

СЗ46

С-347



**ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**  
**ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ**

**1 - 4938**

**В.М. Сидоров**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПИОНОВ  
С ПИОНАМИ, ДВОЙНАЯ ПЕРЕЗАРЯДКА ПИОНОВ,  
ОБНАРУЖЕНИЕ ЯДРА ГЕЛИЯ-8**

**Специальность 040 - экспериментальная физика**

**Автореферат диссертации на соискание учёной  
степени доктора физико-математических наук**

**Дубна 1970**

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований.

Официальные оппоненты:

член-корр. АН СССР, доктор физико-математических наук, профессор

В.И. Гольданский

доктор физико-математических наук, профессор

В.Г. Кириллов-Угрюмов

доктор физико-математических наук

Р.М. Рындин

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Институт теоретической и экспериментальной физики.

Автореферат разослан 1970 г.

Защита диссертации состоится 1970 г.

на заседании Ученого совета Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Адрес: г. Дубна, Московской области, Объединенный институт ядерных исследований, Лаборатория ядерных проблем.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета кандидат физико-математических наук

О.А. Займидорога

1 - 4938

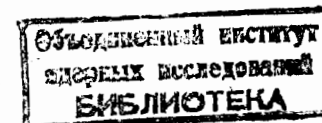
В.М. Сидоров

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПИОНОВ  
С ПИОНАМИ, ДВОЙНАЯ ПЕРЕЗАРЯДКА ПИОНОВ,  
ОБНАРУЖЕНИЕ ЯДРА ГЕЛИЯ-8

Специальность 040 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математических наук

6732 вр.



Исследование свойств сильного взаимодействия элементарных частиц является одной из важнейших проблем современной ядерной физики. Большинство работ, направленных на решение этой проблемы, в той или иной степени связано с изучением процессов, протекающих с участием  $\pi$ -мезонов. С момента обнаружения мезонов были изучены многие их внутренние свойства и свойства взаимодействия с другими частицами. Однако полученные результаты не уменьшили важности проведения дальнейших исследований. За последние десять лет особенно сильно возрос интерес к изучению реакций множественного образования мезонов, образования их совместно с гиперонами и  $K$ -мезонами, взаимодействия  $\pi$ -мезонов с атомными ядрами. Ключевым вопросом стал вопрос получения сведений о  $\pi\pi$ -взаимодействии.

Диссертация посвящена изучению взаимодействия  $\pi$ -мезонов с нуклонами и ядрами, сведения о которых ранее отсутствовали. Она написана на основе исследований, проведенных автором в период 1957-1969 гг и включает основные экспериментальные данные трех циклов работ:

1. Изучение реакций  $\pi N \rightarrow \pi\pi N$  вблизи порога с целью получения сведений о  $\pi\pi$ -взаимодействии;
2. Обнаружение и исследование реакций двойной перезарядки  $\pi$ -мезонов в интервале энергий от 0 до 390 Мэв;
3. Исследование захвата отрицательных  $\pi$ -мезонов с образованием ядер  $^8\text{Li}$  и  $^8\text{B}$  с целью поиска новых легких ядер и изучения механизма захвата.

Эксперименты были выполнены на синхроциклотроне Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ методом ядерных фотоэмульсий. Ра-

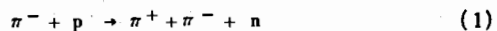
бота проводилась автором совместно с Ю.А.Батусовым, С.А.Бу-  
нятовым и В.А.Ярбой. В исследованиях реакций двойной.переза-  
рядки  $\pi^-$ -мезонов и в изучении механизма захвата принимали  
участие физики из Университета имени А.И.Кузы (г.Яссы, СРР),  
Института физики и математики АН МНР и Физического инсти-  
тута БАН.

Все основные результаты, включенные в диссертацию, были  
опубликованы в журналах ЯФ, ЖЭТФ, ДАН, Phys. Lett. и в пре-  
принтах ОИЯИ /1-27/. Наиболее важные из них докладывались на  
международных конференциях по физике, которые состоялись в  
Киеве (1959 г.), Рочестере (1960 г.), Женеве (1962 г.), Дуб-  
не (1964 г.), Гатлинбурге (1966 г.) и др., и содержатся в мате-  
риалах этих конференций.

Ниже кратко излагается содержание диссертации.

### 1.

Первая глава посвящена исследованиям реакции



в области энергий, близких к порогу мезонообразования. В экспе-  
риментах было зарегистрировано свыше 500 событий данной реак-  
ции при энергиях первичных мезонов в интервале 200-300 Мэв.  
На основании измерения этих событий были определены полные  
сечения реакции (1), зависимость их величины от энергии на-  
летающих мезонов, импульсные и угловые распределения вторич-  
ных частиц и спектры масс  $\pi^+\pi^-$  и  $\pi^+n$ -систем, образующих-  
ся в данной реакции. Результаты экспериментов представлены в  
табл. 1 и на рис. 1-5. Измерения полных сечений показали, что  
существовавшие ранее теоретические методы описания процессов  
образования мезонов мезонами на нуклонах, развитые на основе  
статической модели без учёта  $\pi\pi$ -взаимодействия, не дают  
согласия с экспериментом. Попытки рассмотрения реакции (1)  
как процесса прямого выбивания  $\pi^-$ -мезона из пионного облака  
нуклона в области энергий, близких к порогу мезонообразования,  
также оказались неудовлетворительными.

Таблица 1

Энергия, Мэв	Сечение, мбн	Литература
210 ± 7	0,015 ± 0,003	ЯФ I, 529, 1965
222 ± 5	0,027 ± 0,005	"
233 ± 7	0,053 ± 0,013	"
245 ± 15	0,10 ± 0,04	ЖЭТФ 39,1851,1960
246 ± 6	0,125 ± 0,028	ЯФ I, 529, 1965
264 ± 12	0,16 ± 0,06	"
288 ± 12	0,38 ± 0,09	"
290 ± 15	0,61 ± 0,13	ДАН,133,53,1960

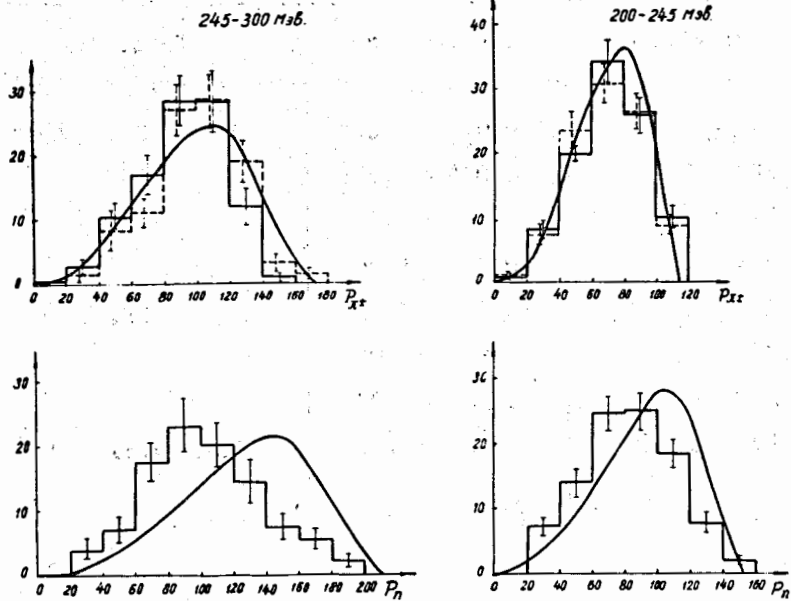


Рис. 1. Импульсные распределения вторичных частиц от реакции  $\pi^- + p \rightarrow \pi^+ + \pi^- + n$  в с.п.и. Пунктир соответствует  $\pi^-$ -мезонам.

