

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

Б 425

P1-87-652

Р.Н.Бекмирзаев¹, В.Г.Гришин, О.В.Гришина²,
И.Долейши³, Р.М.Ибатов¹, М.М.Муминов¹,
И.Суванов¹, Я.Тркова³, З.Трка³

ИЗУЧЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
БЫСТРЫХ НЕЙТРОНОВ ($P_n \gtrsim 1$ ГэВ/с)
В pp- И p ¹²C-ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ
ПРИ $P = 4,2$ ГэВ/с

Направлено в журнал "Ядерная физика"

¹ Самаркандский государственный университет

² Научно-исследовательский институт ядерной
физики МГУ, Москва

³ Карлов университет, Прага

ВВЕДЕНИЕ

В работах /1,2,3/ получены экспериментальные данные по средним множественностям, импульсным и угловым распределениям быстрых нейтронов ($P_n \geq 1$ ГэВ/с), образованных в процессах $p-p$ -, $p-^{12}C$ -, $p-^{20}Ne$ -взаимодействий при импульсах 10 и 300 ГэВ/с, а также аналогичные данные для $\pi-p$ -, $\pi-^{12}C$ -столкновений при 4;7 и 40 ГэВ/с.

В настоящей работе изучаются эти же характеристики для быстрых нейтронов в инклюзивных процессах:

$$p + p \rightarrow n + X, \quad (1)$$

$$p + ^{12}C \rightarrow n + X \quad (2)$$

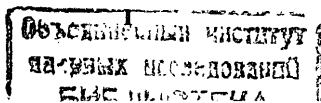
при $p_p = 4,2$ ГэВ/с в условиях 4π -геометрии. Полученные экспериментальные данные сравниваются с расчётами по Лунд-модели ($p-p$ -взаимодействия) и по дубненскому варианту каскадной модели (ДКМ) для pC -взаимодействий, а также с ранее полученными результатами /1-4/. Помимо этого определены сечения взаимодействия быстрых нейтронов с ядрами углерода для образования звезд с числом заряженных частиц $n_{\pm} \geq 3$ при $P = 1; 1,7$ и $4,2$ ГэВ/с, которые необходимы при определении эффективности их регистрации, и измерены суммарные импульсы вторичных нейтральных звезд по импульсам заряженных частиц в них.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

Экспериментальный материал был получен с помощью двухметровой пропановой (C_3H_8) пузырьковой камеры, облученной протонами с $P_p = 4,2$ ГэВ/с на синхрофазотроне ЛВЭ ОИЯИ. Было дважды просмотрено около 14 тысяч стереоснимков, на которых регистрировались события только с одним первичным взаимодействием на снимке. В эффективной области камеры было найдено 4324 неупругих $p(C_3H_8)$ -взаимодействий и 346 вторичных звезд с числом заряженных частиц $n_{\pm} \geq 3$, образованных вторичными нейтральными частицами ("n" - звезды).

Эффективность двойного просмотра для нахождения первичных звезд с $n_{\pm} \geq 2$ оказалась равной $\approx 99\%$, а для малолучевых $n_{\pm} < 2$ звезд составила $\approx 85\%$. Эффективность нахождения "n" звезд составила $\approx 98\%$.

Пороговое значение импульса нейтрона для образования "n"-звезд с $n_{\pm} \geq 3$ при взаимодействии с ядрами углерода и водорода меньше 1 ГэВ/с. Однако полученные в эксперименте импульсные распределения нейтронов и проведенные оценки, основанные на энергетическом поведении полных неупругих сечений $p-p$ -, $p-^{12}C$ -взаимодействий показали, что 96% "n" - звезд с $n_{\pm} \geq 3$ образуются при импульсах нейтро-



нов $P_n \geq 1$ ГэВ/с. В связи с этим полученные данные относятся в основном к $P_n \geq 1$ ГэВ/с.

Методические вопросы эксперимента рассмотрены в /5/. Учёт поправок на фоновые процессы в число "n" - звезд, определение импульсов и углов вылета нейтронов описаны в /1,2,6/. Фоновые процессы, вызванные "случайными" нейтронами и нейтральными странными частицами составили $\approx 4\%$.

Средняя ошибка в определении импульсов однозарядных частиц около $\approx 11\%$, ошибки в определении угла вылета нейтрона не превышают $\approx 0,5^\circ$.

