

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

Г.И. Селиванов

1254

ВОСЬМИЛИТРОВАЯ ВОДОРОДНО-ДЕЙТЕРИЕВАЯ
ПУЗЫРЬКОВАЯ КАМЕРА
И ЕЁ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ
ПО ИЗУЧЕНИЮ ПП-ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Автореферат диссертации, представленной на соискание
ученой степени кандидата физико-математических наук

Дубна 1983 год

Г.И. Селиванов

С 344.1
С-291

1254

1420 &

ВОСЬМИЛИТРОВАЯ ВОДОРОДНО-ДЕЙТЕРИЕВАЯ
ПУЗЫРЬКОВАЯ КАМЕРА
И ЕЁ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ
ПО ИЗУЧЕНИЮ ПП-ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Автореферат диссертации, представленной на соискание
ученой степени кандидата физико-математических наук

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Дубна 1983 год

Введение

Реферируемая диссертация является обобщением комплекса научно-методических и экспериментальных работ, выполненных автором в Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований в период с 1956 по 1962 год совместно с В.А. Жуковым и А.Т. Василенко, а в последние годы /1958-1962/, кроме того, совместно с Т.Д. Блохинцевой, В.Г. Гребинником, Г. Либманом Л.Л. Неменовым и Юань Жун-фан.

Диссертация состоит из двух частей: методической и экспериментальной. В первой части, в главах I и II, изложены основные соображения, положенные в основу создания экспериментальной методики, рассмотрены принципы действия и приведены наиболее важные характеристики экспериментальных устройств, а также даны оценки их возможностей и обсуждаются пути дальнейшего совершенствования.

Во второй части, включающей главу III, представлены результаты исследования взаимодействия π^- -мезонов с водородом при энергиях до 400 Мэв, выполненного на синхротроне Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ с помощью описанной в предыдущих главах 25-сантиметровой жидководородной пузырьковой камеры в магнитном поле. В конце главы проведено обсуждение полученных результатов и сопоставление их с имеющимися теоретическими и экспериментальными исследованиями.

Часть I.

Метод исследования

Начало развития техники пузырьковых камер относится к 1952 году, когда впервые Глэзером^{1/} в опыте с диэтиловым эфиром была доказана возможность использования перегретой жидкости в качестве детектора ионизирующего излучения. За десятилетний период своего развития пузырьковая камера достигла высокого технического совершенства, позволившего ей стать одним из основных методов исследования частиц высоких энергий. Среди большого числа разновидностей пузырьковых камер низкотемпературные камеры занимают особое место, а среди последних ведущая роль принадлежит жидководородным камерам. Наряду с некоторыми замечательными особенностями, свойственными жидководородным камерам, как приборам для физических исследований, следует отметить, что они принадлежат к числу наиболее сложных и оригинальных технических сооруже-

ний, успешное развитие которых стало возможным благодаря значительному прогрессу, достигнутому в последние годы в области криогенной техники. И хотя в настоящее время стадия изучения и совершенствования самих камер ещё далеко не окончилась, они уже переросли этап настольного прибора и всё более приобретают характер крупных промышленных установок.

Описанная в главе 1 диссертации 25-сантиметровая водородно-дейтериевая пузырьковая камера /2/ предназначена для работы в пучках частиц, даваемых синхротроном Лаборатории ядерных проблем, номинальная энергия циркулирующего пучка протонов которого составляет 680 Мэв.

Учитывая необходимость использования камеры совместно с ускорителем, имеющим малый временной цикл, при её проектировании основное внимание было обращено на достижение максимального быстродействия механических систем, обеспечение условий длительного бесперебойного функционирования отдельных агрегатов, а также вопросам безопасной эксплуатации камеры при проведении экспериментов на ускорителе в условиях полного отсутствия непосредственного контроля за её работой. Удовлетворение перечисленных выше требований стало возможным благодаря ряду быстродействующих автоматических устройств, а также системе питания термостатирующей рубашки камеры жидким водородом под давлением без нарушения рабочего режима.

Камера (рис. 1) помещена в магнитное поле стандартного электромагнита МС-4, повернутого на угол 90° относительно нормального положения. Напряженность магнитного поля в центре камеры составляет 12 000 эрст. Неоднородность поля по радиусу не превышает 1,5%, а по глубине камеры она составляет около 4%. Измерения магнитного поля выполнялись как при комнатной температуре, так и при рабочей температуре камеры. В последнем случае происходит некоторое ($\sim 2\%$) увеличение напряженности поля за счёт изменения свойств нержавеющей стали, из которой изготовлены массивные детали корпуса камеры.