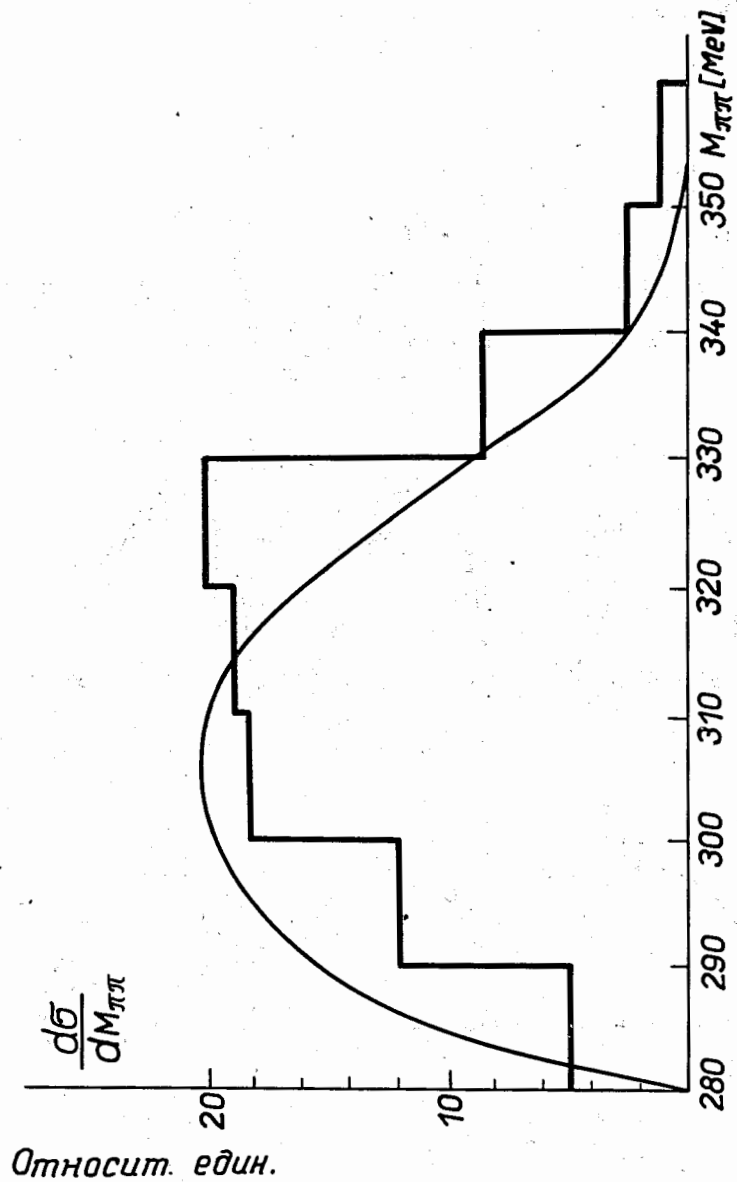


Рис. 2. Спектр масс  $\pi^+\pi^-$ -системы от реакции  $\pi^- + p \rightarrow \pi^+ + \pi^- + n$  (255 событий). Гистограмма - эксперимент, плавная кривая - фазовый объем.

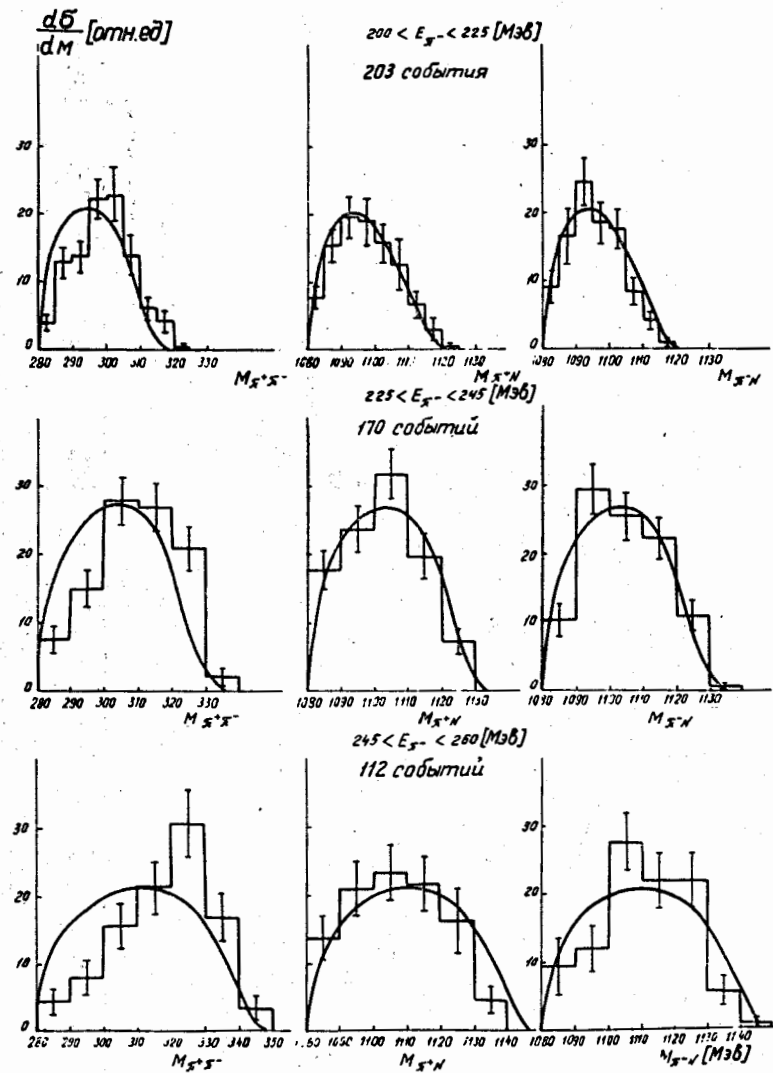


Рис. 3. Спектры масс  $\pi^+\pi^-$ ,  $\pi^+n$  -  $\pi^-n$  - систем от реакции  $\pi^- + p \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^+ + n$ .

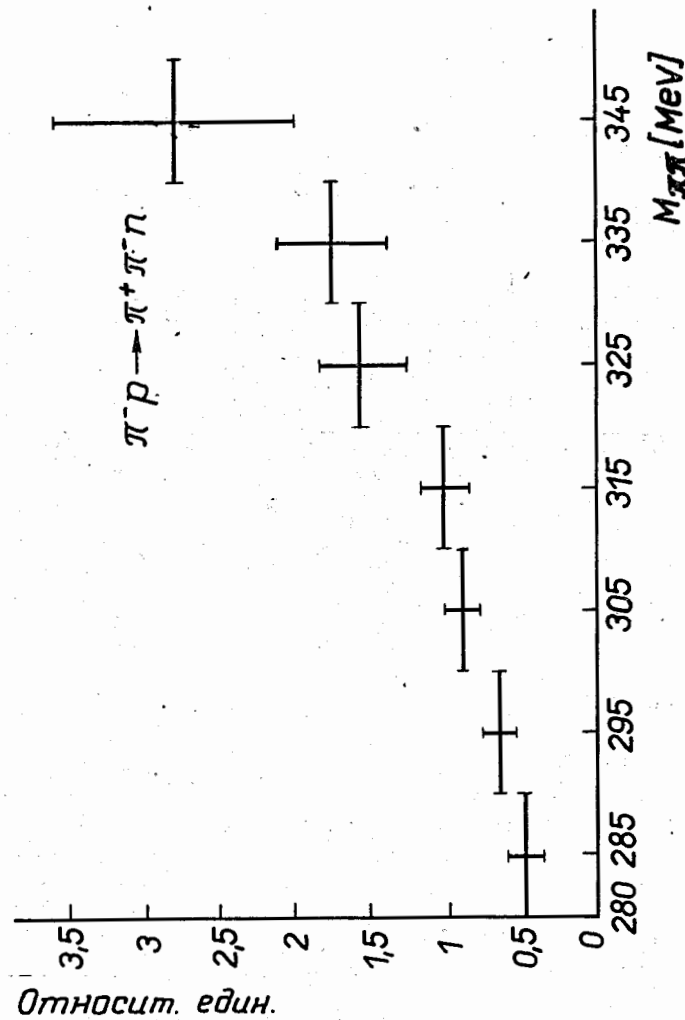


Рис. 4. Результат деления спектра масс  $\pi^+\pi^-$ -системы от реакции  $\pi^- + p \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^+ + n$  на фазовый объем.

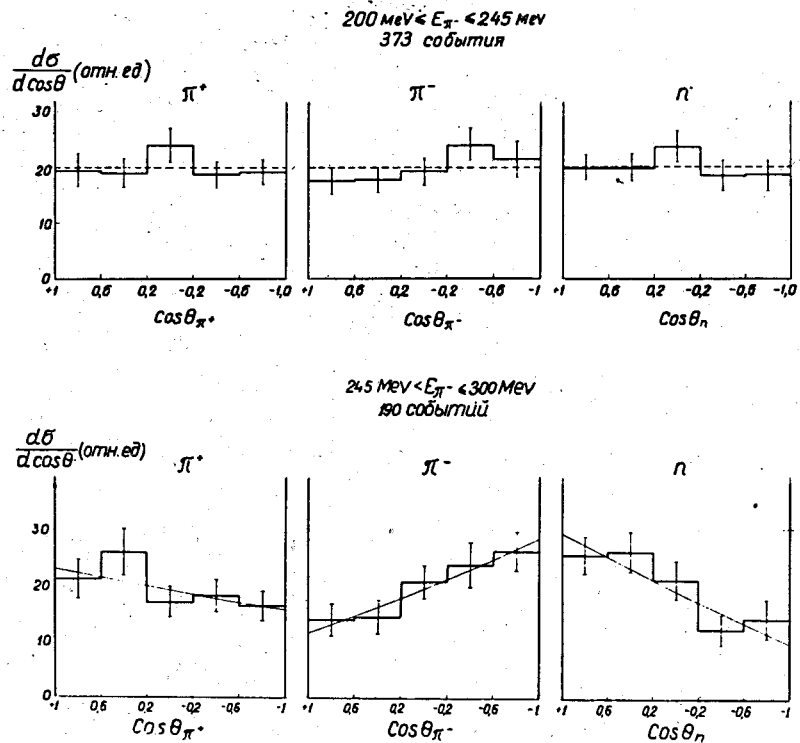


Рис. 5. Угловые распределения вторичных частиц от реакции  $\pi^- + p \rightarrow \pi^+ + \pi^- + n$  в с.п.и.

