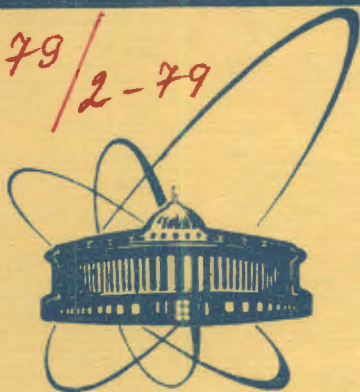


2779 / 2-79



сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна

С346.48

Б-497

P1 - 12311

А.А.Бельков, С.А.Бунятов, Б.Ж.Залиханов,  
В.С.Курбатов, А.Халбаев, В.А.Ярба

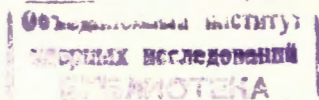
ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ  $\pi^- p \rightarrow \pi^0 \pi^0 n$   
ПРИ ЭНЕРГИИ 240 МэВ

1979

P1 - 12311

А.А.Бельков,<sup>1</sup> С.А.Бунятов, Б.Ж.Залиханов,  
В.С.Курбатов, А.Халбаев,<sup>2</sup> В.А.Ярба<sup>1</sup>

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ  $\pi^- p \rightarrow \pi^0 \pi^0 n$   
ПРИ ЭНЕРГИИ 240 МэВ



<sup>1</sup> Институт физики высоких энергий, Серпухов.

<sup>2</sup> Институт ядерной физики АН УзССР, Ташкент.

Бельков А.А. и др.

PI - 12311

Исследование реакции  $\pi^- p \rightarrow \pi^0 p n$  при энергии 240 МэВ

Измерено полное сечение реакции  $\pi^- p \rightarrow \pi^0 p n$  при энергии 240±10 МэВ. Величина сечения равна (0,13±0,02) мбн. Проведен изотопический анализ реакции  $\pi N \rightarrow \pi \pi N$  при этой энергии. Отношение изотопических амплитуд  $X = F_{10}/F_{32}$  равно 3,8±0,6.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1979

Bel'kov A.A. et al.

PI - 12311

Investigation of the  $\pi^- p \rightarrow \pi^0 p n$  reaction at 240 MeV

The total cross section of the  $\pi^- p \rightarrow \pi^0 p n$  reaction is measured at 240±10 MeV. It is equal to (0,13±0,02) mbn. The isotopic analysis of the  $\pi N \rightarrow \pi \pi N$  reaction at this energy is performed. The ratio of isotopic amplitudes  $X = F_{10}/F_{32}$  equals 3,8±0,6.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubno 1979

Настоящая работа является продолжением исследований реакции  $\pi^- p \rightarrow \pi^0 p n$  /1,2/ вблизи порога с целью проверки киральной теории сильных взаимодействий /3,4/.

Реакция  $\pi^- p \rightarrow \pi^0 p n$  изучалась при энергии падающего  $\pi$ -мезона  $T_\pi = 240 \pm 10$  МэВ на установке, схематичный вид которой показан на рис. 1. Экспериментальная установка состояла из двух пар черенковских  $\gamma$ -спектрометров /5/  $\check{C}_1, \check{C}_2$  и  $\check{C}_3, \check{C}_4$ , лежащих на одной прямой по разные стороны жидководородной мишени. Измерения проводились в двух геометриях. В геометрии I обе пары спектрометров располагались под углом 90° к направлению пучка; в геометрии II пара  $\check{C}_1, \check{C}_2$  под углом 120°, пара  $\check{C}_3, \check{C}_4$  - под углом 60° к пучку.

