

## **К вопросу об образовании кумулятивных протонов во взаимодействиях адронов и ядер с ядрами при высоких энергиях**

**Бекмирзаев Рахматулла Нурмурадович - проф.<sup>1</sup>,  
Юлдашев Бехзод Садилович - академик<sup>2</sup>, Набиев Баходир Элмурад угли-  
магистр<sup>3</sup>**

<sup>1,3</sup> Джиззакский Государственный педагогический институт,

<sup>2</sup> Институт ядерной физики АН Республики Узбекистан

e-mail: bekmirzaev@mail.ru

***Аннотация:** В условиях полной геометрии и на достаточно большом статистическом материале исследовано образование кумулятивных протонов в  $\pi^-C$ -,  $pC$ -  ${}^4\text{He}_2C$ - и  $CC$ -соударениях при высоких энергиях. Показано, что зависимость инклюзивных сечений образования кумулятивных протонов от кумулятивного числа  $\beta$  имеет универсальную закономерность, заключающуюся в независимости, как от типа снаряда, так и от первичной энергии. Обнаружена независимость среднего числа кумулятивных протонов от типа снаряда и первичной энергии.*

\*\*\*

***To a issue of production of cumulative protons in interactions of hadrons and nucleus with nucleus at high energies***

***Annotation:** In conditions of full geometry on large statistics the production of cumulative protons in  $\pi^-C$ ,  $pC$ ,  ${}^4\text{He}_2C$  and  $CC$  collisions at high energies is investigated. It is shown, that a dependence of inclusive cross sections of production of cumulative protons on cumulative number  $\beta$  has the universal law consisting in a independence on both of type of a projectile and primary energy. Independence of an average of cumulative protons on type of a projectile and primary energy is found out.*

К настоящему времени по кумулятивному рождению частиц накоплен огромный экспериментальный материал и установлен ряд закономерностей этого явления. Следует, однако, отметить, что основная часть экспериментальных данных получена в электронных экспериментах, как правило, при малых телесных углах вылета кумулятивных частиц, далеких от полной  $4\pi$ -геометрии. В связи с этим, естественно, не все утверждения, полученные в этих условиях, могут быть подтверждены в экспериментах с полной геометрией. Конечно, имеются некоторые работы, выполненные в условиях  $4\pi$ -геометрии [1-4], однако, из-за ограниченной статистики они в основном качественно подтверждают выводы электронных экспериментов. В связи с этим представляет интерес провести изучение образования кумулятивных частиц при большей статистике экспериментального материала, в условиях, близких к полной геометрии для различных снарядов и мишеней и естественно единой методикой.

Настоящая работа посвящена изучению образования кумулятивных протонов в  $\pi^-C$ -,  $pC$ -  $^4He_2C$ - и  $CC$ -соударениях при высоких энергиях. В ней также исследованы корреляции выхода кумулятивных и некумулятивных протонов.

Экспериментальный материал получен с помощью 2 м пропановой пузырьковой камеры Лаборатории высоких энергий ОИЯИ, облученной  $\pi^-$ -мезонами при импульсе 40 ГэВ/с на Серпуховском ускорителе У-70, протонами при 4.2 и 9.9 ГэВ/с, ядрами  $^4He_2$  и  $C$  при 4.2 А ГэВ/с на Дубненском синхрофазотроне. Общая статистика анализируемого экспериментального материала составляет более 60 000 отобранных событий. Методические вопросы, связанные с обработкой стереофотографий, восстановлением кинематических характеристик вторичных частиц, их идентификацией, а также введением поправок на потерю протонов, испущенных под большим углом к плоскости фотографирования, описаны в работах [5-8]. Разделение протонов (от мишени) и  $\pi^+$ -мезонов проводилось визуально по ионизации в области  $p < 0.8$  ГэВ/с.

Анализируемые ансамбли очищены от упругих взаимодействий, событий дифракционной диссоциации ядра-снаряда в соответствии с критериями, приведенными в [8]. Таким образом, анализируются преимущественно адрон-ядерные и ядро-ядерные события. Исключение составляют взаимодействия на свободном нейтроне ядра углерода.

К кумулятивным относились протоны с параметром кумулятивности  $\beta \geq 1.2$ , где  $\beta = (E - P \cos \vartheta) / m_n$  ( $E$  – полная энергия,  $P$  – полный импульс,  $\vartheta$  – угол вылета рассматриваемого протона,  $m_n$  – масса нуклона, которая взялась равной массе протона) и импульсом  $P > 0.2$  ГэВ/с (т.е. испарительные протоны исключались).

