



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

Б 425

P1-88-617

Р.Н.Бекмирзаев¹, О.В.Гришина², И.Долейши,
М.М.Муминов¹, М.У.Султанов¹, П.Тас, З.Трка

ИССЛЕДОВАНИЕ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ НЕЙТРОНОВ
С ПРОТОНАМИ И ЯДРАМИ УГЛЕРОДА
ПРИ $p=4,2$ ГэВ/с

¹ Самаркандский государственный университет им. А.Навои

² Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ, Москва

1. ВВЕДЕНИЕ

Для понимания механизма взаимодействий адронов с ядрами представляет интерес экспериментальное изучение множественности, импульсных и угловых характеристик вторичных частиц в этих взаимодействиях. В настоящее время имеется много данных по взаимодействию заряженных адронов с ядрами и практически отсутствуют аналогичные данные по соударениям нейтронов. В связи с этим в последнее время начали систематически изучаться процессы образования быстрых нейтронов ($p \geq 1$ ГэВ/с) в ядерных соударениях и их взаимодействия с нуклонами и ядрами (см., например, ^{1/}). В настоящей работе изучаются взаимодействия с протонами и ядрами углерода нейтронов с $p = 4,2$ ГэВ/с, образованных в результате взаимодействия дейтронов с $p = 4,2$ ГэВ/с нуклон с пропаном (C_3H_8) с помощью 2-метровой пропановой камеры. В этой работе в основном будут рассматриваться образование и взаимодействия так называемых нейтронов-спектаторов (или стриппингов), которые практически не принимали участия в первичном $d(C_3H_8)$ -взаимодействии и поэтому имеют $p_{nS} = 4,2$ ГэВ/с.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

Экспериментальный материал получен при облучении 2-метровой пропановой пузырьковой камеры дейтронами с $p = 4,2$ ГэВ/с на нуклон на синхрофазотроне ЛВЭ ОИЯИ. Дважды было просмотрено около 26 тысяч стереоснимков для нахождения как первичных взаимодействий дейтронов с пропаном (C_3H_8), так и вторичных звезд, образованных нейтральными частицами ("n"-звезд). Правила просмотра этих стереоснимков были следующими. В эффективном объеме камеры отбирались только такие стереоснимки, на которых число первичных звезд с $n_{ch} \geq 2$ было не больше двух, и регистрировались все вторичные "n"-звезды с $n_{ch} \geq 3$ (здесь n_{ch} — число вторичных заряженных частиц в звезде). Эффективность нахождения звезд в двойном просмотре оказалась равной 99%. Всего найдено 4396 первичных и 438 "n"-звезд. Из всех "n"-звезд 404 измерены вместе с координатами первичных звезд, и получены импульсные и угловые характеристики вторичных частиц в них. В 34 событиях из-за плохого качества стереоснимков этого было сделать нельзя, и на их потерю вводилась соответствующая поправка.

Используя данные работы^{/2/}, мы ввели поправки на количество потерь при просмотре неупругих $d(C_3H_8)$ -взаимодействий, и их общее число составило 4903 события. После измерения в выбранной эффективной области оказалось 4845 первичных и 353 "n"-звезд. Из найденных "n"-звезд выделены такие, которые можно отнести к взаимодействию спектаторных нейтронов ($\theta_n \leq 2^\circ$) с $p = 4,2$ ГэВ/с. К ним были отнесены 93 "n"-звезды, пространственный угол θ "вылета" которых был $\theta_{nS} \leq 2^\circ$ по отношению к первичной звезде^{*/3/}. Использование импульсных характеристик вторичных заряженных частиц в "n"-звездах в этом случае не дает дополнительной информации для выделения n_S .

3. ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕЙТРОНОВ-СПЕКТАТОРОВ

Для получения данных о доли нейтронов-спектаторов и их характеристик в пС- и пр-взаимодействиях необходимо учесть конечные размеры детектора — эффективной области камеры, то есть ввести так называемые геометрические "веса" регистрации "n"-звезд:

$$W = \left[\frac{L_1}{L_2} \left(1 - \exp\left(-\frac{L_0}{L_1}\right) \right) \right]^{-1}, \quad (1)$$