Реакция выделялась по  $\gamma\gamma$ -совпадениям в следующих комбинациях черенковских спектрометров: ( $\check{C}_1 + \check{C}_3$ ), ( $\check{C}_1 + \check{C}_4$ ), ( $\check{C}_2 + \check{C}_3$ ) и ( $\check{C}_2 + \check{C}_4$ ). Углы между направлениями  $\gamma$ -квантов, регистрируемых комбинациями ( $\check{C}_1 + \check{C}_3$ ) и ( $\check{C}_2 + \check{C}_4$ ), равны 180±14°, комбинациями ( $\check{C}_1 + \check{C}_4$ ) и ( $\check{C}_2 + \check{C}_3$ ) - 156±14°. Геометрия установки была выбрана таким образом, чтобы при установленных порогах регистрации  $\gamma$ -квантов  $E_\gamma = 30$  МэВ реакция  $\pi^- p \rightarrow \pi^0 p n$  не регистрировалась, а вклад реакции  $\pi^- p \rightarrow \pi^0 \gamma n$  не превышал 10%.

Для калибровки спектрометров  $\gamma$ -квантами использовались две реакции:



Отрицательные пионы с энергией 80 МэВ тормозились в медном фильтре и останавливались в жидководородной мишени, а испускаемые  $\gamma$ -кванты регистрировались спектрометрами, расположенными по разные стороны мишени под углами 90° по

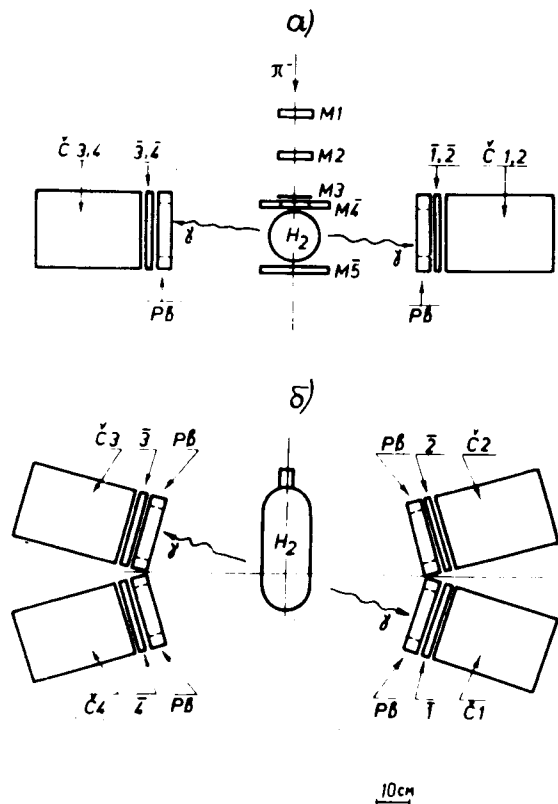


Рис. 1. Схематический вид экспериментальной установки.

отношению к пучку. Энергия  $\gamma$ -квантов от процесса /1/ составляет в среднем  $67,5 \pm 15$  МэВ.

В процессе /2/ образуются моноэнергетические  $\gamma$ -кванты с энергией 129 МэВ. На рис. 2 показано амплитудное распределение импульсов от  $\gamma$ -квантов для одного из спектрометров. Отношение площади под первым пиком к площади под вторым пиком должно равняться удвоенному отношению Пановского  $R = \sigma_{\text{tot}}(\pi^- p \rightarrow \pi^0 n) / \sigma_{\text{tot}}(\pi^- p \rightarrow \gamma n) = 1,53 \pm 0,02$ . Для калибровочного спектра отношение площадей под пиками равно  $2,91 \pm 0,16$ . Полученная ранее<sup>/5/</sup> несколько большая величина этого отношения объясняется недостаточной экранировкой фоновых  $\gamma$ -квантов от медного фильтра.

