

Б-441

2-80-645

БЕЛЬКОВ

Александр Аркадьевич

ПИОН-ПИОННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ  
ПРИ НИЗКИХ ЭНЕРГИЯХ  
В РЕАКЦИЯХ С ОБРАЗОВАНИЕМ  $\pi$ -МЕЗОНОВ

Специальность 01.04.16. – физика атомного ядра  
и элементарных частиц

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук



Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель -  
доктор физико-математических наук

С.А. БУНЯТОВ

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук

С.М. КОРЕНЧЕНКО  
(ОИЯИ)

доктор физико-математических наук

М.В. ТЕРЕНТЬЕВ  
(ИТЭФ)

Ведущее научно-исследовательское учреждение -  
Ленинградский институт ядерной физики им. Б.П.Константинова.

Защита диссертации состоится " " в час. на  
заседании Специализированного совета Д 047.01.03 при ЛЯП ОИЯИ  
г. Дубна, Московской области.

Автореферат разослан " " 1980 г.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Специализированного совета  
доктор физико-математических наук

Ю.А. БАТУСОВ

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Пион-пионное взаимодействие при низких энергиях занимает особое место в изучении сильных взаимодействий частиц. Экспериментальные данные о рассеянии пионов при низких энергиях крайне необходимы для проверки конкретных физических результатов теории нарушенной киральной симметрии сильных взаимодействий. Так как исследование рассеяния пионов пионами недоступно прямому эксперименту, информация о  $\pi\pi$ -взаимодействии извлекается из анализа других процессов с участием  $\pi$ -мезонов. При попытке выделить данные о низкоэнергетическом  $\pi\pi$ -рассеянии из реакций с образованием  $\pi$ -мезонов экспериментаторы сталкиваются с серьезными трудностями, которые, в основном, связаны с малостью вкладов диаграмм с особенностями, обусловленными пион-пионным взаимодействием. Поэтому до совсем недавнего времени не было достоверных данных о  $\pi\pi$ -взаимодействии при низких энергиях. Исследования, положенные в основу настоящей диссертационной работы, позволили не только получить такие данные о пион-пионном взаимодействии, но и установить с достаточной определенностью характер нарушения киральной симметрии сильных взаимодействий.

**Цели исследований.** В диссертации представлены результаты исследований реакций  $\pi N \rightarrow \pi\pi N$  вблизи порога и реакции  $K^+p \rightarrow \Lambda\pi^+\pi^-$  в области резонанса  $\Lambda(1520)$  с целью получения данных о низкоэнергетическом  $\pi\pi$ -рассеянии и проверки теории нарушенной киральной симметрии сильных взаимодействий. В диссертации исследованы различные методы извлечения информации о  $\pi\pi$ -взаимодействии из экспериментальных данных по реакциям  $\pi N \rightarrow \pi\pi N$  и  $K^+p \rightarrow \Lambda\pi^+\pi^-$ . Получены новые экспериментальные данные по фазам  $S$ -волнового  $\pi\pi$ -рассеяния при низких энергиях и полным сечениям реакций  $\pi N \rightarrow \pi\pi N$  вблизи порога. В рамках киральной теории проведен анализ экспериментальных данных по низкоэнергетическому  $\pi\pi$ -взаимодействию и полным сечениям пяти каналов реакции  $\pi N \rightarrow \pi\pi N$  вблизи порога.

**Научная новизна:**

- Методом Чу-Лоу в псевдопериферическом приближении из анализа реакции  $\pi^-p \rightarrow \pi^+\pi^-n$  при низких энергиях получены фазы  $\pi\pi$ -рассеяния вблизи порога и впервые показано, что экспериментальные данные по фазе  $\delta_0^0$  подтверждают теоретические указания на наличие подпорогового нуля в амплитуде  $S$ -волнового  $\pi\pi$ -рассеяния.

Научно-техническая  
библиотека  
ОИЯИ



- Экстраполяция к порогу новых данных по фазе  $\delta^{\circ}$  с учетом подпорогового нуля позволила существенно уточнить экспериментальное значение длины  $s$ -волнового  $\pi\pi$ -рассеяния  $a^{\circ}$  и оценить положение подпорогового нуля в амплитуде  $s$ -волны.

- Впервые получены полные сечения реакции  $\pi^{-}p \rightarrow \pi^{+}\pi^{-}n$  вблизи порога ( $T_{\pi} \leq 270$  МэВ), что позволило провести изотопический анализ реакций  $\pi^{-}N \rightarrow \pi^{+}\pi^{-}N$  при энергиях 270 и 240 МэВ и сравнение полных сечений всех каналов этих реакций с расчетами в теории нарушенной киральной симметрии.

- Показана самосогласованность экспериментальных данных и киральной теории процессов  $\pi\pi \rightarrow \pi\pi$  и  $\pi N \rightarrow \pi\pi N$  при вайнберговском значении параметра нарушения киральной симметрии  $\beta = 1/2$ .

