

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ**

**Дубна**

P1-2000-94

**В.К.Бондарев, А.Г.Литвиненко, А.И.Малахов,  
С.Г.Резников**

**А-ЗАВИСИМОСТЬ СЕЧЕНИЙ КУМУЛЯТИВНОГО  
РОЖДЕНИЯ ПИОНОВ И ПРОТОНОВ  
В АДРОН-ЯДЕРНЫХ И ЯДРО-ЯДЕРНЫХ  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ**

Направлено в журнал «Ядерная физика»

**2000**

# Введение

Большинство экспериментов по кумулятивному рождению частиц ( $\pi^\pm$ ,  $K^\pm$ ,  $p$ ,  $n$ ,  $\bar{p}$  и ядерных фрагментов) выполнено на пучках протонов в интервале начальных энергий  $1 \div 400$  ГэВ. Термин «кумулятивный» означает, что рождение частиц с данными характеристиками (импульсы, массы, углы эмиссии) запрещено кинематикой столкновений свободных нуклонов. Кумулятивные частицы можно наблюдать как в области фрагментации ядер-мишеней, так и в области фрагментации ядер-снарядов. В первом случае регистрация частиц осуществляется в области углов эмиссии  $90^\circ \div 180^\circ$  (задняя полусфера). В данной работе речь идет о кумулятивном рождении частиц в области фрагментации ядер-мишеней.

К настоящему времени в различных научных центрах получен значительный объем экспериментальной информации по кумулятивному рождению частиц [1–6]. В [1] содержатся исходные предпосылки кумулятивного эффекта в столкновениях релятивистских ядер, работа [2] суммирует первые результаты по кумулятивному рождению, в [3–5] рассматриваются теоретические модели кумулятивных процессов. Работа [6] является последним по времени обзором (1997 г.), где обсуждаются экспериментальные данные в различных представлениях и возможные механизмы кумулятивного рождения частиц. В цитируемых работах содержится достаточно полная библиография экспериментальных и теоретических работ.

Исследования кумулятивного рождения показали [1–6], что спектры кумулятивных частиц подобны на разных ядрах независимо от энергии и вида первичных пучков. Столь же универсальной характеристикой оказалась  $A$ -зависимость сечений. Энергетические зависимости сечений различных частиц вполне удовлетворительно воспроизводятся многими теоретическими моделями [3–5]. Ситуация с  $A$ -зависимостью сечений во многом остается непонятой. Часто используемая аппроксимация сечений степенной зависимостью типа  $A^n$  вполне удовлетворительна для ограниченного числа ядер в области массовых чисел  $A \simeq 30 \div 240$ . В ряде случаев значения показателя степени  $n$  зависят от массовых чисел ядер весьма специфическим образом. Последнее замечание относится к поведению сечений на изотопически обогащенных ядрах, давно и традиционно используемых в измерениях [6]. Речь идет о так называемом изотопическом эффекте [9], который заключается в том, что инклюзивные сечения рождения  $\pi^\pm$ -,  $K^\pm$ -мезонов и протонов (т.е. положительно заряженных частиц) не зависят от избыточного содержания нейтронов при фиксированном заряде фрагментирующих ядер ( $^{58}\text{Ni}$ ,  $^{64}\text{Ni}$ ,  $^{114}\text{Sn}$ ,  $^{124}\text{Sn}$ ).

В данной работе мы представляем результаты по кумулятивному рождению  $\pi^\pm$ -мезонов и протонов на пучках протонов, дейтронов и гелия с импульсами на нуклон  $4,5$  ГэВ/с для фиксированного импульса вторичных частиц  $0,5$  ГэВ/с, угол эмиссии составлял  $120^\circ$ . В качестве фрагментирующих ядер использовались  $\text{D}$ ,  $\text{He}$ ,  $^6\text{Li}$ ,  $^7\text{Li}$ ,  $\text{C}$ ,  $\text{Si}$ ,  $^{58}\text{Ni}$ ,  $^{64}\text{Ni}$ ,  $^{64}\text{Zn}$ ,  $^{114}\text{Sn}$ ,  $^{124}\text{Sn}$ ,  $\text{Pb}$ . Кроме того, на пучке протонов с импульсом  $8,9$  ГэВ/с были измерены спектры протонов и пи-

онов в интервале импульсов  $0,3 \div 0,7$  ГэВ/с (угол эмиссии  $120^\circ$ ). В этом цикле измерений фрагментирующими ядрами служили  $^{58}\text{Ni}$ ,  $^{64}\text{Ni}$ ,  $^{64}\text{Zn}$ ,  $^{114}\text{Sn}$ ,  $^{124}\text{Sn}$ ,  $\text{Pb}$ . Используемый набор фрагментирующих ядер позволил в единых экспериментальных условиях получить общую картину  $A$ -зависимости сечений и более тонкие детали этой зависимости. В полном объеме указанный набор фрагментирующих ядер использовался на пучке дейтронов.

Экспериментальные данные получены на установке ДИСК, которая представляет собой спектрометр по времени пролета в сочетании с магнитным анализом вторичных частиц по импульсам, измерением ионизационных потерь, интенсивности черенковского излучения. Пучок вторичных частиц фокусируется на сцинтилляционные счетчики дублетом квадрупольных линз. Подробное описание процедуры эксперимента содержится в работах [6, 7]. Табличные данные по сечениям рождения пионов, каонов, протонов и дейтронов опубликованы в [6, 8].

