



объединенный
институт
ядерных
исследований
дубна

68/2-82

4/1-82

P1-81-676

В.Г.Гришин, Т.Канарек, Л.Симич

ОЦЕНКА СРЕДНЕГО ЧИСЛА
РЕЛЯТИВИСТСКИХ ПРОТОНОВ,
ОБРАЗОВАННЫХ В $\pi^{-12}\text{C}$
И В МНОГОНУКЛОННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ
ПРИ $P = 40$ ГэВ/с

Направлено в ЯФ

1981

1. ВВЕДЕНИЕ

Одной из главных проблем физики множественного рождения частиц на ядрах является вопрос о роли процессов внутриядерного перераспределения адронов. Важную информацию в этом случае несут, по-видимому, характеристики релятивистских протонов - продуктов фрагментации мишени. Такие протоны могут быть образованы в основном в результате внутриядерных соударений первичной или высокоэнергичных вторичных частиц, т.е. они являются непосредственными участниками актов взаимодействия. Тем не менее, имеется мало экспериментальных данных о характеристиках релятивистских протонов в \bar{p} -соударениях. До настоящего времени они изучались в \bar{p} -(AgBr) и \bar{p} -(CNO)соударениях при 21 ГэВ/с^{1/}, в π^+ Ne и π^- Ne-взаимодействиях при 10,5 ГэВ/с, где их число и характеристики были определены путем использования изоспиновой симметрии начальных систем^{2/}, а также в \bar{p} Ne взаимодействиях при 300 ГэВ/с, где было оценено, что релятивистские протоны \bar{p} $\geq 1,2$ ГэВ/с/ составляют примерно 10% от множественности положительно заряженных частиц^{3/}.

В настоящей работе оценивается среднее число релятивистских протонов с \bar{p} $\geq 0,7$ ГэВ/с в π^- ^{12}C и в многонуклонных взаимодействиях на основании данных по средним множественностям заряженных и нейтральных пионов. Результаты получены с помощью 2-метровой пропановой пузырьковой камеры, облученной π^- -мезонами с \bar{p} = 40 ГэВ/с. Пропановое наполнение камеры обеспечивает высокую эффективность регистрации e^+e^- -пар от конверсии гамма-квантов $\epsilon_{\gamma} \approx 0,20/$ и позволяет проводить одновременное исследование π^-p, π^-n и $\pi^-^{12}\text{C}$ -взаимодействий^{4/}. Приводимые здесь результаты по $\langle n_{\pi^0} \rangle$ основываются на статистическом материале ≈ 9000 $\pi^-^{12}\text{C}$ -взаимодействий, сопровождающихся ≈ 9000 гамма-квантами.

2. ВЫДЕЛЕНИЕ МНОГОНУКЛОННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ

Всевозможные процессы, происходящие при неупругих соударениях адронов высокой энергии с ядрами, могут быть разделены на взаимодействия с квазисвободными нуклонами ядра и взаимодействия первичной или вторичных частиц с двумя и более ядерными нуклонами. В работе^{5/} был предложен способ выделения многонуклонных взаимодействий по величине электрического заряда Q вторичных релятивистских частиц (n_{\pm}), определяемого как

$$Q = n_+ - n_- .$$

Где n_+ - число положительно заряженных частиц, кроме идентифицированных протонов с $p \leq 0,7$ ГэВ/с, и n_- - число отрицательно заряженных частиц. Для $\pi^- 12C$ -взаимодействий однонуклонные события дают вклад лишь при $Q = -2, -1, 0$. Значения $Q \geq 1$ связаны с взаимодействиями двух или более протонов $\langle \nu_p \geq 2 \rangle$, в которых нуклону передается относительно большой импульс $|t| \geq 0,5$ /ГэВ/с²/ . Если в определение Q включить и протоны с $p \geq 0,2$ ГэВ/с (Q_1) или $p \geq 0,3$ ГэВ/с (Q_2), которые в основном не связаны с испарительными процессами, то тем самым переходим к выделению всех типов многонуклонных взаимодействий, включая и упругие перерасеяния. Поэтому, естественно, что в этом случае доля $\pi^- (\nu_p \geq 2)$ -взаимодействий должна увеличиваться по сравнению с той, при которой мы ограничивались "истинно" неупругими взаимодействиями.

В дальнейшем мы будем обсуждать данные по среднему числу протонов $\langle n_p \rangle$ в $\pi^- 12C$ -взаимодействиях в многонуклонных взаимодействиях, выделенных по Q , Q_1 и Q_2 .

3. МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СРЕДНЕГО ЧИСЛА РЕЛЯТИВИСТСКИХ ПРОТОНОВ

Как уже отмечалось, в нашем эксперименте отделить протоны с импульсов $p \geq 0,7$ ГэВ/с (n_p^f) от π^+ -мезонов невозможно, но их число можно оценить по числу π^0 -мезонов следующим образом. Если пренебречь примесью K^+ -мезонов, которая оценивается по измерению $\langle n(K^0) \rangle$ и не превышает $\approx 4\%^{77}$, то

$$\langle n_p \rangle = \langle n_{ch} \rangle - \langle n_{\pi^+} \rangle - \langle n_{\pi^-} \rangle . \quad /1/$$

Здесь в $\langle n_{ch} \rangle$ включены все протоны: $\langle n_p^s \rangle$ - с импульсом $p \leq 0,7$ ГэВ/с и $\langle n_p^f \rangle$ - релятивистские ($\langle n_p \rangle = \langle n_p^s \rangle + \langle n_p^f \rangle$)*. Так как практически во всех подходах используется равенство:

$$\langle n_{\pi^0} \rangle = \frac{\langle n_{\pi^+} \rangle + \langle n_{\pi^-} \rangle}{2} , \quad /2/$$

то, имея информацию о среднем числе π^0 -мезонов, можно из /1/ оценить число протонов

$$\langle n_p \rangle = \langle n_{ch} \rangle - 2\langle n_{\pi^0} \rangle . \quad /3/$$

Отсюда, измеряя в эксперименте $\langle n_p^s \rangle$, можно найти $\langle n_p^f \rangle$

$$\langle n_p^f \rangle = \langle n_{\pm} \rangle - 2\langle n_{\pi^0} \rangle . \quad /4/$$

* n_{ch} - число всех заряженных частиц, n_{\pm} - число заряженных частиц без протонов с $p \leq 0,7$ ГэВ/с.

Соотношение /2/ между значениями средних множественностей вторичных мезонов следует из изотопической инвариантности сильных взаимодействий для начальных систем с $T=0, 1/2$. С другой стороны, и для систем с $T \leq 3/2$ ($\pi p, p p, p n, p n$) это соотношение хорошо выполняется в широком интервале энергий ^{/8,9/}.

Исследование инклюзивной продукции нейтральных пионов в процессах e^+e^- -аннигиляции также показывает, что $\sigma(\pi^0)/\sigma(\pi^+\pi^-) = 0,48 \pm 0,05^{10/}$.

В аддитивной кварковой модели с учетом распада легких и тяжелых резонансов ^{/11/} правая часть равенства /2/ на 8% меньше, чем $\langle n_{\pi^0} \rangle$. Однако на опыте обычно измеряется не $\langle n_{\pi^\pm} \rangle$, а средняя множественность мезонов $\langle n_{M^\pm} \rangle = \langle n_{K^\pm} \rangle + \langle n_{\pi^\pm} \rangle$. Соответствующая поправка имеет обратный знак, и равенство /2/ выполняется с точностью 3%.

Соотношение /2/ с заменой $\langle n_{\pi^\pm} \rangle$ на $\langle n_{M^\pm} \rangle$ можно проверить для $\pi^- p$ и $\pi^- n$ -взаимодействий при $p=40$ ГэВ/с. В $\pi^- p$ -соударениях $\langle n_{ch} \rangle = 5,62 \pm 0,04$. Полагая коэффициент перезарядки протонов равным $\alpha_{p \rightarrow n, p \rightarrow \Lambda} = 0,40 \pm 0,04^{12/}$, получим $\langle n_p \rangle = 1 - \alpha_{p \rightarrow n, p \rightarrow \Lambda} = 0,60 \pm 0,04$ и из равенства /3/ - $\langle n_{\pi^0} \rangle = 2,51 \pm 0,03$. Экспериментально измерено $\langle n_{\pi^0} \rangle = 2,55 \pm 0,04$. Аналогично в $\pi^- n$ -взаимодействиях: $\langle n_{ch} \rangle = 5,08 \pm 0,06$, $\langle n_p \rangle = \alpha_{p \rightarrow n} = 0,34 \pm 0,03$ и из /3/ следует, что $\langle n_{\pi^0} \rangle = 2,37 \pm 0,03$. В эксперименте получается, что $\langle n_{\pi^0} \rangle = 2,41 \pm 0,05$.

Таким образом, нарушение равенства типа /2/ для $\pi^- p$ - и $\pi^- n$ -взаимодействий при $p=40$ ГэВ/с не превышает 3%.

Этот результат теперь можно использовать для определения числа релятивистских протонов в $\pi^- 12C$ -взаимодействиях*.

