

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

МОСКОВСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

А. М. ГАЛЬПЕР

## ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛЕПТОННЫХ РАСПАДОВ ДОЛГОЖИВУЩИХ НЕЙТРАЛЬНЫХ К-МЕЗОНОВ

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

Научный руководитель,  
кандидат физико-математических наук, доцент  
В. Г. КИРИЛЛОВ-УГРЮМОВ

МОСКВА — 1964

Большой интерес к изучению нелептонных распадов  $K_2^0$ -мезонов вызван рядом обстоятельств. К ним прежде всего относится возможность проверки  $CP$ -инвариантности в слабых взаимодействиях, одним из следствий которой является существование распадов  $K_2^0 \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$  и  $K_2^0 \rightarrow \pi^0 \pi^0 \pi^0$ . Вторым, не менее важным обстоятельством является возможность проверки изотопических правил отбора в нелептонных распадах странных частиц. Эти правила предсказывают определенные соотношения между нелептонными и другими каналами распадов  $K_2^0$ -мезонов [1].

Экспериментальные данные о распадах  $K_2^0$ -мезонов весьма бедны [2—7]. До последнего времени отсутствовало надежное доказательство существования распада  $K_2^0 \rightarrow 3\pi^0$ , а отношение вероятности нелептонных распадов  $K_2^0$ -мезонов могло быть установлено только путем сопоставления результатов различных работ и потому включало трудноучитываемые систематические ошибки.

Такое положение частично объясняется как трудностями создания пучков  $K_2^0$ -частиц, так и экспериментальной регистрацией распадов  $K_2^0 \rightarrow 3\pi^0$ , поскольку в основной цепочке превращений  $K_2^0 \rightarrow 3\pi^0 \rightarrow 6\gamma \rightarrow 6e^+e^-$  заряженные продукты (электронно-позитронные пары конверсии) появляются лишь в третьем поколении.

В настоящей диссертации излагаются результаты исследований нелептонных распадов  $K_2^0$ -мезонов, проведенных с помощью 570-литровой пузырьковой камеры, заполненной тяжелой жидкостью. Эксперимент проводился на синхрофазотроне Объединенного института ядерных исследований.

Диссертация состоит из четырех глав и заключения.

1. В первой главе в краткой форме излагаются следствия гипотезы  $CP$ -инвариантности в слабых взаимодействиях, приводящие к существованию двух типов  $K^0$ -мезонов с различными значениями комбинированной четности. Из этого рас-

смотрения следует, что должны существовать распады  $K_2^0 \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$  и  $K_2^0 \rightarrow \pi^0 \pi^0 \pi^0$ . Если в нелептонных распадах странных частиц выполняется правило отбора  $\Delta T = 1/2$ , то теория слабых взаимодействий предсказывает следующие соотношения между вероятностями различных каналов распада  $K_2^0$ -мезона:

$$\frac{W(K_2^0 \rightarrow 3\pi^0)}{W(K_2^0 \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0)} = 1,82; \quad \frac{W(K_2^0 \rightarrow 3\pi^0)}{W(K_2^0 \rightarrow \text{все распады})} \approx 0,236.$$

В большинстве экспериментальных работ распады  $K_2^0$ -мезонов изучались с помощью камер Вильсона, в которых вероятность наблюдения распадов  $K_2^0 \rightarrow \pi^0 \pi^0 \pi^0$  даже по одиночным парам Далицца очень мала\*. Поэтому распад  $K_2^0 \rightarrow 3\pi^0$  исследован очень плохо. Отсутствуют экспериментальные работы, в которых производилось бы одновременное изучение распадов  $K_2^0 \rightarrow \pi^0 \pi^0 \pi^0$  и  $K_2^0 \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$ . Наиболее надежные результаты по нелептонным распадам получены для отношения вероятности распада  $K_2^0 \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$  к вероятности распада  $K_2^0$ -мезона на заряженные продукты [2].

В последней части главы рассматривается возможность постановки эксперимента по обнаружению распада  $K_2^0 \rightarrow 3\pi^0$  с пузырьковой камерой, наполненной тяжелой жидкостью. В подобных камерах эффективность регистрации  $\gamma$ -квантов достаточно велика, что благоприятствует наблюдению распадов  $K_2^0 \rightarrow \pi^0 \pi^0 \pi^0$ . Показано, что существует способ обогатить пучок нейтральных частиц  $K_2^0$ -мезонами. Этот способ основан на различии в поглощении нейтронов и  $K_2^0$ -мезонов, генерированных на внутренней мишени ускорителя.

2. Во второй главе рассмотрены вопросы, связанные с методикой эксперимента.