## Экспериментальные результаты

В данной работе отметим особенности в поведении сечений пионов и протонов, которые не были в достаточной мере отражены в предыдущих работах. В дальнейшем мы будем пользоваться выражением для инклюзивных сечений, как они представлены в работах [6, 8], а именно:

$$\frac{1}{A} E \frac{d\sigma}{dp} = \frac{1}{A} \frac{E}{p^2} \frac{d^2\sigma}{dp d\Omega} \quad (\text{мб ГэВ}^{-2} \text{ с}^3 \text{ ср}^{-1} \text{ нуклон}^{-1}).$$

$A$ -зависимость сечений рождения  $\pi^\pm$ -мезонов на пучках протонов, дейтронов и гелия представлена на рис.1. Отметим два обстоятельства, присущих поведению сечений на всех пучках. Видно, что  $A$ -зависимости сечений пионов подобны (независимость от вида пучка). Кроме того, подобие проявляется детальным образом, поскольку изотопический эффект характерен для всех пучков. Заметим, что здесь изотопический эффект проявился на вдвое меньшем импульсе первичных протонов по сравнению с его изначальным наблюдением. Другое обстоятельство — заметное превышение величин сечений в области массовых чисел  $A \simeq 50 \div 60$  и спад по обе стороны от этого превышения. Такое поведение характерно для поведения удельной энергии связи ядер. Из рис.1 также видно, что изотопический эффект для пионов наиболее отчетливо проявляется на пучке протонов.

Рассмотрим пару ядер  $^{64}\text{Zn}$  и  $^{64}\text{Ni}$ . Они являются изобарами (равные массовые числа). Воспользуемся отношениями сечений  $\pi^+$ ,  $\pi^-$ -мезонов и протонов на этих ядрах и сравним поведение таких отношений на различных пучках. Результат показан на рис.2, из которого видно, что зависимость отношений сечений от вида пучка практически отсутствует.

Фитирование величин отношений константой дает следующие результаты:

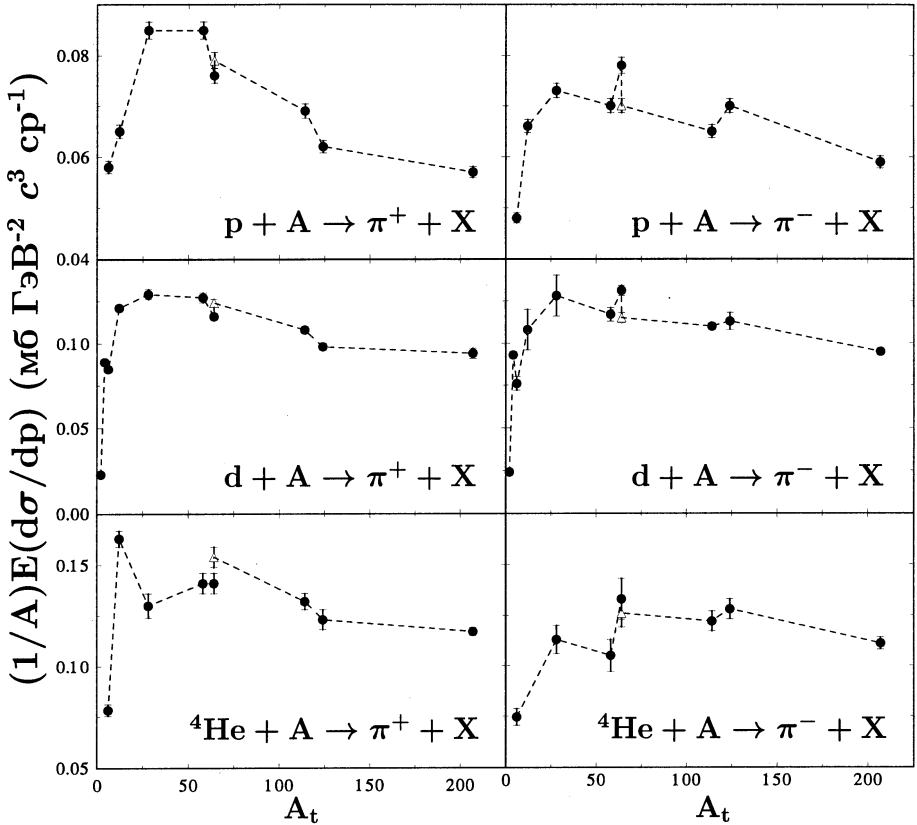


Рис. 1:  $A$ -зависимость инклюзивных сечений  $\pi^+$ - и  $\pi^-$ -мезонов на пучках протонов, дейтронов и  $\alpha$ -частиц с импульсами на нуклон 4,5 ГэВ/с. Импульс пионов 0,5 ГэВ/с, угол эмиссии  $120^\circ$ .  $A_t$  – массовое число ядер-мишеней. Символ  $\Delta$  обозначает ядро  $^{64}\text{Zn}$

$$\pi^- : 0,89 \pm 0,02, \chi^2=0,3; \pi^+ : 1,06 \pm 0,02, \chi^2=0,5; p : 1,09 \pm 0,02, \chi^2=0,8.$$

