

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

3880/82

16/8-82

P1-82-363

В.Б.Любимов, М.И.Соловьев, М.К.Сулейманов*

КОРРЕЛЯЦИИ
В АДРОН-ЯДЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ,
СОПРОВОЖДАЮЩИХСЯ ИСПУСКАНИЕМ
КУМУЛЯТИВНЫХ ПРОТОНОВ

* Институт физики АН Азерб.ССР, Баку.

1. ВВЕДЕНИЕ

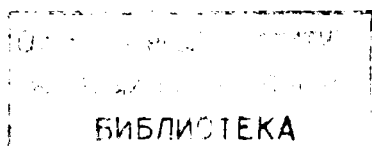
К настоящему моменту достаточно подробно изучены инклюзивные спектры кумулятивных протонов в широком диапазоне первичных энергий и для широкого класса ядерных мишеней. Получены важные выводы о масштабнo-инвариантных свойствах этих спектров, их зависимости от атомного номера ядра-мишени и т.д. Однако до сих пор экспериментально не изучен вопрос о связи кумулятивного образования нуклонов с процессом множественной генерации адронов. В значительной мере остается открытым вопрос о корреляциях между кумулятивным образованием мезонов и нуклонов. Представленная в настоящей работе экспериментальная информация имеет целью в какой-то степени восполнить этот пробел.

Работа выполнена по аналогии с нашими работами^{/1,2/}, в которых исследовались корреляционные явления в процессах, сопровождающихся испусканием кумулятивных π -мезонов, но только здесь все результаты коррелированы не с "кумулятивностью" π -мезонов, а с "кумулятивностью" протонов. Как и в цитируемых работах, использована имеющаяся у нас статистика из 8642-х неупругих $\pi^{-12}\text{C}$ -взаимодействий, найденных на снимках с 2-метровой пропановой камеры ЛВЭ ОИЯИ, облученной π^{-} -мезонами $/P_{\pi^{-}} = 40 \text{ ГэВ/с/}$ на ускорителе ИФВЭ. Сюда не вошли взаимодействия с квазисвободными нуклонами ядра углерода. Из этой статистики были отобраны события, сопровождающиеся испусканием, по крайней мере, одного протона*. Таких событий оказалось 6526 /с 11477-ю протонами/. Проводился анализ общих характеристик этих взаимодействий в зависимости от "кумулятивности" протонов. В качестве переменной, характеризующей "кумулятивность" протонов, была выбрана величина n_c^{\max} , равная наибольшему значению кумулятивного числа среди протонов в данном событии:

$$n_c^{\max} = \max\{n_c^i\}, \quad /1/$$

где
$$n_c^i = \frac{E_i - P_{iz}}{m} \quad /2/$$

* Все результаты относятся к протонам в области импульсов от 140 до 700 МэВ/с.



Здесь E_i , P_{iz} - энергия и проекция импульса на ось реакции i -го в данном событии протона в лабораторной системе координат /л.с.к./; m - масса нуклона.

Использование в настоящей работе статистического материала, общего с работой /1/, позволило, с одной стороны, получить информацию о независимости процессов кумулятивного образования протонов и π -мезонов, с другой - получить данные о связи этих явлений с множественным образованием адронов.

В работе изучены также инклюзивные спектры протонов, испущенных в заднюю полусферу /ЗП/ в л.с.к., в функции их кумулятивного числа n_c /2/, в том числе и для событий с разным числом этих протонов. Получены сечения взаимодействий, сопровождающихся испусканием кумулятивных протонов.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА $\pi^{-12}\text{C}$ -ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ n_c^{max}

Рассмотрены характеристики всех заряженных частиц прежде всего по значениям их средних импульсов (\bar{P}) и средних углов вылета ($\bar{\theta}$) в л.с.к. в функции n_c^{max} /1/. Эти данные приведены на рис.1-4, причем отдельно для протонов, имеющих кумулятивное число, равное n_c^{max} /рис.1/, для всех остальных протонов /рис.2/, то есть протонов "сопровождения" (p_a), π^{\pm} -мезонов /на рис.3 они обозначены как π_a^{\pm} /, за исключением лидирующих π^+ -мезонов (π_L^+), свойства которых приведены на рис.4. К лидирующим были отнесены π^+ -мезоны, имеющие наибольший импульс среди всех вторичных π -мезонов в рассматриваемом событии. Для протонов (p_a) и π_a^{\pm} -мезонов представлены также значения средней множественности \bar{n} /рис.2,3/, а для π_a^{\pm} -мезонов кроме этого значения средних быстрот \bar{u}^* , вычисленных в системе центра инерции π -нуклон.

