

С 346.6 а
И-22

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

1 - 6079

И.А. Ивановская

НЕЙТРАЛЬНЫЕ МОДЫ РАСПАДА η -МЕЗОНА

Специальность 040 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Дубна 1971

И.А. Ивановская

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий
Объединённого института ядерных исследований.

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник З.С.Стругальский

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник А.Н.Горбунов

доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник Д.В.Требуховский

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Институт физики высоких энергий (г.Серпухов)

Автореферат разослан " " 1971 г.

Защита диссертации состоится " " 1971 г.
на заседании Учёного совета Лаборатории высоких энергий
Объединённого института ядерных исследований.

Адрес: г.Дубна, Московской области, конференц-зал ЛВЭ

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Учёный секретарь Совета

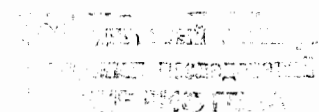
С.В.МУХИН

НЕЙТРАЛЬНЫЕ МОДЫ РАСПАДА η -МЕЗОНА

Специальность 040 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)



Изучение нейтральных каналов распада η - мезона представляет большой интерес для физики элементарных частиц, так как дает возможность проверить ряд выводов из существующих теоретических представлений, например, о свойствах SU_3 -симметрии, правиле отбора по изотопическому спину, поведении зарядовой четности в сильных и электромагнитных взаимодействиях, а также предсказания модели векторной доминантности и кварковой модели. Поэтому в последние несколько лет проблема исследования нейтральных каналов распада η - мезона привлекает внимание многих физиков - экспериментаторов и теоретиков. Однако решение её оказалось не простым из-за больших методических трудностей, связанных с идентификацией различных нейтральных каналов распада η - мезона, особенно тех, где в конечном состоянии имеется больше двух гамма-квантов: $\eta \rightarrow \pi^0 \gamma \gamma \rightarrow 4\gamma$, $\eta \rightarrow 3\pi^0 \rightarrow 6\gamma$. Несмотря на то, что исследованием нейтральных распадов η - мезона занимались многие группы экспериментаторов, вопрос о соотношении между вероятностями различных нейтральных каналов распада η - мезона: $\eta \rightarrow 2\gamma$, $\eta \rightarrow \pi^0 \gamma \gamma$, $\eta \rightarrow 3\pi^0$ до сих пор не может считаться решенным, так как результаты отдельных экспериментов противоречат друг другу, а статистическая обеспеченность полученных данных невелика. Особенно противоречивые результаты получены в отношении моды распада $\eta \rightarrow \pi^0 \gamma \gamma$. В ранних работах /1-4/, выполненных до

1967 г., доля распадов $\eta \rightarrow \pi^0 \gamma \gamma$ составляла $\geq 25\%$ всех нейтральных распадов η - мезона. В более поздних работах /5-8/ эта мода распада вообще не была обнаружена и была установлена только верхняя граница доли распадов по этому каналу, равная (12-17)%. В одной из последних работ /9/ для этой доли было получено значение $(12,2^{+5,2}_{-4,4})\%$.

Таким образом, даже само существование моды распада $\eta \rightarrow \pi^0 \gamma \gamma$ ещё не является экспериментально установленным. Теоретические предсказания в отношении этой моды распада также различны. Расчёты, выполненные на основе модифицированных вариантов алгебры токов /10,11/, предсказывают для вероятности распада $\eta \rightarrow \pi^0 \gamma \gamma$ величину, составляющую несколько процентов полной вероятности распада η - мезона по всем нейтральным каналам. С другой стороны, такие теоретические модели как модель векторной доминантности и кварковая модель предсказывают очень малую вероятность распада по каналу $\eta \rightarrow \pi^0 \gamma \gamma$ /12, 13, 14/: $\Gamma_{\eta}(\pi^0 \gamma \gamma) / \Gamma_{\eta}(\text{все нейтральные каналы}) \approx 10^{-3}$.

Настоящая диссертация посвящена экспериментальному исследованию нейтральных каналов распада η - мезона.

В первой главе диссертации дается обзор экспериментальных и теоретических работ, посвященных исследованию распадов η - мезона. В этой главе показывается, что в настоящее время нет ни одной теоретической модели, которая описывала бы всю совокупность экспериментальных данных о распаде η - мезона. Но и сами экспериментальные данные ещё нуждаются в дальнейшем уточнении.

