

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

P1-87-471

Д.Армутлийски, Д.К.Копылова, В.Б.Любимов,
К.Миллер, М.М.Муминов*, В.Ф.Никитина, Я.Плота,
М.И.Соловьев, Р.Тогоо, У.Д.Шеркулов*

ИЗУЧЕНИЕ pC -ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ ПРИ $P_p = \text{ГэВ}/c$
С ИСПУСКАНИЕМ КУМУЛЯТИВНЫХ ДЕЙТРОНОВ

Направлено в журнал "Ядерная физика"

* Самаркандский государственный университет

ВВЕДЕНИЕ

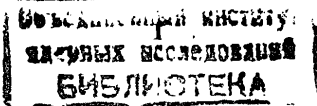
Эта работа — продолжение исследований рС-взаимодействий при 10 ГэВ/с, сопровождающихся испусканием кумулятивных адронов. Общие характеристики таких столкновений с испусканием кумулятивных пионов, заряженных и нейтральных, одного или двух кумулятивных протонов опубликованы в /1,2/. Информация об особенностях адрон-ядерных взаимодействий с испусканием кумулятивных многобарионных систем к настоящему моменту практически отсутствует. Такого сорта информацию удалось получить для случая испускания кумулятивных дейтронов. В работе изучены характеристики вторичных частиц в этих столкновениях, получены сведения об азимутальных корреляциях кумулятивных дейтронов с вторичными протонами, произведена оценка размеров области взаимодействия, ответственной за образование кумулятивных дейтронов. Проведено сравнение полученных результатов с данными для рС — взаимодействий при той же энергии первичного протона, но с испусканием кумулятивных протонов.

МЕТОДИКА

Работа выполнена на стереоснимках с 2-метровой пропановой камеры, облученной пучком протонов с импульсом $P_p=10$ ГэВ/с на ускорителе Лаборатории высоких энергий ОИИИ. Экспериментальный материал был получен на основе просмотра всех взаимодействий первичных протонов в пропане и отбора событий, имеющих в выбранном угловом интервале задней полусферы лабораторной системы координат (лск) хотя бы один след останавливающейся положительной частицы ("триггерный" след) с длиной больше заданной. Окончательно после измерений для последующего анализа отбирались события, имеющие хотя бы одну положительную частицу (не Π^+ — мезон) с пробегом $R \geq 9$ см и углами испускания, удовлетворяющими условиям: $|\operatorname{tg} \varphi| < 1$ и $3,82 < \psi < 5,60$ рад. Здесь φ — угол между следом и его проекцией на горизонтальную плоскость камеры, ψ — угол следа в этой плоскости, отсчитываемый от оси, перпендикулярной направлению пучка^{х)}.

Всего было просмотрено ≈ 100 тыс. взаимодействий первичных протонов в пропане и отобрано 1513 событий. Среди частиц, по которым отбирались взаимодействия, производилась идентификация дейтронов. Критерием было соответствие в пределах двухкратных ошибок импульса, найденного по пробегу, с импульсом, измеренным по кривизне следа. Все отобранные "кандидаты" в дейтроны были просмотрены дополнительно, и отброшены сомнительные случаи, в которых соответствие между

х) Эти условия отбирают следы частиц с углом испускания по отношению к первичному протону $\theta \geq 135^\circ$.



импульсами, найденными по пробегу и кривизне, было связано, например, со спрямлением следа за счет рассеяния и т.д. В результате надежную идентификацию дейтронов удалось провести в импульсном интервале $600 < P_d \leq 1300$ МэВ/с; окончательно отобрано 95 событий, имеющих в этом интервале дейтрон с углом испускания в лабораторной системе координат (лск) $\theta \geq 135^\circ$. Импульсное распределение отобранных дейтронов приведено на рис. (средний импульс дейтронов $\langle P \rangle_d = (0,76 \pm 0,2)$ МэВ/с). На этом же рисунке приведено импульсное распределение кумулятивных протонов из событий с двумя такими протонами. Их средний импульс в $\approx 1,5$ раза меньше среднего импульса кумулятивных дейтронов ($\langle P \rangle_p = (0,50 \pm 0,02)$ ГэВ/с).

Во всех отобранных событиях регистрировались и измерялись γ -кванты по e^+e^- -парам конверсии, которые визуально казались испущенными из точки взаимодействия. Эти γ -кванты позволили получить информацию о вторичных Π^0 -мезонах. Среди вторичных заряженных частиц отрицательные считались Π^- -мезонами, среди положительных частиц с импульсом $P \leq 0,8$ ГэВ/с производилась визуальная (по ионизации) идентификация протонов и Π^+ -мезонов, остальные положительные частицы не идентифицировались.