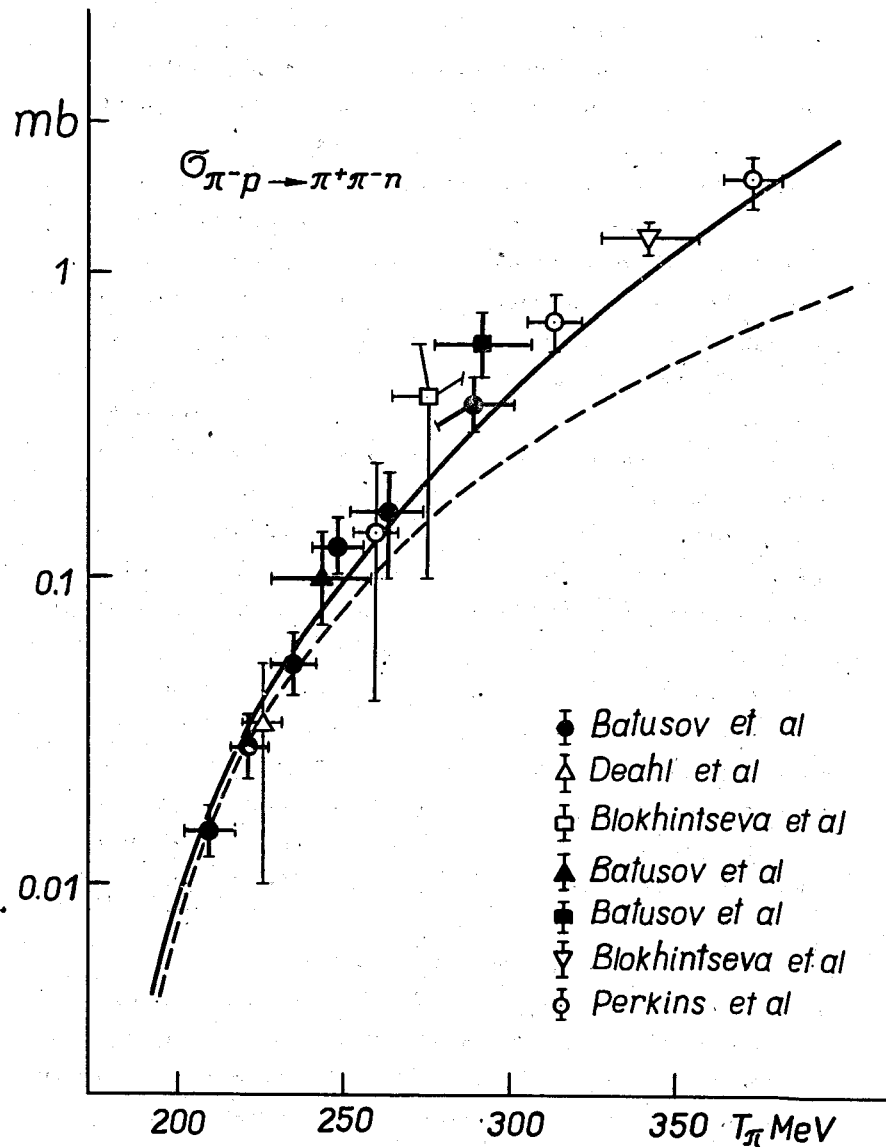


Рис. 6. Полные сечения реакции  $\pi^- + p \rightarrow \pi^+ + \pi^- + n$  /36/ Плавные кривые - расчёты Хатори, Кобояши и др.



В импульсных распределениях вторичных частиц, измеренных экспериментально, был отмечен сдвиг спектра нейтронов в сторону малых импульсов по отношению к фазовой кривой (рис. 1). Наблюденный эффект явился свидетельством того, что система из двух  $\pi$ -мезонов образуется преимущественно с большими массами. Это было подтверждено при подробном изучении спектров эффективных масс  $\pi^+\pi^-$ -системы вначале при энергии первичного  $\pi^-$ -мезона, равной 240 Мэв, а позднее - в трех энергетических интервалах в диапазоне 200-260 Мэв. Результаты приведены на рис. 2 и 3. Одновременно были получены спектры эффективных масс  $\pi^+\pi$  и  $\pi^-\pi$ -систем. Они имеют некоторое отклонение от фазового объема лишь при максимальной энергии и с уменьшением энергии первичного  $\pi^-$ -мезона полностью согласуются с фазовыми кривыми. Следовательно,  $\pi N$ -взаимодействие не может быть причиной наблюдаемых отклонений. В то же время спектры масс  $\pi\pi$ -системы во всем исследованном диапазоне энергий систематически смещены по отношению к фазовой кривой в сторону больших значений масс. Такое расхождение спектров масс с распределением фазовых объемов было качественно объяснено влиянием  $\pi\pi$ -взаимодействия в конечном состоянии. Зависимость квадрата матричного элемента реакции (1) от массы  $\pi\pi$ -системы представлена на рис. 4. Из рисунка видно, что матричный элемент монотонно возрастает и никаких аномалий резонансного характера в интервале 280-350 Мэв не наблюдается.

Полученные экспериментальные данные позволили определить разность длин рассеяния  $\pi$ -мезона  $\pi$ -мезоном в  $s$ -состоянии методом Ансельма-Грибова. В теории Грибова, Ансельма и Анисовича<sup>/28/</sup> были учтены  $\pi\pi$  и  $\pi N$ -взаимодействия в конечном состоянии. Согласно их работам, квадрат матричного элемента реакции (1) с точностью до линейных по относительным импульсам членов равен

$$M^2 = \rho^2 (1 + ck_{12} + dk_{13}) ,$$

где  $\rho^2$  - квадрат матричного элемента реакции (1) при пороговой энергии,  $k_{12}$  и  $k_{13}$  - импульсы  $\pi^+$ -мезона соответственно в системе покоя  $\pi^+\pi^-$  и  $\pi^+\pi$ . Отношение коэффициентов  $c/d$  равно

$$-\frac{c}{d} = \frac{a_0 - a_2}{b_{1/2} - b_{3/2}} .$$

Здесь  $a_0$  и  $a_2$  - длины рассеяния  $\pi$ -мезона на  $\pi$ -мезоне с изотопическими спинами 0 и 2;  $b_{1/2}$  и  $b_{3/2}$  - длины рассеяния  $\pi$ -мезона на нуклоне.

Первая попытка определения разности длин  $\pi\pi$ -рассеяния с помощью этого метода была предпринята по результатам, полученным при энергии 290 Мэв<sup>/4/</sup>. В дальнейшем были использованы экспериментальные данные в области энергий, близких к порогу мезообразования, - 200-245 Мэв, где угловые распределения всех вторичных частиц в реакции (1) изотропны (рис. 5).

Разность длин  $\pi\pi$ -рассеяния была получена равной

$$a_0 - a_2 = +(0,25 \pm 0,05) \text{ h} / \mu \text{c} .$$

Этот результат находится в согласии с полученным ранее<sup>/4/</sup>.

Сравнение различных реакций образования мезонов мезонами позволило заключить, что  $\pi$ -мезоны взаимодействуют между собой в рассматриваемой области энергий преимущественно в состоянии с изотопическим спином  $T_{\pi\pi} = 0$ . На основании этого был сделан вывод о том, что  $a_0$  больше, чем  $a_2$  и, следовательно, величина  $a_0$  положительна.