Из факта практического равенства отношений сечений протонов и  $\pi^+$ -мезонов на изотопах никеля и цинка (рис.2, импульс пионов и протонов 0,5 ГэВ/с) следовало ожидать, что такая ситуация проявится и для других импульсов протонов и пионов. Действительно, рис.3 подтверждает эти ожидания. Однако в этом случае (данные получены на пучке протонов с импульсом 8,9 ГэВ/с) сечения  $\pi^-$ -мезонов одинаковы на изотопах никеля и цинка в пределах экспериментальных ошибок, в отличие от данных на первичных пучках с импульсом 4,5 ГэВ/с. Фитирование константой дает:

$$\pi^- : 0,98 \pm 0,02, \chi^2=0,4; \pi^+ : 1,12 \pm 0,02, \chi^2=1,5; p : 1,12 \pm 0,02, \chi^2=1,3.$$

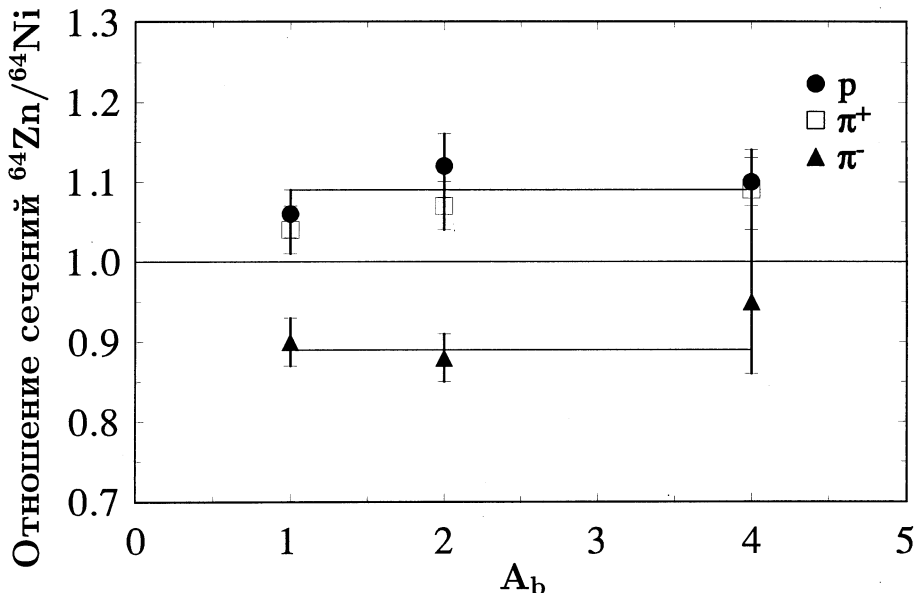


Рис. 2: Отношения сечений протонов и пионов на ядрах  $^{64}\text{Zn}$  и  $^{64}\text{Ni}$  в зависимости от вида пучка.  $A_b$  – массовое число ядер пучка. Все первичные пучки имеют одинаковые импульсы на нуклон 4,5 ГэВ/с, угол эмиссии  $120^\circ$

Заметим, что импульсному интервалу протонов и пионов 0,3÷0,7 ГэВ/с соответствуют интервалы кинетической энергии 47÷232 МэВ для протонов и 191÷574 МэВ для пионов. Этому же интервалу импульсов (пучок протонов 8,9 ГэВ/с, угол эмиссии  $120^\circ$ ) соответствуют значения масштабной переменной  $x = 0,6 \div 1,4$  для пионов и  $x = 1,2 \div 1,7$  для протонов (определение масштабной переменной  $x$ , традиционно используемой в исследованиях по кумулятивному рождению частиц, можно найти, например, в [6]). Нам представляется, что использование экспериментально измеряемых величин более наглядно демонстрирует полученные результаты. Можно заключить, что столь специфическое поведение отношений сечений пионов и протонов на ядрах с равными массовыми числами сохраняется на вдвое большем импульсе первичных протонов в интервале импульсов вторичных частиц 0,3÷0,7 ГэВ/с. По данным рис.2 и 3 можно говорить об изобарном эффекте в рождении пионов и протонов.

Одной из интересных характеристик в кумулятивном рождении является отношение сечений  $\pi^+/\pi^-$ -мезонов на ядрах. Как было установлено в различных экспериментах (см. работу [6] и ссылки в ней), это отношение близко к единице не только на изоскалярных ядрах, но и на ядрах с большим относительным содержанием нейтронов. Типичный пример — ядро Pb, где величина отношения