Во второй главе проводится анализ экспериментальных методов, применявшихся для изучения нейтральных мод распада η - мезона. По методу идентификации различных нейтральных каналов распада все экспериментальные работы можно разделить на две группы: 1) работы, в которых применялся прямой метод идентификации каналов распада и 2) работы, в которых применялись косвенные методы идентификации. Прямой метод идентификации каналов распада характеризуется тем, что на опыте наблюдаются все конечные продукты распада η - мезона, т.е. для мод распада $\eta \rightarrow 2\gamma$, $\eta \rightarrow \pi^0 \gamma \gamma$, $\eta \rightarrow 3\pi^0$ соответственно 2, 4 и 6 гамма-квантов. При косвенном методе идентификации на опыте наблюдаются только один или несколько гамма-квантов. Разделение каналов распада в этом случае производится статистически путем исследования экспериментального распределения зарегистрированных событий по какой-либо характеристике распада: по энергии гамма-квантов, по числу зарегистрированных гамма-квантов, по недостающей массе к зарегистрированным вторичным частицам.

Результаты, получаемые косвенным методом, очень сильно зависят от эффективности регистрации гамма-квантов, которая, в свою очередь, зависит от геометрии установки, от энергии гамма-квантов и других факторов. Точно учесть эффективность регистрации гамма-квантов и её зависимость от различных факторов очень трудно, тем более, что во всех работах, где применялся косвенный метод идентификации, эта эффективность была довольно низка: от 0,7% в водородной пузырьковой камере до 70% в искровых камерах. Это, по-видимому, является основной причиной противо-

речивости результатов, полученных даже одним и тем же методом.

Применение пузырьковых камер, наполненных тяжелой жидкостью и обладающих поэтому большой эффективностью регистрации гамма-квантов, дало возможность использовать прямой метод идентификации каналов распада η - мезона. Этот метод позволяет более надёжно отделить одну моду распада от другой. Основную трудность в этих работах составляет вычитание фона от других реакций, которое производится тем точнее, чем выше точность измерения энергии гамма-квантов и больше эффективности их регистрации. В работах /15, 16/, выполненных с помощью камер, наполненных фреоном, средняя ошибка в определении энергии гамма-кванта составляла $\sim 45\%$, эффективность регистрации одного гамма-кванта была равна 72% , а шести гамма-квантов - 14% .

В третьей главе диссертации описывается методика эксперимента, примененная нами для изучения нейтральных мод распада η - мезона. Ксенонная пузырьковая камера, размером $550 \times 280 \times 164 \text{ мм}^3$, облучалась в пучке π^+ - мезонов с импульсом $2,34 \text{ Гэв/с}$ на синхрофазотроне ЛВЭ ОИЯИ. При просмотре пленки отбирались взаимодействия первичных π^+ - мезонов с ядрами ксенона, сопровождаемые любым числом гамма-квантов и одной вторичной заряженной частицей, останавливающейся в камере, - протоном;



В ряде работ /17, 18/ было показано, что отбираемые

таким образом события представляют собой в основном взаимодействия первичных π^+ - мезонов с квазисвободными нейтронами ядра ксенона. Эффективность двукратного просмотра составляла 98% и не зависела от числа гамма-квантов в событии.

Измерение геометрии событий производилось на микроскопах УИМ-21, все необходимые характеристики событий вычислялись с помощью электронно-вычислительной машины. Точность измерения пространственных координат составляла: $\Delta X = \Delta Y = 0, 1 \text{ мм}$, $\Delta Z = 0, 5 \text{ мм}$, точность измерения углов - около 1° .

Энергия гамма-квантов определялась путем измерения суммарного пробега всех электронов и позитронов в созданном гамма-квантом ливне. Этот метод определения энергии гамма-квантов был разработан в нашей группе /19, 20, 21/. В диссертации подробно рассматривается вопрос о точности метода и её зависимости от различных факторов. Точность определения энергии каждого гамма-кванта составляла в данном эксперименте $(10-35)\%$, т.е. была значительно лучше, чем в работах, выполненных с фреоновыми камерами.

