

В.К.Бондарев\*, П.И.Зарубин, А.Г.Литвиненко, А.А.Мозелев,  
Н.С.Мороз, Ю.А.Панебратцев, С.В.Рихвицкий, В.С.Ставинский,  
Г.Б.Хоршева, А.Н.Хренов

**A -ЗАВИСИМОСТЬ СЕЧЕНИЙ КУМУЛЯТИВНОГО РОЖДЕНИЯ  
 $\pi$  -МЕЗОНОВ В ПРОТОН-ЯДЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ**

Приведены результаты исследований образования пионов на ядрах в области, кинематически запрещенной для нуклон-нуклонных столкновений. Результаты получены на магнитном спектрометре "ДИСК", работающем на выведенном пучке синхрофазотрона ЛВЭ ОИЯИ. Изучены A-зависимости сечений кумулятивного рождения отрицательных пионов во взаимодействии протонов с импульсом 8,9 ГэВ/с с ядрами. Измерения проведены для значений кумулятивного числа  $X = 1,3$  /более двадцати ядер/ и  $X = 2,1$  /десять ядер/. Данные могут быть использованы при планировании экспериментов по исследованию A-зависимости сечений глубоконеупругого лептон-ядерного рассеяния в кинематически запрещенной области.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

**A -Dependence of  $\pi$ -Meson Cumulative Production  
Cross Sections in Proton-Nuclear Collisions  
Bondarev V.K. et al.**

Some results on the pion production on nuclei in a region kinematically forbidden for nucleon-nucleon collisions are presented. The results have been obtained on the "DISK" magnetic spectrometer operating on the extracted beam of JINR synchrophasotron. A-dependences of negative pion production cross sections in 8,9 GeV/c proton interaction with nuclei are presented. Measurements were performed for the cumulative number  $X = 1,3$  (more than 20 nuclei) and  $X = 2,1$  (10 nuclei). The data obtained can be used for planning experiments on the investigation of

---

\* Научно-исследовательский институт физики Ленинградского государственного университета

A-dependence of deep inelastic lepton-nuclear scattering cross sections in a kinematically forbidden region.

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

Изучение процессов кумулятивного мезообразования в адрон-ядерных взаимодействиях <sup>1,2/</sup>, т.е. закономерностей рождения частиц в области предельной фрагментации ядер за пределами кинематики однонуклонных столкновений, привело к наблюдению A-зависимостей сечений, существенно отличающихся от простой зависимости типа  $A^{2/3}$ , которой подчиняется подавляющая часть сечений взаимодействия частиц и ядер с ядрами. Нетривиальные зависимости от атомного веса характеризуют также процессы рождения частиц с большими поперечными импульсами в адрон-ядерных взаимодействиях <sup>3/</sup>. В последние несколько лет широко обсуждаются результаты Европейской мюонной коллаборации <sup>4/</sup> и СЛАК <sup>5,6/</sup>, в которых обнаружено отклонение от пропорциональной атомному весу зависимости сечений, которую можно было ожидать в случае глубоконеупругого рассеяния лептонов на квазисвободных нуклонах ядра.

Упомянутые выше результаты свидетельствуют о том, что структурная функция ядра не может быть сведена к простой суперпозиции однонуклонных структурных функций. В различных кинематических областях доминирует вклад различных механизмов реакции, однако в кумулятивной области, когда рожденные во взаимодействии адронов с ядрами мезоны несут импульс группы нуклонов фрагментирующего ядра, очевидно, что мы имеем дело с мультикварковыми состояниями, которые существуют в ядрах наряду с нуклонами <sup>7/</sup>. Подробные измерения A-зависимости глубоконеупругого электрон-ядерного рассеяния <sup>6/</sup> относятся к значениям масштабной переменной, меньшим 0,9. Поэтому единственными в настоящее время данными, отвечающими на вопрос о высокоимпульсной компоненте структурной функции ядра, являются данные по кумулятивному мезообразованию.

Эксперимент был выполнен на выведенном пучке синхротрона ОИЯИ при помощи установки ДИСК-2, подробное описание которой содержится в <sup>8/</sup>. Первичные частицы - протоны с импульсом 3,9 ГэВ/с. Регистрируемые вторичные частицы -  $\pi^-$ -мезоны. Магнитно-оптический канал спектрометра состоял из анализирующего магнита и дублета квадрупольных линз, формирующих пучок вторичных частиц. Импульсное разрешение спектрометра 8% /полная ширина на половине высоты/. Аксептанс установки  $4,4 \cdot 10^{-5}$  ср. Идентификация пионов осуществлялась путем независимых измерений времени пролета на двух базах /3,8 м и 1 м/. Среднеквадратичная ошибка

измерений составляет 260 пс. Для повышения надежности идентификации частиц велось измерение интенсивности излучения Вавилова-Черенкова в двух твердых радиаторах.