Найденные при просмотре все 4324 первичных взаимодействия с учётом описанных выше поправок были статистически разделены на pp- и $P^{12}C$ - события согласно известным сечениям этих взаимодействий ($\sigma_{pp}^{in} = (26,0 \pm 1,0)$ мбн, $\sigma_{P^{12}C}^{in} = (250 \pm 10)$ мбн) /7,8/. В событиях же с зарегистрированной "n" - звездой (346 событий) взаимодействия протонов с ядрами углерода выделялись из всех взаимодействий в пропане по визуальным критериям, описанным в /5/. По этим критериям выделяется $(70 \pm 3)\%$ неупругих $P^{12}C$ - событий. Оставшаяся их часть ($\approx 30\%$) по характеристикам подобна pp - взаимодействиям и поэтому прибавлялась статистически к $P^{12}C$ - взаимодействиям. Для учёта нейтронов, не провазимодействовавших в эффективном объеме камеры, вводились "геометрические веса" для каждой зарегистрированной "n" - звезды:

$$W_n = [1 - \exp(-\ell/L)]^{-1} \quad (3)$$

где ℓ - длина потенциального пробега нейтрона от первичной звезды до границы эффективной области камеры;

$L = 1/n \sigma_{n(C_3H_8)}^{n \geq 3}$ - средняя длина свободного пробега нейтрона с импульсом P_n ; n - число молекул в 1 см³ пропана с $\rho(C_3H_8) = 0,43$ г/см³;

$\sigma_{n(C_3H_8)}^{n \geq 3}$ - сечение неупругого взаимодействия нейтрона с данной P_n с молекулой пропана, образовавшего "n" - звезду с $n \geq 3$. Это сечение вычислялось с учётом сечений взаимодействий нейтронов с ядрами водорода $\sigma_{nH}^{n \geq 3}$ /7,8/ и ядрами углерода ($\sigma_{nC}^{n \geq 3}$):

$$\sigma_{n(C_3H_8)}^{n \geq 3} = 3 \sigma_{nC}^{n \geq 3} + 8 \sigma_{nH}^{n \geq 3} \quad (4)$$

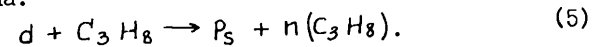
Значения $\sigma_{nP}^{n \geq 3}$ в зависимости от величины импульса нейтрона представлены на рисунке 1 /7,8/. Там же даны в мбн полные неупругие сечения pp - взаимодействий (σ_{pp}^{in}) /8/. На рисунке 2 приведены значения полных неупругих сечений $n^{12}C$ - взаимодействий (σ_{nC}^{in}) по данным /9/ х).

х) Предполагается, что $\sigma_{nP}^{in} \approx \sigma_{pp}^{in}$ и $\sigma_{n^{12}C}^{in} = \sigma_{P^{12}C}^{in}$.

Экспериментальные данные для значений $\sigma_{nC}^{n \geq 3}$ отсутствуют в литературе. Поэтому для определения $\sigma_{nC}^{n \geq 3}$ в зависимости от импульса нейтрона была проведена специальная методическая работа (см. ниже).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЕЧЕНИЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ НЕЙТРОНОВ С ЯДРАМИ УГЛЕРОДА С ОБРАЗОВАНИЕМ ЗВЕЗД С $n_{\pm} \geq 3$ ПРИ 1,0; 1,7 И 4,2 ГэВ/с

Для определения $\sigma_{nC}^{n \geq 3}$ были просмотрены снимки с двухметровой пропановой камеры, облученной дейтронами при импульсах 1,0; 1,7 и 4,2 ГэВ/с на нуклон на синхрофазотроне ЛВЭ ОИЯИ. На снимках отбирались взаимодействия дейтрона с молекулой пропана с образованием стриппингового протона:



Методика выделения случаев реакции (5) подробно описана в /10/. Такие события соответствуют случаям $n(C_3H_8)$ - соударений. Среди всех найденных событий $N_{n(C_3H_8)}^{in}$ реакции (5) находилось число случаев ($N_{n(C_3H_8)}^{n \geq 3}$) с $n_{\pm} \geq 3$ (за исключением P_S), которое и определяло сечения взаимодействия нейтронов при ($n_{\pm} \geq 3$) с молекулой пропана в зависимости от импульса нейтрона:

$$\sigma_{n(C_3H_8)}^{n \geq 3} = N_{n(C_3H_8)}^{n \geq 3} \cdot \sigma_{n(C_3H_8)}^{in} / N_{n(C_3H_8)}^{in} \quad (6)$$