Расположение смотровых стекол камеры - вертикальное. Освещение рабочего объёма осуществляется напросвет с помощью линзы, имеющей фокусное расстояние 450 мм. В осветителе применена одна спиральная импульсная лампа типа ИФК-500. Напряжение на электродах лампы составляет $1,5 \div 2$ Кв. Емкость разрядного конденсатора - 12 мф. Свет собирается конденсатором и проецируется на рабочий объём однолинзовым объективом. Время задержки импульса подсвета по отношению к моменту прохождения пучка частиц в выбранном режиме работы находится в пределах $1,5 \div 2$ мсек. Синхронизация камеры с ускорителем осуществлялась специально разработанной /3/ высокостабильной электронной схемой, позволяющей иметь несколько режимов работы.

Расширительная система направлена вниз. Способ расширения сильфонный

с применением гидравлического привода, снабженного стабилизатором нижнего давления. Степень расширения не превышает 2%. Коммутация газа обеспечивается одним быстродействующим электромагнитным клапаном двойного действия. Время цикла камеры составляет $1,5 \div 2$ сек и может варьироваться в широких пределах в сторону увеличения.

Рабочая температура камеры равна $28 \pm 0,1^\circ$ К. На поддержание температурного режима камеры при цикле 2 сек расходуется $2,5 \div 3$ л жидкого водорода и 2 л жидкого азота в час.

Визуальный контроль качества треков обеспечивается телекамерой типа ПТУ-ОМ, направленной на рабочий объём.

Фотографирование рабочего объёма производится с расстояния 760 мм быстродействующим стереофотоаппаратом, на котором установлены два объектива "Руссар - 29" с фокусным расстоянием 70 мм. Для фотографирования используется перфорированная аэрофотоплёнка "Панхром тип 10" с чувствительностью 1100 ед. ГОСТ. База фотографирования равна 235 мм. Разрешающая способность системы объектив-плёнка, приведенная к плоскости объекта, составляет 3,4 линий/мм.

В диссертации значительное место уделено рассмотрению существующих методов освещения и фотографирования рабочих объёмов водородных камер, а также выяснению условий, при которых возможно получение наиболее качественных стереофотографий с минимальным фоном и наименьшими потерями светового потока.

Разбираются различные факторы, влияющие на точность определения положения треков по стереоснимкам, полученным с помощью камеры описанной конструкции, и приводятся оценки ожидаемых величин искажений в отдельных случаях.

В главе II рассматриваются рабочие режимы и оптимальные условия работы камеры с водородным и дейтериевым заполнением рабочего объёма. Особое внимание уделено вопросу увеличения её быстродействия. Из приведенных результатов расчёта и анализа имеющихся экспериментальных данных следует, что скорость срабатывания камеры может быть доведена до десятых долей сек. В разделе, посвященном работе камеры с дейтериевым заполнением, обращается внимание на значительный фон, создаваемый радиоактивным тритием.

Часть II

Эксперимент

Глава III посвящена описанию эксперимента по исследованию неупругого взаимодействия π^- -мезонов с протонами, выполненного с помощью жидководо-

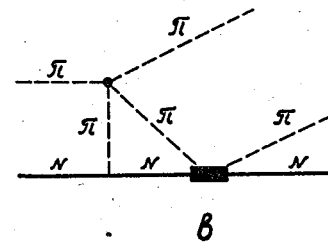
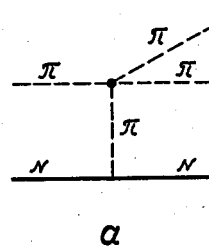
родной пузырьковой камеры, описанной в главах I и II. Следует заметить, что проблеме $\pi\pi$ -взаимодействия в последнее время уделяется большое внимание. Первоначальные соображения относительно значительной роли сил, действующих между π -мезонами, были высказаны Дайсоном ^{/4/} и Такеда ^{/5/}. В дальнейшем $\pi\pi$ -взаимодействие интенсивно изучалось в ряде лабораторий. Успеху опытов по изучению $\pi\pi$ -взаимодействия существенно содействовало появление мощных ускорителей с интенсивными пучками моноэнергетических π -мезонов, позволивших генерировать π -мезоны π -мезонами, а также создание новой эффективной экспериментальной методики - пузырьковых камер. Особенно успешно изучение $\pi\pi$ -взаимодействия ведется с помощью жидководородных камер, представляющих собой чистую протонную мишень, совмещенную с детектором излучения.