Научное и прикладное значение работы. Важность исследования пион-пионного взаимодействия при низких энергиях определяется, в первую очередь, тем, что пион-пионная система является замкнутой с точки зрения теоретического описания на основе самых общих принципов аналитичности, унитарности и перекрестной симметрии, а амплитуда  $\pi\pi$ -рассеяния входит в амплитуды всех процессов, обусловленных сильными взаимодействиями. Поэтому исследование свойств взаимодействия  $\pi$ -мезонов необходимо для построения современной теории сильного взаимодействия. Проведенные в настоящей работе исследования фаз  $s$ -волнового  $\pi\pi$ -рассеяния и полных сечений реакций  $\pi N \rightarrow \pi\pi N$  показали, что теория нарушенной киральной симметрии может быть успешно применена для описания этих процессов при низких энергиях. Результаты этих исследований, несомненно, стимулируют дальнейшее развитие теории сильных взаимодействий при низких энергиях в этом направлении. Следует также отметить важность изучения взаимодействия пионов с пионами в связи с проблемой существования  $\pi$ -мезонного конденсата в ядерном веществе. Характеристики  $\pi\pi$ -взаимодействия в вакууме при низких энергиях используются в модельных расчетах, связанных с выяснением конкретных физических условий, при которых в ядерном веществе возможно образование  $\pi$ -конденсата.

Апробация работы. Материалы, изложенные в работе, докладывались на семинарах ДЯП и ЛТФ ОИЯИ, в ИФВЭ (Серпухов), на сессии Отделения ядерной физики АН СССР (Москва, 1979 г.), а также были представлены на XX Международную конференцию по физике высоких энергий (Мэдисон, США, 1980 г.). По материалам диссертации опубликовано II работ.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. В ней имеется 113 страниц машинописного текста, включая 22 рисунка, 10 таблиц и библиографический список литературы 131 наименования.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе обсуждаются результаты парциально-волнового анализа реакции  $K^{-}p \rightarrow \Lambda\pi^{+}\pi^{-}$  в области резонанса  $\Lambda(1520)$  в рамках изобарной модели с учетом влияния логарифмической сингулярности треугольного графика. Экспериментальные данные<sup>/1/</sup> были получены в Беркли на 25-дюймовой пузырьковой камере с водородным наполнением. В проведенном нами анализе были использованы 7404 события реакции  $K^{-}p \rightarrow \Lambda\pi^{+}\pi^{-}$  в интервале значений импульса первичного  $K$ -мезона от 370 МэВ/с до 410 МэВ/с. Впервые подробно исследовано влияние различных модельных неопределенностей на результаты парциально-волнового анализа этой реакции.

Полученные нами результаты существенно отличаются от результатов работы<sup>/1/</sup> с тем же набором экспериментальных данных. В частности, условия для определения величины  $s$ -волновой длины  $\pi\pi$ -рассеяния  $a^{\circ}$  с помощью выделения вклада логарифмической сингулярности в рассматриваемую реакцию оказались гораздо менее благоприятными, чем это следовало из результатов работы<sup>/1/</sup>. Величина отношения

$$R = \frac{\Gamma(\Lambda(1520) \rightarrow \Sigma^{\pm}(1385)\pi^{\mp})}{\Gamma(\Lambda(1520) \rightarrow \Lambda\pi^{+}\pi^{-})}$$

колеблется, по нашим оценкам, от  $0,22 \pm 0,05$  до  $0,52 \pm 0,04$  в зависимости от варианта модели парциально-волнового анализа, в то время как в работе<sup>/1/</sup>  $R = 0,82 \pm 0,10$ . Поэтому неопределенность в оценке  $a^{\circ}$  весьма велика:  $a^{\circ}$  колеблется от  $(-0,02 \pm 0,04) m_{\pi}^{-1}$  до  $(0,05 \pm 0,08) m_{\pi}^{-1}$ . Тем не менее, на уровне достоверности 95% можно утверждать, что  $a^{\circ} \leq 0,21 m_{\pi}^{-1}$ .

Вторая глава посвящена исследованию реакций  $\pi^{-}p \rightarrow \pi^{+}\pi^{-}n$  и  $\pi^{-}p \rightarrow \pi^{+}\pi^{-}n$  вблизи порога. Реакция  $\pi^{-}p \rightarrow \pi^{+}\pi^{-}n$  исследовалась при кинетических энергиях налетающего  $\pi$ -мезона 270, 240 и 200 МэВ на установке, состоящей из 4-канального годоскопа черенковских  $\gamma$ -спектрометров и сцинтилляционных счетчиков (рис. I). Эксперименты выполнены на синхротронном ускорителе Лабораии ядерных проблем. Реакция выделялась по  $\gamma\gamma$ -совпадениям. Определены полные сечения реакции  $\pi^{-}p \rightarrow \pi^{+}\pi^{-}n$  вблизи порога, что позволило провести изотопический анализ полных сечений реакций  $\pi^{-}N \rightarrow \pi^{+}\pi^{-}N$  при энергиях 270 и 240 МэВ. Изотопический анализ показал, что полные сечения всех каналов реакций  $\pi^{-}N \rightarrow \pi^{+}\pi^{-}N$  находятся в соответствии с требованиями изотопической инвариантности. Получено отношение изотопических амплитуд  $\chi = F_{10}/F_{32}$ , которое является основным параметром в методе Грибова-Ансельма-Анисовича. Результаты измерений