Пучок нейтральных частиц выводился из ускорителя под углом  $90^\circ$ . Вблизи мишени помещался свинцовый поглотитель толщиной 10 см. Очистка пучка от заряженных частиц производилась магнитным полем ускорителя. Расстояние от свинцовой мишени до камеры составляло 15 метров. Пучок частиц около камеры имел поперечные размеры  $30 \times 30$  см<sup>2</sup> и угловое расхождение  $\pm 1^\circ$ . Импульсный спектр  $K_2^0$ -мезонов, достигающих камеры, был рассчитан на основании статистической

\* Способ регистрации распадов  $K_2^0 \rightarrow 3\pi^0$ , по одиночным парам Далицца, возникающим при распаде  $\rho$ -мезонов, использован в недавно опубликованной работе (7). В этой работе, на 2500 наблюдаемых распадов было обнаружено всего 11 пар Далицца.

модели. Характер импульсного спектра нейтронов был получен методом измерения пробегов протонов отдачи в камере. Показано, что нейтронные взаимодействия с рождением двух л-мезонов в рабочем объеме камеры маловероятны.

Пузырьковая камера, на которой производилось исследование распадов, имеет форму цилиндра диаметром 90 см (пучок частиц входит перпендикулярно оси цилиндра). Глубина освещенной области достигала 60 см. Камера наполнялась смесью фреона-12 (50%) и фреона-13 (50%). Плотность рабочей жидкости составляла  $1,1 \text{ г/см}^3$ ; конверсионная длина  $\sim 30 \text{ см}$  для  $\gamma$ -квантов с энергией  $\geq 500 \text{ мэв}$  и  $\sim 40 \text{ см}$  для  $\gamma$ -квантов с энергией около 100 мэв. Диаметр камеры немного превышает геометрический ядерный пробег. В диссертации приводится краткое описание конструкции и работы камеры. Во время экспозиции камеры было отснято около 50.000 стереофотографий.

Идентификация частиц производилась по характеру останковки, ионизации, многократному рассеянию и пробегу. Особое внимание уделялось определению эффективности регистрации  $\gamma$ -квантов. Эффективность регистрации  $\gamma$ -квантов с энергией около 100 мэв оказалась равной 0,4 (энергия 100 мэв соответствует средней энергии  $\gamma$ -квантов, возникающих при последовательном распаде  $K_s^0$ -мезонов с импульсом  $\sim 350 \text{ мэв/с}$ ).

3. В третьей главе приведены результаты исследования распадов  $K_s^0$ -мезона на три нейтральных пиона.

При обработке стереофотографий к возможным случаям распада  $K_s^0$ -мезонов причислялись события, содержащие 3, 4, 5 или 6 электронно-позитронных пар, направленных приблизительно в одну точку, а также  $V$ -события. В качестве меры сходимости  $\gamma$ -квантов, образовавших пары, выбиралось максимальное расстояние  $h$  от точки пересечения траекторий двух ближайших  $\gamma$ -квантов до траекторий других  $\gamma$ -квантов. Приводится рассмотрение другого критерия сходимости  $\gamma$ -квантов — площади, ограниченной направлениями вылета  $\gamma$ -квантов.

Распределение событий с шестью, пятью, четырьмя и тремя электронно-позитронными парами по параметру сходимости имеет резкий максимум в области  $0 < h < 4,5 \text{ см}$ . Сравнение этих распределений с распределением событий с тремя электронно-позитронными парами, полученными методом случайных испытаний, указывает на существование определенных физических причин, приводящих к появлению

событий с тремя и более электронно-позитронными парами, направленными приблизительно в одну точку. Результаты эксперимента иллюстрируются таблицей 1.

Таблица 1

Вид событий	Полное число событий с $h \leq 4,5$ см	Число событий, появившихся в результате различных процессов, исключая распады $K_2^0 \rightarrow 3\pi^0$			Число распадов $K_2^0 \rightarrow 3\pi^0$
		случайные наложения	распады $K_1^0 \rightarrow 2\pi^0$	ядерные взаимодействия нейтронов и $K_2^0$ -мезонов	
С 6-ю электронно-позитронными парами	1*	0	0*	0	1
С 5-ю электронно-позитронными парами	8	2	0	0	6
С 4-мя электронно-позитронными парами	28	8	3	0	17
С 3-мя электронно-позитронными парами	157	46	17	12	82
Суммарное число событий	194	56	20	12	106

\* Параметр сходимости  $h = 2,1$  см.