где $\sigma_{n(C_3H_8)}^{in} = 3 \sigma_{nC}^{in} + 8 \sigma_{nH}^{in}$ *

В таблице 2 представлена статистика взаимодействий $N(n(C_3H_8))$ и неупругих $N_{n(C_3H_8)}^{in}$ и $\sigma_{n(C_3H_8)}^{in}$ /8/. Там же приводятся полученные по формуле (6) значения $\sigma_{n(C_3H_8)}^{n \geq 3}$ и $\sigma_{nC}^{n \geq 3}$ при $P_n = 1,0; 1,7$ и 4,2 ГэВ/с. Эти значения для $\sigma_{n \geq 3}(n(C_3H_8))$ в мбн приведены на рис. 2. Другие значения этой величины получены в предположении подобия энергетической зависимости сечений $\pi^{12}C$ - и π^p взаимодействий при $n_{\pm} \geq 3$ в интервале импульсов 4-40 ГэВ/с /11/ для nH - и $n^{12}C$ - взаимодействий. В этом предположении значения

$$\sigma_{nC}^{n \geq 3} = \frac{\sigma_{nH}^{n \geq 3}}{\sigma_{nH}^{in}} \cdot \sigma_{nC}^{in} \quad (7)$$

в пределах погрешности значения $\sigma_{nC}^{n \geq 3}$ из (7) при $P_n \geq 2$ ГэВ/с согласуются с экспериментально определенными значениями $\sigma_{nC}^{n \geq 3}$ (рис. 2). При $P_n \leq 1,7$ ГэВ/с формула (7) дает заниженные значения сечений (см. пунктирная кривая).

ж) При определении $N_{n(C_3H_8)}^{in}$ вычиталась регистрируемая ($P_p \geq 160$ МэВ/с) в пузырьковой камере часть (70%) всех упругих nH - взаимодействий, значения сечений которых даны в /8/.

Таблица I. Статистика событий

Тип взаимодействия	$N_{\text{соб.}}$	N_n^f	$N_n^f(w)$
pp	1114	75±9	623±82
p ¹² C	3438	264±16	2613±173

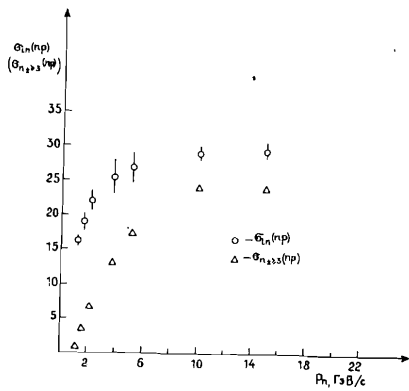


Рис.1. Сечения взаимодействия нейтронов с протонами /7,8/: о - полное неупругое сечение; Δ - сечение образования звезды с $n_{\pm} \geq 3$.

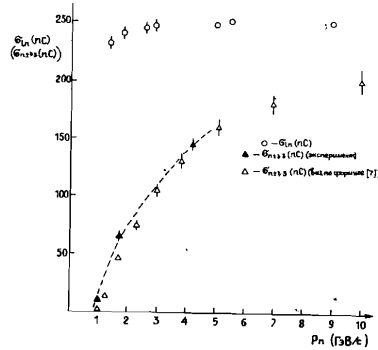


Рис.2. Сечения взаимодействия нейтронов с ядрами углерода; о - полное неупругое сечение; Δ - сечение для образования звезды с $n_{\pm} \geq 3$, вычисленное по формуле /7/. Δ - данные настоящей работы.

Таблица 2. Сечения $n^{12}C$ - и $n(C_3H_8)$ - взаимодействий с $n_{\pm} \geq 3$

P_n (ГэВ/с)	$N_{n(C_3H_8)}$	N_n^{in}	$N_n^{n_{\pm} \geq 3}$	$\sigma_n^{in}(C_3H_8), \text{мон}$	$\sigma_n^{n_{\pm} \geq 3}(C_3H_8), \text{мон}$	$\sigma_{nC}^{n_{\pm} \geq 3}, \text{мон}$	$\sigma_{np}^{n_{\pm} \geq 3}, \text{мон}$
1,0	2356	1932	92±10	696±15	36±6	10±2,5	0,72±0,13
1,7	1427	1272	333±18	748±15	223±12	65±4	3,5 ±0,3
4,2	1762	1626	942±31	866±15	553±15	146±5	14,5 ±0,6

На рисунке 2 приведены значения $\sigma_{nC}^{n_{\pm} \geq 3}$ в зависимости от P_n . В области $P_n \geq 4,2$ ГэВ/с расчеты производились по формуле (7), а в области $P_n \leq 1,7$ ГэВ/с использовались экспериментальные значения $\sigma_{nC}^{n_{\pm} \geq 3}$ при $P_n = 1,7$ и 1,0 ГэВ/с (см. табл.2). Определенные сечения взаимодействия быстрых нейтронов ($P_n \geq 1$ ГэВ/с) с ядрами углерода при $n_{\pm} \geq 3$ в зависимости от P_n использовались для определения эффективности регистрации нейтронов в данной работе.