Вблизи границ отбора "триггерных" следов по угловым интервалам и пробегу возможны потери, связанные с тем, что след, имеющий в действительности длину, большую 9 см, на одной из стереофотопроекций может иметь пробег $R < 9$ см и т.о. по правилам отбора не будет зарегистрирован. Для учёта этих потерь была разработана система поправок, основанная на моделировании геометрических условий нахождения событий, и в дальнейшем каждому событию был приписан статистический "вес" (\mathcal{W}), связанный с эффективностью регистрации "триггерных" следов. Средняя поправка на эту эффективность составила $\langle \mathcal{W} \rangle = 1,03 \pm 0,1$. С учётом этих поправок найденное число рС - взаимодействий с испусканием кумулятивных дейтронов соответствует сечению:

$$\sigma_k(d) = (0,43 \pm 0,10) \text{ мб.}$$

РЕЗУЛЬТАТЫ

1. В табл. I приведены характеристики вторичных Π^\pm -мезонов, протонов, данные по свойствам лидирующих адронов, результаты для средних поперечных импульсов быстрых (с импульсом $P > 0,7$ ГэВ/с) положительных и отрицательных частиц. Для Π^- -мезонов приведены значения средних импульсов ($\langle P \rangle$) углов вылета ($\langle \theta \rangle$), быстрот в лск ($\langle \gamma \rangle$) и множественности ($\langle n \rangle$), для Π^+ -мезонов и протонов - значения средней множественности, для Π^0 -мезонов - средняя множественность и значения средней энергии ($\langle E \rangle$), идущей на их образо-

Импульсное расщепление кумулятивных дейтронов (●) и протонов (○).

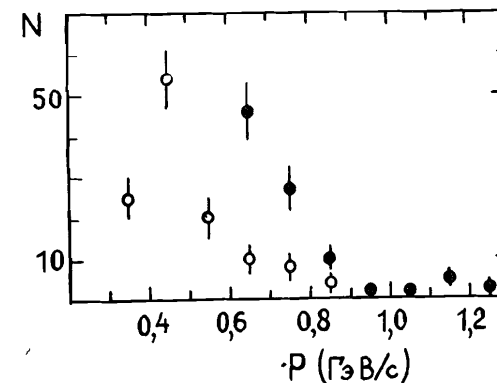


Таблица I

Характеристики вторичных частиц в рС - взаимодействиях с испусканием кумулятивных дейтронов

Характеристики	Взаимод. с кум. d	Взаимодейств. с 2-мя кум. p/I	
Π^-	$\langle P \rangle$ (ГэВ/с) $\langle \theta \rangle$ (рад) $\langle \gamma \rangle$ $\langle n \rangle$	$0,86 \pm 0,08$ $0,65 \pm 0,06$ $1,25 \pm 0,09$ $1,12 \pm 0,09$	$0,57 \pm 0,06$ $0,71 \pm 0,07$ $1,05 \pm 0,09$ $1,13 \pm 0,12$
Π^+	$\langle n \rangle$	$0,74 \pm 0,09$	$0,78 \pm 0,10$
Π^0	$\langle n \rangle$ $\langle E \rangle$	$1,2 \pm 0,3$ $1,1 \pm 0,3$	$1,0 \pm 0,3^x$ $0,6 \pm 0,2^x$
P		$2,2 \pm 0,2$	$2,2 \pm 0,02$
Лидирующий адрон	$\langle P \rangle$ (ГэВ/с) $\langle \theta \rangle$ (рад) $\langle n \rangle$	$5,7 \pm 0,4$ $0,10 \pm 0,01$ $0,29 \pm 0,05$	$6,0 \pm 0,6$ $0,09 \pm 0,01$ $0,27 \pm 0,04$
Положит. и отрицат. частицы с $p > 0,7$ ГэВ/с	$\langle P_\perp \rangle_+$ $\langle P_\perp \rangle_-$	$0,52 \pm 0,04$ $0,38 \pm 0,03$	$0,56 \pm 0,02$ $0,36 \pm 0,05$

x) Результаты получены в настоящей работе

вание, лидирующих адронов – средние импульсы, углы испускания и множественности. В качестве лидирующего рассматривался адрон с наибольшим импульсом среди всех положительных частиц каждого события и имеющий значение переменной $X^* = 2 P_{||}^* / \sqrt{S} > 0,2$, вычисленной в системе центра инерции нуклон-нуклон (с.ц.и.) в предположении, что положительная частица – протон ($P_{||}^*$ – продольный импульс в с.ц.и.). Для сравнения в таблице приведены аналогичные характеристики вторичных частиц для pC – взаимодействий при $P_p = 10$ ГэВ/с, сопровождающихся испусканием двух кумулятивных протонов /1/.