Из эксперимента известно, что $\langle n_{\pi^0} \rangle = 2,91 \pm 0,04$ и $\langle n_{\pm} \rangle = 6,32 \pm 0,02$. Отсюда из равенства /4/ находим, что $\langle n_p^f \rangle = 0,50 \pm 0,09$. Предполагая, что соотношение /2/ справедливо на любом этапе реакции, из равенства /4/ можно оценить число релятивистских протонов во взаимодействиях с двумя и более протонами, $\nu_p \geq 2$ ($Q, Q_1, Q_2 \geq 1$):*

$$\langle n_p^f(Q) \rangle = \langle n_{\pm}(Q) \rangle - 2 \langle n_{\pi^0}(Q) \rangle. \quad /5/$$

В табл. приводятся определенные таким образом средние множественности релятивистских протонов в $\pi^- 12C$ -взаимодействиях различного типа. Для сравнения здесь же даны множественности вторичных частиц в $\pi^- p$ - и $\pi^- n$ -взаимодействиях.

* В $\pi^\pm Ne$ -взаимодействиях при $p=10,5$ ГэВ/с, $\langle n_{\pi^0} \rangle = (0,51 \pm 0,02) \cdot (\langle n_{\pi^+} \rangle + \langle n_{\pi^-} \rangle)^{2/}$.

**Так как /4/ выполняется в широком интервале энергий для πp -взаимодействий, то можно считать, что оно выполняется и для различных внутриядерных взаимодействий.

Таблица

Множественность вторичных частиц в π^-p , π^-n , $\pi^-^{12}\text{C}$ - и многонуклонных взаимодействиях, выделенных по переменным Q_1 , Q_2 и Q

	$Q_1 \geq 1$	$Q_2 \geq 1$	$Q_2 \geq 1$	π^+p	π^+p	π^+n
$\langle Q_1 \rangle + 1$	$1,57 \pm 0,04$	$1,78 \pm 0,04$	$2,45 \pm 0,06$	$0,85 \pm 0,03$	$0,81 \pm 0,03$	$-0,10 \pm 0,04$
$\langle m_1 \rangle$	$4,23 \pm 0,03$	$4,43 \pm 0,03$	$5,14 \pm 0,04$	$3,08 \pm 0,02$	$2,62 \pm 0,02$	$1,34 \pm 0,03$
$\langle m_2 \rangle$	$3,66 \pm 0,03$	$3,65 \pm 0,03$	$3,69 \pm 0,04$	$3,23 \pm 0,02$	$2,81 \pm 0,02$	$3,04 \pm 0,03$
$\langle n_{\pi^+} \rangle$	$3,55 \pm 0,08$	$3,67 \pm 0,09$	$3,96 \pm 0,12$	$2,91 \pm 0,04$	$2,15 \pm 0,05$	$2,47 \pm 0,05$
$\langle n_p^+ \rangle$	$0,79 \pm 0,16$	$0,77 \pm 0,18$	$0,91 \pm 0,24$	$0,50 \pm 0,09$	$0,40 \pm 0,04$	$0,25 \pm 0,03$
$\langle n_p^+ (p_{\text{зад}}) \rangle$	$1,52 \pm 0,02$	$1,25 \pm 0,03$	$0,83 \pm 0,04$	$0,64 \pm 0,01$	$0,16 \pm 0,01$	$0,08 \pm 0,01$
$\langle n_p^+ (p_{\text{зад}}) \rangle$	$0,77 \pm 0,02$	$0,87 \pm 0,03$	$0,47 \pm 0,04$	$0,39 \pm 0,01$	$0,13 \pm 0,01$	$0,07 \pm 0,01$
$\langle n_p^+ \rangle$	$1,17 \pm 0,02$	$1,49 \pm 0,03$	$1,07 \pm 0,04$	$0,80 \pm 0,01$	$0,18 \pm 0,01$	$0,09 \pm 0,01$

4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные результаты /см. табл./ по $\langle n_p^f \rangle$ в $\pi^-^{12}\text{C}$ -взаимодействиях показывают, что релятивистские протоны составляют /16+1/% от всех положительно заряженных частиц (n_+). Для многонуклонных взаимодействий ($\nu_p \geq 2$), выделенных по Q , Q_1 и Q_2 , они составляют /18+4/% от n_+ и их примерно в два раза больше, чем $\langle n_p^f \rangle$ в π^-p -взаимодействиях.

Данные по $\langle n_p^f \rangle$ и $\langle n_p^s \rangle$ для адрон-ядерных взаимодействий позволяют рассмотреть и возможные механизмы их образования. В пион-нуклонных взаимодействиях $(\pi^-N)^*$ в среднем образуется $\langle n_p^f \rangle = 0,33 \pm 0,04$. Приняв $\langle \nu(\pi^-^{12}\text{C}) \rangle = 1,46 \pm 0,04^{1/13}$, получим, что в $\pi^-^{12}\text{C}$ -взаимодействиях ожидается $\langle n_p^f \rangle = 0,48 \pm 0,06$, что хорошо согласуется с экспериментом $\langle n_p^f \rangle = 0,50 \pm 0,09$.