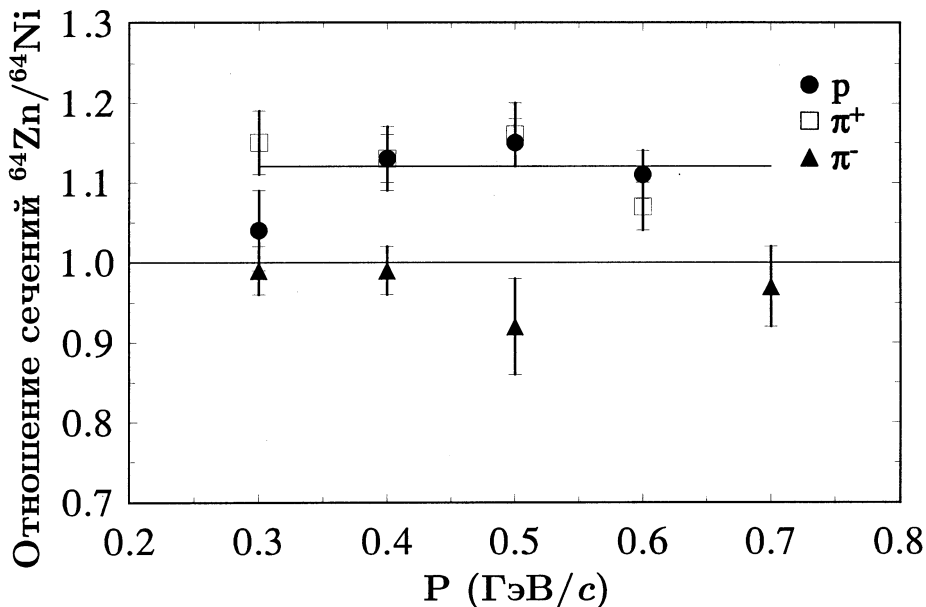


Рис. 3: Отношения сечений протонов и пионов на ядрах  $^{64}\text{Zn}$  и  $^{64}\text{Ni}$  в зависимости от импульсов частиц. Первичный пучок протонов 8,9 ГэВ/с, угол эмиссии  $120^\circ$

$N/Z = 1,5$ . Отличительной особенностью данной работы по изучению этой проблемы является специальный выбор фрагментирующих ядер-мишеней. Их нуклонный состав приведен в таблице:

Ядро-мишень	$Z$	$N$	$N/Z$	Обогащение, %
$^{58}\text{Ni}$	28	30	1,07	99,7
$^{64}\text{Ni}$	28	36	1,29	93,1
$^{64}\text{Zn}$	30	34	1,13	98,7
$^{114}\text{Sn}$	50	64	1,28	92,0
$^{124}\text{Sn}$	50	74	1,48	97,2

Полученные в работе отношения сечений  $\pi^+/\pi^-$  представлены на рис.4 в зависимости от импульса пионов. Как видно из рис.4, эти отношения весьма своеобразно выглядят на разных ядрах. Во-первых, имеются различия в величинах отношений при малых и больших импульсах пионов (это разделение чисто условное и обозначает в данном случае область импульсов до 0,5 ГэВ/с и выше). Заметим, что значение масштабной переменной  $x$  соответствует приблизительно единице для импульса пионов 0,5 ГэВ/с. Во-вторых, отсутствует корреляция между отношениями  $\pi^+/\pi^-$  и величинами  $N/Z$ . Отношения сечений пионов в области 0,5 ГэВ/с и выше равны или близки к единице для ядер

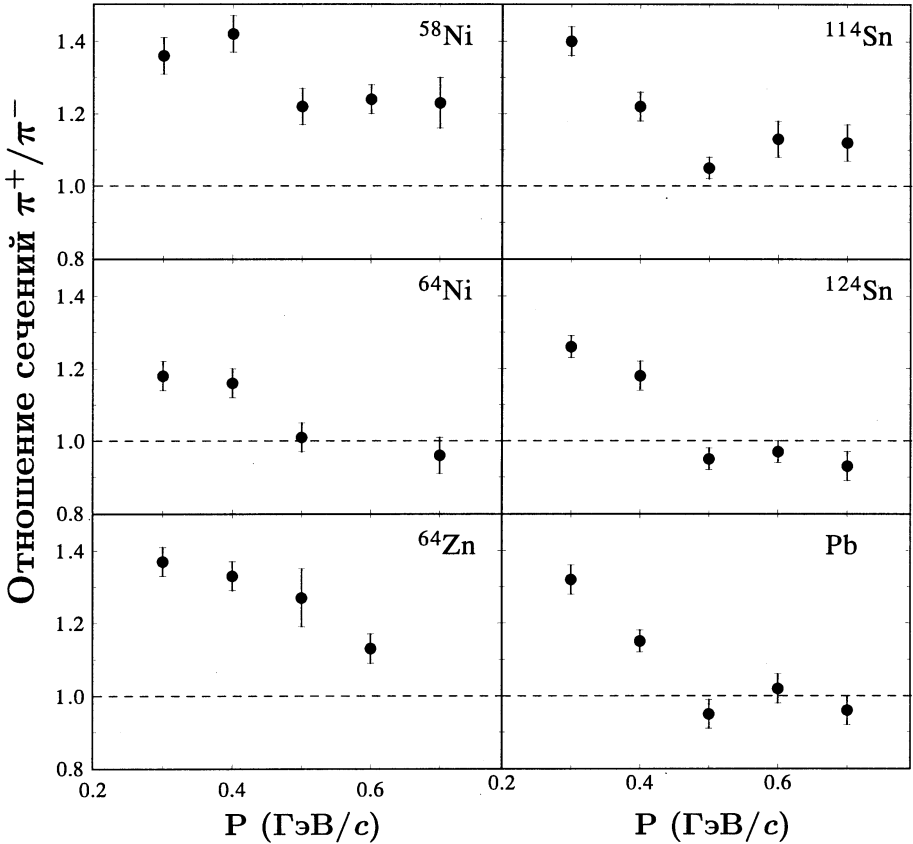


Рис. 4: Отношение сечений  $\pi^+/\pi^-$ -мезонов на различных ядрах в зависимости от импульса пионов. Первичный пучок протонов 8,9 ГэВ/с, угол эмиссии  $120^\circ$

Pb,  $^{124}\text{Sn}$ ,  $^{114}\text{Sn}$ ,  $^{64}\text{Ni}$ . Совсем непохожая ситуация на ядрах  $^{58}\text{Ni}$  и  $^{64}\text{Zn}$ . Таким образом, мы видим, что отношение сечений  $\pi^+/\pi^-$  в условиях данной работы зависит от импульсов пионов и конкретного вида ядер.