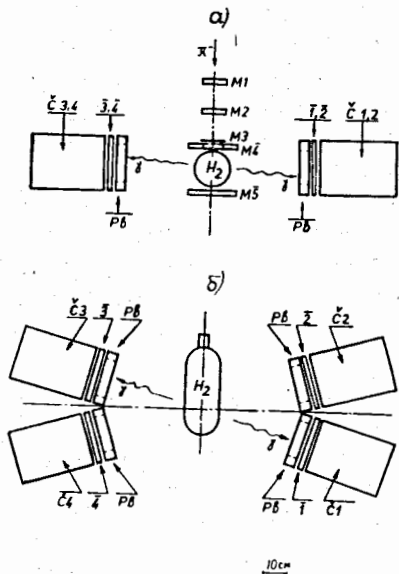


Рис. 1.  
Схематический вид экспериментальной установки: а) вид сверху; б) вид со стороны пучка

полных сечений реакции  $\pi^- p \rightarrow \pi^0 \pi^+ n$  и отношение изотопических амплитуд  $F_{10}/F_{32}$  приведены в таблице.

Таблица

$T_{\pi^-}$ , МэВ	$\sigma(\pi^- p \rightarrow \pi^0 \pi^+ n)$ мбн	$\chi = F_{10}/F_{32}$
200	$0,032 \pm 0,005$	—
240	$0,13 \pm 0,02$	$3,8 \pm 0,6$
270	$0,26 \pm 0,02$	$4,4 \pm 0,4$

Метод Анисовича-Грибова-Ансельма, с помощью которого можно получить длины  $\pi\pi$ -рассеяния из экспериментальных данных по реакциям  $\pi N \rightarrow \pi\pi N$  при низких энергиях, основан на полуфеноменологической теории образования трех сильно взаимодействующих частиц вблизи порога. В этой теории амплитуды реакций  $\pi N \rightarrow \pi\pi N$  могут быть представлены в виде разложения по степеням относительных импульсов частиц и содержат как аналитические, так и сингулярные по относительным импульсам члены. Последние связаны с перерассеянием частиц в

конечном и начальном состояниях и зависят от длин рассеяния соответствующих частиц. При  $\chi \approx 0,3$  на пороге реакций  $\pi N \rightarrow \pi\pi N$ , в разложении амплитуд реакций  $\pi N \rightarrow \pi\pi N$  можно ограничиться только линейными по относительным импульсам членами, что существенно упрощает анализ экспериментальных данных. Однако величина  $\chi$ , полученная из изотопического анализа реакций  $\pi N \rightarrow \pi\pi N$ , слабо меняется при энергиях 270 и 240 МэВ и находится на уровне  $\chi \approx 4,1 \pm 0,5$ . Это указывает на малость линейных по относительным импульсам членов разложения амплитуд реакций  $\pi N \rightarrow \pi\pi N$  в теории Грибова-Ансельма-Анисовича. Поэтому для получения длин  $S$ -волнового  $\pi\pi$ -рассеяния этим методом необходим учет членов разложения высшего порядка.

Методом Чу-Лоу в псевдопериферическом приближении проведен анализ данных по 495 событиям реакции  $\pi^- p \rightarrow \pi^+ \pi^- n$  в интервале кинетических энергий налетающего пиона  $200 \text{ МэВ} \leq T_{\pi^-} \leq 260 \text{ МэВ}$ . Данные получены в Лаборатории ядерных проблем фотоэмульсионным методом. Проведенный анализ позволил определить полные сечения и фазы  $\pi^+ \pi^-$ -рассеяния в интервале дипионных масс от порога до  $m_{\pi\pi} = 320 \text{ МэВ}$ . Экстраполяция к порогу фаз  $S$ -волнового  $\pi\pi$ -рассеяния  $\delta_0^0$  дала в приближении эффективного радиуса значение длины рассеяния

$a_0^0 = (0,24 \pm 0,07) m_{\pi}^{-1}$ . Метод Чу-Лоу основан на предположении, что при малых передатках импульса нуклоны  $\Delta^2$  вклад диаграммы однопионного обмена доминирует над вкладом остальных "фоновых" диаграмм процесса  $\pi N \rightarrow \pi\pi N$ , благодаря наличию в полной амплитуде пропагатора обменного пиона  $(\Delta^2 - m_{\pi}^2)^{-1}$ . Так как "фоновые" диаграммы дают существенный вклад в полные сечения реакций  $\pi N \rightarrow \pi\pi N$  при энергиях  $200 \text{ МэВ} \leq T_{\pi^-} \leq 260 \text{ МэВ}$ , возможность применения метода Чу-Лоу в этой области нуждается в дополнительном обосновании.

