

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



21/3-74

P1 - 10275

Б-287

1018/2-74

Ю.А.Батусов, И.Ф.Гришашвили, Д.Д.Джалагания,  
Н.И.Костанашвили, Г.И.Лебедев

ОБРАЗОВАНИЕ ПИОНОВ ПРОТОНАМИ  
С ЭНЕРГИЕЙ 660 МэВ НА ЯДРАХ

**1976**

P1 - 10275

Ю.А.Батусов, И.Ф.Гришашвили,\* Д.Д.Джалагания,\*  
Н.И.Костанашвили,\* Г.И.Лебедевич\*

ОБРАЗОВАНИЕ ПИОНОВ ПРОТОНАМИ  
С ЭНЕРГИЕЙ 660 МЭВ НА ЯДРАХ

*Направлено в ЯФ*

---

\* Тбилисский государственный университет

Багусов Ю.А., Гришашвили И.Ф., Джалагания Д.Д.  
и др.

P1 - 10275

Образование пионов протонами с энергией 660 МэВ на ядрах

С помощью ядерных фотозмульсий получены энергетические спектры пионов, образованных под углом  $105^\circ$  на ядрах С, Al, Cu и Pb протонами с энергией 660 МэВ.

Сравнены относительные сечения генерации медленных пионов на разных ядрах с расчётными, полученными с учётом их кулоновских и ядерных взаимодействий внутри родительских ядер. Определены зависимости сечений от атомного номера ядра для разных энергий пионов.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований  
Дубна 1976

Batusov Yu.A., Grishashvili I.F.,  
Dzhalaganiya D.D.

P1 - 10275

Pion Production by 660 MeV Protons on Nuclei

The energy spectra of pions produced at an angle of  $105^\circ$  on C, Al, Cu, and Pb nuclei by 660 MeV protons were obtained using nuclear photoemulsions.

The relative cross sections of the slow pion generation on different nuclei were compared with the calculated cross sections obtained taking into account their Coulomb and nuclear interactions inside the parent nuclei. The cross section dependencies on the atomic number of the nuclei were determined for various pion energies.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research

Dubna 1976

Исследование процесса образования пионов на ядрах может дать информацию о механизме генерации, структуре ядра, внутриядерном взаимодействии пионов, импульсном распределении нуклонов в ядре и др.

По изучению мезонообразования на ядрах протонами средних энергий проведен ряд экспериментов /1-9/. Однако во всех этих работах использован метод магнитного анализа, который был не очень эффективен для определения энергетического спектра пионов относительно низких энергий /до  $\sim 70$  МэВ/, что обусловлено трудностью отличия пионов от мюонов и большой долей примеси распадных мюонов в пучке пионов, образованных из-за больших протяженностей установок.

Для определения спектра пионов, образованных протонами с энергией 660 МэВ на ядрах, при больших углах, когда основная часть пионов имеет энергию меньше 100 МэВ, нами использован метод ядерных фотоэмульсий. Кроме однозначности визуальной идентификации пионов, хорошее энергетическое разрешение в эксперименте дает возможность получить детальную картину спектров.

Эксперимент поставлен на синхроциклотроне ОИЯИ в Дубне. На пути пучка протонов с энергией 660 МэВ были помещены мишени. В качестве мишеней использовались ядра С, Al, Си и Рь. Интенсивность пучка составляла  $8,2 \cdot 10^8$  прот/с. Толщины мишеней были выбраны так, чтобы пионы имели примерно одинаковые ионизационные потери в них. Для уменьшения пробегов пионов в мишени и соответственно - ионизационных потерь, мишени ставились под углом  $45^\circ$  к первичному пучку протонов.

Пионы, образованные во взаимодействиях протонов с ядрами, выводились коллиматорами, которые имели форму параллелепипедов длиной 200 мм и сечением  $12 \times 40 \text{ мм}^2$ . Расстояние от центра мишени до коллиматора составляло 20 см. За коллиматорами помещались фотоэмульсионные камеры /эмульсия типа НИКФИ БР/ размерами  $20 \times 35 \times 200 \text{ мм}^3$ . Облучения проводились при углах  $105^\circ$  и  $150^\circ$ .

Для определения фона были проведены две контрольные экспозиции в аналогичных геометрических условиях, но без мишени.

Размеры мишеней и времена экспозиций приведены в табл. 1.