где L_1 — средняя длина свободного пробега нейтрона с импульсом p_n в пропане до неупругого взаимодействия, которое выводит его из пучка, L_2 — средняя длина свободного пробега нейтрона до образования звезды с $n_{ch} \geq 3$ и L_0 — потенциальная длина пробега нейтрона в эффективной области камеры. Значения L_1 и L_2 задаются известными формулами:

$$L_1 = \frac{1}{n \sigma_n^{in}(C_3H_8)}, \quad L_2 = \frac{1}{n \sigma_n^{n_{ch} \geq 3}(C_3H_8)}, \quad (2)$$

где n — число молекул пропана в 1 см^3 . Значения сечений σ_n^{in} и $\sigma_n^{n_{ch} \geq 3}$ брались из работы^{/4/}. Для нейтронов-спектаторов ($\theta_{nS} \leq 2^\circ$, $p_{nS} = 4,2$ ГэВ/с) "веса" слабо меняются, и поэтому их флуктуацией можно пренебречь ($\langle W_{nS} \rangle = 12,5 \pm 0,4$). В этом случае, так как импульс нейтрона известен, представляет интерес определить величину коэффициента (k), который характеризует соотношение между p_{nS} и суммарным импульсом всех заряженных частиц в "n"-звезде:

$$p_{nS} = k \langle \sum p_{ch} \rangle. \quad (3)$$

* При ограничении $\theta_n \leq 3^\circ$ — $N_n = 114$. Однако в этом случае имеется большая примесь, $\geq 90\%$, провзаимодействовавших нейтронов с $\theta_n = 2^\circ \div 3^\circ/3/$.

Из полученных данных по \sum_{ch}^{\rightarrow} значение $k = 1,6 \pm 0,1$, что совпадает с оценкой этой величины, полученной другим способом в работе^{/5/}. Таким образом, прямые измерения "n"-звезд показывают, что в среднем (60 ± 10)% импульса нейтрона "уносят" нейтральные частицы (нейтроны и π^0 -мезоны) при $p_n = 4,2$ ГэВ/с.

После нахождения W_i для "n"-звезд можно определить долю (Δ) спектаторных нейтронов в $d(C_3H_8)$ -взаимодействиях при $p_d = 4,2$ ГэВ/с · нуклон:

$$\Delta_{nS} = \frac{\sum W_i}{N_{зв}(C_3H_8)} = 0,24 \pm 0,02. \quad (4)$$

Из изотопической симметрии сильных взаимодействий следует, что доля протонов-спектаторов в этих взаимодействиях $\Delta_{pS} \approx \Delta_{nS}$. Отсюда легко найти, что среднее число провзаимодействовавших нуклонов в налетающем дейтроне составляет

$$\langle \nu_N \rangle = 2\Delta_{nS} + 2(1 - 2\Delta_{nS}) = 1,52 \pm 0,06. \quad (5)$$

Число dp- и dC-неупругих взаимодействий определялось из общего числа найденных $d(C_3H_8)$ -взаимодействий в соответствии с известными сечениями $\sigma_{in}(dp)$ и $\sigma_{in}(dC)$ ^{/2/}. Из событий с "n"-звездами выделялись пС-взаимодействия по следующим критериям:

- 1) $Q = n_+ - n_- \neq 1$,
- 2) $n_p > 1$,
- 3) $n_p^b > 0$,
- 4) $n_- \geq 2$.

Здесь n_p — число протонов с $p \leq 0,75$ ГэВ/с, n_p^b — число протонов, вылетающих в заднюю полусферу в л.с. координат, $n_-(n_+)$ — число отрицательно (положительно) заряженных частиц в звезде. Достаточно выполнения хотя бы одного из этих условий, чтобы отнести событие к пС-взаимодействиям. С использованием этих критериев было выделено (73 ± 9)% пС-взаимодействий, (27 ± 5)% пр-соударений. По известным сечениям пС- и пр-взаимодействий с $n_{ch} \geq 3$ при $p = 4,2$ ГэВ/с значения этих величин должны быть равными (79 ± 4)% и (21 ± 1)%, что хорошо согласуется с полученными нами результатами^{/3/}. В табл.1 приведена соответствующая статистика событий для разного типа взаимодействий. Так как число пСр-взаимодействий мало, то для сравнения мы используем также данные, полученные в результате расчетов по Лунд-модели, которая удовлетворительно описывает нуклон-нуклонные взаимодействия при этих энергиях^{/4,6/}.