Измерение для каждого события углов вылета и энергий гамма-квантов позволило определять эффективные массы частиц, распадающихся на π^0 - мезоны и гамма-кванты, и, таким образом, производить идентификацию η - мезонов. Точность определения эффективных масс составляла в среднем $\sim 20\%$.

Подробно рассматривается вопрос об эффективности регистрации гамма-квантов. Эффективность регистрации определялась для каждого зарегистрированного гамма-кванта по потенциальной длине конверсии гамма-кванта в камере. Средняя

Эффективность регистрации одного гамма-кванта в камере равнялась 94%, а эффективность регистрации события, содержащего 6 гамма-квантов, — 69%. Таким образом, наша ксеноновая камера обладала самой высокой эффективностью регистрации гамма-квантов по сравнению с другими описанными в литературе экспериментальными установками для исследования событий с гамма-квантами.

Поскольку в окончательный анализ включались только события, в которых энергии всех гамма-квантов могли быть измерены с точностью не хуже 35%, для каждого гамма-кванта определялась ещё эффективность регистрации с учётом возможности измерения его энергии с заданной точностью. Именно эта эффективность учитывалась при построении всех экспериментальных распределений. Средняя эффективность регистрации гамма-кванта с учётом возможности измерения его энергии с точностью не хуже 35% была равна 84%.

В четвертой главе диссертации приводятся результаты эксперимента и их анализ. Полное количество событий с разным числом гамма-квантов, найденное и обработанное после просмотра около 500 000 снимков камеры, приведено в таблице I.

Таблица I

Число гамма-квантов								
	1	2	3	4	5	6	5-6	≥ 7
Все найденные события	125	956	332	474	47	83	50	20
События, измеренные с $\frac{\Delta E_\gamma}{E_\gamma} \leq 35\%$	-	746	230	306	29	51	-	-

Для определения числа нейтральных распадов η - мезона анализировались распределения событий с 2, 4 и 6 гамма-квантами по эффективным массам $M_{2\gamma}$, $M_{4\gamma}$, $M_{6\gamma}$.

На рис. I приведено распределение событий с 2 гамма-квантами по эффективным массам $M_{2\gamma}$. Вследствие большой эффективности регистрации гамма-квантов в камере фон от событий с числом гамма-квантов больше двух, в которых только два гамма-кванта конвертировали в рабочем объеме камеры, очень мал. Этот фон показан на рис. I в виде зачерненной области. Как видно из рис. I, все события с 2 гамма-квантами хорошо разделяются на две группы:

- 1) события с рождением π^0 - мезона, $M_{2\gamma} < 300$ Мэв ($N_{\pi^0} = 804 \pm 35$ событий) и 2) события с рождением η - мезона, $M_{2\gamma} > 300$ Мэв ($N_{\eta \rightarrow 2\gamma} = 195 \pm 20$ событий).

Для событий с 4 гамма-квантами были вычислены эффективные массы комбинаций из двух гамма-квантов и все события были разделены на 3 группы: 1) $\pi^0\pi^0$ - события, 2) $\pi^0\gamma\gamma$ - события и 3) $\pi^0\eta$ - события. В соответствии с достигнутой точностью в определении эффективных масс комбинация из двух гамма-квантов считалась π^0 -мезоном, если её эффективная масса попадала в интервал $M_{\gamma\gamma} = (90-180)$ Мэв, и считалась η - мезоном, если эффективная масса попадала в интервал $M_{\gamma\gamma} = (400-700)$ Мэв. На рис. 2 приведено распределение $\pi^0\gamma\gamma$ - событий по эффективным массам $M_{4\gamma}$. Сплошная кривая на рис. 2 представляет собой фон случайных комбинаций из четырех гамма-квантов, вычисленный методом Монте-Карло на основе углового и энергетического спектров гамма-квантов из $\pi^0\gamma\gamma$ - событий. Фоновая кривая нормирована на

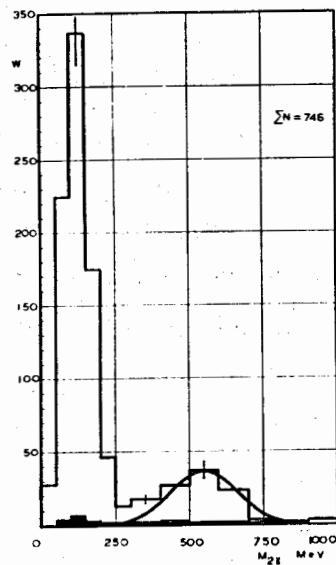


Рис.1. Распределение событий с двумя гамма-квантами по эффективным массам $M_{\gamma\gamma}$. Зачерненная область - фон от событий с числом гамма-квантов больше двух. Сплошная кривая - распределение Гаусса с полушириной $\sigma = 110$ Мэв.