4

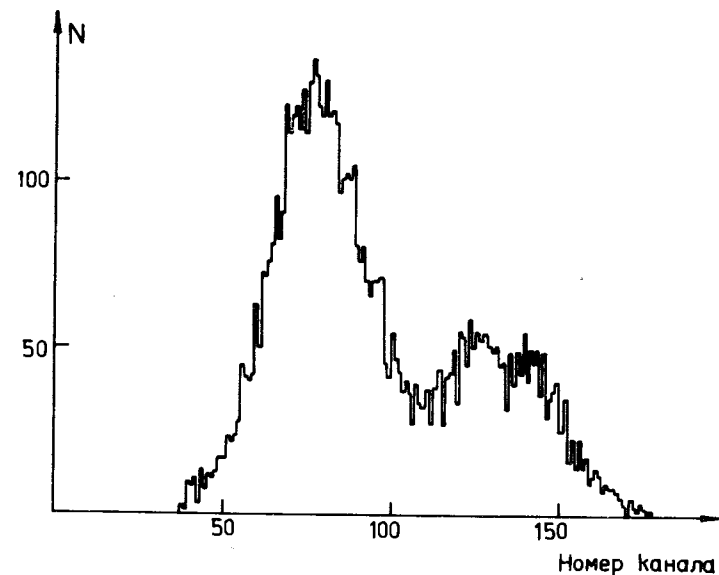


Рис. 2. Амплитудные распределения импульсов, полученные от  $\gamma$ -квантов с энергиями  $67,5 \pm 15$  МэВ и 129 МэВ.

Доля пионов в пучке определялась по времени пролета<sup>/6/</sup> и при энергии  $240 \pm 10$  МэВ составляла  $82 \pm 2\%$ . Спектр по времени пролета частиц пучка показан на рис. 3.

События, соответствующие реакциям



выделялись по  $\gamma\gamma$ -совпадениям от двух черенковских спектрометров с монитором. На рис. 4 показано распределение времени появления сигнала на одном из спектрометров относительно монитора. Уровень случайных совпадений составлял около 15%. Эффект на водороде определялся путем вычитания отсчетов при измерениях с пустой мишенью. В среднем счет при пустой мишени составлял 45% от общего счета.

Так как в эксперименте регистрируются  $\gamma$ -кванты от двух реакций /3/ и /4/, то для выделения реакции /3/ необходимо учесть вклад от реакции /4/. Для этого по модели<sup>/7/</sup> были рассчитаны сечение реакции /4/ при пороге регистрации  $\gamma$ -квантов 30 МэВ и спектры  $\gamma$ -квантов от этой реакции.

5

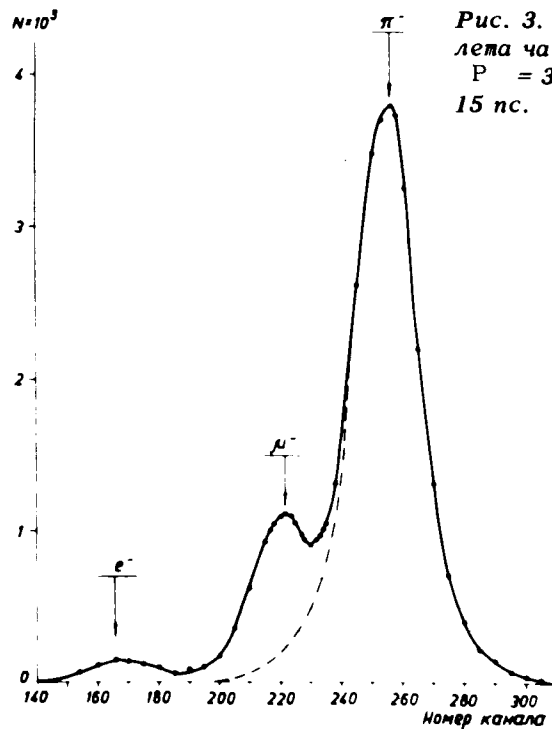


Рис. 3. Спектр по времени пролета частиц пучка с импульсом  $P = 340$  МэВ/с. Цена канала 15 нс.