Полное сечение упругого рассеяния  $\pi^+$ -мезонов на  $\pi^-$ -мезонах определялось экстраполяционным методом Чу-Лоу<sup>/29/</sup>. В интервале масс  $\pi\pi$ -системы 280-340 Мэв путем линейной экстраполяции величина сечения была получена равной

$$\sigma(\pi^+\pi^- \rightarrow \pi^+\pi^-) = (25 \pm 9) 10^{-27} \text{ см}^2 .$$

Измерения разности  $s$ -волновых длин и полного сечения упругого  $\pi^+\pi^-$ -рассеяния позволили получить величины  $a_0 = 0,4$  и  $a_2 = 0,15$  и вычислить сечения рассеяния  $\pi$ -мезона на  $\pi$ -мезоне при нулевой энергии во всех зарядовых состояниях:



$$\begin{aligned} \sigma(\pi^+\pi^-\rightarrow\pi^+\pi^-) &= \frac{4\pi}{9} / 2a_0 + a_2 / ^2 = (25 \pm 9) 10^{-27} \text{ см}^2, \\ \sigma(\pi^+\pi^-\rightarrow\pi^0\pi^0) &= \frac{8\pi}{9} / a_2 - a_0 / ^2 = (3,5 \pm 1,4) 10^{-27} \text{ см}^2, \\ \sigma(\pi^0\pi^0\rightarrow\pi^+\pi^-) &= \frac{16\pi}{9} / a_2 - a_0 / ^2 = (7,0 \pm 2,8) 10^{-27} \text{ см}^2, \\ \sigma(\pi^0\pi^0\rightarrow\pi^0\pi^0) &= \frac{8\pi}{9} / a_0 + 2a_2 / ^2 = (27 \pm 7) 10^{-27} \text{ см}^2, \\ \sigma(\pi^\pm\pi^\pm\rightarrow\pi^\pm\pi^\pm) &= 8\pi / a_2 / ^2 = (11 \pm 4) 10^{-27} \text{ см}^2, \\ \sigma(\pi^\pm\pi^0\rightarrow\pi^\pm\pi^0) &= 4\pi / a_2 / ^2 = (5,5 \pm 2) 10^{-27} \text{ см}^2. \end{aligned}$$

По результатам теоретических работ <sup>/30/</sup>, в которых взаимодействие  $\pi$ -мезона с  $\pi$ -мезоном изучалось на основе спектральных представлений амплитуд рассеяния Мандельштама, и по значению разности  $a_0 - a_2$ , найденному экспериментально, была определена константа  $\pi\pi$ -взаимодействия:

$$\lambda = 0,07 \pm 0,01.$$

Результаты измерений полных сечений реакции (1) и спектров масс вторичных частиц, приведенных в диссертации, при высоких энергиях исследованного интервала подтверждены данными других работ <sup>/31-33/</sup>. При энергиях, наиболее близких к порогу мезообразования, эти результаты единственны. Они явились критерием проверки различных теоретических моделей, развитых с применением алгебры токов <sup>/34,35/</sup>. Выводы этих теорий о параметрах  $\pi\pi$ -взаимодействия подтверждают результаты, полученные в диссертации. На рис. 6 дано сравнение расчетов, выполненных в работе <sup>/36/</sup>, с результатами, представленными в диссертации, и с данными других работ.

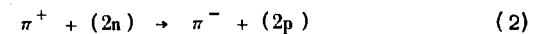
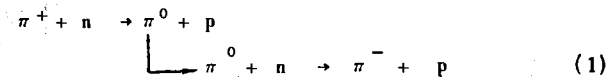
## II.

Во второй главе дано описание экспериментов, в которых было обнаружено явление двойной перезарядки  $\pi$ -мезонов, и проведены исследования этого явления.

В первом опыте, выполненном в 1963 г. <sup>/12/</sup>, эмульсионная камера была облучена  $\pi^+$ -мезонами с энергией 80 Мэв. В проявленных эмульсионных слоях производился поиск остановившихся  $\pi^-$ -мезонов по характерным  $\sigma$ -звездам. Следы их просматривались наблюдателем в эмульсионной камере. Оказалось, что отрицательные  $\pi$ -мезоны возникают в звездах, образованных первичными положительными мезонами. Таким образом, в этом опыте было обнаружено, что при взаимодействии с атомным ядром положительный  $\pi$ -мезон превращается в отрицательный без образования дополнительных мезонов. Такое превращение было названо двойной перезарядкой  $\pi$ -мезона. Аналогичным способом были зарегистрированы события двойной перезарядки  $\pi^-$ -мезонов.

В дальнейших экспериментах реакции двойной перезарядки  $\pi^+$ - и  $\pi^-$ -мезонов на ядрах в фотоэмульсии исследовались в диапазоне энергий от 0 до 390 Мэв. Были измерены сечения этих процессов, энергетические и угловые распределения вторичных мезонов, проведен анализ ядерных расщеплений, сопровождающих реакции двойной перезарядки. Специальные эксперименты были выполнены для изучения этих процессов на ядрах Ве, С, Al, Zn, Cd, Ni и Pb. Результаты представлены на рис. (7-11).

Для объяснения механизма наблюдаемого явления в диссертации рассмотрены две схемы, по которым может происходить двойная перезарядка  $\pi$ -мезона в ядре-мишени:



Сравнение экспериментальных данных с теоретическими расчетами <sup>/37,38/</sup> свидетельствует о том, что в действительности осуществляются обе эти схемы.

При двойной перезарядке  $\pi$ -мезонов атомные ядра могут испытывать переходы в изобарные состояния с изменением заря-

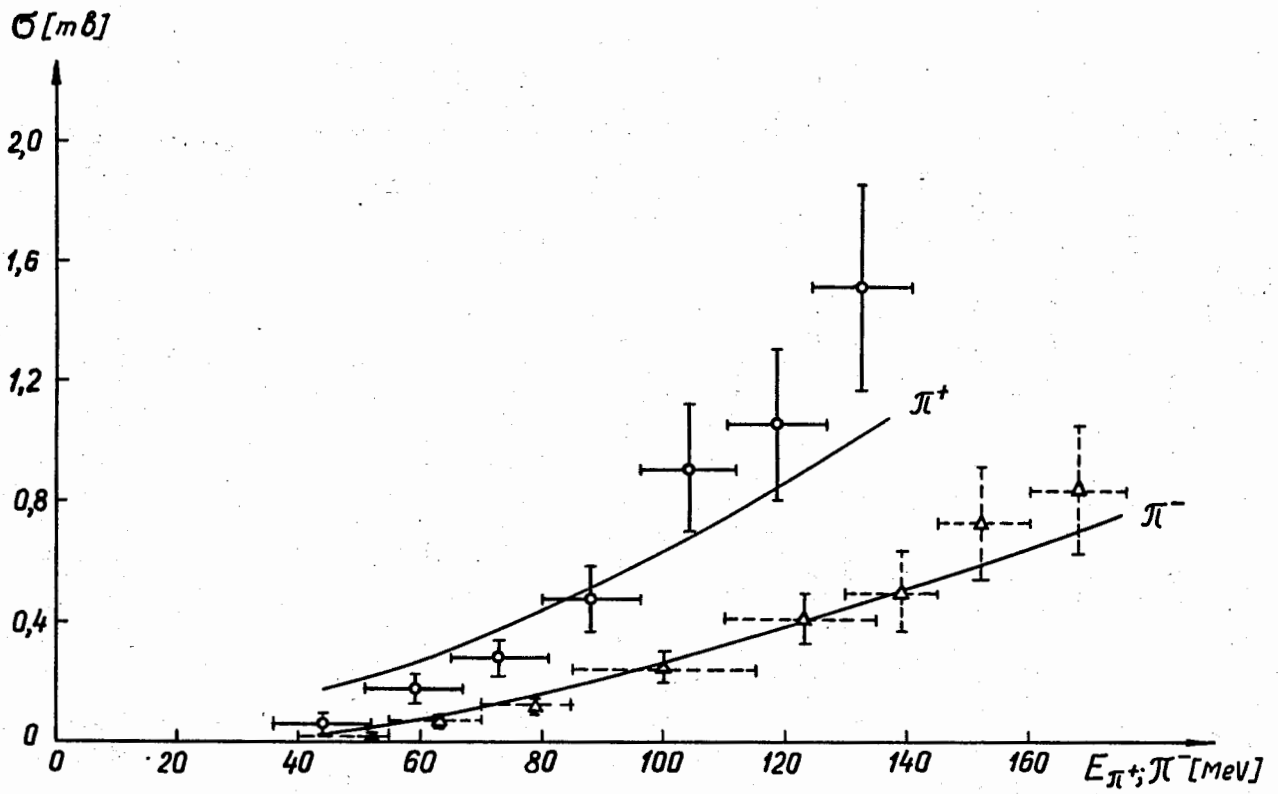


Рис. 7. Полные сечения двойной перезарядки  $\pi$ -мезонов. Плавные кривые - расчёт по каскадной модели/37/.