Описываемый ниже эксперимент ^{/6-8/} проводился в пучке π^- -мезонов. В общей сложности было использовано 25000 стереофотографий, полученных при энергии 340 ± 15 Мэв и 6000 стереофотографий, относящихся к энергии 276 ± 10 Мэв. Обработка стереоснимков производилась с помощью репроектора. При обработке вводился ряд критериев отбора, позволявших с уверенностью идентифицировать события, принадлежащие различным реакциям. В сложных случаях для идентификации событий применялся метод измерения относительной ионизации вторичных частиц, а также проводилось сопоставление измеренных величин импульсов с расчётными значениями, полученными на основании закона сохранения.

В экспозиции, выполненной при энергии 340 Мэв, было зарегистрировано 1400 двухлучевых звёзд. Из этого числа звёзд в таблицу 1 внесены те из них, которые удовлетворяли критериям отбора.

Представленные в таблице экспериментальные величины полных сечений неупругих процессов были найдены путём сопоставления числа случаев неупругого взаимодействия с числом случаев упругого рассеяния, заключённых в интервале углов рассеяния π^- -мезона в л.с. от 30° до 150° . Полное сечение упругого рассеяния в этом интервале углов было определено интегрированием известных ^{/9/} дифференциальных сечений упругого рассеяния π^- -мезонов, полученных с помощью электронных методов регистрации.

Теоретические значения сечений реакций 1) и 2), приведенные в таблице 1, были вычислены Габелом и Шнитцером ^{/10/} по теории статического нуклона в предположении, что имеет место одномезонный обмен и процесс $\pi N \rightarrow \pi\pi N$ описывается диаграммами вида:



Т а б л и ц а 1

№№ пп	Процесс	Число событий	σ полн. exper. /мб/	σ полн. теор. /мб/	Примечание
1.	$\pi^- + p \rightarrow \pi^- + \pi^+ + n$	108	$1,24 \pm 0,14$	1,60	Сечение относится к случаям, в которых энергия испускаемого γ -кванта превышает 100 Мэв
2.	$\pi^- + p \rightarrow \pi^- + \pi^0 + p$	11	$0,13^{+0,06}_{-0,04}$	0,19	
3.	$\pi^- + p \rightarrow \pi^- + \gamma + p$	8	$0,09^{+0,03}_{-0,06}$		
4.	$\pi^- + p \rightarrow \pi^0 + n$ γ, π^+, π^-	8	-	-	
5.	Упругое $\pi^- p$ -рассеяние	764	$7,52 \pm 0,55$		

В работе ^{/11/} были получены два набора длин рассеяния:

$$\begin{aligned}
 a_0 &= 0,50 & a_0 &= 0,65 \\
 a_1 &= 0,07 & \text{и} & a_1 &= 0,07 \\
 a_2 &= 0,16 & a_2 &= -0,14,
 \end{aligned}$$

которые относятся соответственно к состояниям с изотопическим спином системы из двух π -мезонов $T = 0$, $T = 1$ и $T = 2$.

Так как определение a_1 и a_2 в работе /11/ производилось по результатам, полученным при изучении реакций, в которых основную роль играет длина рассеяния в изотопическом состоянии с $T = 0$, то для проверки правильности значений малых длин рассеяния целесообразно было провести сопоставление предсказаний теории с экспериментом для тех взаимодействий, где в $\pi\pi$ -системе состояние с $T = 0$ отсутствует. Это условие выполняется, в частности, для реакции $\pi^- + p \rightarrow \pi^- + \pi^0 + p$, для которой в настоящей работе определены также полные сечения при энергии π^- -мезонов 276 ± 10 Мэв. Было найдено, что $\sigma_1 = 0,4^{+0,2}_{-0,3}$ мб и $\sigma_2 = 0,08 \pm 0,08$ мб.

На рис. 2 приведены имеющиеся данные о полных сечениях реакции 2) в зависимости от кинетической энергии падающих π^- -мезонов. Там же нанесена теоретическая кривая, построенная по данным Гёбеля и Шнитцера. Как видно из графика, в широком интервале энергий имеется соответствие вычисленных сечений с измеренными, что указывает на возможность описания малых фаз $\pi\pi$ -рассеяния в приближении длины рассеяния и на качественно правильный выбор длин рассеяния, сделанный в работе /11/.