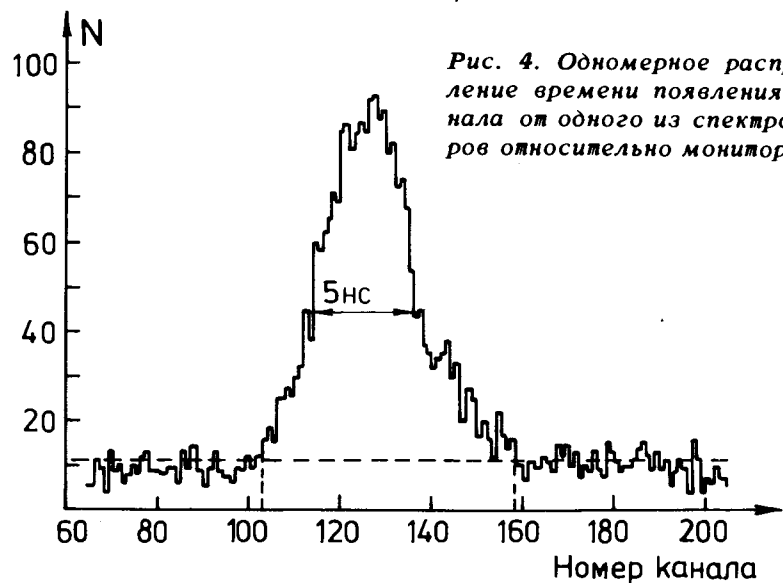


Рис. 4. Одномерное распределение времени появления сигнала от одного из спектрометров относительно монитора.

На рис. 5 и 6 показаны спектры  $\gamma$ -квантов от реакции /3/, полученные путем вычитания вкладов реакции /4/ из суммарных спектров, регистрируемых установкой. Сравнение полученных спектров с результатами моделирования реакции /3/ с постоянным матричным элементом показывает, что экспериментальные спектры существенно мягче расчетных. Кроме того, в обеих геометриях число  $\gamma\gamma$ -совпадений в комбинациях

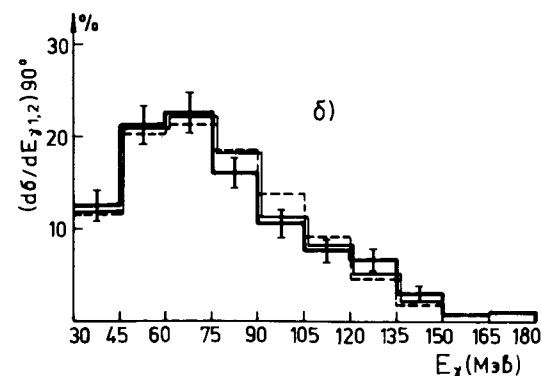
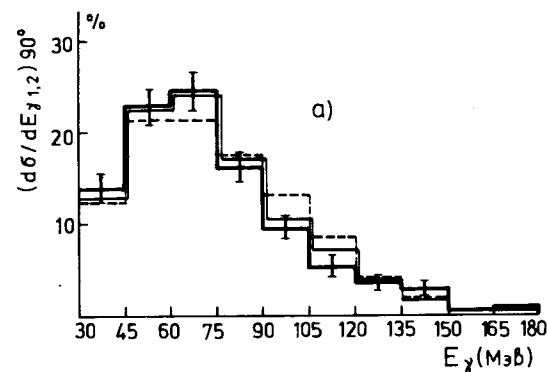


Рис. 5. Спектр  $\gamma$ -квантов от реакции  $\pi^- p \rightarrow \pi^0 p \gamma$ . Геометрия I. Сплошная гистограмма с нанесенными на нее ошибками - эксперимент; пунктир - расчеты с постоянным матричным элементом  $M_1$ ; тонкая сплошная линия - расчеты с матричным элементом  $M_2$  при  $A = 0,3 m_{\pi}^{-2}$  и  $B = 3 m_{\pi}^{-4}$ .  $a / \theta_{\gamma} = 90^\circ$ ,  $\gamma\gamma$ -совпадения в комбинациях  $(C_1 + C_3)$  и  $(C_2 + C_4)$ .  $M_1: \chi^2 / \bar{\chi}^2 = 3,5$ , С.Л. < 1%;  $M_2: \chi^2 / \bar{\chi}^2 = 1,6$ , С.Л. ~ 10%,  $b / \theta_{\gamma} = 90^\circ$ ,  $\gamma\gamma$ -совпадения в комбинациях  $(C_1 + C_4)$  и  $(C_2 + C_3)$ .  $M_1: \chi^2 / \bar{\chi}^2 = 2$ , С.Л. ~ 3%,  $M_2: \chi^2 / \bar{\chi}^2 = 1,1$ , С.Л. ~ 35%.