Было выполнено две группы измерений. Первый набор данных соответствовал импульсу 500 МэВ/с и углу эмиссии 168°. Здесь использовались следующие ядра:  ${}^6\text{Li}$ ,  ${}^7\text{Li}$ ,  $\text{Be}$ ,  $\text{C}$ ,  $\text{Mg}$ ,  $\text{Al}$ ,  $\text{Si}$ ,  ${}^{54}\text{Fe}$ ,  ${}^{56}\text{Fe}$ ,  ${}^{58}\text{Fe}$ ,  ${}^{58}\text{Ni}$ ,  ${}^{61}\text{Ni}$ ,  ${}^{64}\text{Ni}$ ,  $\text{Cu}$ ,  ${}^{64}\text{Zn}$ ,  ${}^{112}\text{Sn}$ ,  ${}^{118}\text{Sn}$ ,  ${}^{124}\text{Sn}$ ,  ${}^{144}\text{Sm}$ ,  ${}^{154}\text{Sm}$ ,  ${}^{182}\text{W}$ ,  ${}^{186}\text{W}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{U}$ . Второй набор данных соответствовал импульсу 800 МэВ/с и углу эмиссии 162°. В этом случае измерения были проведены на ядрах  ${}^6\text{Li}$ ,  $\text{Be}$ ,  $\text{C}$ ,  $\text{Al}$ ,  $\text{Cu}$ ,  ${}^{114}\text{Sn}$ ,  ${}^{124}\text{Sn}$ ,  $\text{Sn}$ ,  $\text{W}$ ,  $\text{Pb}$ . В дальнейшем мы будем обсуждать отношение нормированных на нуклон фрагментирующего ядра выходов пионов в инклюзивной реакции  $p + A \rightarrow \pi^- + \dots$  на различных ядрах ( $\sigma_A$ ) к этой же величине, полученной для ядра свинца ( $\sigma_{\text{Pb}}$ ).

Выход пионов вычисляется через экспериментально измеряемые величины следующим образом:

$$\sigma_A = \frac{1}{A \ell k_A} \left[ \frac{N_\pi(A)}{M_p(A)} - \frac{N_\pi(\Phi)}{M_p(\Phi)} \right], \quad /1/$$

где  $N_\pi(A)$  - число пионов от мишени  $A$  толщиной  $\ell_A$  /в мб $^{-1}$ /,  $N_\pi(\Phi)$  - число пионов в опыте с фоновым измерением,  $M_p(A)$  и  $M_p(\Phi)$  - мониторный счет для рабочего и соответствующего ему фонового измерения. Использование отношения  $\sigma_A/\sigma_{\text{Pb}}$ , полученного в одной группе измерений, позволяет исключить неопределенности, связанные с абсолютной нормировкой мониторного телескопа, а также неопределенности, связанные с расчетом поправок на взаимодействие пионов с веществом спектрометра. Для проверки стабильности работы аппаратуры проведено по несколько измерений для каждой мишени, которые совпадали в пределах статистических точностей и поэтому были усреднены.

В формуле /1/ величина  $k_A$  - расчетная поправка на изменение импульса частицы в мишени из-за ионизационных потерь. В измерениях на импульсе 500 МэВ/с были использованы мишени из фольг, их толщина не превышала 0,5 г/см $^2$ . Величины поправок в этом случае были меньше 1%. В случае измерения на 800 МэВ/с использовались мишени толщиной от 1,5 до 4 г/см $^2$ . Величины поправок на толщину мишени менялись от 3 до 6%.

В табл.1 и 2 приведены измеренные величины отношений  $\sigma_A/\sigma_{\text{Pb}}$ .

Зная четырехимпульс налетающего протона и четырехимпульс вторичного пиона, можно, исходя из законов сохранения энергии импульса и квантовых чисел, определить минимальную массу покоящейся мишени, которая необходима для

Таблица 1  
 Величина отношения  $\sigma_A/\sigma_{Pb}$  для импульса  $\pi^-$ -мезонов  
 500 МэВ/с и угла эмиссии  $168^\circ$

A	<sup>6</sup> Li	<sup>7</sup> Li	Be	C	Mg	Al	Si	<sup>54</sup> Fe	<sup>56</sup> Fe	<sup>58</sup> Fe	<sup>60</sup> Fe	<sup>61</sup> Ni	<sup>64</sup> Ni	Cu	Zn	<sup>112</sup> Sn	<sup>118</sup> Sn	<sup>124</sup> Sn	<sup>141</sup> Sm	<sup>147</sup> Sm	<sup>152</sup> Sm	<sup>162</sup> W	<sup>186</sup> W	Pb	<sup>238</sup> U
$\bar{\sigma}(A)$	0,66	0,65	0,62	0,81	0,67	0,89	0,97	0,95	1,07	0,90	0,97	0,96	1,04	1,04	0,96	1,06	1,07	1,09	1,01	1,09	1,12	1,09	1,00	0,95	0,96
$\bar{\sigma}(Pb)$	0,04	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,02	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,02	0,02	0,03

Таблица 2  
 Величина отношения  $\sigma_A/\sigma_{Pb}$  для импульса  $\pi^-$ -мезонов  
 800 МэВ/с и угла эмиссии  $162^\circ$

A	<sup>6</sup> Li	Be	C	Al	Cu	<sup>118</sup> Sn	<sup>114</sup> Sn	<sup>124</sup> Sn	W	Pb
$\bar{\sigma}(A)/\bar{\sigma}(Pb)$	0,16±0,18	0,47±0,19	0,69±0,16	1,07±0,19	1,29±0,22	1,09±0,18	1,29±0,35	1,26±0,36	1,04±0,22	1,00±0,21

рождения вторичной частицы с этими кинематическими характеристиками. В нашем эксперименте в первом случае минимальная масса мишени X /выраженная в числе нуклонных масс/ равна 1,3, во втором - 2,1.