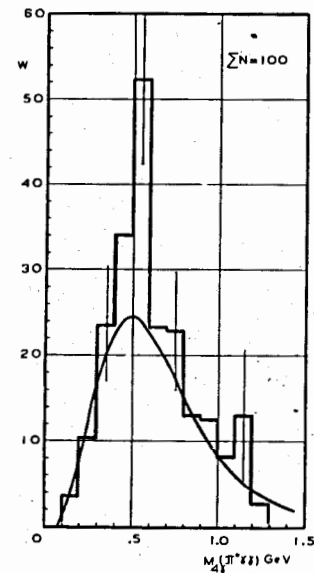


Рис.2. Распределение событий типа $\pi^0\gamma\gamma$ по эффективным массам четырех гамма-квантов. Сплошная кривая - спектр эффективных масс случайных 4γ -комбинаций, вычисленный методом Монте-Карло и нормированный на число событий в области $M_{4\gamma} < 400$ Мэв.

число событий в области $M_{\gamma\gamma} < 400$ Мэв. Из рис.2 видно, что в области $M_{\gamma\gamma} = (500-600)$ Мэв наблюдается заметное превышение событий над фоном. Эти события можно считать случаями распада η -мезона по каналу $\pi^0\gamma\gamma$. Число таких случаев равно 40 ± 10 .

Для выделения случаев распада $\eta \rightarrow \pi^0\gamma\gamma$ был проведен ещё другой анализ. На рис.3 показано распределение $\pi^0\gamma\gamma$ - и $\pi^0\eta$ -событий по эффективным массам $\gamma\gamma$ -комбинаций, не образующих π^0 -мезон. Затрихованные области на рисунке соответствуют неоднозначным случаям, т.е. таким событиям, в которых две $\gamma\gamma$ -комбинации (не независимые) имеют эффективные массы, соответствующие π^0 -мезону. Для таких событий в гистограмму на рис.3 были внесены обе эффективные массы соответствующих независимых $\gamma\gamma$ -комбинаций, если одна из этих масс была меньше, а другая больше 300 Мэв.

Сплошные кривые на рис.3 изображают распределения по эффективным массам $M_{\gamma\gamma}$, полученные для π^0 -мезонов и η -мезонов в событиях с 2 гамма-квантами. Из рис.3 видно, что большая часть $\pi^0\gamma\gamma$ -событий - это $\pi^0\pi^0$ -события, в которых масса одного из π^0 -мезонов из-за ошибок измерения попала вне интервала $M_{\gamma\gamma} = (90-180)$ Мэв. Некоторая часть $\pi^0\gamma\gamma$ -событий представляет собой $\pi^0\eta$ -события. Однако имеется ещё одна группа событий, у которых эффективные массы $\gamma\gamma$ -комбинаций лежат в интервале $M_{\gamma\gamma} = (300-400)$ Мэв. Теоретический спектр эффективных масс $\gamma\gamma$ -комбинаций из распада $\eta \rightarrow \pi^0\gamma\gamma$ (рис.4) тоже имеет максимум в области $M_{\gamma\gamma} = (300-400)$ Мэв.

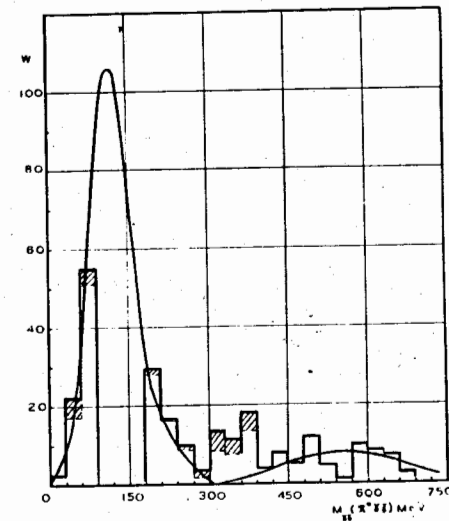


Рис.3. Распределение событий типа $\pi^0\gamma\gamma$ и $\pi^0\eta$ по эффективным массам двух гамма-квантов, не образующих π^0 -мезон. Затрихованные области соответствуют неоднозначным случаям. Сплошные кривые представляют собой распределения эффективных масс для π^0 -мезонов и η -мезонов, полученные аппроксимацией экспериментальных распределений для событий с двумя гамма-квантами (рис.1).