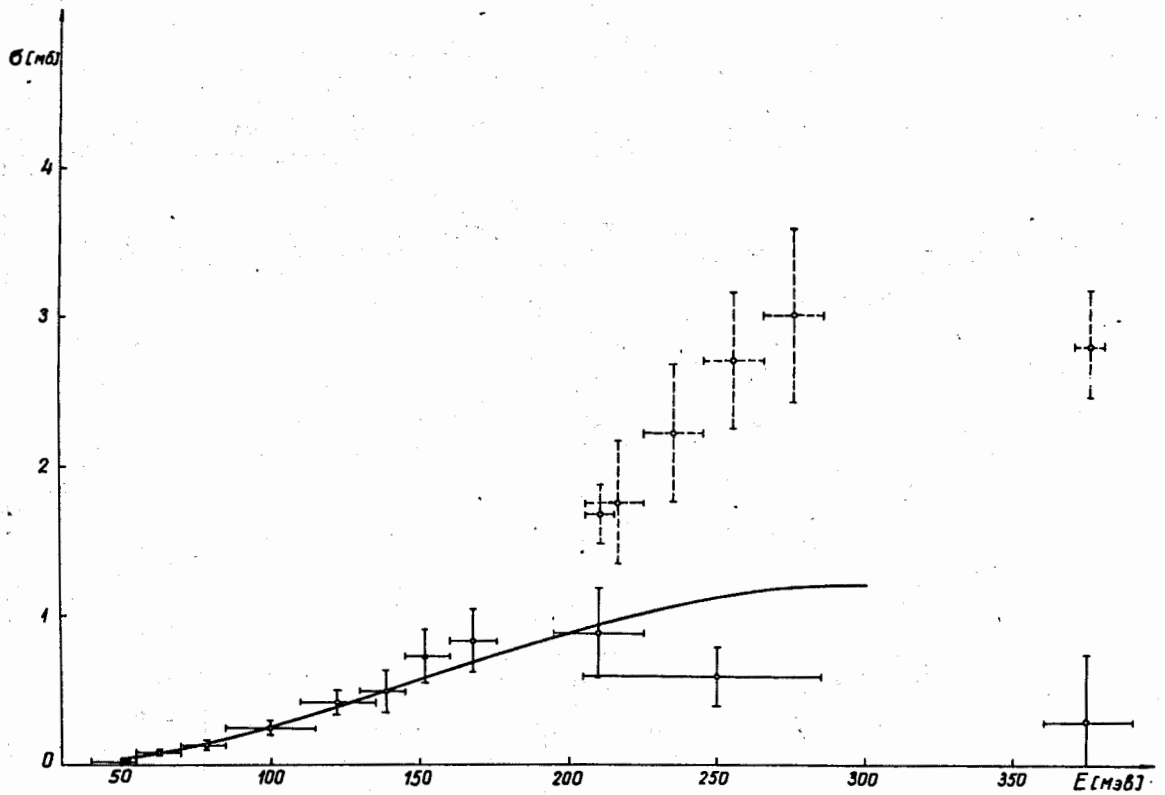


Рис. 8. Полные сечения двойной перезарядки  $\pi$ -мезонов и образования мезонов мезонами.

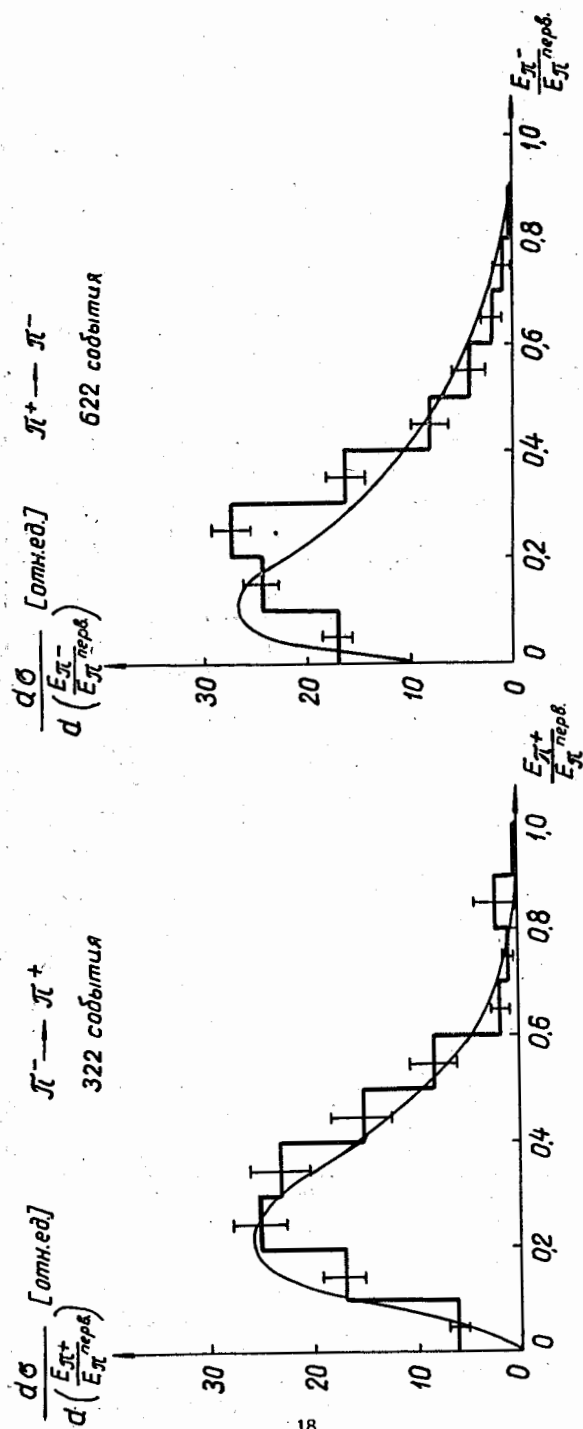


Рис. 9. Энергетические распределения вторичных мезонов от двойной перезарядки на ядрах в фотоэмульсии.

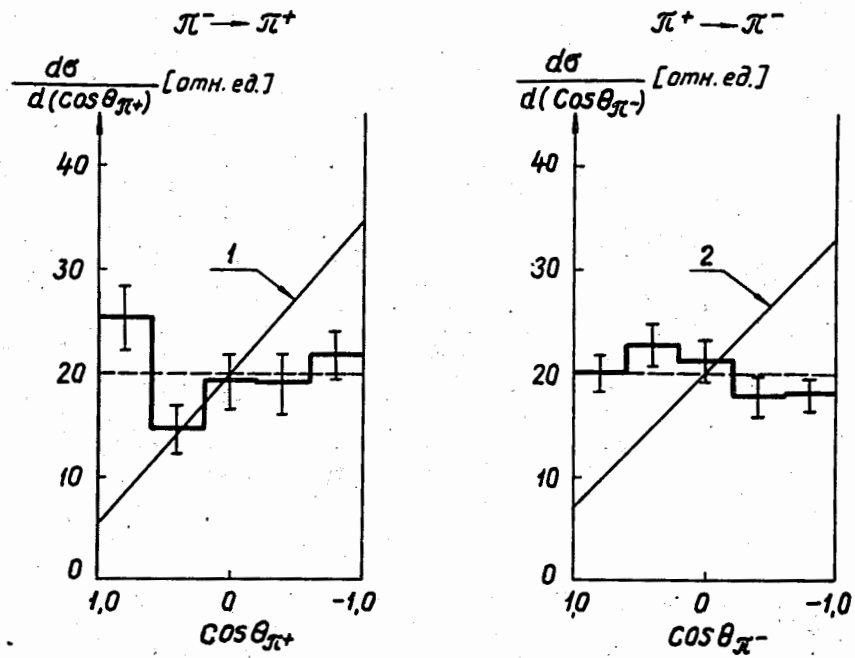


Рис. 10. Угловые распределения вторичных мезонов от двойной перезарядки.  
1 и 2 - результаты расчёта по каскадной модели /37/.