Сравнение угловых распределений нейтронов от реакции 1) в с.ц.м. при энергиях падающих π^- -мезонов 290 /12/ и 340 Мэв (рис. 3) показывает, что с ростом энергии налетающего мезона характер неупругого πN -взаимодействия существенно меняется. Если при энергии 290 Мэв нейтроны получают большие передачи импульса и летят в основном в переднюю полусферу, то при энергии 340 Мэв они летят преимущественно под углами, близкими к 90° , что соответствует меньшим передачам импульса нуклому и указывает на начало преобладания периферических соударений, играющих основную роль при энергиях 700-900 Мэв и выше.

При кинетической энергии налетающих π^- -мезонов, равной 340 Мэв, максимально допустимая полная энергия в с.ц.м. равна $8,6 m_\pi$. Близость резонансного значения для πN -взаимодействия, равного $8,68 m_\pi$, проявляется в импульсных и энергетических распределениях вторичных частиц. В связи с этим импульсное распределение π^+ -мезонов, которые с точки зрения изобарной модели рассматриваются преимущественно как "остаточные", оказывается несколько мягче, чем аналогичное распределение π^- -мезонов (рис. 4).

Кроме того, из сопоставления гистограмм, представленных на рис. 5, можно сделать вывод, что в системе центра инерции $\pi\pi$ имеет место преобладание максимально допустимых энергий, что является характерным для изобарной модели. При этом угловые распределения π^+ и π^- -мезонов в системе ц.м. трех конечных частиц имеют вид, иллюстрируемый рис. 6.

Распределение по полной энергии (рис. 7) в с.ц.м. $\pi^+\pi^-$ сдвинуто в сторону

максимально допустимых энергий и не описывается кривыми, рассчитанными по статистической теории и изобарной модели.

Роль различных изотопических состояний может быть проанализирована с привлечением дополнительных данных /13,14/, полученных в той же области энергий. В частности, хорошее согласие с кривой фазового объема импульсного распределения π^+ -мезонов, образующихся в реакции $\pi^+ + p \rightarrow \pi^+ + \pi^+ + p$, даёт основание полагать, что матричный элемент, ответственный за $\pi\pi$ -взаимодействие в состоянии с полным изотопическим спином $T = 2$, в указанном интервале энергий остается практически постоянным и, таким образом, не может обуславливать наблюдающееся в наших экспериментах резкое отклонение от расчётных кривых.

С другой стороны, из опытов /14/ по парному рождению π^- -мезонов в pd -столкновениях следует, что сечение образования двух π^- -мезонов в состоянии с $T = 1$ мало и в рассматриваемой области энергий практически остается постоянным, в то время как сечение образования двух π^- -мезонов в $T = 0$ быстро растет с энергией.

Поэтому естественно заключить, что наблюдающийся в наших экспериментах подъем в распределении по полной энергии в с.ц.м. двух π^- -мезонов обусловлен их взаимодействием в состоянии $T = 0$.

Заключение

- 1) Разработан комплекс экспериментальной аппаратуры, включающий установку с восьмилитровой жидководородно-дейтериевой пузырьковой камерой в магнитном поле.
- 2) Проведено исследование режимов работы пузырьковой камеры и найдены оптимальные условия её эксплуатации при заполнении жидким водородом и жидким дейтерием.
- 3) С описанной аппаратурой на ускорителе в пучке отрицательных π^- -мезонов исследованы реакции: $\pi^- + p \rightarrow \pi^+ + \pi^- + p$, $\pi^- + p \rightarrow \pi^- + \pi^0 + p$ и $\pi^- + p \rightarrow \pi^- + \gamma + p$. Определены полные сечения неупругих процессов в указанных реакциях, получены данные об угловых и импульсных распределениях вторичных частиц и подробно исследовано распределение по полной энергии в системе центра масс $\pi^+\pi^-$.
- 4) Наблюдающийся в распределении по полной энергии в системе $\pi^+\pi^-$ резкий подъем в области около 400 Мэв, не укладывающийся в рамки представлений статистической или изобарной моделей, интерпретируется как сильное взаимодействие π^- -мезонов в состоянии $T = 0$.
- 5) Проведено сравнение экспериментальных значений полных сечений с

величинами сечений, вычисленными Гёбелом и Шнитцером /10/ в приближении длины рассеяния. С этой целью измерялись полные сечения приведенных выше реакций при энергии первичных π^- -мезонов, равной 276 ± 10 Мэв. Полученные величины сечений находятся в удовлетворительном согласии с результатами работы /11/, что указывает на качественно правильный выбор длин рассеяния, сделанный в этой работе.