В третьей главе проводится сравнение последних экспериментальных данных о фазах и длинах  $S$ -волнового  $\pi\pi$ -рассеяния с полуфеноменологическими предсказаниями, полученными в подходе, основанном на теории нарушенной киральной симметрии. Показано, что экспериментальные данные по фазе  $\delta_0^0$  вблизи порога, полученные из анализа методом Чу-Лоу фотоэмульсионных данных по реакции  $\pi^- p \rightarrow \pi^+ \pi^- n$ , подтверждают теоретические указания на наличие подпорогового нуля в амплитуде  $S$ -волнового  $\pi\pi$ -рассеяния.

Описанный в этой главе подход к описанию фаз  $\pi\pi$ -рассеяния в рамках теории нарушенной киральной симметрии основан на использовании соотношения упругой унитарности, которое позволяет вырезать минимум часть амплитуды  $\pi\pi$ -рассеяния в однопетлевом приближении через произведение борновских амплитуд. Свободные параметры, возникающие в

этом подходе как константы вычитания, определялись из экспериментальных данных по  $d$ -волновым длинам  $\pi\pi$ -рассеяния. Такой подход позволил просто учесть разные способы нарушения киральной симметрии и провести полуфеноменологический анализ экспериментальных данных по фазам и длинам  $s$ -волнового  $\pi\pi$ -рассеяния в рамках теории нарушенной киральной симметрии. На рис. 2 показано поведение  $s$ -волновых фаз  $\pi\pi$ -рассеяния в широком интервале значений  $m_{\pi\pi}$ . Рас-

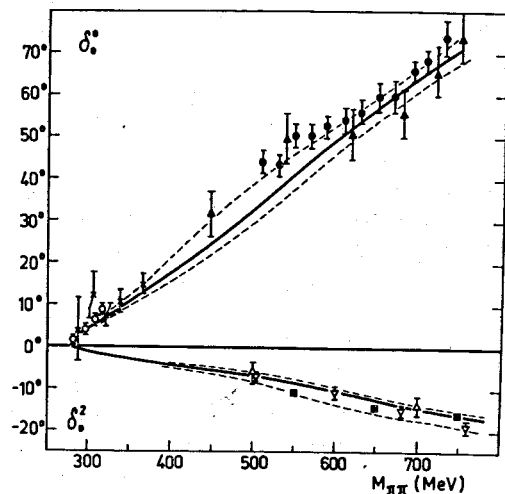


Рис. 2

Поведение  $s$ -волновых фаз  $\pi\pi$ -рассеяния. Экспериментальные точки  $\circ$  из анализа реакции  $\pi^-p \rightarrow \pi^+\pi^-n$  при  $200 \text{ МэВ} \leq T_{\pi} \leq 260 \text{ МэВ}$ . Точки  $\bullet, \times, \triangle, \nabla, \blacksquare$  - из работ [4-9], соответственно. Сплошные линии - расчеты в теории нарушенной киральной симметрии. Пунктиром обозначены границы возможных отклонений теоретических расчетов, обусловленные ошибками вычисления вычитательных констант по экспериментальным значениям  $d$ -волновых длин  $\pi\pi$ -рассеяния.

четы проведены при вайнберговском значении параметра нарушения киральной симметрии ( $\beta = 1/2$ ) и с константой распада  $\pi \rightarrow \mu + \nu$   $F_{\pi} = 94 \text{ МэВ}$ . Для  $s$ -волновых длин  $\pi\pi$ -рассеяния получены следующие значения  $a_0^0 = (0,19 \pm 0,02) m_{\pi}^{-1}$ ,  $a_2^0 = (-0,024 \pm 0,004) m_{\pi}^{-1}$ .

В работах В.В.Серебрякова и Д.В.Ширкова [2,3] было показано, что учет коротковолнового отраживания в низкоэнергетическом  $\pi\pi$ -рассеянии приводит к аномальному поведению амплитуды  $s$ -волнового рассеяния, которое определяется появлением подпорогового нуля в амплитуде

$s$ -волны. Подпороговые нули в амплитудах  $s$ -волнового  $\pi\pi$ -рассеяния появляются также в киральной теории, которая предсказывает положение нулей вблизи физической области. Близость подпорогового нуля к физической области приводит к тому, что приближение эффективного радиуса становится непригодным для определения  $s$ -волновых длин  $\pi\pi$ -рассеяния по фазам в области больших  $q^2$  ( $q$  - импульс пионов в их с.ц.м.). На рис. 3 показаны результаты экстраполяции экспе-

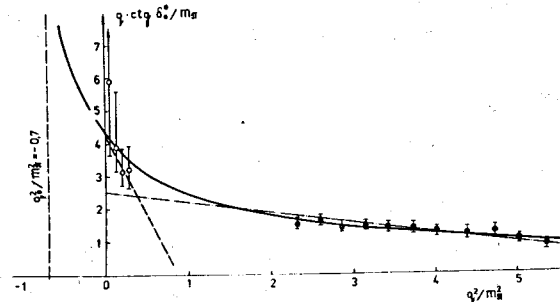


Рис. 3.