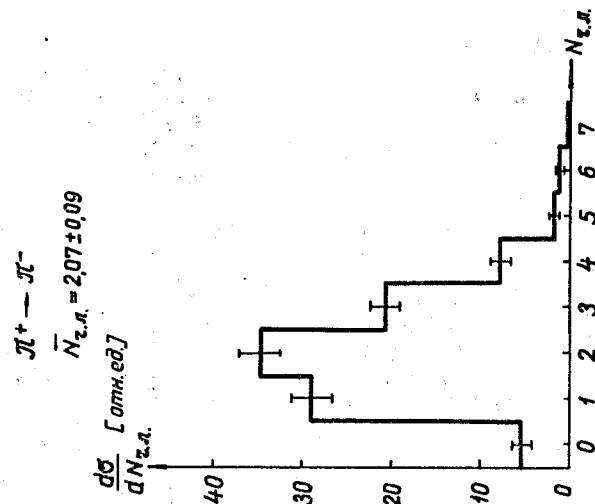
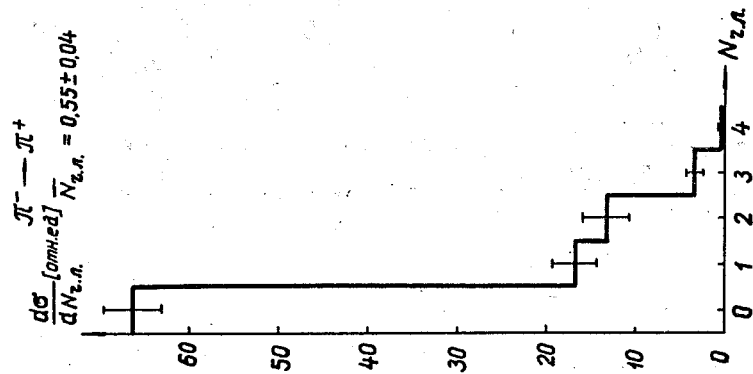
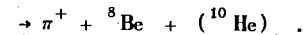
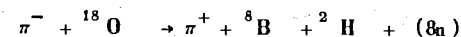
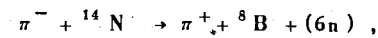
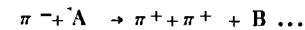


Рис. 11. Распределение событий двойной перезарядки по числу лучей.

да на две единицы. В диссертации отмечается важность исследования таких переходов для изучения структуры ядер, их аналоговых состояний с большим избытком нейтронов или протонов и для изучения парных корреляций нуклонов в ядрах. Подчеркивается возможность использования двойной перезарядки  $\pi^-$ -мезонов для образования новых атомных ядер, неизвестных в настоящее время, и для изучения многонейтронных систем:



При энергиях, превышающих порог мезообразования, предсказывается возможность осуществления реакций типа:



Результаты первых экспериментов, выполненных в Дубне, полностью подтверждены. В диссертации сообщаются результаты экспериментов, выполненных в других лабораториях, и дается обзор теоретических исследований реакций двойной перезарядки.

### III.

Третья глава посвящена исследованиям ядерного захвата  $\pi^-$ -мезонов и поискам новых легких ядер.

В экспериментах было зарегистрировано около 18000  $\sigma$ -звезд, в которых присутствовал T-образный след. На основе этого материала были проведены работы с целью доказательства существования сверхтяжелого изотопа гелия -  ${}^8\text{He}$ , поиска тетранейтрона  $-(n^4)$  и изучения механизма захвата мезонов ядрами.

Возможность существования ядра  ${}^8\text{He}$ , стабильного по отношению к испусканию нейтронов, была предсказана Я.Б.Зельдовичем<sup>/39/</sup> и В.И.Гольданским<sup>/40/</sup> в 1960 г. Однако строгого экспериментального доказательства существования такого ядра до 1965 г. не было. В диссертации сообщаются результаты исследований, выполненных на синхротроне Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ, в которых были зарегистрированы акты рождения

и распада ядер  ${}^8\text{He}$ . Поиск производился по T-образным следам с двумя электронными следами, которые должны были возникать согласно предполагаемой схеме распада  ${}^8\text{He}$ . Было зарегистрировано 16 случаев образования  ${}^8\text{He}$  при захвате  $\pi^-$ -мезонов ядрами углерода, азота и кислорода. В 15 из них был точно установлен канал реакции. Пример одного из таких событий показан на микрофотографии (рис. 12). Результаты кинематического анализа представлены в таблице II.

Среднее значение массы атома  ${}^8\text{He}$  получено равным

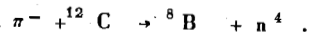
$$M_{{}^8\text{He}} = 7482,5 \pm 0,4 \text{ Мэв.}$$

/41/

Этот результат находится в согласии с данными работы .

Из факта существования  $\beta$ -активного ядра  ${}^8\text{He}$  было сделано заключение, что энергия связи тетранейтрона (если он существует) не превышает  $3,7 \pm 0,4$  Мэв. В противном случае  ${}^8\text{He}$  распадался бы на  ${}^4\text{He} + n$ .

С теоретической точки зрения возможность существования связанной системы из четырех нейтронов не исключена /42/. Поэтому в ряде экспериментов проводились поиски реакций с образованием тетранейтрона. Однако ни в одном из них это ядро не было обнаружено. В реферируемой работе сообщается о поисках тетранейтрона в реакции



Это - единственная двухчастичная реакция однолучевого типа из всех возможных реакций с испусканием ядер  ${}^8\text{Li}$  или  ${}^8\text{B}$  при захвате  $\pi^-$ -мезонов легкими ядрами в фотоэмульсии. Из кинематики следует, что пробег ядер  ${}^8\text{B}$  должен равняться 37 мкм в предположении, что энергия связи тетранейтрона равна нулю. Было проанализировано 63  $\sigma$ -звезды, в которых имелся только T-образный след. Распределение по длинам этих следов позволило заключить об отрицательном результате поиска данной реакции. Верхняя граница ее вероятности по отношению ко всем захватам  $\pi^-$ -мезонов ядрами углерода получена меньше, чем  $2,6 \cdot 10^{-6}$ .

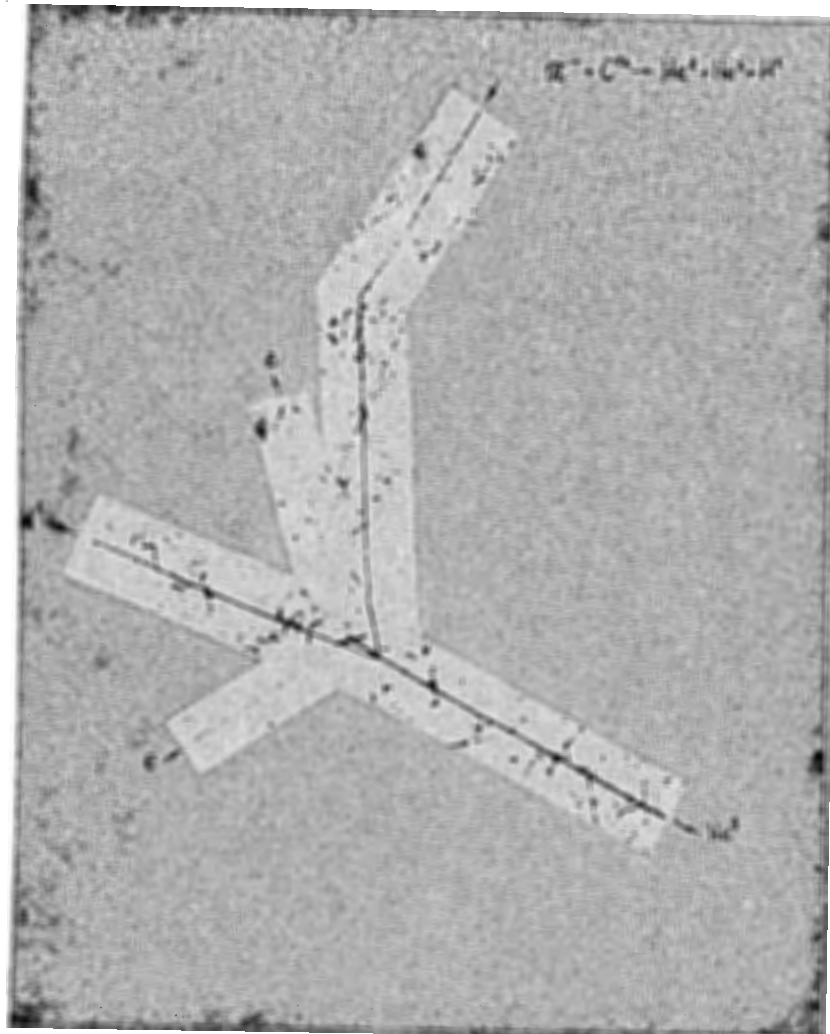


Рис. 12. Микрофотография события №1.