СРЕДНЯЯ МНОЖЕСТВЕННОСТЬ НЕЙТРОНОВ, ОБРАЗОВАННЫХ В pp -ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ

В таблице 3 представлена полная средняя множественность нейтронов и быстрых нейтронов $\langle N_n^f(w) \rangle$, образованных в pp-взаимодействиях при 4,2 ГэВ/с. Там же для сравнения приведены значения $\langle N_n^f(w) \rangle$ для pp-взаимодействий при 10 и 300 ГэВ/с, а также для p-p -взаимодействий при 4,7 и 40 ГэВ/с /1,2,3,8/.

Как видно из таблицы 3, средние множественности нейтронов не зависят в пределах ошибок от энергии взаимодействия в интервале $P_p = 4-300$ ГэВ/с в pp - столкновениях и в интервале $P_{p-p} = 4-40$ ГэВ/с в p-p - взаимодействиях.

Из данных по $\langle N_n^{in}(pp) \rangle$ можно оценить коэффициент перезарядки нуклонов в pp-взаимодействиях. Известно, что коэффициент перезарядки в p-p - взаимодействиях $\alpha(p \rightarrow n) = \langle N_n^{in} \rangle_{p-p}$. В соударениях же протонов с протонами возникает дополнительный источник быстрых ("лидирующих") нейтронов вследствие перезарядки налетающего протона. Их число в среднем будет приблизительно равно средней вероятности неупругой перезарядки $\alpha(p \rightarrow n)$. Отсюда можно считать, что

$$\alpha(p \rightarrow n) = \frac{\langle N_n \rangle_{pp}}{2} \quad (8)$$

Оцененные по (8) значения $\alpha(p \rightarrow n)$ представлены в таблице 3. Из данных таблицы 3 следует, что $\alpha(p \rightarrow n)$ в пределах ошибок не зависит от первичной энергии и типа взаимодействий (p-p или pp) и, таким образом, является примерно постоянной величиной в интервале импульсов 4-300 ГэВ/с.

Для описания адронных взаимодействий широко используется модель, разработанная физиками г.Лунда (ЛМ), которая непрерывно развивается и в настоящее время описывает все процессы взаимодействия частиц и ядер при высоких энергиях. Она рассылается в физические центры в виде уже готовых программ для ЭВМ, что позволяет быстро её осваивать и применять для вычисления конкретных процессов. Представляет интерес применение этой модели при относительно низких энергиях ($E = 4-6$ ГэВ) для определения области её применимости

Таблица 3. Средняя множественность вторичных нейтронов в pp-взаимодействиях и значения коэффициента неупругой перезарядки α ($p \rightarrow n$)

Тип взаимодействия	P_0 , ГэВ/с	$\langle N_n^+ \rangle$	$\langle N_n^{in} \rangle$	α ($p \rightarrow n$)
pp	4,2	0,56±0,07	0,70±0,04 ^{x)}	0,35±0,02
pp	10,0	0,70±0,14	0,6 ±0,1 ^{x)}	0,30±0,05
pp	300,0	0,65±0,07	0,75±0,08 ^{/3/}	0,38±0,04
pp	4,0 ^{/3/}	0,30±0,04	0,39±0,04	0,39±0,04
pp	7,5 ^{/3/}	0,28±0,06	0,37±0,06	0,37±0,06
pp	40,0 ^{/3/}	0,28±0,04	0,37±0,04	0,37±0,04

x) Получены по парциальным сечениям^{/8/}.

Таблица 4. Неупругие pp-взаимодействия при $p \approx 4,2$ ГэВ/с и ЛМ^{x)}

$\langle n_i \rangle$	Эксп.	Л М	$\langle P \rangle$, ГэВ/с	Эксп.	Л М
$\langle n_+ \rangle$	2,54±0,08	2,39±0,04	$\langle P_+^n \rangle$	-	1,70±0,06
$\langle n_p \rangle$	1,30±0,04	1,37±0,04	$\langle P_+ \rangle$	-	0,32±0,01
$\langle n_n \rangle$	0,70±0,04	0,63±0,04	$\langle P_+^+ \rangle$	0,60±0,02	0,61±0,04
$\langle n_{\pi^+} \rangle$	0,27±0,02	0,20±0,04	$\langle P_+^{\pi^+} \rangle$	0,26±0,01	0,26±0,02
$\langle n_{\pi^0} \rangle$	0,7 ±0,3	0,81±0,04	$\langle P_+^{\pi^0} \rangle$	-	0,64±0,01
$\langle n_{\pi^-} \rangle$	1,8 ±0,3	2,2 ±0,1	$\langle P_+^{\pi^-} \rangle$	-	0,23±0,01
$\langle n_{K^+} \rangle$	0,7 ±0,1	0,8 ±0,1	$\langle P_+^{K^+} \rangle$	-	0,60±0,01

x) Часть данных получены из работ^{/8/}

"снизу"^{/12/}. Описание физического смысла модели, основанной на квантовой хромодинамике (КХД), можно найти в обзорах^{/14, 13/}.