Видно, что свойства π^{\pm} -мезонов практически не зависят от n_c^{max} /рис.3/. Ничего подобного нельзя сказать о протонах "сопровождения" /рис.2/. Значения средних множественностей, средних углов вылета протонов p_a увеличиваются с ростом n_c^{max} до значения $n_c^{\text{max}} \approx 1,2$. Значения средних импульсов при этом уменьшаются. При дальнейшем росте n_c^{max} наблюдается приближительное постоянство этих характеристик. Таким образом, как и в случае анализа событий по наибольшему кумулятивному числу π -мезонов /1/, при анализе по n_c^{max} , полученному для протонов, также можно говорить о двух областях по n_c^{max} : область I с $n_c^{\text{max}} \leq 1,2$, где наблюдаются достаточно резкие изменения характеристик протонов, и область II ($n_c^{\text{max}} > 1,2$), где эти изменения незаметны. Для протонов, имеющих наибольшее кумулятивное число /протоны p_c /, значение $n_c^{\text{max}} \approx 1,2$ соответствует минимуму

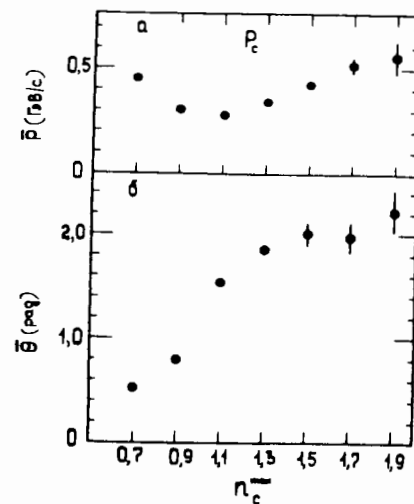
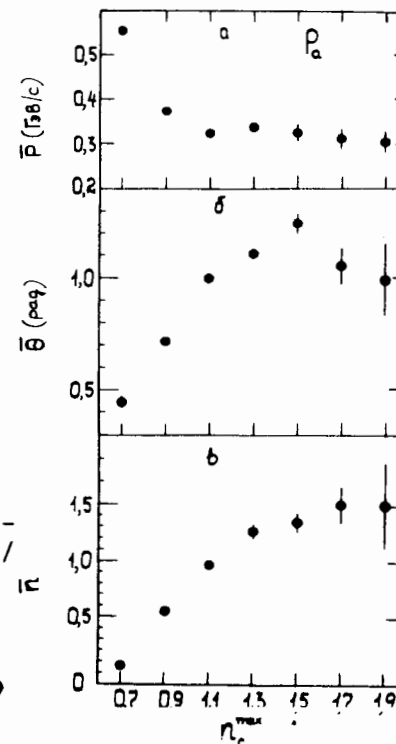


Рис.1. Зависимость средних импульсов /а/ и средних углов вылета /б/ протонов p_c от значения величины n_c^{max} .

Рис.2. Характеристики протонов "сопровождения" / \bar{P} - а, $\bar{\theta}$ - б, \bar{n} - в/ в зависимости от значения величины n_c^{max} .



для \bar{P} и месту выхода значений $\bar{\theta}$ на плато. Свойства лидирующих π -мезонов /рис.4/ не коррелируют со значением n_c^{max} .