Таблица II

№ со- бытий	Реакция	Масса ато- ма He <sup>8</sup> , Мэв	Избыток массы He <sup>8</sup> , Мэв	Масса ней- трона, Мэв
I	$\pi^- + C^{12} \rightarrow He^8 + He^3 + H^1$	$7481,7 \pm 3,1$	$30,2 \pm 3,1$	
2	$\pi^- + C^{12} \rightarrow He^8 + H^2 + H^1 + H^1$	$7480,0 \pm 1,1$	$28,5 \pm 1,1$	
3	$\pi^- + O^{16} \rightarrow He^8 + H^1 + He^4 + He^3$	$7482,6 \pm 1,0$	$31,1 \pm 1,0$	
4	$\pi^- + C^{12} \rightarrow He^8 + H^1 + He^3$	$7483,2 \pm 1,0$	$31,7 \pm 1,0$	
5	$\pi^- + C^{12} \rightarrow He^8 + H^1 + H^2 + H^1$	$7482,5 \pm 1,0$	$31,0 \pm 1,0$	
6	$\pi^- + C^{12} \rightarrow He^8 + H^1 + H^2 + H^1$	$7483,5 \pm 1,0$	$32,0 \pm 1,0$	
7	$\pi^- + C^{12} \rightarrow He^8 + H^1 + H^2 + H^1$	$7483,0 \pm 1,0$	$31,5 \pm 1,0$	
8	$\pi^- + C^{12} \rightarrow He^8 + H^1 + H^2 + H^1$	$7481,7 \pm 1,0$	$30,2 \pm 1,0$	
9	$\pi^- + C^{12} \rightarrow He^8 + H^1 + H^1 + H^1 + n$			$934,6 \pm 5,0$
10	$\pi^- + C^{12} \rightarrow He^8 + H^1 + H^1 + H^1 + n$			$941,8 \pm 5,0$
11	$\pi^- + C^{12} \rightarrow He^8 + H^1 + H^1 + H^1 + n$			$941,9 \pm 5,0$
12	$\pi^- + C^{12} \rightarrow He^8 + H^1 + H^1 + H^1 + n$			$934,3 \pm 5,0$
13	$\pi^- + C^{12} \rightarrow He^8 + H^1 + H^1 + H^1 + n$			$949,8 \pm 5,0$
14	$\pi^- + C^{12} \rightarrow He^8 + H^1 + H^1 + H^1 + n$			$947,4 \pm 5,0$
15	$\pi^- + N^{14} \rightarrow He^8 + H^2 + H^1 + H^1 + H^1 + n$			$940,6 \pm 5,0$

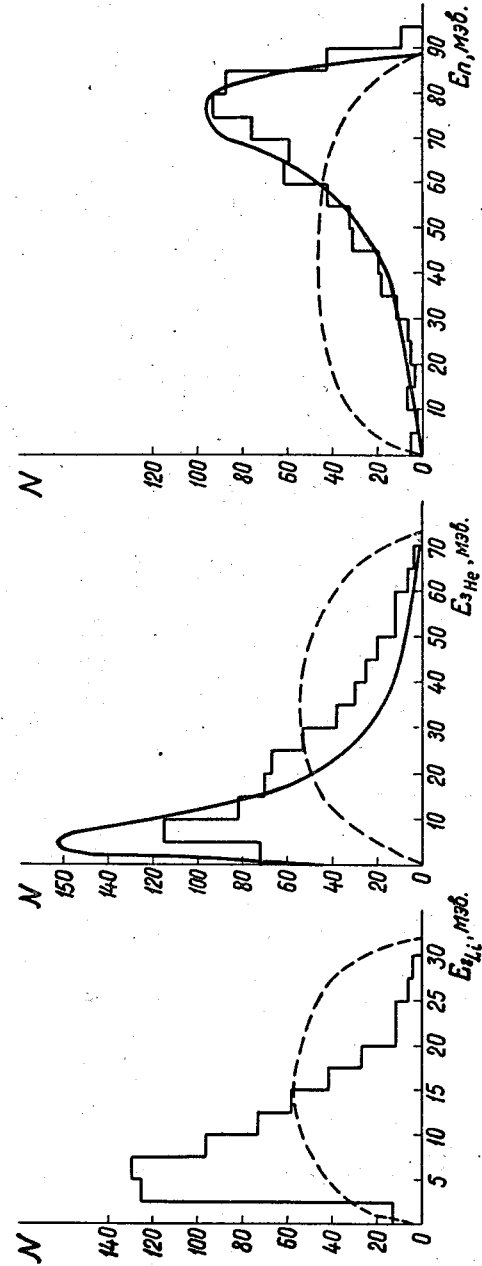


Рис. 13. Энергетические распределения вторичных частиц от реак-  
ции  $\pi^- + {}^{12}\text{C} \rightarrow {}^8\text{He} + {}^3\text{Li} + {}^3\text{He} + n$ .  
Гистограмма - эксперимент; сплошная кривая - теоре-  
тический расчёт/43/, пунктир - фазовый объем.

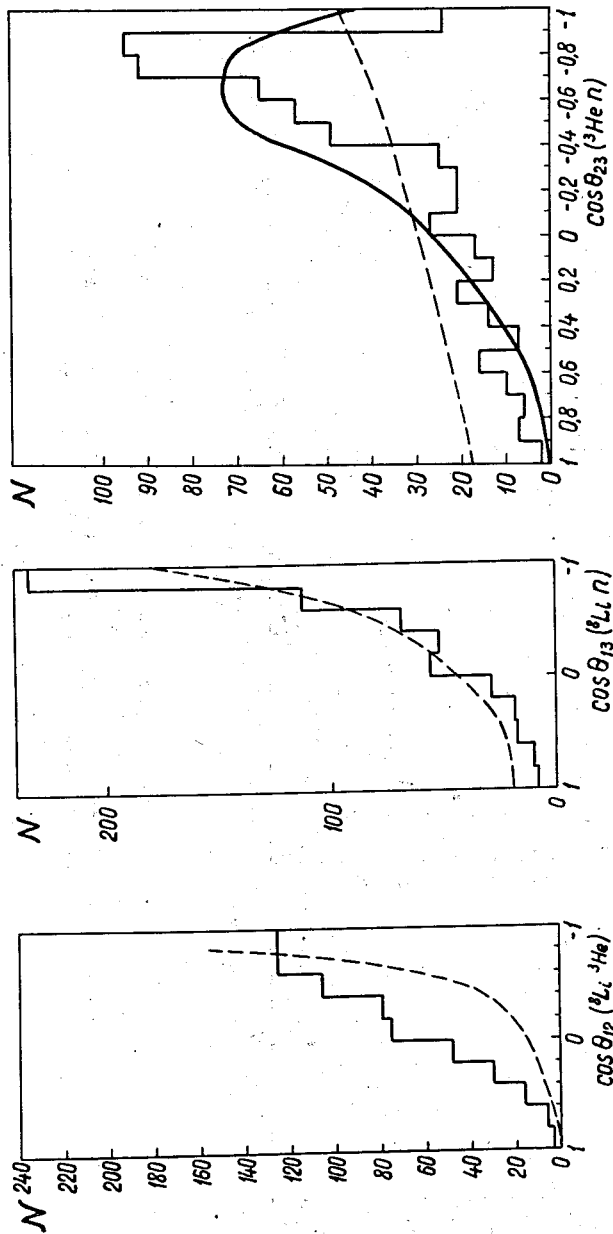


Рис. 14. Угловые распределения вторичных частиц от реакции  $\pi^- + {}^{12}\text{C} \rightarrow {}^8\text{Li} + n$ .  
 Гистограмма - эксперимент, сплошная кривая - теоретический расчёт/43/, пунктир - фазовый объем.

В работе был проведен также анализ всех зарегистрированных событий двухлучевого типа, возникающих при захвате  $\pi^-$ -мезонов ядрами C, N, O; и произведена оценка вероятностей следующих реакций:

$$w_1 (\pi^- {}^{12}\text{C} \rightarrow {}^8\text{Li} + {}^4\text{He}) < 1,9 \cdot 10^{-6}$$

$$w_2 (\pi^- {}^{14}\text{N} \rightarrow {}^8\text{Li} + {}^6\text{Li}) < 4,6 \cdot 10^{-6}$$

$$w_3 (\pi^- {}^{16}\text{O} \rightarrow {}^8\text{B} + {}^8\text{He}) < 1,8 \cdot 10^{-4}$$

$$w_4 (\pi^- {}^{12}\text{C} \rightarrow {}^8\text{Li} + {}^3\text{He} + n) \approx 2,2 \cdot 10^{-4}$$

$$w_5 (\pi^- {}^{16}\text{O} \rightarrow {}^8\text{Li} + {}^7\text{Be} + n) \leq 1,2 \cdot 10^{-5}$$

Спектры вторичных частиц от реакции  $\pi^- + {}^{12}\text{C} \rightarrow {}^8\text{Li} + {}^3\text{He} + n$  (рис. 13 и 14) показывают хорошее согласие с теоретическими расчётами /38/, выполненными в предположении прямого поглощения  $\pi^-$ -мезонов ассоциацией из четырех нуклонов ( ${}^4\text{Li}$ ) в ядре  ${}^{12}\text{C}$ .

В заключении диссертации приведены основные выводы:

I. Исследованы процессы рождения заряженных  $\pi^-$ -мезонов  $\pi^-$ -мезонами на нуклонах и ядрах в интервале энергий 200-390 Мэв.