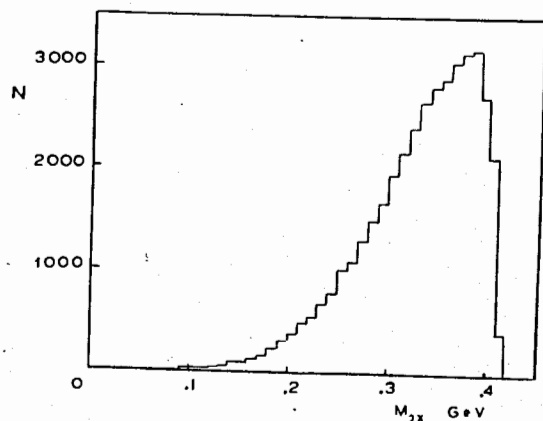


Рис.4. Спектр эффективных масс двух гамма-квантов из распада $\eta \rightarrow \pi^0 \gamma \gamma$, вычисленный в работе Шапиро /22/.

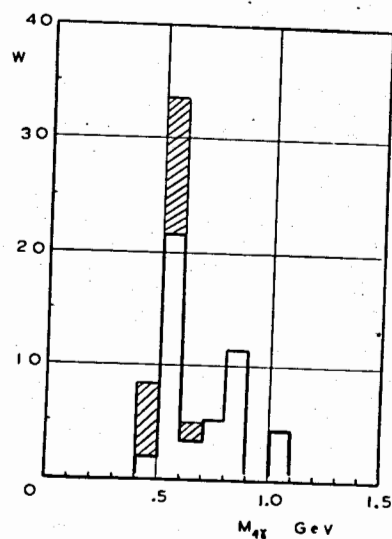


Рис.5. Распределение по эффективным массам четырех гамма-квантов событий типа $\pi^0 \gamma \gamma$, у которых эффективная масса $\gamma \gamma$ -комбинации попадает в интервал $M_{\gamma\gamma} = (300-400)$ Мэв.

Естественно предположить, поэтому, что группа событий, находящихся на рис.3 в области $M_{\gamma\gamma} = (300-400)$ Мэв, представляет собой случаи распада $\eta \rightarrow \pi^0 \gamma \gamma$. Это предположение подтверждается распределением этих событий по эффективным массам четырех гамма-квантов (рис.5). Из рис.5 видно, что в область эффективных масс η -мезона попадает 27 однозначных и 20 неоднозначных случаев. Таким образом, оценка числа распадов $\eta \rightarrow \pi^0 \gamma \gamma$ (27-47 случаев) совпадает с оценкой, полученной из рис.2 (40 ± 10 случаев). Сопоставляется с теоретическим спектром и спектр гамма-квантов из распада $\eta \rightarrow \pi^0 \gamma \gamma$ в системе покоя η -мезона (рис.6).

Итак, всесторонний анализ событий с 4 гамма-квантами показывает, что среди этих событий нами наблюдались случаи распада η -мезона по каналу $\pi^0 \gamma \gamma$ в количестве 40 ± 10 событий.