Экстраполяция к порогу экспериментальных фаз  $\delta_0^0$ . Точки  $\circ$  и  $\bullet$  - из анализа реакции  $\pi^-p \rightarrow \pi^+\pi^-n$  при  $200 \text{ МэВ} \leq T_{\pi} \leq 260 \text{ МэВ}$  и  $\rho_{\pi} = 17 \text{ ГэВ}/c^{4/}$ , соответственно. Прямые линии - экстраполяция фаз  $\delta_0^0$  в приближении эффективного радиуса. Сплошная кривая - экстраполяция к порогу с помощью параметризации, учитывающей подпороговый нуль в амплитуде  $s$ -волнового  $\pi\pi$ -рассеяния.

риментальных данных по фазе  $\delta_0^0$  к порогу в приближении эффективного радиуса:

$$q \operatorname{ctg} \delta_0^0 = (a_0^0)^{-1} + \frac{1}{2} \gamma_0^0 q^2.$$

Экспериментальные данные по фазе  $\delta_0^0$  из реакции  $\pi^-p \rightarrow \pi^+\pi^-n$  при  $200 \text{ МэВ} \leq T_{\pi} \leq 260 \text{ МэВ}$  ( $q^2 m_{\pi}^{-2} < 1$ ) и при  $\rho_{\pi} = 17 \text{ ГэВ}/c^{4/}$  ( $q^2 m_{\pi}^{-2} \geq 2$ ) не могут быть описаны параметризацией эффективного радиуса при одном и том же значении параметров  $a_0^0$  и  $\gamma_0^0$ . Поведение экспериментальных значений  $q \operatorname{ctg} \delta_0^0$  в зависимости от  $q^2$  подтверждает теоретические указания на наличие подпорогового нуля в амплитуде  $s$ -волны. Поэтому формула эффективного радиуса может быть использована для экстраполяции экспериментальных фаз  $s$ -

волнового  $\pi\pi$ -рассеяния только вблизи порога ( $q^2 m_\pi^{-2} < 1$ ). В широком интервале энергий следует применять параметризацию, учитывающую подпороговый нуль:

$$q \operatorname{ctg} \delta_0^I = \frac{\sqrt{5}}{2} \frac{1 + B_I q^2}{D_I (q^2 - q_I^2)} = \frac{\sqrt{5}}{2} \frac{1 + B_I q^2}{a_0^I m_\pi + D_I q^2},$$

$$a_0^I = -D_I q_I^2 m_\pi^{-1},$$

где  $I$  - изотопический индекс  $\pi\pi$ -рассеяния,  $q_I^2$  - положение подпорогового нуля,  $B_I$  и  $D_I$  - некоторые коэффициенты.

Совместный фит экспериментальных данных по фазе  $\delta_0^I$  (рис. 3) с использованием параметризации, учитывающей подпороговый нуль, дал следующие результаты:

$$\begin{aligned} a_0^1 &= (0,23 \pm 0,03) m_\pi^{-1}, & q_0^2 &= (-0,7 \pm 0,3) m_\pi^2, \\ B_0 &= (-0,04 \pm 0,02) m_\pi^{-2}, & D_0 &= (0,32 \pm 0,04) m_\pi^{-2}. \end{aligned}$$

Аналогичная экстраполяция к порогу фаз  $\delta_0^2$  дала

$$\begin{aligned} a_0^2 &= (-0,06 \pm 0,07) m_\pi^{-1}, & q_2^2 &= (-0,7 \pm 0,9) m_\pi^2, \\ B_2 &= (0,14 \pm 0,11) m_\pi^{-2}, & D_2 &= (-0,09 \pm 0,05) m_\pi^{-2}. \end{aligned}$$

Большая неопределенность параметров в последнем случае связана, в основном, с отсутствием экспериментальных точек в области  $m_{\pi\pi} < 500$  МэВ.

В четвертой главе рассчитаны полные сечения каналов реакций  $\pi N \rightarrow \pi\pi N$  в рамках теории нарушенной киральной симметрии. Проведен последовательный учет пион-нуклонных диаграмм древесного вида (рис. 4 а-г), унитаризация амплитуды  $\pi\pi$ -рассеяния и древесных

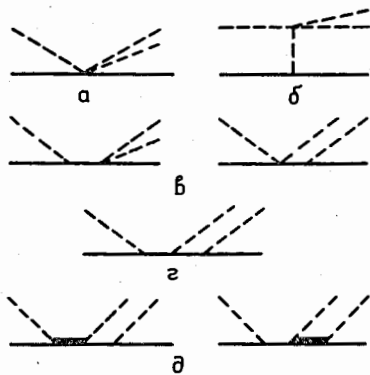


Рис. 4. Диаграммы процесса  $\pi N \rightarrow \pi\pi N$  в древесном приближении. Пунктирные линии соответствуют пионам, сплошные тонкие линии - нуклонам, сплошные жирные линии - изобарам  $\Delta_{33}$ .