Таким образом, релятивистские протоны $/p \geq 0,7$ ГэВ/с/ образуются в результате внутриядерных πN -взаимодействий и являются индикатором числа этих соударений. Дополнительные механизмы образования протонов на уровне $\Delta n_p^f = \pm 0,1$ не противоречат полученным данным.

Иная ситуация имеет место для $\langle n_p^s \rangle$. Действительно, в этом случае $\langle n_p^s(\pi^-N) \rangle = 0,13 \pm 0,01$ для $p = 0,3-0,7$ ГэВ/с и, умножая это число на $\langle \nu \rangle$, получим $\langle n_p^s(\pi^-^{12}\text{C}) \rangle = 0,19 \pm 0,02$, что значительно меньше экспериментального /см. табл./. В этом случае про-

* $\pi^-N = \frac{1}{2}(\pi^-p + \pi^-n)$.

цессы размножения протонов: каскадные, коррелированные пары и др. играют существенную роль.

Различие механизмов образования протонов четко проявляется и в параметризации типа $\langle n(hA) \rangle = \langle n(hN) \rangle A^\alpha$, которая широко используется для анализа hA -взаимодействий. В этом случае для $\langle n_p^f \rangle$ получим $\alpha = 0,17 \pm 0,08$ и для $\langle n_p^s \rangle - \alpha = 0,55 \pm 0,05$. В первом случае мы имеем слабую зависимость от A , которая и ожидается при отсутствии вторичных перерасеяний протонов ($\alpha = 1/3$). Для медленных протонов α близко к $2/3$, что свидетельствует о существенном вкладе дополнительных механизмов образования протонов.

Аналогичные результаты были получены при анализе импульсных спектров вторичных протонов в hA -взаимодействиях^{14/}.

Данные по $\langle n_p^f \rangle$ в многонуклонных взаимодействиях позволяют более детально обсудить механизм их образования. С этой целью полезно рассмотреть средний заряд, переносимый в результате взаимодействия от ядра в систему вторичных релятивистских частиц:

$$\langle Q \rangle + 1 = \langle n_+ \rangle - \langle n_- \rangle + 1.$$

При разных критериях выделения многонуклонных взаимодействий $1/\nu_p \geq 2/$ по переменным Q, Q_1, Q_2 получим $2,45 \pm 0,06, 1,78 \pm 0,04, 1,57 \pm 0,04$.

Вклад релятивистских протонов в полученные значения $\langle Q \rangle + 1$ составляет примерно 50%, остальное дают π^+ -мезоны, образованные в результате фрагментации протонов в многонуклонных взаимодействиях.

Аналогичная ситуация имеет место и для πp -взаимодействий: $\langle Q \rangle + 1 = 0,81 \pm 0,03, \langle n_p^f \rangle = 0,4, \langle n_{\pi^+} \rangle = 0,4$. Таким образом, в образовании многонуклонных взаимодействий дают вклады как протоны, так и π^+ -мезоны, причем соотношение между ними такое же, как и в $\pi^- p$ -взаимодействиях.

Авторы с глубокой благодарностью вспоминают свое сотрудничество с **В.М.Шехтером**, инициировавшим настоящую работу. Мы признательны Р.А.Кватадзе за полезные обсуждения и участникам Сотрудничества по исследованию множественных процессов на двухметровой пропановой пузырьковой камере за помощь в работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Азимов С.А. и др. ЯФ, 1976, 23, с. 987.
2. Yeager W.M. et al. Phys.Rev., 1977, D16, p. 1294.
3. Азимов С.А. и др. ЯФ, 1981, 33, с. 169.
4. Абдурахимов А. и др. ЯФ, 1973, 17, с. 1235.
5. Ангелов Н. и др. ЯФ, 1977, 26, с. 811.

6. Гришин В.Г. и др. ЯФ, 1980, 31, с. 1488.
7. Абдурахимов А. и др. ЯФ, 1973, 18, с. 1251.
8. Binkley M.E. et al. Phys.Lett., 1973, 45B, p. 295.
9. Charlton G.R. et al. Phys.Lett., 1972, 40B, p. 378.
10. Meyer H. Proc. of the 1980 CERN school, CERN, 81-04, 1981. p. 155.
11. Шехтер В.М., Щеглова Л.М. ЯФ, 1978, 27, с. 1070.
12. Бацкович С. и др. ОИЯИ, P1-11008, Дубна, 1977.
13. Shabelsky Yu.M., Shekhter V.M. Preprint LINP-524, 1979.
14. Азимов С.А. и др. Труды V международного семинара по проблемам физики высоких энергий, Дубна, Д1-2-12056, 1978, с. 415.

Рукопись поступила в издательский отдел
29 октября 1981 года.