Зависимость отношения сечений на нуклон от атомного веса ядра при X=1,3 /рис.1/, а именно рост сечения с ростом A при A < 30, отличается от зависимости, полученной в СЛАК для значений масштабной переменной меньше 1, где с ростом A отношение сечений /структурных функций/ уменьшается. Это говорит о смене механизма в кумулятивной области. Качественно такое поведение указывает на то, что во всех легких ядрах вплоть до A ≈ 20 мультикварковые конфигурации отличаются друг от друга и сильно - от мультикварковых конфигураций тяжелых ядер.

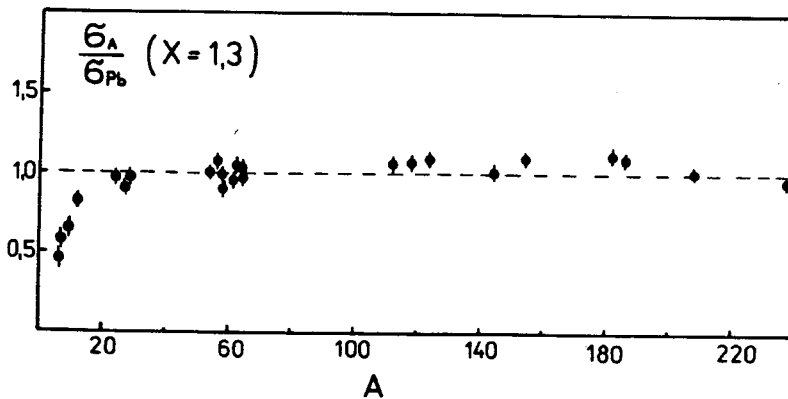


Рис. 1

На рис.2 представлена зависимость отношения сечений от атомного веса фрагментирующего ядра при  $X = 2,1$ . Из результатов измерений видно, что поведение исследуемого отношения в том и другом случаях подобно. Отметим, что абсолютное значение нормированного на нуклон инвариантного дифференциального сечения рождения  $\pi^-$ -мезонов при 500 МэВ/с и  $168^\circ$  равно  $2,97 \pm 0,11 \cdot 10^{-2}$ , а при 800 МэВ/с и  $168^\circ$   $-6,1 \pm 0,45 \cdot 10^{-5}$ , т.е. отличаются примерно в 500 раз.

Таким образом, в работе получена  $A$ -зависимость сечений кумулятивного рождения пионов. В настоящее время эти данные являются единственными и могут быть рассмотрены как экспериментальное предсказание для исследования  $A$ -зависимости сечений глубоконеупругого лептон-ядерного рассеяния в кинематически запрещенной области.

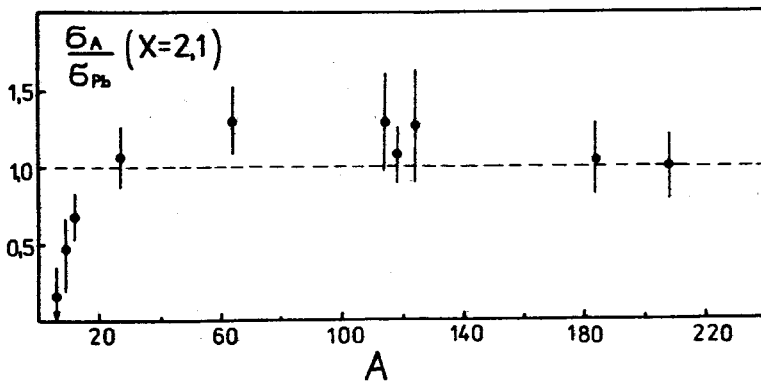


Рис. 2

### Литература

1. Балдин А.М. и др. ЯФ, 1974, т. 20, с. 1201; Baldin A.M. et al. JINR, E1-82-472, Dubna, 1982.
2. Schroeder L.S. et al. Phys.Rev.Lett., 1979, vol. 43, p. 1787.
3. Cronin J.W. et al. Phys.Rev.D., 1975, vol.11, p. 3105.
4. Aubert J.J. et al. Phys.Lett., 1983, vol. 123B, p.275.
5. Bodek A. et al. Phys.Rev.Lett., 1983, vol.50, p. 1431.
6. Arnold R.G. et al. Phys.Rev.Lett., 1984, vol. 52, p. 727.
7. Балдин А.М. и др. ОИЯИ, 1-84-185, Дубна, 1984.
8. Аверичева Т.В. и др. ОИЯИ, 1-11317, Дубна, 1978.

Рукопись поступила 2 ноября 1984 года.