диаграмм (рис. 4д) с изобарой  $\Delta_{33}$ . Расчеты полных сечений для четырех из пяти каналов реакций  $\pi N \rightarrow \pi\pi N$  в интервале кинети-

ческих энергий налетающего пиона  $200 \text{ МэВ} \leq T_\pi \leq 300 \text{ МэВ}$  хорошо согласуются с экспериментальными данными. Исключение составляет канал  $\pi^+ p \rightarrow \pi^+ \pi^+ n$ , для которого согласие с экспериментом наблюдается только до  $T_\pi \sim 250$  МэВ. На рис. 5 и 6 показаны расчеты полных сече-

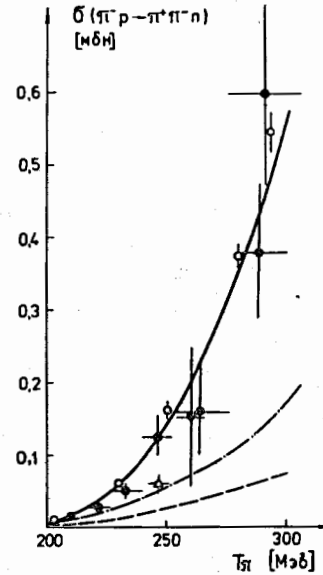


Рис. 5. Полные сечения реакции  $\pi^+ p \rightarrow \pi^+ \pi^+ n$  вблизи порога. Экспериментальные точки  $\bullet$  - из работ /10-12/,  $\nabla$ ,  $\circ$ ,  $\Delta$  - из работ /13-15/, соответственно. Пунктирная линия - расчеты в приближении пион-нуклонных диаграмм (рис. 4 а-г); штрих-пунктир - результат унитаризации амплитуды  $\pi\pi$ -рассеяния в выражении для суммы вкладов диаграмм (рис. 4 а, б); сплошная линия - расчет с учетом изобары  $\Delta_{33}$ .

$\Delta_{33}$

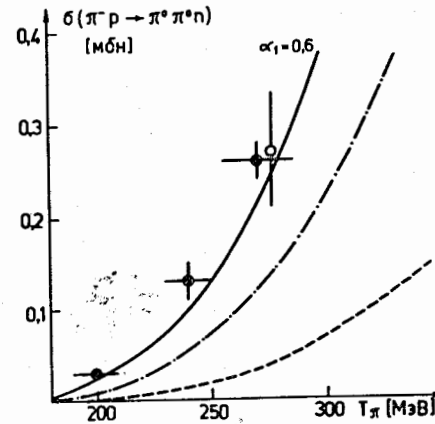


Рис. 6. Полные сечения реакции  $\pi^+ p \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^+ n$  вблизи порога. Экспериментальные точки  $\bullet$  получены в настоящей работе. Точка  $\circ$  - из работы /16/. Теоретические кривые те же, что и на рис. 5.

ний реакций  $\pi^+ p \rightarrow \pi^+ \pi^+ n$  и  $\pi^+ p \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^+ n$  вблизи порога в теории нарушенной киральной симметрии.

В рамках теории нарушенной киральной симметрии проведено моделирование распределения числа событий реакции  $\pi^- p \rightarrow \pi^+ \pi^- n$  по инвариантному переданному импульсу нуклона  $\Delta^2$ . Соответствующее экспериментальное распределение, построенное по всем событиям этой реакции в интервале  $200 \text{ МэВ} \leq T_\pi \leq 260 \text{ МэВ}$ , показано на рис. 7.

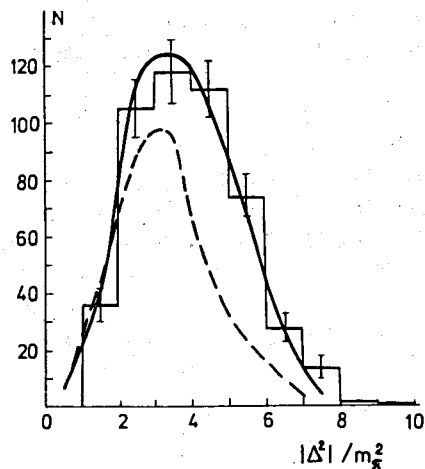


Рис. 7  
Результаты моделирования распределения событий реакций  $\pi^- p \rightarrow \pi^+ \pi^- n$  по инвариантному переданному импульсу нуклона  $\Delta^2$ . Гистограмма построена по всем событиям в интервале  $200 \text{ МэВ} \leq T_\pi \leq 260 \text{ МэВ}$ . Сплошная кривая - расчет в теории нарушенной киральной симметрии. Пунктир - вклад члена с пионным пропагатором.

Сплошной кривой показано распределение, рассчитанное в теории нарушенной киральной симметрии с учетом экспериментального разбора событий по кинетической энергии налетающего пиона. Расчеты показали, что вклад члена полной амплитуды процесса  $\pi^- p \rightarrow \pi^+ \pi^- n$ , содержащего амплитуду  $\pi\pi$ -рассеяния и пионный пропагатор (см. пунктир на рис. 7), доминирует при малых передачах импульса нуклону. Тем самым получено обоснование возможности применения метода Чу-Лоу к реакции  $\pi^- p \rightarrow \pi^+ \pi^- n$  при низких энергиях.