Адроны в ЛМ рассматриваются как протяженные одномерные объекты, содержащие цветные кварки. При столкновении адронов кварки в центральной области взаимодействуют (I - кварки), а крайние кварки (или дикварки) продолжают движение и натягивают цветные струны. Они обычно называются лидирующими (L - кварками). С течением времени эти струны рвутся, и в результате туннельного образования из вакуума $q\bar{q}$ - пар образуется система адронов. После разрыва струны (струна-адрон+остаток) остаток струны фрагментирует далее независимо подобно уменьшенной копии первоначальной струны.

Для расчетов pp-взаимодействий при $P = 4,2$ ГэВ/с мы использовали версию программы Лунд-Монте-Карло, детально описанную в^{/4/}. Расчеты проводились на ЕС-1061 ОИЯИ без введения новых параметров по сравнению с^{/4/}. Как уже отмечалось, для pp-взаимодействий это приводит к занижению среднего числа нейтронов $\langle n_n \rangle$ в I,5-2 раза по сравнению с экспериментом при $p = 4 \div 5$ ГэВ/с и удовлетворительному описанию адронных процессов с помощью ЛМ при $p \geq 10$ ГэВ/с^{/12/}.

В таблице 4 даётся сравнение расчётов по ЛМ и данных по pp-взаимодействиям, полученных в работах^{/8, 15/}.

Как видно из табл.4, средние характеристики пионов и нуклонов в неупругих pp-взаимодействиях хорошо описываются ЛМ. Это связано с малым сечением зарядообменных процессов в pp-взаимодействиях и в ЛМ, в отличие от pp-соударений при тех же энергиях^{/4, 8, 12/}. Основную роль в этих процессах играют периферические взаимодействия нуклонов с образованием изобар (Δ), что хорошо учитывается в ЛМ введением продольного фазового объема и рождением адронов $SU(6)$ -мультиплетами в низших состояниях^{/4, 8/}. Образование мезонных резонансов при этих энергиях несущественно^{/8/}.

СРЕДНЯЯ МНОЖЕСТВЕННОСТЬ БЫСТРЫХ ($p_n > 1$ ГэВ/с) НЕЙТРОНОВ, ОБРАЗОВАННЫХ В $p^{12}C$ - ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ

В таблице 5 приведена множественность быстрых нейтронов, образованных в $p^{12}C$ - столкновениях при $p_p = 4,2$ ГэВ/с. Для сравнения там же приведены средние множественности для $p^{12}C$ - взаимодействий при 10 ГэВ/с^{/1/} и $p^{20}Ne$ - взаимодействий при 300 ГэВ/с^{/2/}. Как видно из данных, существенного возрастания значений $\langle N_n^+ \rangle_{pC}$ с увеличением первичного импульса не наблюдается. Экспериментальные значения $\langle N_n^+ \rangle_{pC}$ сравнивались с расчётами по ДКМ, которые проводились путем розыгрыша искусственных "звезд", с учётом экспериментальных условий

Таблица 5. Средняя множественность нейтронов с $p \geq 1$ ГэВ/с в pC - взаимодействиях

$P_p, \text{ГэВ/с}$	$\langle N_n^f(w) \rangle$	$\langle N_n^f \rangle_{\text{ДКМ}}$	$R_n^f = \frac{\langle N_n^f \rangle_{\text{pC}}}{\langle N_n^f \rangle_{\text{pp}}}$
4,2	$0,76 \pm 0,05$	0,60	$1,34 \pm 0,26$
10,0	$0,89 \pm 0,08$	1,02	$1,20 \pm 0,23$
300,0 ^{/2/}	$1,08 \pm 0,06$	-	-

Таблица 6. Средние импульсы быстрых нейтронов в pp - и pC-взаимодействиях

$P_p, \text{ГэВ/с}$	$\langle P_n^f(w) \rangle_{\text{pp}}, \text{ГэВ/с}$	$\langle P_n^f(w) \rangle_{\text{pC}}, \text{ГэВ/с}$	$\langle P_n^f \rangle_{\text{pC}}, \text{ГэВ/с}$ (ДКМ)
4,2	$1,9 \pm 0,1$	$1,8 \pm 0,1$	1,83
10,0	$2,5 \pm 0,1$	$2,7 \pm 0,1$	2,9