Подчеркнем, что при анализе событий по π -мезонному кумулятивному числу /1/ изменения средних характеристик наблюдаются только для мезонов "сопровождения" и практически незаметны на протонах, в настоящем случае изменения относятся только к протонам "сопровождения". Все это означает, что процессы, приводящие к образованию кумулятивных π -мезонов, являются независимыми от процессов кумулятивного образования протонов. Этот вывод о независимом испускании двух групп кумулятивных адронов подтверждается также данными по числу "мезонных" кумулятивных событий /событий, имеющих кумулятивные мезоны/ во взаимодействиях, имеющих кумулятивный протон /табл.1/. В этой таблице приведены значения вероятностей взаимодействий, сопровождающихся испусканием кумулятивных π -мезонов /с $n_c > 0,6$, а также с $n_c > 1,0$ / в событиях, соответствующих разным интервалам по n_c^{max} , вычисленных для протонов. Видно, что в опреде-

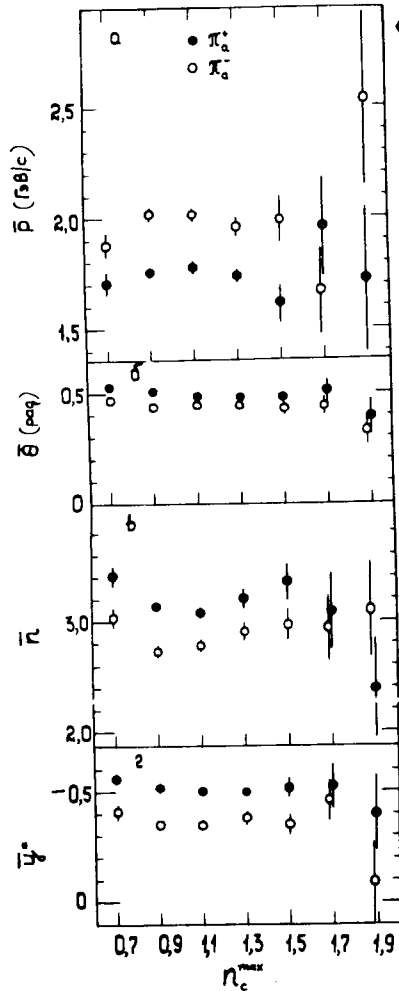
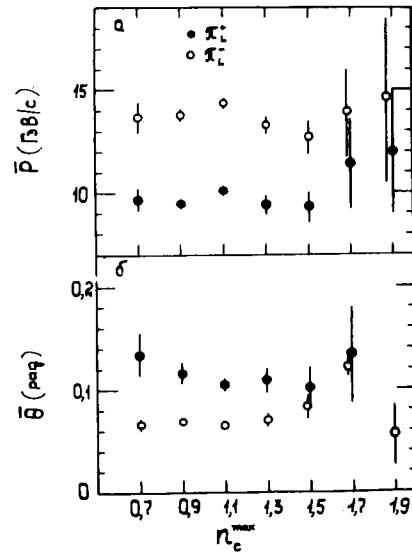


Рис.3. Зависимость средних импульсов /а/, средних углов вылета /б/, средних множественностей /в/ и средних быстрот /г/ для π^\pm -мезонов "сопровождения" в зависимости от n_c^{\max} .

Рис.4. Свойства лидирующих π^\pm -мезонов / \bar{P} - а, $\bar{\theta}$ - б/ в зависимости от n_c^{\max} .

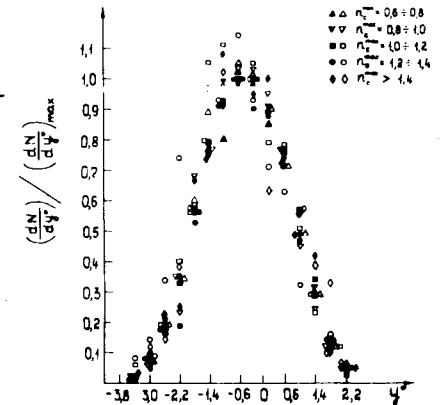


ленной доле случаев события с кумулятивными протонами сопровождаются испусканием кумулятивных π -мезонов, причем эта доля не зависит от степени "кумулятивности" протонов. Отметим, что вывод о независимом испускании протонов и π -мезонов был сделан нами ранее на основе анализа соотношений между вероятностями испускания протонов и π -мезонов в ЗП^{3/}.