Имеющиеся данные по кумулятивному рождению пионов и протонов на первичном пучке протонов 8,9 ГэВ/с позволяют изучить поведение их инклюзивных сечений в зависимости от импульса на изотопах никеля, цинка и олова. Результаты представлены на рис.5 (пионы) и рис.6 (протоны). Можно видеть, что изотопический эффект в рождении пионов и протонов сохраняется в интервале импульсов  $0,3 \div 0,7$  ГэВ/с. Для наглядности на рисунках выделены точки, отвечающие ядру  $^{64}\text{Zn}$ .

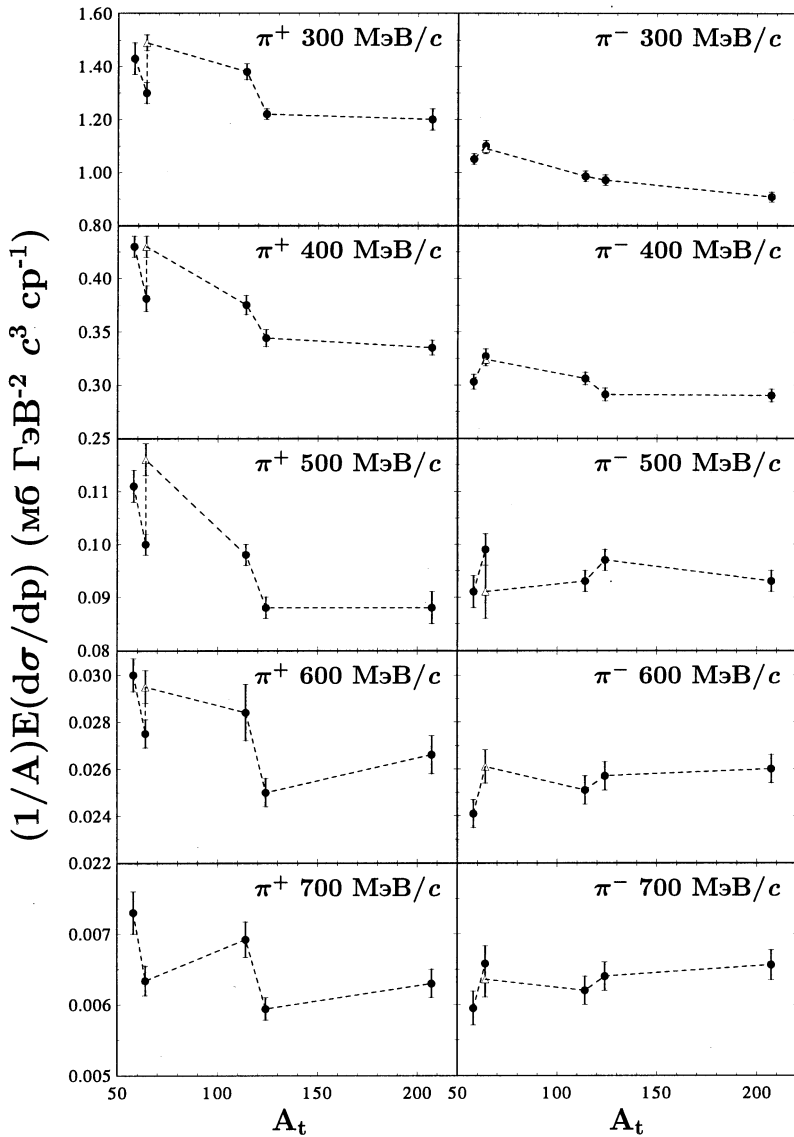


Рис. 5: Изотопический и изобарный эффекты в сечениях рождения пионов в зависимости от импульса. Первичный пучок протонов 8,9 ГэВ/с, угол эмиссии 120°. Символ  $\Delta$  обозначает ядро  $^{64}\text{Zn}$



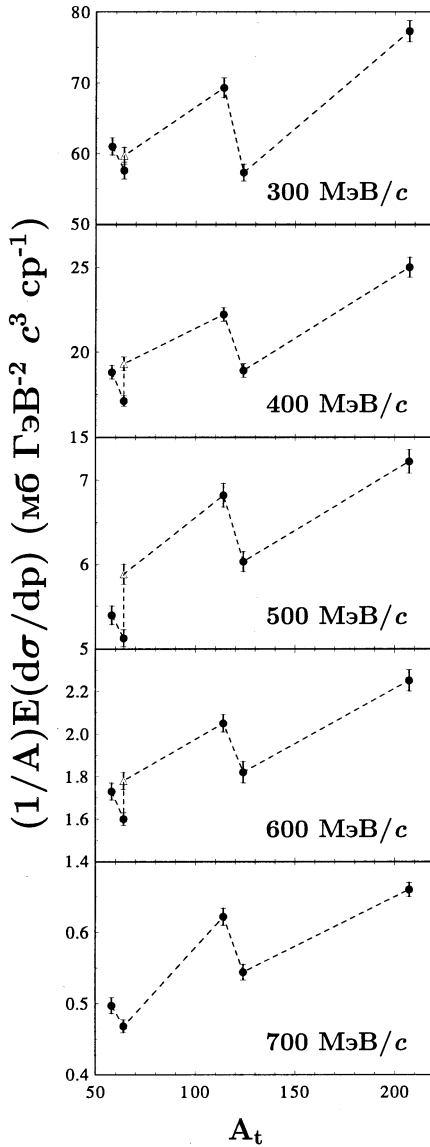


Рис. 6: Изотопический и изобарный эффекты в сечениях протонов в зависимости от импульса. Первичный пучок протонов 8,9 ГэВ/с, угол эмиссии 120°. Символ  $\Delta$  обозначает ядро  $^{64}\text{Zn}$