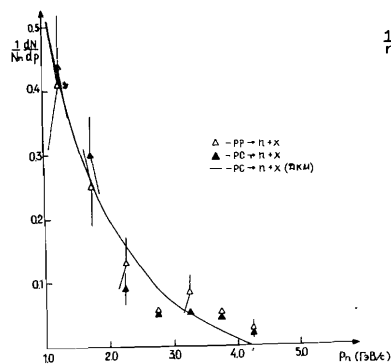


Рис.3. Импульсные распределения быстрых нейтронов ($P_n \geq 1$ ГэВ/с) в неупругих pp- и p¹²C-взаимодействиях при $P_p = 4,2$ ГэВ/с. Кривая - результат расчета по ДКМ для p¹²C-взаимодействий.

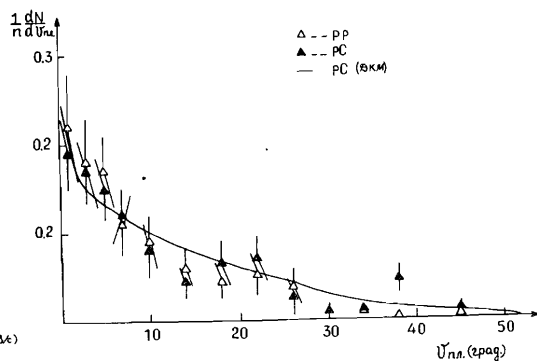


Рис.4. Распределение быстрых нейтронов в pp- и p¹²C-взаимодействиях при 4,2 ГэВ/с по углам ($\theta_{\text{пл.}}$) в л.с.к.

наблюдения, методом Монте-Карло. Банк моделированных событий составляет 16940 "звезд". Из таблицы 4 видно, что сравнение средней множественности нейтронов в p¹²C - столкновениях с расчетами по ДКМ дает совпадение в пределах экспериментальных ошибок.

В работе^{/16/} приводится средняя множественность протонов с $p > 1$ ГэВ/с $\langle N_p^f \rangle_{\text{pC}} = 0,9 \pm 0,1$ в p¹²C - взаимодействиях при 4,2 ГэВ/с, что согласуется с полученной в настоящей работе средней множественностью быстрых нейтронов при этом же первичном импульсе:

$$\langle N_n^f \rangle_{\text{pC}} = 0,76 \pm 0,05.$$

Отношение средних множественностей быстрых нейтронов в p¹²C- и pp - столкновениях (см. табл.5) систематически больше единицы. По данным^{/2/} множественности нейтронов, образованных от перезарядки налетающего протона, одинаковы в p¹²C - и pp - взаимодействиях. Вычтя из общего количества быстрых нейтронов, образующихся в p¹²C- и pp-столкновениях, часть нейтронов от перезарядки падающего протона, получим отношение множественностей быстрых нейтронов, выбитых из мишеней (p, ¹²C):

$$R(N_n^f)^m = \frac{0,76 - 0,34}{0,56 - 0,34} = 1,9 \pm 0,3.$$

Основываясь на данных^{/2/}, можно записать $R(N_n^f)^m = \langle \nu \rangle$, т.е. число внутриядерных столкновений на одно p¹²C - взаимодействие $\langle \nu \rangle = 1,90 \pm 0,30$.

ИМПУЛЬСНЫЕ И УГЛОВЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ БЫСТРЫХ ВТОРИЧНЫХ НЕЙТРОНОВ В pp - И p¹²C - ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ

На рисунке 3 показаны импульсные распределения быстрых нейтронов в pp - и p¹²C - взаимодействиях при 4,2 ГэВ/с в л.с.к., где сплошная кривая - результат расчета, проведенного по ДКМ для p¹²C-взаимодействий. Видно, что ДКМ удовлетворительно согласуется с экспериментальными данными. Из рисунка 3 также видно, что спектры быстрых нейтронов в pp - и p¹²C - взаимодействиях при 4 ГэВ/с в пределах ошибок совпадают и имеют подобную форму, как и при 10 ГэВ/с^{/1/}. Однако с увеличением первичной энергии импульсные спектры вторичных быстрых нейтронов становятся жестче (табл.6), хотя средние множественности в pp-, p¹²C - взаимодействиях совпадают в пределах ошибок табл. 3,5. Это также видно по соответствующим значениям средних импульсов быстрых нейтронов при 4,2 и 10 ГэВ/с, которые приведены в таблице 6. Этот же эффект имеет место и для $\Pi^+ p$; $\Pi^- p$ - соударений при 4,1; 7,0 и 40 ГэВ/с^{/2/}.