6) Основное содержание диссертации составляют работы, опубликованные в ПТЭ /2,3/ и ЖЭТФ /6-8/. Результаты работы /7/ доложены на Международной конференции по физике частиц высоких энергий /15/.

Литература

1. D.A.Glaser, Phys. Rev. 87, 665 (1952).
2. Т.Д. Блохинцева, А.Т. Василенко, В.Г. Гребинник, В.А. Жуков, Г. Либман, Л.Л. Неменов, Г.И. Селиванов, Юань Жун-фан, ПТЭ № 5, 51 (1962); препринт ОИЯИ, Р-848, Дубна (1961).
3. М.П. Баландин, В.Г. Гребинник, Г.И. Селиванов, ПТЭ, № 5, 60 (1962); препринт ОИЯИ, Р-852, Дубна (1961).
4. F.J.Dyson, Phys.Rev. 99, 1037 (1955).
5. G.Takeda, Phys. Rev. 100, 440 (1955).
6. Т.Д. Блохинцева, В.Г. Гребинник, В.А. Жуков, Г. Либман, Л.Л. Неменов, Г.И. Селиванов, Юань Жун-фан, ЖЭТФ, 42, 912 (1962).
7. Т.Д. Блохинцева, В.Г. Гребинник, В.А. Жуков, Г. Либман, Л.Л. Неменов, Г.И. Селиванов, Юань Жун-фан, ЖЭТФ, 44, 116 (1963); препринт ОИЯИ, Р-1056, Дубна (1962).
8. Т.Д. Блохинцева, В.Г. Гребинник, В.А. Жуков, Г. Либман, Л.Л. Неменов, Г.И. Селиванов, Юань Жун-фан, ЖЭТФ, 44, 498 (1963).
9. С.М. Коренченко, диссертация, Дубна (1959).
10. C.J.Goebel and H.J.Schnitzer, Phys. Rev. 123, 1021 (1961).
11. H.J.Schnitzer, Phys. Rev. 125, 1059 (1962).
12. Ю.А. Батусов, С.А. Бунятов, В.М. Сидоров, В.А. Ярба, ЖЭТФ, 40, 460 (1961).
13. J.Kirz, J.Schwartz and R.D.Tripp, preprint UCRL-9941 (1961).
14. Ю.А. Акимов, В.И. Комаров, К.С. Мариш, О.В. Савченко, Л.М. Сорoko, ЖЭТФ 40, 1532 (1961).
15. L.Lapidus, 1962 Intern. Conf. on High-Energy Phys. at CERN, p. 115.
16. Ю.А. Батусов, С.А. Бунятов, В.М. Сидоров, В.А. Ярба, ЖЭТФ, 40, 655 (1961).
17. V.C.Barish, R.J.Kurz, V.Perez-Mendez and J.Solomon, Bull. Am. Phys. Soc. 6, No. 6, 523 (1961).

Рукопись поступила в издательский отдел
4 апреля 1963 года.

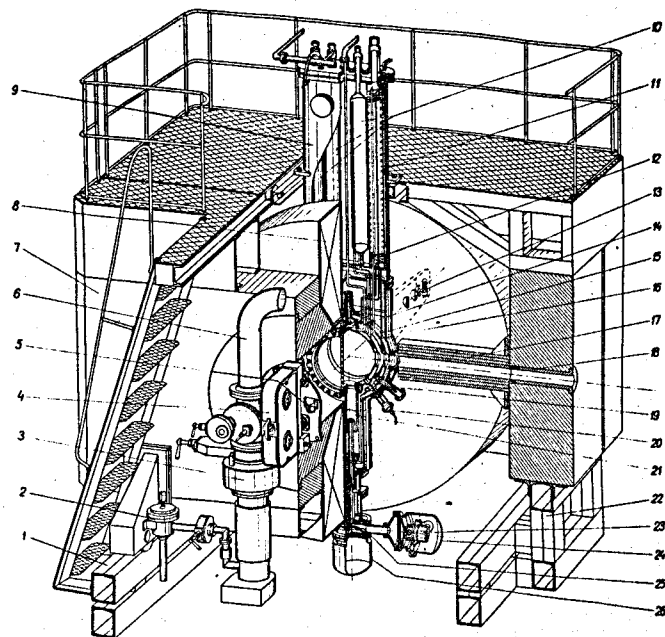


Рис. 1. СХЕМАТИЧЕСКИЙ ЧЕРТЕЖ УСТАНОВКИ С ВОСЬМИЛИТРОВОЙ ЖИДКОВОДОРОДНОЙ ПУЗЫРЬКОВОЙ КАМЕРОЙ.