## Обсуждение результатов

Мы рассмотрели ряд фактов кумулятивного рождения частиц на разного вида первичных пучках и фрагментирующих ядрах. Большой набор фрагментирующих ядер-мишеней позволил наиболее полным образом измерить  $A$ -зависимость сечений рождения пионов и протонов. Сравнение результатов на пучках протонов и ядер показывает, что  $A$ -зависимости сечений пионов подобны. Поведение сечений на разделенных изотопах ядер указывает на детальное подобие, а по форме  $A$ -зависимости сечений пионов напоминает поведение удельной энергии связи ядер (максимум в области значений массовых чисел  $A \simeq 50 \div 60$ , спад по обе стороны максимума и нерегулярности на магических и близких к ним ядрах).

Такая форма  $A$ -зависимости сечений имеет место и по данным других работ, в которых проводились измерения на легких ядрах. Здесь отметим работу [10], где представлены экспериментальные данные по рождению пионов на пучках первичных протонов в интервале импульсов  $15 \div 65$  ГэВ/с,  $\vartheta = 159^\circ$ . В частности, сечения пионов с импульсами 250 МэВ/с и 500 МэВ/с на ядрах Be, C, Al, Ti, Mo, W показывают подобную форму  $A$ -зависимости. Более высокие импульсы пионов в этой работе не достаточно статистически обеспечены для изучения формы  $A$ -зависимости. В работе [11] получены данные по рождению пионов на пучке протонов 10 ГэВ под углом  $\vartheta = 119^\circ$  на ядрах Be, Al, Cu, Ta. По этим данным для импульса пионов 0,6 ГэВ/с (начальный импульс пионов в работе [11]) имеется превышение сечений в области  $A \simeq 50 \div 60$  и отсутствует для импульса пионов 1,077 ГэВ/с (сечения на нуклон на ядрах Cu и Ta одинаковы в пределах экспериментальных ошибок). На тех же пучках в работах [12, 13] имеются данные по рождению  $K^\pm$ -мезонов, однако большие ошибки в экспериментальных данных не позволяют сделать заключения относительно формы  $A$ -зависимости сечений каонов, хотя поведение сечений  $K^+$ - и  $K^-$ -мезонов в этих работах уверенно различается. В работе [14] на пучке протонов 10 ГэВ (угол эмиссии  $97^\circ$ ) измерены сечения рождения антипротонов. Согласно этим данным форма  $A$ -зависимости сечений аналогична пионной в интервале импульсов антипротонов  $0,6 \div 1,05$  ГэВ/с. Отметим также, что в наших работах [6, 8] имеются данные по рождению  $\pi^+$ -мезонов с импульсом 0,5 ГэВ/с ( $120^\circ$ ) на пучке ядер углерода с импульсом на нуклон 4,5 ГэВ/с. Форма  $A$ -зависимости сечения пионов подобна той, что была получена на пучках протонов, дейтронов и гелия (рис.1).

Согласно полумпирической формуле для энергии связи ядер, форма кривой определяется совместным вкладом объемной энергии, поверхностной энергии, энергии симметрии и кулоновской энергии. Возможно, что форма  $A$ -зависимости сечения рождения пионов, полученная в данной работе, определяется действием тех же факторов.  $A$ -зависимость сечений протонов имеет отличное от пионов поведение и является растущей функцией массового числа ядер (рис.1).

Обратимся к результатам на изотопически обогащенных ядрах. Их характеристики содержатся в вышеприведенной таблице. Как видно из нее, имеют-

ся две пары изотопов и одна пара изобар. Изменение числа нейтронов (числа  $nn$ -пар) при неизменном заряде ядра приводит к изотопическому эффекту в рождении пионов и протонов. Замена  $pp$ -пары на  $nn$ -пару в случае ядер  ${}^{64}\text{Ni}$ ,  ${}^{64}\text{Zn}$  приводит к изобарному эффекту для пионов и протонов. В добавление к этому заметим, что в работе [15] обнаружен изотонический эффект (независимость выхода нейтронов от избыточного содержания протонов в ядре). Таким образом, в изучаемых процессах проявились все имеющиеся типы ядер. Характерный масштаб этих эффектов составляет величину  $10 \div 20\%$ . В частности, различие в величинах сечений для положительных частиц (протонов и  $\pi^+$ -мезонов, рис.2) составляет около 10% и сравнимо по величине с отношением зарядов ядер  ${}^{64}\text{Zn}$  и  ${}^{64}\text{Ni}$ , равным 1,07. Для  $\pi^-$ -мезонов различие в сечениях на тех же ядрах составляет  $\simeq 0,9$  при отношении нейтронов в них, равном 0,94. В целом сечения  $\pi^+$ - и  $\pi^-$ -мезонов на ядрах  ${}^{64}\text{Zn}$  и  ${}^{64}\text{Ni}$  отличаются приблизительно на 20%. Как видно из рис.3, изобарный эффект не зависит от импульсов пионов и протонов, не исчезает на вдвое большем импульсе первичных протонов и по масштабу величины составляет  $\simeq 10\%$ . Отметим также, что в работе [16] на пучке протонов 8,9 ГэВ/с (угол эмиссии  $180^\circ$ ) наблюдался изобарный эффект в рождении протонов с импульсом 0,5 ГэВ/с на ядрах  ${}^{58}\text{Ni}$  и  ${}^{58}\text{Fe}$ . Его величина составила  $1,14 \pm 0,04$ , что сравнимо с данными настоящей работы.