Основные результаты проведенных исследований заключаются в следующем:

1. Определены полные сечения и фазы  $s$ -волнового  $\pi\pi$ -рассеяния  $\delta_0^0$  вблизи порога из анализа методом Чу-Лоу в псевдопериферическом приближении фотоэмulsionных данных по реакции  $\pi^- p \rightarrow \pi^+ \pi^- n$  в интервале кинетических энергий налетающего пиона  $200 \text{ МэВ} \leq T_\pi \leq 260 \text{ МэВ}$ .

2. Впервые показано, что полученные экспериментальные данные по фазе  $\delta_0^0$  вблизи порога подтверждают теоретические указания на наличие подпорогового нуля в амплитуде  $s$ -волнового  $\pi\pi$ -рассеяния.

Параметризация эффективного радиуса не описывает экспериментальные фазы  $\delta_0^0$  в широком интервале энергий (от порога до  $m_{\pi\pi} = 700 \text{ МэВ}$ ). Для получения длины рассеяния  $a_0^0$  с помощью экстраполяции к порогу фаз  $\delta_0^0$  в указанном интервале энергий следует использовать параметризацию, учитывающую подпороговый нуль в амплитуде  $s$ -волны.

3. С помощью параметризации, учитывающей подпороговый нуль, из экспериментальных данных по фазе  $\delta_0^0$  определены длина  $\pi\pi$ -рассеяния  $a_0^0 = (0,23 \pm 0,03) m_\pi^{-1}$  и положение подпорогового нуля  $q_0^2 = (-0,7 \pm 0,3) m_\pi^2$ .

4. Определены полные сечения реакции  $\pi^- p \rightarrow \pi^0 \pi^0 n$  при кинетических энергиях налетающего пиона 270, 240 и 200 МэВ. Проведен изотопический анализ полных сечений реакций  $\pi N \rightarrow \pi\pi N$  при энергиях 270 и 240 МэВ, который показал, что сечения всех каналов этих реакций согласуются между собой в соответствии с требованиями изотопической инвариантности.

5. Отношение изотопических амплитуд  $\chi = F_{10} / F_{32}$  слабо меняется при энергиях 270 и 240 МэВ и находится на уровне  $\chi = 4,1 \pm 0,5$ . Это указывает на малость линейных по относительным импульсам членов в разложении амплитуд реакций  $\pi N \rightarrow \pi\pi N$  в теории Грибова-Ансельме-Анисович. Поэтому для получения длин  $\pi\pi$ -рассеяния этим методом необходимо учитывать члены разложения высшего порядка.

6. Развит полуфеноменологический подход к описанию низкоэнергетического рассеяния пионов в рамках теории нарушенной киральной симметрии, в основе которого лежит унитаризация борновской амплитуды  $\pi\pi$ -рассеяния. Проведенные расчеты фаз  $s$ -волнового  $\pi\pi$ -рассеяния хорошо согласуются с экспериментальными данными. Для  $s$ -волновых длин  $\pi\pi$ -рассеяния получены значения  $a_0^0 = (0,19 \pm 0,02) m_\pi^{-1}$ ,  $a_0^2 = (-0,024 \pm 0,004) m_\pi^{-1}$ . Предсказанное значение  $a_0^0$  хорошо согласуется с экспериментальной величиной  $a_0^0 = (0,23 \pm 0,03) m_\pi^{-1}$ .

7. Рассчитаны полные сечения реакций  $\pi N \rightarrow \pi\pi N$  вблизи порога с учетом пион-нуклонных диаграмм древесного вида, унитаризации амплитуды  $\pi\pi$ -рассеяния и древесных диаграмм с изобарой  $\Delta_{33}$  в теории нарушенной киральной симметрии. Результаты расчетов полных сечений реакций  $\pi N \rightarrow \pi\pi N$  хорошо согласуются с экспериментальными данными вблизи порога.

8. В теории нарушенной киральной симметрии для реакции  $\pi^- p \rightarrow \pi^+ \pi^- n$  при  $200 \text{ МэВ} \leq T_\pi \leq 260 \text{ МэВ}$  рассчитано распределение по переданному нуклону импульсу. Показано, что при малых передачах импульса вклад членов, содержащих амплитуду  $\pi\pi$ -рассеяния и пионный пропагатор, доминирует над вкладом остальных членов полной амплитуды процесса  $\pi N \rightarrow \pi\pi N$ . Тем самым получено обоснование

метода Чу-Лоу для анализа реакции  $\pi^- p \rightarrow \pi^+ \pi^- n$  при низких энергиях.

9. Проведен парциально-волновой анализ реакции  $K^- p \rightarrow \Lambda \pi^+ \pi^-$  в области резонанса  $\Lambda(1520)$  в рамках изоберной модели с учетом треугольного графика. Отношение

$$R = \frac{\Gamma(\Lambda(1520) \rightarrow \Sigma^\pm(1385) \pi^\mp)}{\Gamma(\Lambda(1520) \rightarrow \Lambda \pi^+ \pi^-)}$$

меняется в пределах от  $0,22 \pm 0,05$  до  $0,52 \pm 0,04$  в зависимости от вариантов модели. Величина  $a_0 \leq 0,21 \text{ м}^{-1}$  на уровне достоверности 95%.