1 - направляющая фермы; 2 - предельный аварийный клапан; 3 - высоковакуумный агрегат с диффузионным насосом Н-5; 4 - стереофотоаппарат; 5 - "глазок" для визуального наблюдения; 6 - аварийная линия; 7 - откатываемая часть ядра магнита; 8 - обмотка магнита; 9 - верхняя часть вакуумного кожуха; 10 - резервные бачки для жидкого водорода; 11 - азотный бачок; 12 - змеевик; 13 - осветитель; 14 - запорный клапан; 15 - азотный экран; 16 - термостатирующая рубашка камеры; 17 - магнитный экран; 18 - коллиматор π -мезонного пучка; 19 - касторовая растяжка камеры; 20 - выход датчика давления; 21 - расширительный сильфон; 22 - монтажная ферма; 23 - газовый клапан; 24 - кожух глушителя; 25 - гидропривод; 26 - воздушный бачок стабилизатора.

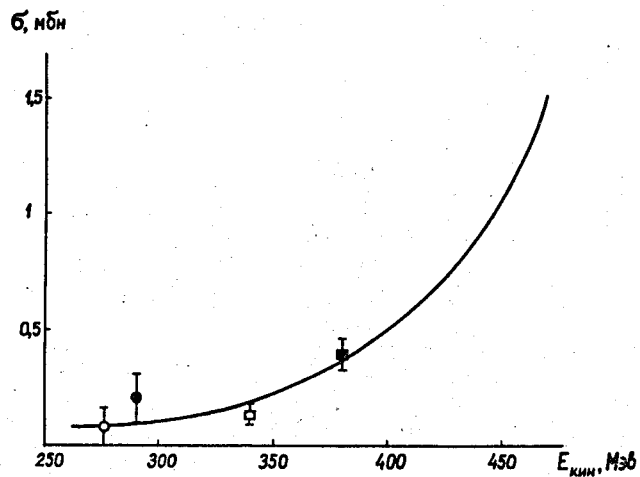


Рис. 2. ЗАВИСИМОСТЬ ПОЛНОГО СЕЧЕНИЯ РЕАКЦИИ $\pi^- + p \rightarrow \pi^- + \pi^+ + p$ ОТ КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НАЛетающих π^- -МЕЗОНОВ

Точки соответствуют: \circ и \square - настоящей работе / 276 и 340 Мэв /; \bullet - энергии 290 Мэв 16/; \blacksquare - 380 Мэв 17/. Сплошная кривая - теоретическая, вычисленная на основании работы 11/. Результаты, полученные в других работах, не нанесены на график из-за слишком больших ошибок измерений, выходящих за пределы рисунка.

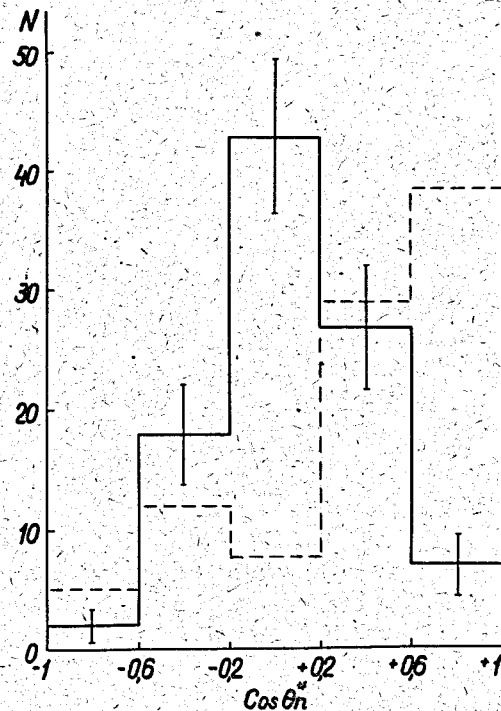


Рис. 3 . УГЛОВЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НЕЙТРОНОВ В СИСТЕМЕ ЦЕНТРА МАСС ОТ РЕАКЦИИ $\pi^- + p \rightarrow \pi^- + \pi^+ + n$, ПОЛУЧЕННЫЕ В НАСТОЯЩЕЙ РАБОТЕ / сплошная линия / И В РАБОТЕ 12 / / пунктирная линия /.