В большем масштабе эти эффекты проявляются в отношениях сечений  $\pi^+/\pi^-$ -мезонов на специально выбранной группе ядер  ${}^{58}\text{Ni}$ ,  ${}^{64}\text{Ni}$ ,  ${}^{64}\text{Zn}$ ,  ${}^{114}\text{Sn}$ ,  ${}^{124}\text{Sn}$ ,  $\text{Pb}$  (рис.4). Как уже отмечалось, в этом случае присутствуют оба эффекта, поразному зависящие от импульсов пионов.

Поскольку отмеченные эффекты относятся к заряженным частицам, естественно предположить, что они обусловлены электромагнитным взаимодействием, которое различает частицы по знаку электрического заряда. Вряд ли это взаимодействие является чисто кулоновским, так как не обнаруживается зависимости от вида и энергии первичных пучков в условиях данной работы. Отсутствует и зависимость вторичных частиц от их импульсов в измеренном диапазоне. Изотопический эффект имеет одинаковый масштаб на изотопах никеля и олова, существенно различающихся по величинам зарядов ядер (см. таблицу). Изменение заряда первичных пучков (протоны и ядра гелия, рис.2) не влияет на масштаб эффекта.

Кулоновские эффекты исследовались в работе [17] для процесса  $\text{Ne} + \text{NaF} \rightarrow \pi^\pm$  при энергиях 380 и 164 МэВ/нуклон и ряда других процессов с регистрацией протонов и нейтронов. В цитируемой работе в рамках файербольной модели рассчитаны кулоновские поправки к величинам отношений  $\pi^-/\pi^+$  и  $n/p$ . Кинематические условия нашей работы существенно отличаются от рассмотренных в [16], и здесь необходимы соответствующие расчеты применительно к конкретным условиям эксперимента в рамках определенной модели кумулятивного рождения.

Совокупность результатов, полученных в данной работе, вполне определенно указывает на заметную роль ядерной структуры, которая должна, на наш

взгляд, приниматься в расчет в теоретическом описании процессов кумулятивного рождения в адрон-ядерных и ядро-ядерных взаимодействиях. Детальное исследование  $A$ -зависимости сечений пионов и протонов свелось, в сущности, к исследованию свойств ядра как связанной системы. Изотопический и изобарный эффекты, отражающие эти свойства, оказались не зависящими как от характеристик и энергии используемых пучков, так и от импульсов пионов и протонов. Единственной характеристикой, своеобразно зависящей от импульсов, оказалось отношение сечений  $\pi^+$ - и  $\pi^-$ -мезонов на специально выбранной группе ядер. Вопрос о том, насколько универсальны обнаруженные эффекты, нуждается в дальнейших исследованиях. Очевидным продолжением могло бы стать расширение спектра регистрируемых частиц ( $K^\pm$ -мезоны и антипротоны), увеличение заряда налетающих ядер и, напротив, использование пучков нейтронов для исключения электромагнитного взаимодействия в начальной стадии. Более подробно эти вопросы изложены в работе [6].

Другими процессами, где ядерные эффекты на изотопически обогащенных ядрах-мишенях могут проявиться в большей мере, являются процессы фрагментации и мультифрагментации. Указание на проявление изотопических эффектов в таких процессах было получено еще в работе [18] при изучении образования фрагментов  ${}^3\text{H}$ ,  ${}^3\text{He}$ ,  ${}^4\text{He}$ ,  ${}^6\text{Li}$  и  ${}^7\text{Li}$  на изотопах никеля и олова (первичный пучок протонов 660 МэВ).

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант 96-02-17207.

## Заключение

Основные результаты настоящей работы заключаются в следующем:

1. Инклюзивные сечения рождения  $\pi^\pm$ -мезонов на расширенном наборе фрагментирующих ядер не описываются простой степенной зависимостью типа  $A^n$ , а имеют поведение, подобное поведению удельной энергии связи ядер. Такое поведение сечений пионов имеет место и по данным других работ.
2. Инклюзивные сечения рождения  $\pi^\pm$ -мезонов с импульсом 0,5 ГэВ/с на изобарах  ${}^{64}\text{Zn}$  и  ${}^{64}\text{Ni}$  различаются приблизительно на 20% независимо от вида пучков (протоны, дейтроны,  $\alpha$ -частицы с импульсами на нуклон 4,5 ГэВ/с).
3. Инклюзивные сечения рождения  $\pi^+$ -мезонов и протонов на пучке протонов с импульсом 8,9 ГэВ/с различаются на изобарах  ${}^{64}\text{Zn}$  и  ${}^{64}\text{Ni}$  и одинаковы для  $\pi^-$ -мезонов в пределах экспериментальных ошибок. Такая ситуация имеет место в интервале импульсов  $0,3 \div 0,7$  ГэВ/с.
4. Отношения сечений рождения  $\pi^+$ - и  $\pi^-$ -мезонов на ядрах  ${}^{58}\text{Ni}$ ,  ${}^{64}\text{Ni}$ ,  ${}^{64}\text{Zn}$ ,  ${}^{114}\text{Sn}$ ,  ${}^{124}\text{Sn}$ , Pb зависят от импульсов пионов и типа ядер.