На рис.7 приведено распределение событий с 6 гамма-квантами по эффективным массам $M_{6\gamma}$. Кривая 1 представляет собой распределение эффективных масс для η -мезона с учётом ошибок измерения - распределение Гаусса с $\sigma = 110$ Мэв. Кривая 2 - фазовая кривая для реакции $\pi^+ + n \rightarrow p + 3\pi^0$. Из вида фазовой кривой следует, что числом случаев нерезонансного рождения трех π^0 -мезонов в области эффективных масс $M_{6\gamma} < 550$ Мэв можно пренебречь. Поэтому кривая 1 была нормирована на число случаев в области $M_{6\gamma} < 550$ Мэв. Случаи нерезонансного рождения $3\pi^0$, полученные после вычитания событий под кривой 1, приведены на рис.8 вместе с фазовой

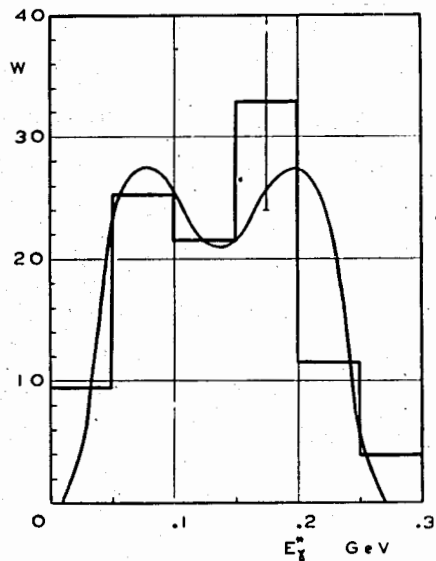


Рис.6. Энергетический спектр гамма-квантов из распада $\eta \rightarrow \pi^0 \gamma \gamma$ в системе покоя η - мезона. Сплошная кривая - теоретический спектр ^{17/1}.

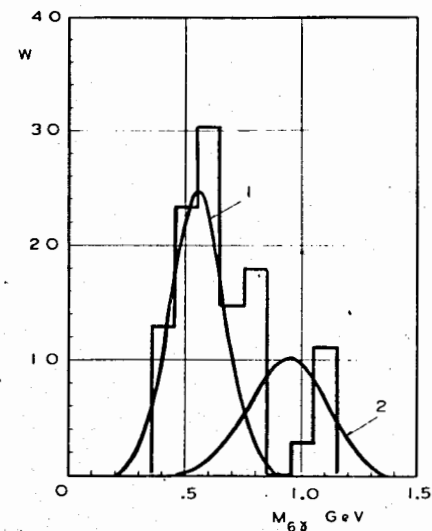


Рис.7. Распределение событий с шестью гамма-квантами по эффективным массам $M_{6\gamma}$. Кривая 1 - распределение Гаусса с полушириной $\sigma = 110$ Мэв, кривая 2 - фазовая кривая для реакции $\pi^+ + n \rightarrow p + 3\pi^0$.

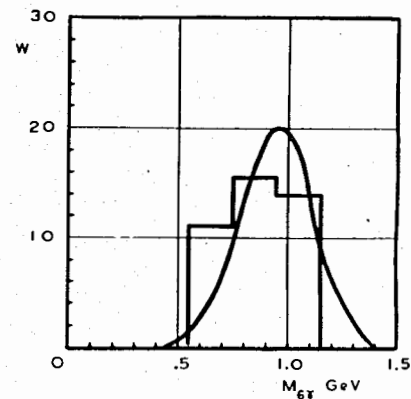


Рис.8. Распределение событий с нерезонансным рождением трех π^0 - мезонов по эффективным массам шести гамма-квантов. Сплошная кривая - фазовая кривая для реакции $\pi^+ + n \rightarrow p + 3\pi^0$.

кривой. В результате такого разделения событий получено 73 ± 13 случаев распада $\eta \rightarrow 3\pi^0$ и 41 ± 10 случаев нерезонансного рождения $3\pi^0$. Однако, как видно из таблицы I, кроме хорошо идентифицированных и измеренных событий с 6 гамма-квантами, были найдены ещё 50 событий, для которых из-за наложения ливней от гамма-квантов друг на друга или из-за фона гамма-квантов от других взаимодействий на том же снимке нельзя было надёжно определить число связанных с этими событиями гамма-квантов, - 5 или 6. Кроме того, из-за наложения ливней нельзя было измерить энергии соответствующих гамма-квантов. Поэтому эти события были разделены между событиями с 5 и 6 гамма-квантами пропорционально числу хорошо идентифицированных событий, т.е. пропорционально 47 : 83, а полученные таким путем события с 6 гамма-квантами разделены между случаями распада $\eta \rightarrow 3\pi^0$ и случаями нерезонансного рождения $3\pi^0$ пропорционально 73 : 41. После учёта этих событий окончательно получено 109 ± 30 случаев распада $\eta \rightarrow 3\pi^0$.