Из табл. 1 видно, что рассматриваемые два типа взаимодействий характеризуются близкими свойствами лидирующих адронов, приблизительно одинаковыми множественностями вторичных мезонов и протонов. Совпадают в пределах ошибок средние поперечные импульсы быстрых частиц. При этом следует отметить тенденцию к уменьшению средних значений импульсов (или энергий) вторичных пионов в событиях с двумя кумулятивными протонами (по данным для Π^- и Π^0 -мезонов).

2. Из-за малой статистики событий результаты по азимутальным корреляциям мы проводим (табл.2) только для случая: кумулятивный дейтрон – все вторичные идентифицированные протоны. Это связано со сравнительно высокой множественностью этих протонов (см. табл.1). Для характеристики азимутальных корреляций выбрано значение величины отклонения (δ) среднего значения разности азимутальных углов рассматриваемых пар адронов ($\langle \Delta\phi \rangle$) от ожидаемого для случая симметричных распределений ($\langle \Delta\phi \rangle = \pi/2$). Азимутальные углы отсчитывались в плоскости, перпендикулярной направлению первичной частицы. В табл.2 приведена статистика рассмотренных комбинаций, значения величины δ для исследуемых и фоновых распределений. Фоновые распределения были рассчитаны способом случайной выборки значений азимутальных углов из экспериментально измеренных распределений по азимутальному углу рассматриваемых пар адронов с учетом распределений по их множественности. Фоновые распределения получены со статистикой не менее 10 тыс. комбинаций. В этой же таблице для сравнения приведены результаты по азимутальным корреляциям кумулятивных протонов со всеми остальными идентифицированными протонами для событий, в которых зарегистрировано два кумулятивных протона.

Как видно из табл.2, за пределами двукратных ошибок наблюдаются азимутальные корреляции кумулятивных дейтронов (и кумулятивных протонов) со всеми остальными вторичными протонами, причем величина этих корреляций одинакова для двух групп рассматриваемых событий. Отметим, что подобные корреляции наблюдаются и в событиях, в большинстве которых испускается только один кумулятивный протон /3/. Все

Таблица 2

Данные по азимутальным корреляциям кумулятивных дейтронов и протонов с остальными вторичными протонами

Тип события	Число комбинаций	δ	
		Эксперимент	Фон
$pC \rightarrow \vec{d} + \dots$	217	$0,16 \pm 0,06$	$0,005 \pm 0,006$
$pC \rightarrow \vec{p} + \vec{p} + \dots$	286	$0,16 \pm 0,05$	$0,008 \pm 0,006$

это, по-видимому, свидетельствует о том, что кумулятивный дейтрон не образуется в первичном акте взаимодействия налетающего протона. Наиболее естественным для рассматриваемой области энергий является предположение, что дейтрон образуется в результате слияния двух выбитых нуклонов /4/.

3. В этом предположении проведена оценка размеров области, из которой выбиваются нуклоны. В условиях пренебрежения корреляциями при выбивании протона и нейтрона:

$$\rho_d(\tau) = K_{cl} \rho_p(\tau/2) \rho_n(\tau/2), \quad (1)$$

где τ – кинетическая энергия дейтрона, $\rho_i = (\sigma_{in})^{-1} (d^3\sigma/dp^3)$: – нормированное инклюзивное сечение образования i -ой частицы ($i = d, p, n$), K_{cl} – коэффициент слияния, который в определенных предположениях о волновой функции дейтрона можно связать с размерами области, из которой испускаются нуклоны /5/. Т.к. величина ρ_n бывает обычно неизвестна (как и в нашем случае), то в качестве ρ_n используется $N_n / z \rho_p$ (N_n – число нейтронов в ядре мишени, z – число протонов).