Свойства π^\pm -мезонов /мезонов "сопровождения"/ фактически характеризуют процесс множественной генерации π -мезонов в кумулятивных взаимодействиях. Их характеристики оказались независимыми от "кумулятивности" протонов /рис.3/, причем по всем

Интервал по n_c^{\max} для протонов	0,6+0,8	0,8+1,0	1,0-1,2	1,2+1,4	1,4+1,6	1,6+1,8
Число событий	545	2149	2861	916	184	35
Доля событий (%) с $n_c > 0,6$ (по π -мезонам)	10,8±1,4	14,2±0,8	10,4±1,3	11,6±1,1	11,9±2,5	14,3±6,4
Доля событий (%) с $n_c > 1,0$ (по π -мезонам)	3,7±0,8	3,8±0,4	2,1±0,3	2,5±0,5	2,7±1,2	5,7±4,0

Рис.5. Распределения по быстротам π -мезонов "сопровождения" для "мезонных" /светлые точки/ и "протонных" кумулятивных взаимодействий /темные точки/ в разных интервалах по n_c^{\max} .



исследованным параметрам (\bar{P} , $\bar{\theta}$, \bar{n} , \bar{y}^*) они совпали со свойствами π^\pm -мезонов в "мезонных" кумулятивных взаимодействиях /см./1/. В качестве примера на рис.5 приведены распределения по быстротам π^\pm -мезонов, полученных в одинаковых интервалах по n_c^{\max} , вычисленных по π -мезонам /светлые точки/ и по протонам /темные точки/. Видно, что нет разницы между быстротными распределениями, соответствующими разным группам кумулятивных взаимодействий.

3. ИНКЛЮЗИВНЫЕ СПЕКТРЫ ПРОТОНОВ, ИСПУЩЕННЫХ В ЗАДНЮЮ ПОЛУСФЕРУ

Получены инвариантные инклюзивные сечения ($f = E \frac{d^3\sigma}{dP^3}$) образования протонов в области фрагментации ядра-мишени в функции их кумулятивного числа $n_c/2$. Соответствующие распределения для интервалов углов испускания $-1,0 < \cos\theta < -0,75$ показаны на рис.6. Отметим, что в силу ограничения по импульсам исследованных протонов сверху /700 МэВ/с в нашем случае/ граница спектров по n_c будет разной для протонов, испущенных под разными углами. Наибольшая область по n_c соответствует протонам, испущенным под углами, близкими к 180° и в нашем случае ограничена значением $n_c = 2,0$. На рис.6 /для тех же интервалов углов/ показаны спектры, соответствующие $\pi^{-12}\text{C}$ -взаимодействиям с разным числом испущенных в ЗП протонов (N_{pb}). Распределения имеют приблизительно экспоненциальный вид для значений n_c , соответствующих области II, отмеченной в анализе корреляций по n_c^{max} /см. раздел 2/. Результаты аппроксимации распределений в этой области ($n_c > 1,2$) экспонентой вида

$$f \sim \exp(-\beta n_c)$$

приведены в табл.2 /вместе с данными для π -мезонов^{/4/}/. Параметры наклона оказались несколько больше, чем для π -мезонов, с тенденцией к увеличению с ростом множественности испущенных в ЗП протонов.

4. СЕЧЕНИЯ КУМУЛЯТИВНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ

Во второй строке табл.1 приведена статистика наблюдаемых $\pi^{-12}\text{C}$ -взаимодействий, имеющих протоны в разных интервалах по n_c^{max} . Из данных этой таблицы можно получить оценку вероятности столкновений, сопровождающихся испусканием кумулятивных протонов. Так, при выборе границы кумулятивной области, равной $n_c = 1,2$ /область II/, для этой вероятности получается значение $w_p = /13,1 \pm 0,4/\%$ или $\sigma = /11,5 \pm 0,4/$ мб/, близкое к полученному для "мезонных" кумулятивных взаимодействий / $w_\pi = 14,0 \pm 0,4$ /%/. Таким образом, проведенный анализ фактически устраняет обсуждаемое в литературе большое различие /~100 раз/ в сечениях образования кумулятивных протонов и π -мезонов. К этому же результату приводит процедура исследования инвариантных инклюзивных сечений образования кумулятивных адронов по переменной $Q = n_c - B$, где B - барионное число кумулятивного адрона^{/5/}.