Таблица 1

Ядра	Время экспозиции, с	Толщина мишени, мм
C	150	2,6
Al	210	2,0
Cu	150	1,1
Pb	255	1,0
фон	600	-
фон	300	-

Фотоэмульсионные камеры просматривались под микроскопом с увеличением  $10 \times 10 \times 1,5$ . Регистрировались остановки  $\pi^+$ -мезонов по характерному виду распада  $\pi \rightarrow \mu \rightarrow e$  и  $\pi^-$ -мезонов по звездам захвата /на безлучевые остановки вводилась поправка/. На фотослоях просматривались полоски шириной в 20 и длиной 110 мм. Число просмотренных пластинок и найденных случаев остановок пионов для угла  $105^\circ$  приведены в табл. 2 Энергии пионов определялись по пробегу в фотоэмульсии.

В энергетических спектрах пионов кроме поправок на эффективность просмотра, эффективный объем мишени, на распад пионов на лету, ядерные взаимодействия и рассеяния пионов в фотоэмульсии /10/, учтена также поправка на рассеяние пионов на стенках коллиматора.

Эта поправка должна учитывать пионы, образованные вне телесного угла, вырезаемого геометрией установки, и попавшие в эмульсионные камеры вследствие рассеяния на стенках коллиматора.

Для определения указанной поправки были прослежены следы остановившихся в просматриваемой части фотоэмульсионной камеры пионов, имеющих остаточные пробеги, соответственно равные:  $1 \text{ см} / E_{\pi} = 23,4 \text{ МэВ/}$ ,  $4 \text{ см} / E_{\pi} = 53,8 \text{ МэВ/}$  и  $8 \text{ см} / E_{\pi} = 83,2 \text{ МэВ/}$ . Всего на  $1 \text{ см}$  прослежено 120 следов, на  $4 \text{ см}$  - 87 следов и на  $8 \text{ см}$  - 29 следов. Следы пионов прослеживались от остановки до 200-300 мкм от входа в эмульсионную

Таблица 2

Ядра	Число просм. пластинок	Число найденных случаев	
		$\pi^+$ - мезоны	$\pi^-$ - мезоны
C	14	4720	635
Al	14	5074	1047
Cu	12	2578	709
Pb	5	1150	492
Фон	9	181	231

камеру. Измерялись координаты входа следа в эмульсионную камеру и углы относительно плоскости эмульсии и в самой плоскости относительно фиксированного направления. По этим данным, исходя из геометрии эксперимента, мы определяли доли частиц, направленных на мишень и стенки коллиматора. Поправка к спектру пионов определялась как отношение числа пионов, направленных на мишень, к числу прослеженных следов.

Кочраном и др.<sup>/9/</sup> в эксперименте по образованию пионов на протонах и ядрах протонами с энергией 730 МэВ определена указанная поправка при телесных углах, близких нашим. Эти данные совместно с нашими приведены на рис. 1. Как видно, согласие между ними