В нашем случае углеродной мишени для коэффициента слияния $K_{cl} = \rho_d(\tau) / [\rho_p(\tau/2)]^2$ в интервале кинетических энергий дейтрона от 150 до 300 МэВ получено: $K_{cl} = (5,9 \pm 1,2) \cdot 10^{-3}$ ГэВ². Значение $\rho_p(\tau/2)$ найдено на основе наших данных по рождению кумулятивных протонов в pC – столкновениях при той же энергии первичного протона и в том же угловом интервале, что и для кумулятивных дейтронов. Если воспользоваться формулой:

$$K_{cl} = \frac{3}{2\pi} \left(\frac{2\pi}{r_d^2 + r_p^2} \right)^{3/2}, \quad (2)$$

полученной в предположении гауссовой параметризации волновой функции дейтрона /6/, то значение коэффициента слияния $K_{cl} = (5,9 \pm 1,2) 10^{-3}$ ГэВ² соответствует $r_0 = (2,4 \pm 0,3)$ фм. Здесь m - масса нуклона, $r_d = 2,2$ фм - радиус дейтрона, r_0 - радиус области, из которой вылетают нуклоны (он связан со среднеквадратичным радиусом этой области соотношением $\langle r^2 \rangle^{1/2} = \sqrt{3/2} r_0$). Близкое значение для r_0 получено в работе /4/, основанной на анализе данных по рождению дейтронов на различных ядрах при начальных энергиях $T \geq 1$ ГэВ.

Для размеров области испускания всех идентифицированных протонов в рС-взаимодействиях при 10 ГэВ/с (отобранных по наличию в них хотя бы одного протона с углом испускания $\theta \geq 135^\circ$ и импульсом от 380 до ≈ 800 МэВ/с) получено значение: $r = (2,1^{+0,5}_{-0,3})$ фм. Оно было найдено по величине отношения $R(\kappa^*) = N/N_p$ в интервале значений κ^* от 10 до 60 МэВ. Здесь $\kappa^* = 0,5\sqrt{-q^2}$, $q = P_i - P_j$ (P -четырёхимпульс протона), N - число пар протонов в указанном интервале κ^* , N_p - число фоновых пар протонов в этом интервале, найденное на основе случайного перемешивания протонов из разных событий. Соответствующие теоретические распределения, связывающие величину $R(\kappa^*)$ с размерами области образования протонов, были получены на основе работы /5/.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Среди событий (1513) с испусканием в интервал углов $\theta \geq 135^\circ$ (л.с.к) положительной частицы (не Π^+ - мезонов) выделено и проанализировано 95 рС-взаимодействий, сопровождающихся испусканием в тот же интервал углов дейтронов с импульсами от 0,6 до $\approx 1,3$ ГэВ ($\langle P \rangle_d = (0,76 \pm 0,2)$ ГэВ/с). С поправками на эффективность регистрации это число взаимодействий соответствует сечению

$\sigma_{\kappa}(d) = (0,43 \pm 10)$ мб, что близко к сечению одновременного образования двух кумулятивных протонов с импульсами от 380 до ≈ 850 МэВ/с ($\langle P \rangle_p = (0,50 \pm 0,02)$ ГэВ/с): $\sigma_{\kappa}(p) = (0,54 \pm 0,07)$ мб /Г/. Оказываются близкими характеристики рС-взаимодействий с испусканием кумулятивных дейтронов и двух кумулятивных протонов. Получены указания на азимутальные корреляции кумулятивных дейтронов со всеми остальными вторичными протонами, причем такие же по величине, как и в случае испускания одного или двух кумулятивных протонов. Все это - указание на то, что в первичном акте взаимодействия не происходит образования сложных кумулятивных барионных систем. В предположении, что кумулятивные дейтроны образуются в результате слияния двух нуклонов, произведена оценка размеров области образования этих нуклонов, которая оказалась близкой к размерам области образования всех вторичных протонов, включая кумулятивные.

Авторы благодарны В.Л.Любошицу за помощь при определении размеров области испускания по кумулятивным дейтронам, лаборантам Н.В.Матасовой, Т.А.Журавлевой, Л.И.Злобиной, проделавшим большую работу по просмотру снимков и записи данных на ленту суммарных результатов, а также участникам сотрудничества по обработке снимков с 2-метровой пропановой камеры за обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Армутлийски Д. и др. Препринт ОИЯИ РИ-85-939 Дубна, 1985; ЯФ, 1986, т.44, с.1495
2. Армутлийски Д. и др. Препринт ОИЯИ РИ-86-459 Дубна, 1986; ЯФ, 1987, т.45, с.1676.
3. Копылова Д.К. и др. Препринт ОИЯИ РИ-86-251, Дубна, 1986
4. Гаврилов В.Б. и др. ЯФ, 1985, т.41, с.843
5. Ледницки Р., Любошиц В.Л., ЯФ, 1982, т.35, с.1316; Любошиц В.Л., ЯФ, 1985, т.41, с.820.
6. Sato H., Yazaki K., Phys. Lett., 1981, 98B, 153.

Рукопись поступила в издательский отдел
24 июня 1987 года.