10 ГэВ/с

P1-87-443

Экспериментальный материал получен при облучении 2-пропановой пузырьковой камеры протонами с импульсом 10 ГэВ/с на синхрофазотроне ЛВЗ ОИЯИ. Приводятся данные по среднему числу вторичных быстрых нейтронов ($\bar{P}_n > \geq 1$ ГэВ/с), образованных в неупругих pp- и pC-взаимодействиях / $\langle N_n^f \rangle$ /. Значения $\langle N_n^f \rangle$ в pp- и pC-взаимодействиях при $P_p = 10$ ГэВ/с составляет соответственно $0,70 \pm 0,14$ и $0,89 \pm 0,09$. Получены импульсные и угловые распределения нейтронов с $P \geq 1$ ГэВ/с. Коэффициент перезарядки $\alpha(p \rightarrow n)$ практически не меняется в интервале энергий от 4 до 300 ГэВ. Экспериментальные данные сравниваются с расчетными по каскадной модели /ДКМ/.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1987

Перевод О.С.Виноградовой

Bekmirzaev R.N. et al.
Characteristics of Fast Secondary Neutrons in pp- and p¹²C-Interactions at P = 10 GeV/c

P1-87-443

The experimental data have been obtained using the 2m propane bubble chamber exposed to a beam of 10 GeV/c protons at the synchrotron of the Laboratory of High Energies, JINR. Average number of secondary fast ($P_n \geq 1$ GeV/c) neutrons produced in inelastic pp and pC interactions are equal to $0,70 \pm 0,14$ and $0,89 \pm 0,09$, respectively. Momentum and angular distributions of fast neutrons with $P \geq 1$ GeV/c have been obtained. The charge exchange of $\alpha(p \rightarrow n)$ coefficient is practically constant in the energy range from 4 to 300 GeV. The Dubna cascade model calculations are compared with the experimental data.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1987