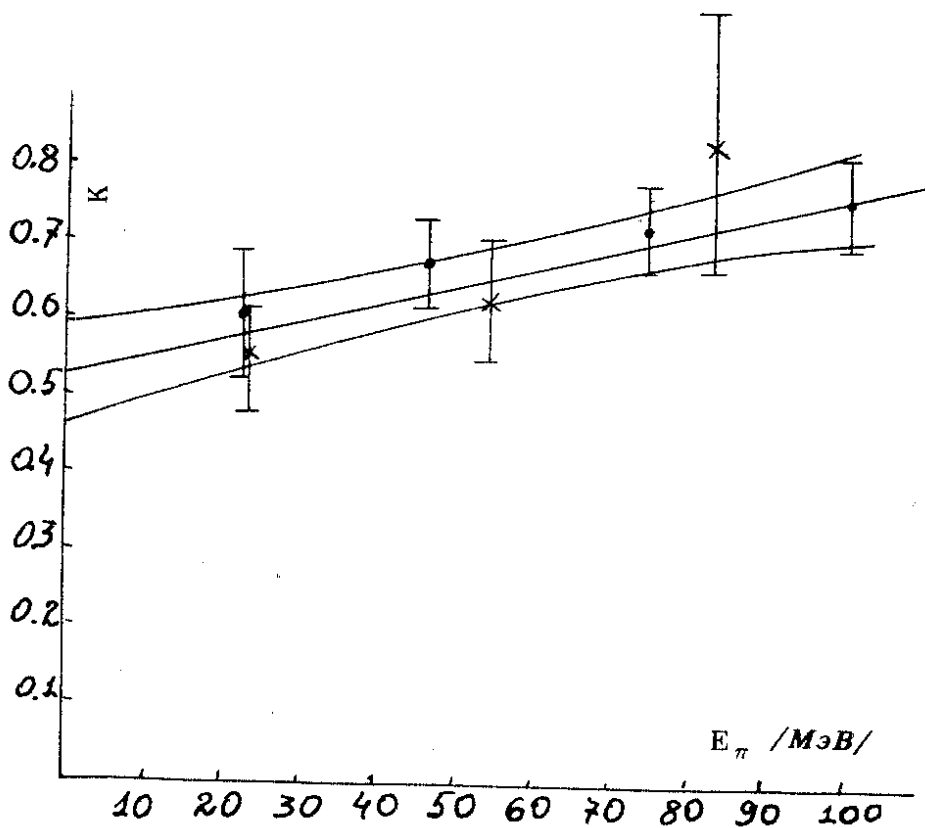


Рис. 1. Поправка на рассеяние пионов на стенках коллиматора. • - данные Кочрана и др.<sup>9/</sup>, × - наши данные.

хорошее. Энергетическая зависимость поправки на рассеяние пионов на стенках коллиматора, полученная аппроксимацией данных линейной зависимостью от энергии, имеет вид:  $K = 0,528 + 0,236 E_{\pi}$ . Эта зависимость и коридор ошибок приведены на рис. 1.

Энергетические спектры пионов, образованных при взаимодействии протонов с энергией 660 МэВ с ядрами для угла  $105^{\circ}$  с учетом необходимых поправок, приведены на рис. 2 и 3. В отличие от малых углов<sup>8/</sup>, при больших углах формы спектров зависят от атомного номера

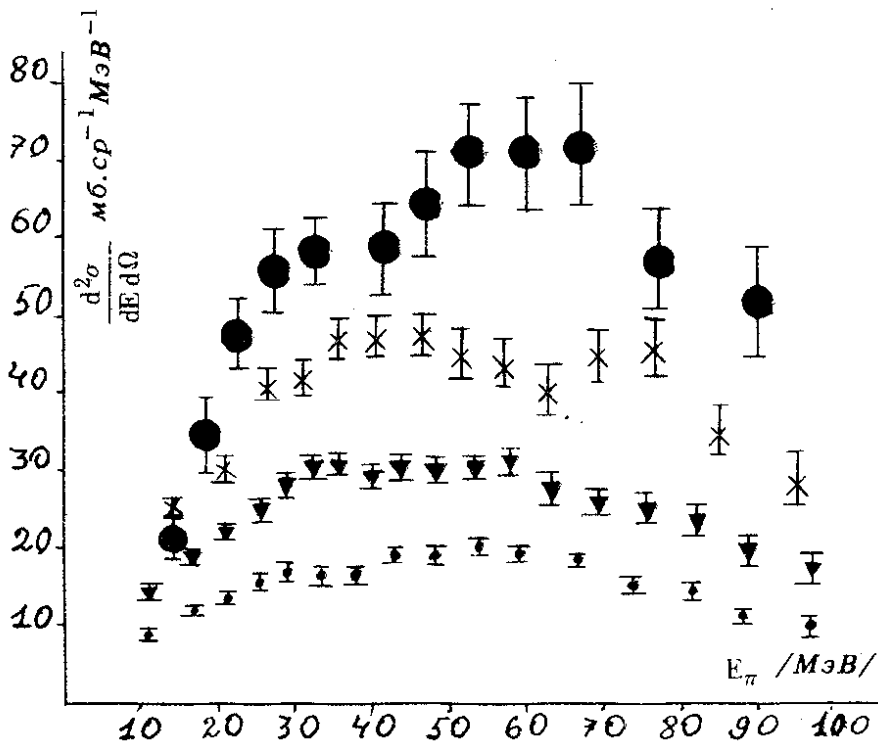


Рис. 2. Энергетические спектры  $\pi^+$ -мезонов, образованных под углом  $105^\circ$  при взаимодействии протонов с энергией 660 МэВ с ядрами C(●), Al(▼), Cu(×) и Pb(●).

ядра.  $\pi^+$ -мезоны, образованные на меди, имеют двухгорбный спектр. На свинце имеем одnogорбное распределение. В спектрах пионов особое внимание привлекают начальные части спектров. Здесь на тяжелых ядрах наблюдается сильный рост сечения генерации  $\pi^-$ -мезонов. Естественно посмотреть, можно ли объяснить эти особенности наблюдаемых спектров их ядерным и кулоновским взаимодействием внутри родительского ядра.