Проведенные исследования реакций  $\pi N \rightarrow \pi \pi N$  и  $\pi \pi$ -рассеяния при низких энергиях показали, что теория нарушенной киральной симметрии может быть использована для описания этих процессов вблизи порога.

#### Публикации по теме диссертационной работы:

1. Бельков А.А., Бунятов С.А., Зелиханов Б.Ж., Курбатов В.С., Халбаев А. Метричный элемент реакции  $\pi^- p \rightarrow \pi^+ \pi^- n$  вблизи порога. ЯФ, 1978, 28, с. 1275.
2. Бельков А.А., Бунятов С.А. Длины пион-пионного рассеяния в s-состоянии с учетом подпорогового нуля в амплитуде. ЯФ, 1979, 29, с. 1295.
3. Бельков А.А., Бунятов С.А., Первушин В.Н. Дисперсионный метод самосогласованного описания  $\pi \pi$ -рассеяния в киральной теории. ЯФ, 1979, 30, с. 546.
4. Бельков А.А., Бунятов С.А., Мухин К.Н., Патеракин О.О., Сидоров В.М., Сулковская М.М., Сустанов А.Ф., Ярба В.А. Фазы  $\pi \pi$ -рассеяния из анализа реакции  $\pi^- p \rightarrow \pi^+ \pi^- n$  вблизи порога. Письмо в ЖЭТФ, 1979, 29, с. 652.
5. Бельков А.А., Бунятов С.А., Кобринский М.Н., Курбатов В.С., Ярба В.А., Парциально-волновой анализ реакции  $K^- p \rightarrow \Lambda \pi^+ \pi^-$  в области резонанса  $\Lambda(1520)$ . ЯФ, 1979, 30, с. 1534.
6. Belkov A.A., Bunyatov S.A., Kobrinsky M.N., Kurbatov V.S., Yarba V.A. Partial-Wave Analysis of the  $K^- p \rightarrow \Lambda \pi^+ \pi^-$  Reaction near the  $\Lambda(1520)$  Resonance. JINR E1-12643, Dubna, 1979.
7. Бельков А.А., Бунятов С.А., Зелиханов Б.Ж., Курбатов В.С., Халбаев А., Ярба В.А. Исследование реакции  $\pi^- p \rightarrow \pi^+ \pi^- n$  при энергии 240 МэВ. Сообщение ОИЯИ Р1-12311, Дубна, 1979.
8. Бельков А.А., Бунятов С.А., Зелиханов Б.Ж., Курбатов В.С., Халбаев А., Ярба В.А. Исследование реакции  $\pi^- p \rightarrow \pi^+ \pi^- n$  вблизи порога. ЯФ, 1980, 31, с. 181.

9. Бельков А.А., Бунятов С.А., Первушин В.Н. Фазы и длины  $\pi \pi$ -рассеяния в теории нарушенной киральной симметрии. ОИЯИ Р2-12646, Дубна, 1979.
10. Бельков А.А., Бунятов С.А., Первушин В.Н. Полные сечения реакций  $\pi N \rightarrow \pi \pi N$  вблизи порога в теории нарушенной киральной симметрии. ОИЯИ Р2-80-67, Дубна, 1980.
11. Бельков А.А., Бунятов С.А. Пион-пионное взаимодействие в реакциях однопионного рождения при низких энергиях. ОИЯИ Р1-80-449, Дубна, 1980.

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Mast T.S. e.a. Phys. Rev., 1973, D7, p. 5.
2. Serebryakov V.V., Shirkov D.V. Phys. Lett., 1967, 25B, p. 138.
3. Серебряков В.В., Ширков Д.В. ЯФ, 1968, 7, с. 170.
4. Estabrooks P., Martin A.D. Nucl. Phys., 1974, 79D, p. 301.
5. Rosselet L., e.a. Phys. Rev., 1977, 15D, p. 574.
6. Картамышев А.А. и др. Письма в ЖЭТФ, 1977, 25, с. 68.
7. Durusoy N.B. e.a. Phys. Lett., 1974, 45B, p. 517.
8. Losty M.J. e.a. Nucl. Phys., 1974, 69B, p. 185.
9. Hoogland W. e.a. Contrib. to XVIII Intern. Conf., on High Energy Physics, Tbilisi, 1976.
10. Батусов Ю.А. и др. ЯФ, 1965, 1, с. 526.
11. Батусов Ю.А. и др. ЖЭТФ, 1960, 39, с. 1850.
12. Батусов Ю.А. и др. ДАН, 1960, 133, с. 52.
13. Perkins W.A. e.a. Phys. Rev., 1960, 118, p. 1364.
14. Bjork C.W. e.a. Phys. Rev. Lett., 1980, 44, p. 62.
15. Blair I.M. e.a. Phys. Lett., 1970, 32B, p. 528.
16. Кравцов А.В. и др. ЯФ, 1974, 20, с. 942.

Рукопись поступила в издательский отдел  
3 октября 1980 года.