Итак, проанализировав события с 2, 4 и 6 гамма-квантами, мы нашли 195 ± 20 случаев распада $\eta \rightarrow 2\gamma$, 40 ± 10 случаев распада $\eta \rightarrow \pi^0\gamma\gamma$ и 109 ± 30 случаев распада $\eta \rightarrow 3\pi^0$. Таким образом, впервые в одном эксперименте методом прямой идентификации каналов распада определено соотношение между вероятностями распада η - мезона по всем нейтральным каналам:

$$\frac{\Gamma_{\eta}(2\gamma)}{\Gamma_{\eta}(\text{все нейтр.})} = (57 \pm 9)\%, \quad \frac{\Gamma_{\eta}(\pi^0\gamma\gamma)}{\Gamma_{\eta}(\text{все нейтр.})} = (11 \pm 3)\%$$

$$\frac{\Gamma_{\eta}(3\pi^0)}{\Gamma_{\eta}(\text{все нейтр.})} = (32 \pm 9)\%.$$

Полученная нами доля распадов η - мезона по каналу $\eta \rightarrow 2\gamma$ хорошо согласуется со значениями, полученными во всех последних работах /5, 7, 8, 9/. Доля распадов по каналу $\eta \rightarrow 3\pi^0$ получилась у нас немного меньше, чем в этих работах, хотя в пределах указанных ошибок тоже согласуется с полученными в них значениями. Следует отметить, что более высокое значение доли распадов по каналу $\eta \rightarrow 3\pi^0$, полученное в работах /5, 7, 8/, отчасти объясняется тем, что авторы предполагают отсутствие распадов по каналу $\eta \rightarrow \pi^0\gamma\gamma$. Что касается доли распадов по каналу $\eta \rightarrow \pi^0\gamma\gamma$, то полученное нами значение хорошо согласуется с результатом, полученным в работе Кокса и др. /9/, и не противоречит верхней границе, найденной в других работах /5, 8/. Таким образом, получено серьёзное указание на существование распадов η - мезона по каналу $\eta \rightarrow \pi^0\gamma\gamma$ в количестве нескольких процентов от всех нейтральных распадов η - мезона. Этот результат, как уже отмечалось, противоречит предсказаниям, сделанным на основе модели векторной доминантности и кварковой модели, но может быть объяснен на основе некоторых модифицированных вариантов алгебры токов.

Основные выводы диссертации могут быть сформулированы следующим образом:

1. Показано, что ксеноновая пузырьковая камера является хорошим прибором для исследования целого ряда физических процессов, связанных с образованием большого числа гамма-квантов.

2. Подробно изучен вопрос эффективности регистрации гамма-квантов в ксеноновой пузырьковой камере. Найден метод

учета зависимости эффективности регистрации от энергии гамма-квантов в каждом индивидуальном случае.

3. Усовершенствован метод измерения энергии гамма-квантов в широком диапазоне значений энергии 10 ± 3000 Мэв и определена его точность. Показано, что точность в определении масс частиц, распадающихся на гамма-кванты, составляла в данной работе $\sim 20\%$, а в камере больших размеров может достигать 10% .

4. Разработаны способы учета фона при исследовании спектров эффективных масс различных комбинаций гамма-квантов.

5. Подробно исследована возможность выделения распадов $\eta \rightarrow \pi^0 \gamma \gamma$ среди событий с образованием двух π^0 - мезонов с помощью анализа эффективных масс $\gamma \gamma$ - комбинаций.

6. Получено экспериментальное указание на существование распадов η - мезона по каналу $\pi^0 \gamma \gamma$. Частота этих распадов составляет $(11 \pm 3)\%$ частоты всех нейтральных распадов η - мезона.

7. Определено соотношение между всеми нейтральными каналами распада η - мезона.

8. Проведено сравнение полученных результатов с результатами других экспериментальных работ и предсказаниями различных теоретических моделей.