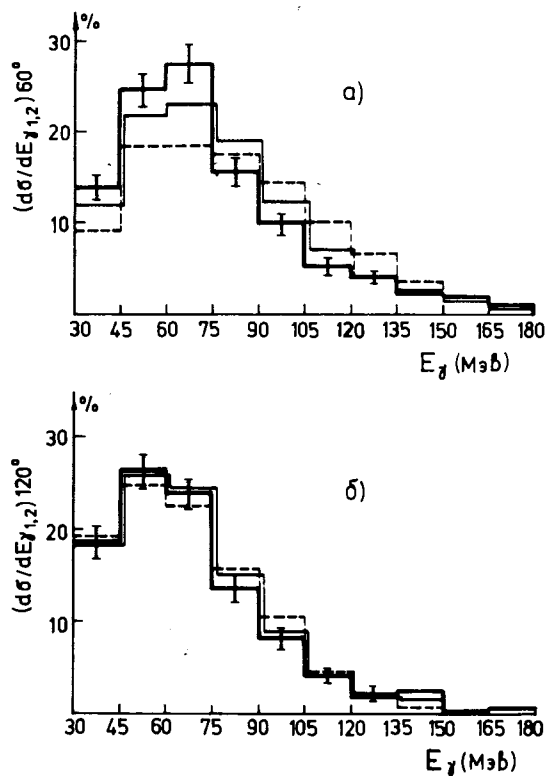


Рис. 6. Спектр  $\gamma$ -квантов от реакции  $\pi^- p \rightarrow \pi^0 \pi^0 n$ . Геометрия II. Сплошная гистограмма с нанесенными на нее ошибками - эксперимент; пунктир - расчеты с постоянным матричным элементом  $M_1$ ; тонкая сплошная линия - расчеты с матричным элементом  $M_2$  при  $A=0,3 m_\pi^{-2}$  и  $B=3 m_\pi^{-4}$ . а/  $\theta_\gamma = 60^\circ$ , спектрометры  $\check{C}_1$  и  $\check{C}_2$  при  $\gamma\gamma$ -совпадениях в комбинациях  $(\check{C}_1 + \check{C}_3)$  и  $(\check{C}_2 + \check{C}_4)$ .  $M_1: \chi^2/\bar{\chi}^2 = 13$ , С.Л.  $< 1\%$ ;  $M_2: \chi^2/\bar{\chi}^2 = 3,2$ , С.Л.  $\sim 2\%$ . б/  $\theta_\gamma = 120^\circ$ , спектрометры  $\check{C}_3$  и  $\check{C}_4$  при  $\gamma\gamma$ -совпадениях в комбинациях  $(\check{C}_1 + \check{C}_3)$  и  $(\check{C}_2 + \check{C}_4)$ .  $M_1: \chi^2/\bar{\chi}^2 = 2,2$ , С.Л.  $\sim 3\%$ ,  $M_2: \chi^2/\bar{\chi}^2 = 0,7$ , С.Л.  $\sim 70\%$ .

спектрометров, находящихся под углом  $180^\circ$  на 30% больше, чем счет в комбинациях под углом  $156^\circ$  в то время как рассчитанные при постоянном матричном элементе эффективности регистрации двух  $\gamma$ -квантов практически совпадают для разных комбинаций.

Для описания экспериментальных спектров  $\gamma$ -квантов от реакции /3/ был использован матричный элемент, предложенный нами в работе <sup>1,2/</sup>:

$$M^2 = \{1 + A(\vec{p}_{\pi^-}^* \cdot \vec{p}_n^*)\} + B\{(\vec{p}_{\pi_1^0}^* - \vec{p}_{\pi_2^0}^*) \cdot \vec{p}_n^*\}^2 \quad /5/$$