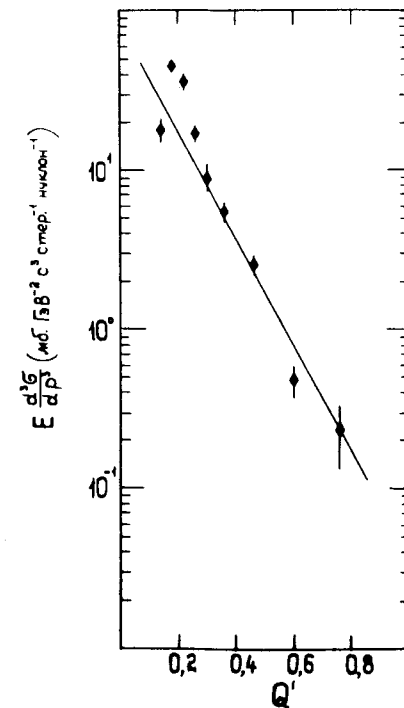
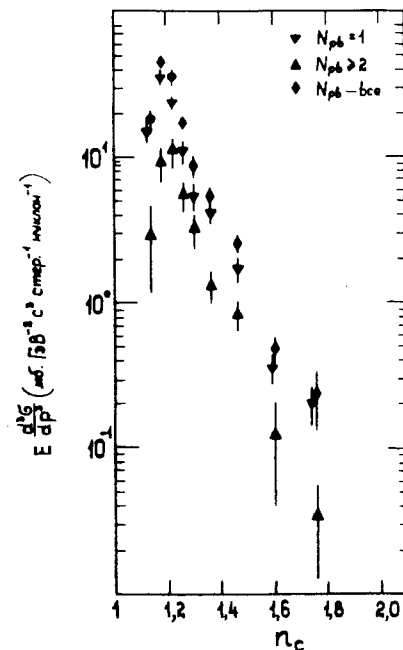


Рис.6. Инвариантные инклюзивные кумулятивные сечения протонов в функции n_c .
Рис.7. Инвариантные инклюзивные поперечные сечения образования кумулятивных протонов /точки/ и π -мезонов /прямая/ в функции переменной $Q' = n_c - \alpha$.

Таблица 2

Реакция	B	$\chi^2/\text{ст.свободы}$
$\pi^{-12}\text{C} \rightarrow p + \dots$	$N_{pb} - \text{все}$	$11,3 \pm 0,5$
	$N_{pb} = 1$	$10,7 \pm 0,6$
	$N_{pb} \geq 2$	$16,4 \pm 1,1$
$\pi^{-12}\text{C} \rightarrow \pi + \dots$	$N_{\pi b} - \text{все}$	$7,1 \pm 0,2$
	$N_{\pi b} = 1$	$7,0 \pm 0,2$
	$N_{\pi b} \geq 2$	$7,7 \pm 0,3$

В нашем случае приблизительное совпадение инвариантных инклюзивных сечений образования π -мезонов и протонов достигается путем введения переменной $Q' = p_c - aV$, где $a \approx 0,7$ /см.рис.7/. Отметим, что это не противоречит данным работы /6/ для той области значений переменной Q' , к которой относятся наши результаты.

5. ВЫВОДЫ

Проведен анализ общих характеристик вторичных заряженных частиц в π^-12C -взаимодействиях при 40 ГэВ/с в зависимости от наибольшего кумулятивного числа (n_c^{\max}) протона в каждом событии /или степени "кумулятивности" протонов/.

Показано, что с этим значением коррелируют только характеристики вторичных протонов, причем по всем рассмотренным параметрам ($\bar{P}, \bar{\theta}, \bar{n}$). При этом выделяется область с $n_c^{\max} \geq 1,2$, которую естественно отнести к области кумулятивного рождения протонов. Оценка сечения образования таких протонов дает значение, близкое к результату для сечения образования кумулятивных π -мезонов.