Распределения по углам ($\vartheta_{н.л.}$) быстрых нейтронов в л.с.к. (рис.4) обнаруживают пик вперед и имеют примерно одинаковый характер распределения в pp - и $p^{12}C$ - столкновениях. Однако с увеличением энергии взаимодействия $1/\lambda$ степень коллимации быстрых нейтронов вперед в л.с.к. усиливается. Расчёты по ДКМ для $p^{12}C$ - взаимодействий воспроизводят экспериментальные распределения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе получены значения эффективных сечений взаимодействий быстрых ($P_n \geq 1$ ГэВ/с с $n_{\pm} \geq 3$) нейтронов с ядрами углерода при импульсах I ; $I_1, 7$ и $4,2$ ГэВ/с (см. табл.2).

В этой же работе получены средние множественности, импульсные и угловые распределения вторичных быстрых ($P_n \geq 1$ ГэВ/с) нейтронов в pp - и $p^{12}C$ - столкновениях при $P_p = 4,2$ ГэВ/с. Эти данные сравниваются с ранее опубликованными нами аналогичными данными при I_0 и 300 ГэВ/с $/1,2/$, а также с данными для быстрых нейтронов в P^-p ; $P^-^{12}C$ - взаимодействиях при $4; 7,5$ и 40 ГэВ/с. Из сравнительного анализа можно сделать следующие заключения:

1. Данные настоящей и ранее опубликованных $/I-3/$ работ позволяют сделать вывод о независимости в пределах ошибок от энергии взаимодействия средней множественности вторичных нейтронов с I ГэВ/с в pp -, $p^{12}C$ - столкновениях в импульсном интервале $(4,2-300)$ ГэВ/с и в P^-p , $P^-^{12}C$ - взаимодействиях в интервале $(4-40)$ ГэВ/с. В то же время средняя множественность вторичных быстрых нейтронов сильно зависит от типа адрона -снаряда (P или P^-).

2. Коэффициент неупругой перезарядки α ($p \rightarrow n$) в P^-p - и pp - столкновениях в импульсной области $(4-300)$ ГэВ/с постоянен в пределах ошибок и не зависит от первичной энергии и типа (P^-p или pp) взаимодействий.

3. Подобие импульсных и угловых спектров быстрых нейтронов ($P_n \geq 1$ ГэВ/с) в pp - и $p^{12}C$ - взаимодействиях при 4 и 10 ГэВ/с, по-видимому, указывает на постоянство механизмов рождения быстрых нейтронов при этих энергиях.

4. Расчёты по ДКМ удовлетворительно согласуются с полученными экспериментальными данными в $p^{12}C$ - взаимодействиях при 4 и 10 ГэВ/с. Лунд-модель хорошо описывает образование пионов во взаимодействиях при $P=4,2$ ГэВ/с.

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 и изменение событий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бекмирзаев Р.Н. и др., ОИЯИ, PI-87-443, Дубна, 1987.
2. Азимов С.А. и др., Препринт ФТИ АН Уз.ССР, 23-84-ФВЗ, Ташкент, 1984.
3. Гришин В.Г. и др., ЯФ, 1983, т.37, с.641, ЯФ, 1984, т.39, с.1212. ОИЯИ, I-84-734, 1984.
4. Гудима К.К., Тонеев В.Д., ЯФ, 1978, т.27, с.669. Sjostrand T. Comp. Phys. Com., 1986, v.39, N3, p.347-405; LUND University, TP.85-10, 1985, LUND, Sweden.
5. Агакишиев Г.Н. и др. ЯФ, 1985, т.30, с.1562.
6. Бекмирзаев Р.Н. и др. ЯФ, 1984, т.40, с.1477.
7. Бешлиу К. и др. ЯФ, 1986, т.43, с.888.
8. Flaminio et al., p and \bar{p} Induced Reactions, CERN-HEA, Geneva, 1984. Bodini L. et al. Nuov.Cim., 1968, v.LVIII, N2, p.475-479.
9. Бобченко Б.М., и др. ИТЭФ, № 15, 1979. Гагурин В.В. и др. ИТЭФ, № 69, 1985. Бабаев А. и др. ИТЭФ, № 10, 1974.
10. Бекмирзаев Р.Н. и др. ОИЯИ, PI-84-733, Дубна, 1984. ЯФ, 1986, т.44, с.406.
11. Azimov S.A. et al. Nucl. Phys., 1976, v. BI07, p.45
12. Виноградов В.Б., Кульчицкий Ю.А. ОИЯИ, PI-86-619, Дубна,
13. Anderson V. et al. Phys.Rep. 1983, v.97, p.31-275
14. Гришин В.Г. УФН, 1986, т.148, в.2, стр.221-255.
15. Бекмирзаев Р.Н. и др. ОИЯИ, PI-86-311, Дубна, 1987.
16. Армутлийоки Д. и др., ОИЯИ, PI-86-263, Дубна, 1986.