5. Изотопический и изобарный эффекты в рождении пионов и протонов на первичном пучке протонов с импульсом 8,9 ГэВ/с сохраняются в интервале импульсов  $0,3 \div 0,7$  ГэВ/с.

## Список литературы

- [1] А.М.Балдин.— ЭЧАЯ, 1977, т.8, вып.3, с.429.
- [2] В.С.Ставинский.— ЭЧАЯ, 1979, т.10, вып.5, с.949.
- [3] В.К.Лукьянов, А.И.Титов.— ЭЧАЯ, 1979, т.10, вып.4, с.815.
- [4] М.И.Стрикман, Л.Л.Франкфурт.— ЭЧАЯ, 1980, т.11, с.571.
- [5] А.В.Ефремов.— ЭЧАЯ, 1982, т.13, вып.3, с.613.
- [6] В.К.Бондарев.— ЭЧАЯ, 1997, т.28, вып.1, с.13.
- [7] Т.В.Аверичева и др.— ОИЯИ, 1-11317, Дубна, 1978.
- [8] V.K.Bondarev et al.— JINR, E1-93-84, Dubna, 1993.
- [9] В.К.Бондарев и др.— Труды VIII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий, Дубна, 1986, с.243.
- [10] O.P.Gavrishcuk et al.— JINR Rapid Communications, 1992, 4(55)-92, p.4.
- [11] С.В.Бояринов и др.— ЯФ, 1987, т.46, с.1472.
- [12] И.М.Беляев и др.— ЯФ, 1993, т.56, вып.10, с.135.
- [13] С.В.Бояринов и др.— ЯФ, 1989, т.50, с.1605.
- [14] С.В.Бояринов и др.— ЯФ, 1991, т.54, с.119.
- [15] В.Б.Гаврилов и др.— Препринт ИТЭФ-121, Москва, 1985.
- [16] А.М.Балдин и др.— Сообщение ОИЯИ P1-83-432, Дубна, 1983.
- [17] M.Gyulassy and S.K.Kauffmann.— Nucl. Phys. A362 (1981), p.503.
- [18] В.И.Богатин и др.— ЯФ, 1974, т.19, с.32.

Рукопись поступила в издательский отдел  
28 апреля 2000 года.

Бондарев В.К. и др.

P1-2000-94

*A*-зависимость сечений кумулятивного рождения пионов и протонов в адрон-ядерных и ядро-ядерных взаимодействиях

Изучено поведение инклюзивных сечений кумулятивного рождения  $\pi^\pm$ -мезонов и протонов в зависимости от массового числа фрагментирующих ядер в *pA*-, *DA*-,  $\alpha A$ -взаимодействиях. Импульсы первичных пучков составляли 4,5 ГэВ/с на нуклон. Вторичные пионы и протоны регистрировались под углом  $120^\circ$  с фиксированным импульсом 0,5 ГэВ/с. Фрагментирующими ядрами служили *D*, He,  ${}^6\text{Li}$ ,  ${}^7\text{Li}$ , C, Si,  ${}^{58}\text{Ni}$ ,  ${}^{64}\text{Ni}$ ,  ${}^{64}\text{Zn}$ ,  ${}^{114}\text{Sn}$ ,  ${}^{124}\text{Sn}$ , Pb. На пучке протонов с импульсом 8,9 ГэВ/с измерены энергетические спектры  $\pi^\pm$ -мезонов и протонов в импульсном интервале  $0,3 \div 0,7$  ГэВ/с (угол эмиссии  $120^\circ$ ) на изотопах никеля, цинка и олова. Обнаружены и обсуждаются интересные особенности в поведении сечений, проводится сравнение с результатами других работ.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2000

Перевод авторов

Bondarev V.K. et al.

P1-2000-94

*A*-Dependence of Pion and Proton Cumulative Production Cross-Sections in Hadron-Nucleus and Nucleus-Nucleus Interactions

The paper is devoted to the behavior of inclusive cross-sections of pion and proton cumulative production in dependence of atomic mass number of fragmenting nuclei in *pA*-, *DA*-,  $\alpha A$ -interactions. The momentum of primary beams was equal to 4.5 GeV/c per nucleon. The secondary pions and protons were detected at emission angle of  $120^\circ$  with fixed momentum equal to 0.5 GeV/c. The fragmenting nuclei were *D*,  ${}^4\text{He}$ ,  ${}^6\text{Li}$ ,  ${}^7\text{Li}$ , C, Si,  ${}^{58}\text{Ni}$ ,  ${}^{64}\text{Ni}$ ,  ${}^{64}\text{Zn}$ ,  ${}^{114}\text{Sn}$ ,  ${}^{124}\text{Sn}$ , Pb. The ratio of inclusive cross-sections of  $\pi^+ / \pi^-$ -mesons in the momentum range of  $0.3 \div 0.7$  GeV/c (the emission angle is equal to  $120^\circ$ ) was measured for Ni, Zn, Sn isotopes using an 8.9 GeV/c proton beam. Peculiar details of the cross-section behavior are found and discussed. The results are compared with the available published data.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2000

Редактор Е.В.Калинникова. Макет Н.А.Киселевой

Подписано в печать 30.05.2000

Формат 60 × 90/16. Офсетная печать. Уч.-изд. листов 1,35

Тираж 375. Заказ 52050. Цена 1 р. 62 к.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований  
Дубна Московской области