Такой матричный элемент соответствует введению угловых корреляций следующего вида:

$$\vec{p}_{\pi^-}^* \cdot \vec{p}_n^* = p_{\pi^-}^* p_n^* \cos \theta_{n\pi^-}^*$$

$$\{(\vec{p}_{\pi_1^0}^* - \vec{p}_{\pi_2^0}^*) \cdot \vec{p}_n^*\}^2 = F(E_n^*) (\cos \theta_{\pi_1^0 \pi_2^0}^{I, M, \pi^0 \pi^0})^2$$

Здесь звездочки означают, что углы и импульсы берутся в общей с.ц.и.;  $\theta_{\pi_1^0 \pi_2^0}^{I, M, \pi^0 \pi^0}$  - угол вылета нейтрона в с.ц.и. двух  $\pi^0$ -мезонов относительно импульса одного из  $\pi^0$ -мезонов;  $F(E_n^*)$  - кинематический фактор, зависящий только от энергии нейтрона в общей с.ц.и.

Наилучшее описание экспериментальных спектров достигается при  $A=0,3 m_\pi^{-2}$  и  $B=3 m_\pi^{-4}$ . Спектры  $\gamma$ -квантов, рассчитанные с матричным элементом /5/, также показаны на рис.5 и 6. Угловые распределения нейтрона, соответствующие введенным в матричный элемент угловым корреляциям, показаны на рис. 7. Анизотропия распределения по углам  $\theta_{n\pi^-}^*$  и  $\theta_{\pi_1^0 \pi_2^0}^{I, M, \pi^0 \pi^0}$  существенно меньше анизотропии, которую приходится вводить для описания экспериментальных спектров  $\gamma$ -квантов при энергии  $270 \text{ МэВ}^{1,2/}$  /  $A=0,5 m_\pi^{-2}$ ,  $B=4 m_\pi^{-4}$  /. Это и должно наблюдаться при приближении к порогу реакции /  $T_{\text{пор}} = 160 \text{ МэВ}$  /.

В табл. 1 сравниваются результаты вычисления полного сечения реакции /3/ при постоянном матричном элементе и с матричным элементом /5/. Полное сечение реакции /3/, рассчитанное с квадратом матричного элемента /5/ и усредненное по двум сеансам в разных геометриях, равно  $\sigma = /0,13 \pm 0,02/ \text{ мбн}$ . Сечение реакции /3/, измеренное нами при энергии  $270 \text{ МэВ}^{1,2/}$ , равно  $/0,26 \pm 0,02/ \text{ мбн}$ . Таким образом, при изменении энергии первичного пиона от 270 до 240 МэВ сечение реакции /3/ уменьшается в два раза.

Таблица 1

№№ комби- нации	Сеанс №1		I геом. M = 9,5x10 <sup>9</sup>		Сеанс №2		II геометрия		M = 13,5x10 <sup>9</sup>	
	N <sub>π<sup>0</sup>π<sup>0</sup>n</sub>		σ <sub>мбн</sub>		N <sub>π<sup>0</sup>π<sup>0</sup>n</sub>		σ <sub>мбн</sub>			
	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>		
$\hat{C}_1 + \hat{C}_3$	458	0,16	0,14	619	0,15	0,14				
$\hat{C}_1 + \hat{C}_4$	350	0,13	0,12	517	0,13	0,12				
$\hat{C}_2 + \hat{C}_3$	382	0,14	0,13	551	0,13	0,13				
$\hat{C}_2 + \hat{C}_4$	461	0,16	0,14	626	0,15	0,14				
	1651	0,15±0,03	0,13±0,02	2313	0,14±0,02	0,13±0,02				

$M_1 = \text{Const}; \sigma = (0,15 \pm 0,03) \text{ мбн};$

$M_2^2 = [1 + 0,3(\vec{p}_{\pi^-}^* \cdot \vec{p}_n^*)]^2 + 3,0[(\vec{p}_{\pi_0^*}^* - \vec{p}_{\pi_1^*}^*) \cdot \vec{p}_n^*]^2; \sigma = (0,13 \pm 0,02) \text{ мбн}$