Рукопись поступила в издательский отдел
20 августа 1987 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

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

- | | | |
|----------------|---|------------|
| D7-83-644 | Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983. | 6 р.55 к. |
| D2,13-83-689 | Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983. | 2 р.00 к. |
| D13-84-63 | Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983. | 4 р.50 к. |
| D2-84-366 | Труды 7 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1984. | 4 р.30 к. |
| D1,2-84-599 | Труды VII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1984. | 5 р.50 к. |
| D10,11-84-818 | Труды V Международного совещания по проблемам математического моделирования, программированию и математическим методам решения физических задач. Дубна, 1983. | 3 р.50 к. |
| D17-84-850 | Труды III Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1984. /2 тома/ | 7 р.75 к. |
| D11-85-791 | Труды Международного совещания по аналитическим вычислениям на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1985. | 4 р.00 к. |
| D13-85-793 | Труды XII Международного симпозиума по ядерной электронике. Дубна, 1985. | 4 р.80 к. |
| D4-85-851 | Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1985. | 3 р.75 к. |
| D3,4,17-86-747 | 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. |
| D1,2-86-668 | Труды VIII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1986. /2 тома/ | 7 р.35 к. |
| D9-87-105 | Труды X Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1986. /2 тома/ | 13 р.45 к. |
| D7-87-68 | Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Дубна, 1986 | 7 р.10 к. |
| D2-87-123 | 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.

P1-87-652

Изучение образования быстрых нейтронов ($P_n \geq 1$ ГэВ/с) в $p\bar{p}$ - и $p^{12}C$ -взаимодействиях при $P_p = 4,2$ ГэВ/с

Множественности, импульсные и угловые характеристики вторичных быстрых нейтронов (N_n^I) в $p\bar{p}$ - и $p^{12}C$ -взаимодействиях при $P = 4,2$ ГэВ/с определены в результате исследования вторичных нейтральных звезд, образованных нейтронами с $p \geq 1$ ГэВ/с в пропановой (C_3H_8) пузырьковой камере. Данные по $p\bar{p}$ -взаимодействиям сравниваются с расчетами по Лунд-модели, а по $p^{12}C$ -столкновениям - с дубненским вариантом каскадной модели /ДКМ/. Эти результаты также сопоставляются с данными предыдущих аналогичных работ по π^+p , $p\bar{p}$ -взаимодействиям в интервале импульсов 4 ± 300 ГэВ/с. Показано, что коэффициент неупругой перезарядки $\alpha(p+n)$ в π^+p - и $p\bar{p}$ -столкновениях в импульсной области 4 ± 300 ГэВ/с примерно постоянен и не зависит от первичной энергии и типа (π^+p или $p\bar{p}$) взаимодействия. Расчеты по ДКМ и Лунд-модели удовлетворительно описывают экспериментальные данные.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1987

Перевод О.С.Виноградовой

Bekmirzaev R.N. et al.

P1-87-652

The Study of Fast Neutron Production ($P_n \geq 1$ GeV/c) in $p\bar{p}$ - and $p^{12}C$ -interactions at $P_p = 4.2$ GeV/c

Multiplicity, momentum and angular distributions for secondary fast neutrons (N_n^I) in $p\bar{p}$ - and $p^{12}C$ interactions at $P = 4.2$ GeV/c have been obtained by analysing the secondary neutral stars generated by neutrons with $p \geq 1$ GeV/c in a propane (C_3H_8) bubble chamber. These data on $p\bar{p}$ -interactions are compared with the calculations on Lund model, and those on $p^{12}C$ interactions are compared with the Dubna version of cascade model (DCM). These results are compared with the data of previous analogous studies on π^+p , $p\bar{p}$ -interactions within the 4-300 GeV/c momentum range. It is shown that the coefficient of inelastic nucleon charge exchange $\alpha(p+n)$ in π^+p and $p\bar{p}$ -interactions is approximately constant and does not depend on primary energy and on type (π^+p or $p\bar{p}$) of interaction. The calculations on DCM and Lund model satisfactorily describe 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