В качестве примера на рисунке приведены распределения протонов по кумулятивному числу  $\beta$  в области  $\beta > 1.2$  для  $CC$ - и  $\pi^-C$ -соударений при импульсах 4.2 А ГэВ/с и 40 ГэВ/с, соответственно. Там же прямыми линиями показаны результаты аппроксимации экспериментальных данных зависимостью вида

$$f(\beta) = a \exp(-b\beta) \quad (1)$$

Результаты аппроксимации всех экспериментальных данных по распределению протонов по числу  $\beta$  в соответствии с выражением (1) приведены в таблице. Видно, что значения параметров наклона  $b$  в пределах статистических погрешностей совпадают между собой для всех рассматриваемых типов соударений и первичных энергий. Средняя величина  $b$  по всем рассматриваемым ансамблям составляет  $8.1 \pm 0.1$ . Интересно отметить тот факт, что не только инвариантные инклюзивные сечения образования кумулятив-

ных протонов в зависимости от кумулятивного числа  $\beta$  имеет экспоненциальный характер, но и распределения протонов по  $\beta$  также имеют тот же характер.

В таблице также приведены средние множественности кумулятивных и некумулятивных протонов в импульсном интервале  $0.2 \leq p \leq 0.8$  ГэВ/с для событий с кумулятивным протоном. Видно, что средние множественности некумулятивных протонов зависят от типа снаряда, в то время как множественности кумулятивных — в пределах статистических погрешностей не зависят ни от типа снаряда, ни от первичной энергии, составляя в среднем величину  $1.05 \pm 0.02$ .

Исследование азимутальных корреляций между кумулятивным и некумулятивным протонами показало, что имеется корреляция, указывающая на тенденцию вылета этих протонов в противоположные стороны азимутальной плоскости. Это является еще одним указанием на то, что кумулятивные протоны образуются за счет взаимодействия первичного адрона с сильно связанной малонуклонной ассоциацией. Аналогичные результаты по азимутальным корреляциям между кумулятивным протоном, летящим в заднюю полусферу, и некумулятивным протонам были получены в pC-взаимодействиях при 10 ГэВ/с [9].

Таким образом, можно заключить, что зависимость инклюзивных сечений образования кумулятивных протонов от кумулятивного числа  $\beta$  имеет универсальную закономерность, заключающуюся в независимости, как от типа снаряда, так и от первичной энергии.

Таблица

Параметры наклона в параметризации (1) и среднее число кумулятивных и некумулятивных протонов в событиях с образованием кумулятивного протона

Тип взаимодействия, $P_0$ (ГэВ/с)	Параметр наклона, $b$	$\chi^2/\text{ст.св}$	Среднее число некумулятивных протонов	Среднее число кумулятивных протонов
$\pi^-C$ , 40.0	$8.18 \pm 0.26$	1.1	$1.23 \pm 0.03$	$1.06 \pm 0.03$
pC, 4.2	$8.09 \pm 0.49$	1.0	$2.03 \pm 0.06$	$1.04 \pm 0.03$
pC, 9.9	$8.10 \pm 0.25$	0.9	$1.90 \pm 0.03$	$1.06 \pm 0.03$
$^4\text{He}_2C$ , 4.2 A	$8.00 \pm 0.28$	1.2	$2.43 \pm 0.05$	$1.06 \pm 0.05$
CC, 4.2 A	$8.14 \pm 0.20$	0.4	$2.61 \pm 0.04$	$1.05 \pm 0.04$

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.И Аношин и др. Препринт ОИЯИ, 1-81-214, Дубна (1981).

2. А.И Аношин и др. ЯФ **36**, 409 (1982).
3. В.Б. Любимов и др. Препринт ОИЯИ, P1-82-363, Дубна (1982).
4. Д. Армутлийски, Н. Ахабабян, А.М. Балдин и др. Препринт ОИЯИ, P1-83-327, Дубна (1983).
5. А.У. Абдурахимов и др., Препринт ОИЯИ, P1-6277, Дубна (1972).
6. Г.Н. Агакишиев и др., Препринт ОИЯИ, P1-83-327, Дубна (1983).
7. И.А. Ивановская, Препринт ОИЯИ, P1-91-264, Дубна (1991).
8. А.И.Бондаренко и др., Препринт ОИЯИ, P1-98-292, Дубна (1998).
9. Д.К. Копылова и др., Препринт ОИЯИ, P1-86-251, Дубна (1986).

Распределение кумулятивных протонов по числу кумулятивности  $\beta$  (в области  $\beta > 1.2$ ) для  $\pi^-C$ - и  $CC$ -соударений при 40 ГэВ/с ( $\bullet$ ) и 4.2 А ГэВ/с ( $\circ$ ), соответственно. Прямые линии - результаты аппроксимации экспериментальных данных зависимостью вида (1).