Статистика событий с учетом "весов"
для "n"-звезд

Таблица 1

Тип взаимодействия	$d(C_3H_8)$	dC	dP	$n_S(C_3H_8)$	n_{SC}	n_{SP}
$N_{\text{собр.}}$	4845 ± 70	3326 ± 58	1519 ± 39	1163 ± 120	843 ± 105	320 ± 61

4. ХАРАКТЕРИСТИКИ ВТОРИЧНЫХ ЧАСТИЦ В пр- И
пС-ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ $p_n = 4,2$ ГэВ/с

В этом разделе мы приведем данные по множественности вторичных частиц и их импульсным характеристикам в пр- и пС-взаимодействиях при условии $n_{ch} \geq 3$. Для сравнения используются расчеты по Лунд-модели (версия 6.2), проведенные на ЭВМ ЕС-1061 ОИЯИ для пр-взаимодействий при $p_n = 4,2$ ГэВ/с. По этой модели было смоделировано 3,5 тысячи пр-взаимодействий и получены данные как для всех неупругих пр-взаимодействий, так и для пр-соударений с $n_{ch} \geq 3$. В табл.2 приведены средние множественности вторичных частиц в пр- и пС-взаимодействиях и результаты расчетов по Лунд-модели.

Из таблицы видно, что число протонов в пС-взаимодействиях значительно больше, чем в пр-соударениях, что связано в первую очередь с их каскадным размножением в ядре углерода ($p_p \geq 0,15$ ГэВ/с). Кроме того, и процессы многократного взаимодействия нейтронов с ядрами углерода ($\nu_N = 1,5$) также дают вклад в увеличение $\langle n_p \rangle$ и $\langle n_{\pi^+} \rangle$ (см. раздел 3). В то же время $\langle n_{\pi^-} \rangle$ в пределах ошибок одина-

Средние множественности $\langle n_i \rangle$ вторичных частиц
в неупругих пр- и пС-взаимодействиях

Таблица 2

Тип взаимодействия	$\langle n_{\pi^+} \rangle$	$\langle n_{\pi^-} \rangle$	$\langle n_p \rangle$
пС ($n_{ch} \geq 3$)	$0,76 \pm 0,10$	$0,93 \pm 0,09$	$3,02 \pm 0,15$
пр ($n_{ch} \geq 3$)	$0,39 \pm 0,10$	$1,03 \pm 0,04$	$1,64 \pm 0,10$
пр _{ЛМ} ($n_{ch} \geq 3$)	$0,18 \pm 0,06$	$1,02 \pm 0,04$	$1,21 \pm 0,04$
пр _{все} (ЛМ)	$0,32 \pm 0,04$	$0,32 \pm 0,04$	$1,00 \pm 0,04$
$n_{n_{ch} \geq 3}(C_3H_8)$	$0,66 \pm 0,08$	$0,96 \pm 0,07$	$2,64 \pm 0,13$

Таблица 3

Средние импульсные характеристики вторичных частиц
в пр- и пС-взаимодействиях

$\langle p_i \rangle$, ГэВ/с	$\langle p_{\pi^+} \rangle$	$\langle p_{\pi^-} \rangle$	$\langle p_p \rangle$	$\langle p_{\pi^+} \rangle$	$\langle p_{\pi^-} \rangle$	$\langle p_p \rangle$
пС ($n_{ch} \geq 3$)	$0,43 \pm 0,04$	$0,52 \pm 0,04$	$0,78 \pm 0,04$	$0,31 \pm 0,04$	$0,24 \pm 0,04$	$0,32 \pm 0,04$
пр ($n_{ch} \geq 3$)	$0,35 \pm 0,08$	$0,68 \pm 0,08$	$1,51 \pm 0,10$	$0,21 \pm 0,08$	$0,34 \pm 0,08$	$0,40 \pm 0,08$
пр _{ЛМ} ($n_{ch} \geq 3$)	—	$0,66 \pm 0,02$	$1,72 \pm 0,08$	$0,21 \pm 0,02$	$0,26 \pm 0,01$	$0,32 \pm 0,02$
пр _{все} (ЛМ)	$0,64 \pm 0,02$	$0,66 \pm 0,02$	$1,70 \pm 0,06$	$0,23 \pm 0,01$	$0,26 \pm 0,01$	$0,32 \pm 0,01$
$n_{n_{ch} \geq 3}(C_3H_8)$	$0,42 \pm 0,07$	$0,57 \pm 0,07$	$0,90 \pm 0,09$	$0,29 \pm 0,07$	$0,27 \pm 0,07$	$0,34 \pm 0,07$

ково для пр- и пС-взаимодействий. Лунд-модель удовлетворительно описывает эти данные для пр-взаимодействий с $n_{ch} \geq 3$. Отсюда можно считать, что и для всех неупругих пр-соударений Лунд-модель дает правильные оценки $\langle n_{\pi^+} \rangle$ и $\langle n_p \rangle^*$.