Не обнаружено корреляций средних характеристик множественного образования π -мезонов /в том числе и лидирующих/ от степени кумулятивности протонов. Причем эти характеристики ($\bar{P}, \bar{\theta}, \bar{n}, \bar{y}^*$ и dN/dy^*) оказались близкими к соответствующим для мезонов "сопровождения" в "мезонных" кумулятивных π^-12C -взаимодействиях. Таким образом, характеристики множественного образования π -мезонов совпадают в кумулятивных взаимодействиях разного типа.

Обнаружено, что в $\approx 12\%$ случаев "протонные" кумулятивные взаимодействия сопровождаются испусканием кумулятивного π -мезона, причем эта доля не зависит от степени кумулятивности протонов. В итоге можно сделать вывод, что вся совокупность полученных данных подтверждает вывод /3/ о независимости механизмов испускания кумулятивных протонов и π -мезонов.

Инвариантные инклюзивные сечения образования протонов в области $p_c > 1,2$ имеют приблизительно экспоненциальный вид с параметром наклона, несколько большим параметра наклона для кумулятивных π -мезонов. С ростом множественности испущенных в ЗП протонов параметр наклона увеличивается.

Авторы благодарны А.М.Балдину за плодотворные обсуждения и коллективу сотрудничества по обработке снимков с 2-метровой пропановой камеры за помощь в получении экспериментального материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аношин А.И. и др. ОИЯИ, P1-80-716, Дубна, 1980.
2. Аношин А.И. и др. ОИЯИ, 1-81-214, Дубна, 1981.
3. Ангелов Н. и др. ОИЯИ, P1-11951, Дубна, 1978; ЯФ, 1979, 29, вып.5, с.1227.
4. Аношин А.И. и др. ОИЯИ, P1-81-678, Дубна, 1981.
5. Балдин А.М. и др. ОИЯИ, 1-12396, Дубна, 1979.
6. Балдин А.М. и др. ОИЯИ, 1-82-28, Дубна, 1982.

Рукопись поступила в издательский отдел
20 мая 1982 года.

Любимов В.Б., Соловьев М.И., Сулейманов М.К.

P1-82-363

Корреляции в адрон-ядерных взаимодействиях,
сопровождающихся испусканием кумулятивных протонов

Изучены средние характеристики $\pi^-^{12}\text{C}$ -взаимодействий при $P_\pi = 40$ ГэВ/с, сопровождающихся испусканием протонов, в зависимости от переменной, характеризующей степень их "кумулятивности" (n_c^{max}). Наблюдаются корреляции только со свойствами вторичных протонов, при этом выделяется область, соответствующая столкновениям с рождением кумулятивных протонов ($n_c^{\text{max}} > 1,2$). Обсуждаются характеристики таких взаимодействий; определены их сечения, которые оказались близкими к сечениям образования кумулятивных π -мезонов. Подтвержден вывод о независимости процессов испускания кумулятивных протонов от процессов испускания кумулятивных π -мезонов. Получены данные об инвариантных инклюзивных сечениях образования кумулятивных протонов в функции их кумулятивного числа, в том числе и для событий с разной множественностью этих протонов. Работа выполнена на снимках с 2-метровой пропановой камеры Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1982

Lyubimov V.B., Soloviev M.I., Suleimanov M.K.

P1-82-363

Correlations in Hadron-Nuclear Interactions
Accompanied by Cumulative Proton Emission

The average characteristics of $\pi^-^{12}\text{C}$ -interactions at $P_\pi = 40$ GeV/c accompanied by proton emission are studied as a function of the variable of "cumulativity" order (n_c^{max}). The correlations are observed only for the characteristics of secondary protons, and the region of cumulative proton production is singled out ($n_c^{\text{max}} > 1,2$). The characteristics of these interactions are discussed, and their cross sections are determined which are close to those for cumulative π -meson production. The conclusion is confirmed of independence of the processes of proton cumulative production on those of π -meson cumulative production. The data are obtained on invariant inclusive proton production cross sections as a function of their cumulative number as well as for interactions with different multiplicities of these protons. The work has been performed on pictures from the 2m propane bubble chamber of the Laboratory of High Energies, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1982

Перевод О.С.Виноградовой.