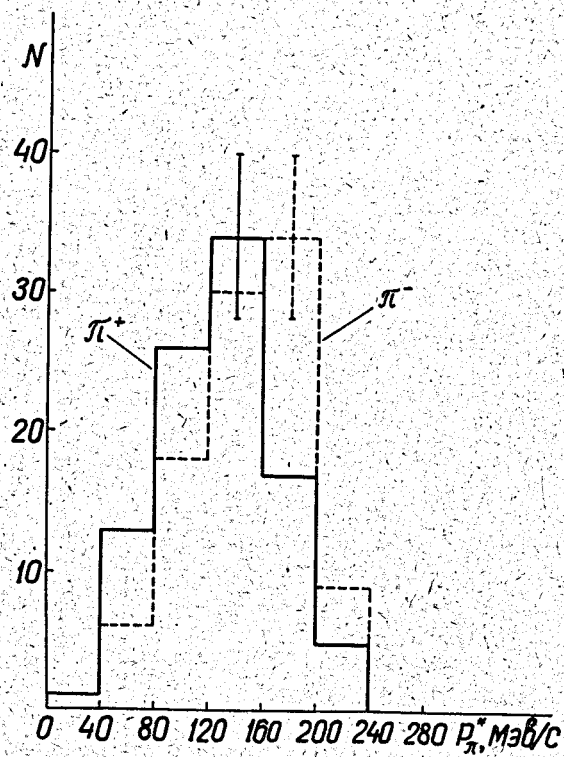


Рис. 4 . ИМПУЛЬСНЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ π^+ И π^- -МЕЗОНОВ ОТ РЕАКЦИИ $\pi^- + p \rightarrow \pi^+ + \pi^- + n$ В СИСТЕМЕ ЦЕНТРА МАСС ТРЕХ ЧАСТИЦ.

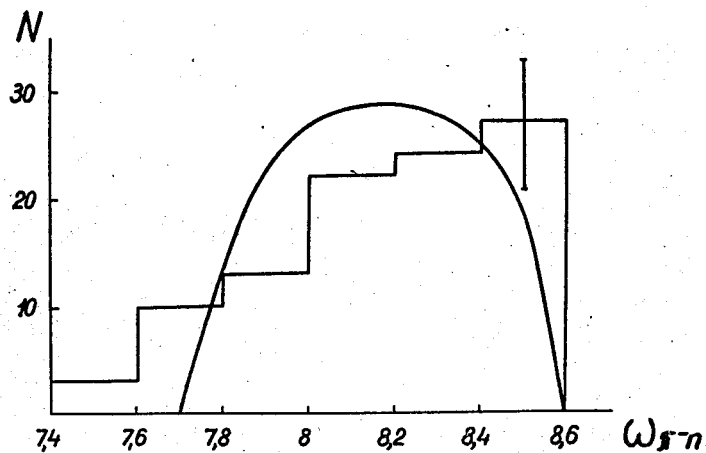
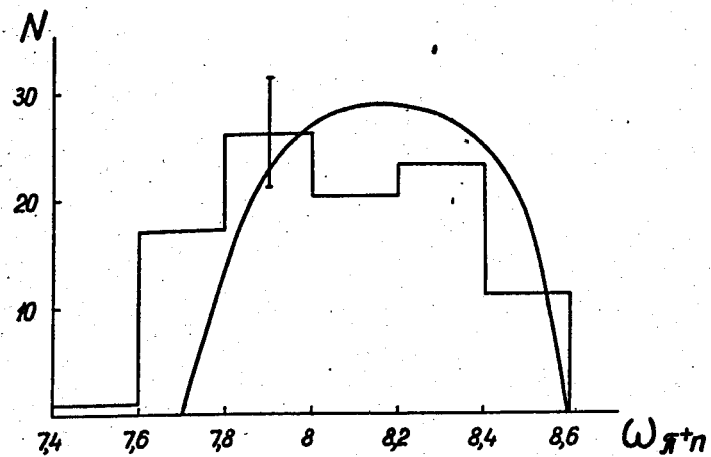


Рис. 5 . РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПО ПОЛНОЙ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМЕ ЦЕНТРА МАСС π^+n И π^-n .