В табл. 3, 4 приведены средние значения некоторых импульсных и угловых характеристик вторичных частиц в пр-, пС- и $d(C_3H_8)$ -взаимодействиях ($n_{ch} \geq 3$). Здесь же даны значения этих величин, полученные по Лунд-модели для всех неупругих пр-взаимодействий и для пр-соударений с $n_{ch} \geq 3$. Как видно из этих таблиц, поперечные импульсы (p_{\perp}) пионов и протонов в пределах ошибок согласуются с расчетами по Лунд-модели, как и полные импульсы и $\langle \cos \theta_p \rangle$ для π^- -мезонов. Относительно большой импульс протонов (табл. 3) в пр-взаимодействиях связан с диссоциацией налетающего нейтрона ($n \rightarrow p \pi^-$), что хорошо видно в импульсных спектрах протонов. В связи с относительно большим вкладом каскадного размножения протонов в пС-взаимодействиях их средний импульс почти в два раза меньше, чем в пр-взаимодействиях.

Таблица 4

Угловые характеристики вторичных частиц
в пр- и пС-взаимодействиях при $p = 4,2$ ГэВ/с

Тип взаимодействия	$\langle \cos \theta_{\pi^+} \rangle$	$\langle \cos \theta_{\pi^-} \rangle$	$\langle \cos \theta_p \rangle$	$\langle \theta_{\pi^+}^{\circ} \rangle$	$\langle \theta_{\pi^-}^{\circ} \rangle$	$\langle \theta_p^{\circ} \rangle$
пС ($n_{ch} \geq 3$)	$0,45 \pm 0,07$	$0,65 \pm 0,06$	$0,56 \pm 0,04$	60 ± 5	44 ± 5	49 ± 5
пр ($n_{ch} \geq 3$)	$0,62 \pm 0,10$	$0,68 \pm 0,07$	$0,89 \pm 0,03$	47 ± 8	47 ± 8	22 ± 8
пр _{пм} ($n_{ch} \geq 3$)	—	$0,68 \pm 0,02$	—	—	—	—
пр _{всв} (ЛМ)	$0,63 \pm 0,02$	$0,68 \pm 0,02$	—	—	—	—
$n_{n_{ch} \geq 3}(C_3H_8)$	$0,48 \pm 0,06$	$0,66 \pm 0,05$	$0,62 \pm 0,04$	58 ± 4	43 ± 4	44 ± 4

Таким образом, в настоящей работе получены прямые экспериментальные данные по образованию нейтронов-спектаторов в $d(C_3H_8)$ -соударениях и средние характеристики вторичных частиц в пр- и пС-взаимодействиях при $p = 4,2$ ГэВ/с. Лунд-модель удовлетворительно описывает результаты по пр-взаимодействиям.

Авторы признательны участникам сотрудничества по исследованию множественных процессов за полезные обсуждения.

* Здесь $\langle n_p \rangle$ — среднее число протонов с $0,15 \leq p \leq 0,75$ ГэВ/с. Из изотопической симметрии пр-взаимодействий следует, что $\langle n_p \rangle = \langle n_n \rangle$ и $\langle n_{\pi^+} \rangle = \langle n_{\pi^-} \rangle$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бекмирзаев Р.Н. и др. ОИЯИ, Р1-88-192, Дубна, 1988.
2. Агакишиев Г.Н. и др. ОИЯИ, 1-83-622, Дубна, 1983.
3. Бекмирзаев Р.Н. и др. ОИЯИ, Р1-85-680, Дубна, 1985.
4. Бекмирзаев Р.Н. и др. ОИЯИ, Р1-87-652, Дубна, 1987.
5. Бекмирзаев Р.Н. и др. ОИЯИ, Р1-84-733, Дубна, 1984; ОИЯИ, Р1-87-311, Дубна, 1987.
6. Батюня Б.В. и др. ОИЯИ, Р1-88-327, Дубна, 1988.

Рукопись поступила в издательский отдел
11 августа 1988 года.