Изменения энергетического спектра медленных пионов, связанные с их внутриядерным взаимодействием, рассмотрены в работе [11]. В ней для энергетического спектра  $\pi^+$ - и  $\pi^-$ -мезонов, вышедших из ядер, в предполо-



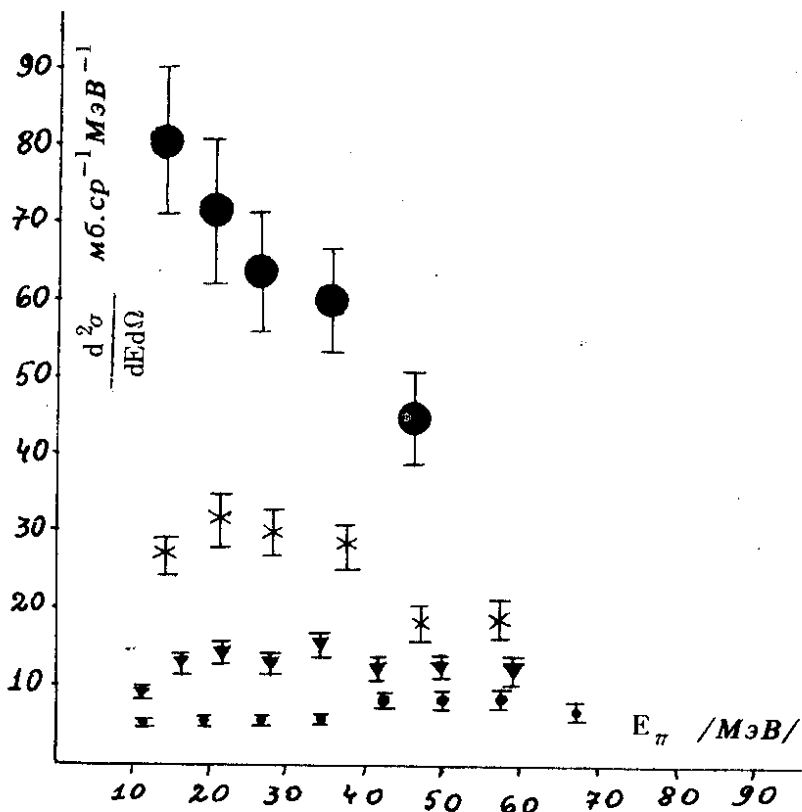


Рис. 3. Энергетические спектры  $\pi^-$ -мезонов, образованных под углом  $105^\circ$  при взаимодействии протонов с энергией 660 МэВ с ядрами С(●), Al (▼), Cu(×) и Pb(●).

жении преобладания S-состояния получено выражение в факторизованном виде:

$$\sigma_z^\pm = \sigma_0^\pm D^\pm(E_\pi, V, W, F, G, F', G'),$$

где  $\sigma_0^\pm$  - энергетические спектры  $\pi^+$ - и  $\pi^-$ -мезонов до их внутриядерного взаимодействия; V и W - соответственно реальная и мнимая части комплексного прямоугольного ядерного потенциала взаимодействия пионов с ядрами; F, G, F' и G' - кулоновские функции и их производные; Z - заряд ядра.

Расчеты  $D^+$  и  $D^-$  нами были проведены для ядер  $C$ ,  $Al$ ,  $Cu$  и  $Pb$  при потенциале, наилучшим образом описывающем экспериментальные данные по угловым распределениям и относительным частотам выхода  $\pi^+$ - и  $\pi^-$ -мезонов, образованных в высокоэнергетических взаимодействиях на ядрах фотозумульсии <sup>/12/</sup>. Для потенциалов были взяты значения  $V = W = 10 \text{ МэВ}$  /реальная часть потенциала положительная/. В  $\sigma_z^\pm$  кроме  $D^\pm$  входят также множители  $\sigma_0^\pm$ . В расчетах было сделано предположение, что образование пионов до их внутриядерного взаимодействия объемное.

В табл. 3 приведены экспериментальные и расчетные значения отношений сечений генераций пионов на разных ядрах.