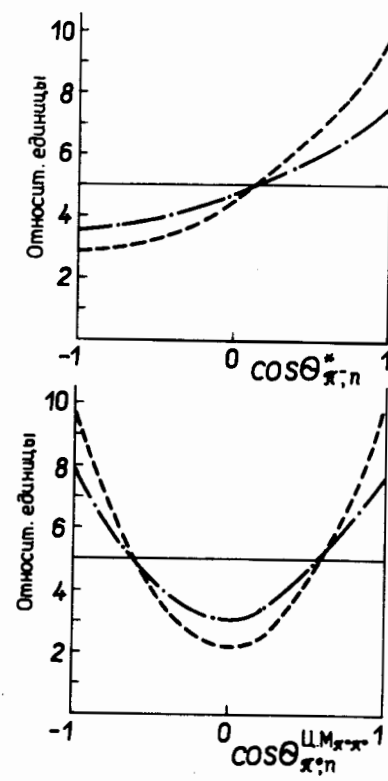


Рис. 7. Угловые распределения нейтрона. Сплошная линия - постоянный матричный элемент; пунктир - расчеты с матричным элементом /5/ при  $A=0,5 \text{ м}_\pi^{-2}$  и  $B=4 \text{ м}_\pi^{-4} /2/$ ; штрих-пунктир - расчеты с матричным элементом /5/ при  $A=0,3 \text{ м}_\pi^{-2}$  и  $B=3 \text{ м}_\pi^{-4}$ .

В табл. 2 приведены результаты изотопического анализа реакций  $\pi N \rightarrow \pi\pi N$  при энергии 240 МэВ. В результате фитирования получены следующие значения изотопических ампли-

Таблица 2

Канал реакции	Энергия $T_\pi$ (МэВ)	Эксперимент $\sigma$ (мбн)	Результат фита $\sigma$ (мбн)
$\pi^- p \rightarrow \pi^+ \pi^- n$	252	0,14±0,04 <sup>/8/</sup>	0,16±0,04
$\pi^- p \rightarrow \pi^0 \pi^0 n$	240	0,13±0,02	0,12±0,02
$\pi^- p \rightarrow \pi^- \pi^0 p$	246	0,08±0,18 <sup>/9/</sup>	0,03±0,16
$\pi^+ p \rightarrow \pi^+ \pi^0 p$	246	0,018±0,010 <sup>/10/</sup>	0,018±0,010
$\pi^+ p \rightarrow \pi^+ \pi^+ n$	252	0,023±0,005 <sup>/11/</sup>	0,023±0,005

туд в единицах /мбн/<sup>1/2</sup>:  $F_{10} = 0,91 \pm 0,07$ ;  $F_{32} = 0,24 \pm 0,03$ ;  $F_{31} = 0,16 \pm 0,06$ ;  $F_{11} = 0,25 \pm 1,08$ . Отношение амплитуд  $X = F_{10} / F_{32}$  при энергии 240 МэВ /кинетическая энергия в общей с.ц.и. - 62 МэВ/ равно  $3,8 \pm 0,6$ . Это же отношение при энергии 270 МэВ /кинетическая энергия в общей с.ц.и. - 83 МэВ/ было получено равным  $4,4 \pm 0,4$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бунятов С.А. и др. ЯФ, 1977, 25, с.325.
2. Бельков А.А. и др. ЯФ, 1978, 28, с.1275.
3. Feuntau R., Gell-Mann M. Phys. Rev., 1958, 109, p.193.
4. Gell-Mann M.G. Phys. Rev., 1962, 125, p.1067.
5. Бунятов С.А. и др. ПТЭ, 1976, 6, с.42.
6. Бунятов С.А. и др. ОИЯИ, 13-10157, Дубна, 1976.
7. Мусаханов Н.М. ЯФ, 1974, 19, с.630.
8. Батусов Ю.А. и др. ЯФ, 1965, 1, с.526.
9. Блохинцева Т.Д. и др. ЖЭТФ, 1963, 44, с.498.
10. Батусов Ю.А. и др. ЯФ, 1975, 21, с.308.
11. Кравцов А.В. и др. Препринт ЛИЯФ №290, 1976.

Рукопись поступила в издательский отдел  
19 марта 1979 года.