II. Определены основные параметры взаимодействия  $\pi^-$ -мезонов с  $\pi^-$ -мезонами при нулевой энергии:

1) Измерена разность длин  $\pi\pi^-$ -рассеяния в s-состоянии:

$$(a_0 - a_2) = (0,25 \pm 0,05) \text{ н/мкс};$$

2) Определена константа связи  $\pi\pi^-$ -взаимодействия:

$$\lambda = (0,07 \pm 0,01);$$

3) Получены сечения рассеяния  $\pi^-$ -мезона на  $\pi^-$ -мезоне во всех зарядовых состояниях.

III. Определено сечение упругого рассеяния  $\pi^+$ -мезонов на  $\pi^-$ -мезонах.

В интервале масс  $\pi\pi^-$ -системы 280-340 Мэв это сечение составляет

$$(25 \pm 9) \cdot 10^{-27} \text{ см}^2.$$



IV. Обнаружено явление двойной перезарядки положительных и отрицательных  $\pi$ -мезонов и исследованы основные характеристики процессов двойной перезарядки на различных ядрах в интервале энергий от 0 до 390 Мэв.

V. Получено доказательство существования сверхтяжелого изотопа гелия - ядра  $^8\text{He}$ .

Определены относительные вероятности его образования при захвате  $\pi^-$ -мезонов ядрами углерода, азота и кислорода.

Измерена масса атома  $^8\text{He}$  :

$$M = (7482,5 \pm 0,4) \text{ Мэв.}$$

VI. Исследован ряд реакций с образованием  $^8\text{Li}$  и  $^8\text{B}$  при захвате  $\pi^-$ -мезонов легкими ядрами.

Проведены поиски тетранейтрона и установлено, что относительная вероятность его образования в реакции  $\pi^- + ^{12}\text{C} \rightarrow ^8\text{B} + n^4$  не превышает  $2,6 \cdot 10^{-6}$ .

#### Литература

1. Ю.А.Батусов, Н.П.Богачёв, В.М.Сидоров, И.Чулли. ДАН СССР 128, 491 (1959).
2. Ю.А.Батусов, Н.П.Богачёв, С.А.Бунятов, В.М.Сидоров, В.А.Ярба. ДАН СССР 133, 52 (1960).
3. Ю.А.Батусов, С.А.Бунятов, В.М.Сидоров, В.А.Ярба. ЖЭТФ 40, 460 (1960).
4. Ю.А.Батусов, С.А.Бунятов, В.М.Сидоров, В.А.Ярба. ЖЭТФ 39, 506 (1960).
5. Ю.А.Батусов, С.А.Бунятов, В.М.Сидоров, В.А.Ярба. ЖЭТФ 40, 1528 (1961).
6. Ю.А.Батусов, С.А.Бунятов, В.М.Сидоров, В.А.Ярба. ЖЭТФ 39, 1850 (1960).
7. Ю.А.Батусов, С.А.Бунятов, В.М.Сидоров, В.А.Ярба. ЖЭТФ 43, 2015 (1962).
8. Ю.А.Батусов, С.А.Бунятов, До Ин Себ, В.М.Сидоров, В.А.Ярба. ЖЭТФ 45, 913 (1963).
9. Ю.А.Батусов, С.А.Бунятов, В.М.Сидоров, В.А.Ярба. ЯФ 1, 526 (1965).

10. Ю.А.Батусов, С.А.Бунятов, В.М.Сидоров, В.А.Ярба. ЯФ 1, 687 (1965).
11. Ю.А.Батусов, С.А.Бунятов, В.М.Сидоров, В.А.Ярба. Труды XII Международной конференции по физике высоких энергий, Дубна (1964). Proc. X Conf. Roch. (1960), XI Conf. CERN., 1962.
12. Ю.А.Батусов, С.А.Бунятов, В.М.Сидоров, В.А.Ярба. ЖЭТФ 46, 817 (1964).
13. Ю.А.Батусов, С.А.Бунятов, В.М.Сидоров, В.А.Ярба. Международная конференция по физике высоких энергий, Атомиздат (1964), стр. 64-66.
14. Ю.А.Батусов, С.А.Бунятов, В.М.Сидоров, В.А.Ярба. ЯФ 3, 363 (1965).
15. Ю.А.Батусов, С.А.Бунятов, В.М.Сидоров, В.А.Ярба. ЯФ 9, 309 (1966).
16. Ю.А.Батусов, С.А.Бунятов, Г.Ионице, Е.Лозняну, В.Михул, В.М.Сидоров, В.А.Ярба. ЯФ 5, 354 (1967).
17. Ю.А.Батусов, С.А.Бунятов, В.М.Сидоров, В.А.Ярба. ЯФ 6, 998 (1967).
18. Ю.А.Батусов, С.А.Бунятов, Н.Далхажав, Г.Ионице, Е.Лозняну, В.Михул, В.М.Сидоров, Д.Тувдендорж, В.А.Ярба, В.А.Ярба. ЯФ 9, 378 (1969).
19. Ю.А.Батусов, С.А.Бунятов, В.М.Сидоров, В.А.Ярба. ЯФ 9, 150 (1969).
20. Ю.А.Батусов, Б.Ж.Залиханов, В.М.Сидоров, Д.Тувдендорж, В.А.Ярба. Препринт ОИЯИ Р1-4703 (1969), г.Дубна.
21. Ю.А.Батусов, С.А.Бунятов, В.М.Сидоров, В.А.Ярба. Phys.Lett., 22, 487 (1966).
22. Ю.А.Батусов, С.А.Бунятов, В.М.Сидоров, В.А.Ярба. ЯФ 7, 28 (1968).
23. Ю.А.Батусов, С.А.Бунятов, В.М.Сидоров, В.А.Ярба. ЯФ 6, 1149 (1967).
24. Ю.А.Батусов, С.А.Бунятов, В.М.Сидоров, В.А.Ярба. Препринт ОИЯИ Р1-3372, Дубна (1967).

25. Yu. A. Batusov, S. A. Buniatov, V. M. Sidorov, V. A. Yarba, Gatlinburg, Tennessee, Sept. 12-17 (1966).
26. Ю.А.Батусов, С.А.Бунятов, В.М.Сидоров, Ю.С.Чайка, Х.М.Чернев, В.А.Ярба. Препринт ОИЯИ P1-4309, Дубна (1969).
27. N.M. Agababian, Yu. A. Batusov, S. A. Buniatov, Ch. M. Chernev, P. Cuer, J.-P. Massue, V. M. Sidorov, V. A. Yarba. Сообщение ОИЯИ E1-4492, Дубна (1969).
28. А.А.Ансельм, В.Н.Грибов. ЖЭТФ 37, 501 (1959);  
В.В.Анисович, А.А.Ансельм, В.Н.Грибов. ЖЭТФ 42, 224 (1962).
29. G.F. Chew, F.E. Low. Phys.Rev., 113, 1640 (1959).
30. В.В.Серебряков, Д.В.Ширков. Phys.Lett., 1, 195 (1962);  
Fortschritte der Physik, 13, 227-276, 1965.
31. Т.Д.Блохинцева, В.Г.Гребинник, В.А.Жуков, Г.Либман, Л.Л.Неменов, Г.И.Селиванов, Юань Жун-фан. ЖЭТФ 44, 116 (1963).
32. J. Deahl, M. Derrick, J. Fetkovich, T. Fields, G.B. Yodh. Phys.Rev., 124, 1927 (1961).
33. W. Perkins, J. Caris, P. Kenney, V. Perez-Mendes. Phys. Rev., 118, 1364 (1960).
34. S. Weinberg. Phys.Rev.Lett., 17, 616 (1966); 18, 188 (1967).  
Preprint R-4070, Vienna (1968), V. II, p. 396.
35. Lay-Nam Chang. Phys.Rev., 162, 1497 (1967).
36. C. Hatteri, M. Kobayashi, H. Kondo, T. Maskawa. Progr. Theor. Phys., 41, 1515 (1969).
37. Ю.А.Батусов, В.И.Кочкин, В.М.Мальцев. Препринт ОИЯИ P2-3004, Дубна (1966).
38. F. Becker, Z. Maric. Nuovo Cim., 36, 1365 (1965).
39. Я.Б.Зельдович. ЖЭТФ 38, 122 (1960).
40. В.И.Гольданский. ЖЭТФ 38, 1637 (1960).
41. J. Cerny, S.M. Cosper, G.W. Butler et al. Phys.Rev.Lett., 16, 468 (1966).
42. А.И.Базь, В.И.Гольданский, Я.Б.Зельдович. УФН 85, 445 (1965).
43. Н.С.Зеленская, Н.Ль-Нагар, В.А.Ярба. ЯФ X, 515 (1968).

Рукопись поступила в издательский отдел  
20 февраля 1970 года.