9. Анализ совокупности всех экспериментальных данных, полученных с помощью 26-литровой ксеноновой пузырьковой камеры, показывает, что для дальнейшего уточнения полученных результатов необходимо применение ксеноновой камеры больших размеров.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах /21, 23, 24 /, а также докладывались на международных конференциях по физике высоких энергий в Беркли в 1966г., в Вене в 1968 г., в Киеве в 1970 г. и на международном симпозиуме в Дрездене в апреле 1971 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. G.Di Giungo, R.Querzoli, G.Troise, F.Vanoli, M.Giorgi, P.Schiavon, V.Silvestrini. Phys.Rev.Lett., 16, 767, 1966
2. M.A.Wahlig, E.Shibata, I.Mannelli. Phys.Rev.Lett., 17, 221, 1966
3. J.Grunhaus. Thesis. Columbia University, 1966, Nevis 156
4. M.Feldman, W.Frati, R.Gleeson, J.Halpern, M.Nussbaum, S.Richert. Phys.Rev.Lett., 18, 868, 1967
5. S.Buniatov, E.Lavattini, W.Deinet, H.Müller, D.Schmitt, H.Staudenmaier. Phys.Lett., 25B, 560, 1967
6. F.Jacquet, U.Nguyen-Khac, C.Baglin, A.Bezaguet, B.Degrance, K.J.Kurz, P.Musset, A.Haatuft, A.Halsteinslid, I.M.Olsen. Phys.Lett., 25B, 574, 1967
7. C.Baltay, P.Franzini, J.Kim, R.Newman, N.Yeh, L.Kirsch. Phys.Rev.Lett., 19, 1495, 1967
8. S.Devons, J.Grunhaus, T.Kozlowski, P.Nemethy, S.Shapiro, N.Horwitz, T.Kalogeropoulos, J.Skelly, R.Smith, H.Uto. Phys.Rev. D1, 1936, 1970
9. B.Cox, L.Fortney, J.Golson. Phys.Rev.Lett., 24, 534, 1970
10. L.Maiani, G.Preparata. Nuovo Cim., 48A, 550, 1967
11. A.Baracca Nuovo Cim., 50A, 1010, 1967
12. W.Alles, A.Baracca, A.T.Ramos. Nuovo Cim., 45A, 272, 1966
13. R.Van Royen, V.F.Weisskopf. Nuovo Cim., 50A, 617, 1967
14. P.Möbius, H.Pietschmann. Phys.Lett., 22, 684, 1966
15. F.W.Bullock, M.J.Esten, E.Fleming-Tompa, M.Govan, C.Henderson A.A.Owen, F.R.Stannard. Phys.Lett., 27B, 402, 1968

16. C.Baglin, A.Bezaguet, B.Degrance, P.Musset, H.Bingham, G.Irwin, W.Michael, A.ferrando, A.Lloret, J.A.Rubio, M.Tomas, S.De Unamuno, M.Paty, J.L.Riester, R.Arnold. Phys.Lett., 29B, 445, 1969
17. Z.S.Strugalski. Nucl.Phys., 87, 280, 1966
18. Б.Словинский, З.С.Стругальский. Препринт ОИЯИ, PI-3822, Дубна, 1968
19. Л.П.Коновалова, Л.С.Охрименко, З.С.Стругальский. ПТЭ, 6, 26, 1961
20. Я.Даныш, З.С.Стругальский, О.Чижевский. Препринт ОИЯИ, P-II44, Дубна, 1962
21. И.А.Ивановская, Т.Канарек, Л.С.Охрименко, Б.Словинский, З.С.Стругальский, И.В.Чувילו, З.Яблонский. ПТЭ, 2, 39, 1968
22. S.Shapiro. Thesis Columbia University 1969, Nevis 174.
23. Z.S.Strugalski, I.V.Chuvilo, T.Gemesy, I.A.Ivanovskaya, Z.Jablonski, T.Kanarek, S.Krasnovsky, L.S.Okhrimenko, G.Pinter, B.Slowinski. Препринт ОИЯИ, EI-5349, Дубна, 1970
24. Z.S.Strugalski, I.V.Chuvilo, T.Gemesy, I.A.Ivanovskaya, Z.Jablonski, T.Kanarek, S.Krasnowsky, L.S.Okhrimenko, G.Pinter. Nucl. Phys. B27, 429, 1971. Препринт ОИЯИ, EI-5256, Дубна, 1970 г.

Рукопись поступила в издательский отдел
12 октября 1971 года.