На графиках плавной кривой обозначен фазовый объём, вычисленный по статистической теории.

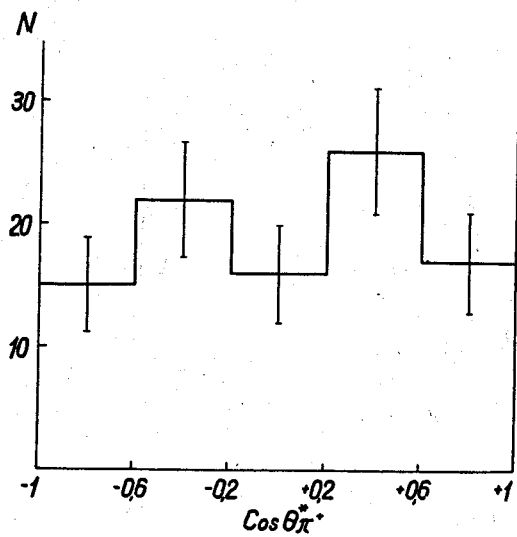
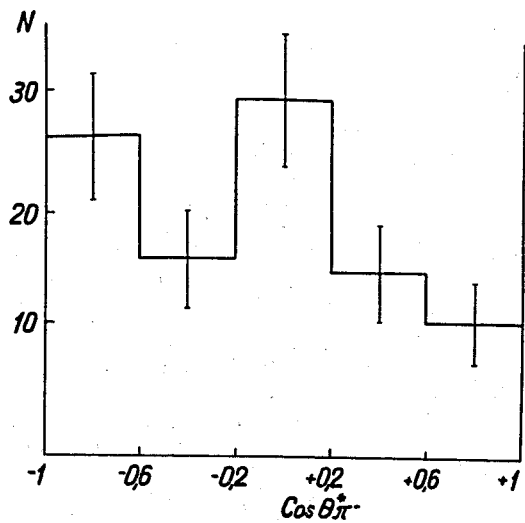


Рис. 6 . УГЛОВЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ π^+ И π^- -МЕЗОНОВ В СИСТЕМЕ ЦЕНТРА МАСС ТРЕХ КОНЕЧНЫХ ЧАСТИЦ.

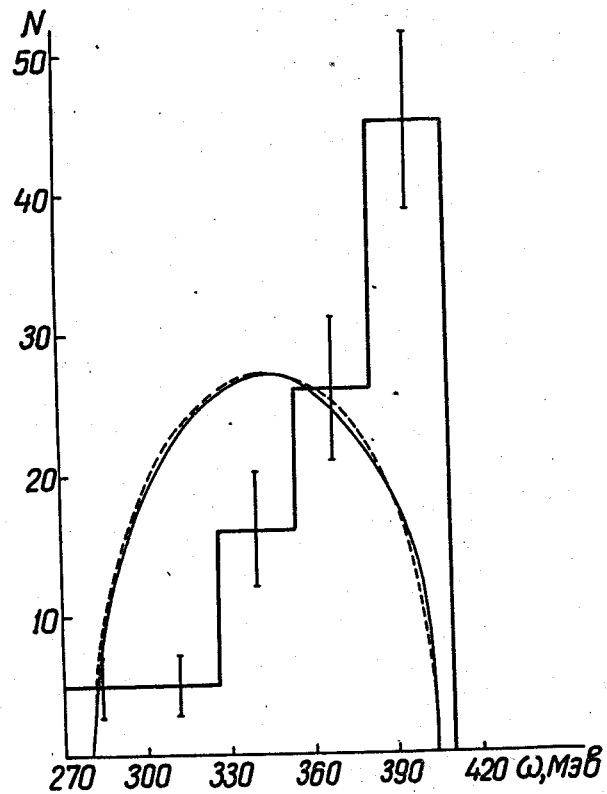


Рис. 7 . РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПО ПОЛНОЙ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМЕ ЦЕНТРА МАСС ДВУХ π -МЕЗОНОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ В РЕАКЦИИ $\pi^- + p \rightarrow \pi^+ + \pi^- + n$. На графике сплошной линией отмечен фазовый объем, рассчитанный по статистической теории, а пунктирной - по изобарной модели.