Таблица 3

$E_\pi$	МэВ	$\pi^+$ -мезоны			$\pi^-$ -мезоны		
		Al/C	Cu/C	Pb/C	Al/C	Cu/C	Pb/C
12,7	1,54±0,13	2,21±0,23		2,00±0,37	3,87±0,77	эксп.	
	1,72	2,47		2,08	4,17	расч.	
14,7			2,39±0,30		16,4±2,32	эксп.	
			2,78		7,36	расч.	
16,5	1,72±0,15	2,48±0,26		2,17±0,44	5,49±0,44	эксп.	
	1,86	3,25		2,08	4,71	расч.	

Как видно из таблицы, если учесть грубость феноменологической модели, согласие в общем хорошее, кроме образования  $\pi^-$ -мезонов на свинце. В эксперименте  $\pi^-$ -мезонов оказалось больше ожидаемого.

Второй интересной областью энергетических спектров является область, близкая кинематическому пределу реакции образования пионов в нуклон-нуклонных взаимодействиях. В этой области существенный вклад должны вносить пионы, связанные с распадом резонанса  $\Delta(1236)$ , образованного в нуклон-нуклонном взаимодействии.

Зависимость эффективных чисел нуклонов от атомного номера ядра для пионов с энергиями в этой области оказалась более крутой, чем при малых углах <sup>8,13</sup>. Показатель степени  $\delta$  в зависимости  $\frac{d^2\sigma}{dEd\Omega} \sim A^\delta$  равен

$\delta = 0,554 \pm 0,081$ . Это указывает на то, что в образовании пионов, вышедших из ядер под большими углами, принимают участие нуклоны, находящиеся на поверхности ядра, в отличие от случая генерации при малых углах <sup>8</sup>, когда в основном существенны взаимодействия с нуклонами, находящимися в кольце с полярным углом  $\pi/2$  относительно направления первичного пучка.

Значения показателя степени  $\delta$  для других энергий пионов приведены в табл. 4.

Таблица 4

$E_\pi$ МэВ	20	40	60	80
$\delta$	$0,481 \pm 0,042$	$0,497 \pm 0,040$	$0,492 \pm 0,049$	$0,554 \pm 0,081$

Как видно из таблицы,  $\delta$  в пределах погрешностей слабо зависит от энергии пионов.

Авторы выражают благодарность Л.П.Писаревой и В.А.Парамоновой за проявление фотоэмульсионных камер.

#### Литература

1. М.Г.Мещеряков, И.К.Взоров, В.П.Зрелов, Б.С.Неганов, А.Ф.Шабудин. ЖЭТФ, 31, 55 /1956/.
2. А.Г.Мешковский, Ю.С.Плигин, Я.Я.Шаламов, В.А.Шебанов. ЖЭТФ, 31, 987 /1956/.
3. А.Г.Мешковский, Ю.С.Плигин, Я.Я.Шаламов, В.А.Шебанов. ЖЭТФ, 32, 1328 /1957/.

4. А.Г.Мешковский, Я.Я.Шаламов, В.А.Шебанов. ЖЭТФ, 34, 1426 /1958/.
5. Л.С.Ажгирей, И.К.Взоров, В.П.Зрелов, М.Г.Мещеряков, В.И.Петрухин. ЖЭТФ, 34, 1357 /1958/.
6. В.Г.Вовченко, Г.Гельфер, А.С.Кузнецов, М.Г.Мещеряков, В.Святковский. ЖЭТФ, 39, 1557 /1960/.
7. R.P.Haddock, M.Zeller, K.M.Crowe. UCLA-MPG 64-2 /1964/.
8. W.Hirt, E.Heer, M.Martin, E.G.Michaelis, C.Serre, P.Skarek, B.T.Wright. CERN 69-24 /1969/.
9. D.R.F.Cochran, P.N.Dean, P.A.M.Gram, E.A.Knapp, E.R.Martin, D.E.Nagle, R.B.Perkins, W.J.Sklaer, H.A.Thiessen, E.D.Theriot. Phys.Rev., D, 6, 3085 /1972/.
10. Ю.А.Батусов, Н.И.Костанашвили, Г.И.Лебедевич, Д.С.Набичеришвили, В.А.Ярба. ЯФ, 10, 805 /1969/.
11. А.М.Балдин, А.И.Лебедев. ЖЭТФ, 33, 1321 /1957/.
12. Н.И.Костанашвили, Г.И.Лебедевич, Д.С.Набичеришвили, Г.И.Харашвили. ЯФ, 16, 983 /1972/.
13. V.Margolis. Nuclear Phys., B4, 433 /1968/.

Рукопись поступила в издательский отдел  
3 декабря 1976 года.