В таблице указан вклад событий, связанных со случайными наложениями, регенерацией  $K_1^0$ -мезонов и ядерными взаимодействиями в жидкости камеры. В условиях нашего эксперимента практически все регенерированные  $K_1^0$ -мезоны отклоняются на угол  $< 15^\circ$ . Было отобрано 128 \* M-событий, не противоречащих кинематике распада  $K_1^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$ , плоскость которых составляет угол  $\leq 15^\circ$  с направлением пучка. Зная эффективность регистрации  $\gamma$ -квантов, удалось оценить вклад, вносимый распадами  $K_1^0$ -мезонов в события с тремя и четырьмя электронно-позитронными парами.

Изучение ядерных взаимодействий нейтронов и  $K_2^0$ -мезонов в нашей камере показало, что в 60% случаев они должны сопровождаться появлением медленных протонов. Поэтому вклад ядерных взаимодействий был оценен по числу событий со следами медленных протонов вблизи точки пересечения  $\gamma$ -квантов.

После вычитания вклада всех фоновых процессов было получено 106 событий с шестью, пятью, четырьмя и тремя электронно-позитронными парами. Происхождение этих событий можно объяснить только распадами  $K_2^0 \rightarrow 3\pi^0$ . Показано, что угловое распределение  $\gamma$ -квантов в отобранных событиях также совпадает с тем, которое следует ожидать при распаде  $K_2^0$ -мезонов с импульсом 350 мэв/с.

Наблюденное число распадов почти в 10 раз превосходит опубликованную статистику и может служить надежным доказательством существования распада  $K_2^0 \rightarrow \pi^0\pi^0\pi^0$ .

Кроме этих случаев в камере было зарегистрировано 850  $V$ -событий. Пятуую часть из них следует отнести к распадам  $K_1^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$  и ядерным взаимодействиям. Зная эффективность регистрации  $\gamma$ -квантов с энергией  $\sim 100$  мэв, равную 0,4, можно найти, что относительная вероятность распада  $K_2^0 \rightarrow 3\pi^0$  по отношению ко всем распадам составляет  $0,2 \pm 0,06$ . Ошибка определяется, в основном, неточностью в значении эффективности регистрации  $\gamma$ -квантов. Полученный результат согласуется с теоретическими предсказаниями.

4. Четвертая глава посвящена изучению распадов  $K_2^0 \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ . Результаты, публикуемые в этой главе, обнимают около двух третей экспериментального материала. К распадам  $K_2^0 \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$  причислялись случаи, представляющие собой  $V$ -события с одной или двумя электронно-позитронными парами, направленными в вершину вилки. Мерой сходимости, как и ранее, служило максимальное расстояние  $h$  от вершины  $V$ -события до траектории  $\gamma$ -квантов. Распределение отобранных случаев по параметру сходимости  $h$  имеет резкий максимум в области  $0 \leq h \leq 1$  см. Сравнение этого распределения с распределением аналогичных случаев, полученных методом случайных испытаний ( $V$ -событие и электронно-позитронная пара берутся с разных кадров) показывает, что максимум вблизи  $h = 0$  нельзя объяснить случайными наложениями. Полученные нами экспериментальные данные сведены в таблицу 2.

Таблица 2

Число событий с двумя и одной электронно-позитронными	Число событий, появившихся в результате различных процессов, исключая распад $K_2^0 \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$			Число распадов $K_2^0 \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$
	случайные наложения	Распад $K_2^0 \rightarrow \pi^\pm + e^\mp + \nu$	ядерные взаимодействия нейтронов и $K_2^0$ -мезонов	
46	6	4	1	35

В третьем столбце таблицы указан вклад событий, вызванных радиационным торможением электронов от распада  $K_2^0 \rightarrow \pi^\pm + e^\mp + \nu$ . Рассмотрен также вклад ядерного взаимодействия нейтронов и  $K_2^0$ -мезонов. Окончательный результат приведен в пятом столбце таблицы.

Мы измерили также отношение вероятностей распадов  $K_2^0 \rightarrow 3\pi^0$  и  $K_2^0 \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ . Было изучено влияние эффективности регистрации  $\gamma$ -квантов на точность определения этого отношения. Показано, что использование биномиального закона для вычисления отношения  $W(K_2^0 \rightarrow 3\pi^0)/W(K_2^0 \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0)$  по средней эффективности регистрации  $\gamma$ -квантов может приводить к большим ошибкам. Однако, существует возможность минимизировать эти ошибки. Было найдено, что отношения вероятностей изучаемых нелептонных распадов менее всего зависят от эффективности регистрации  $\gamma$ -квантов, если для его вычисления использовать определенный класс отобранных событий. В частности, наилучший результат получается, если для вычисления отношения использовать события только с тремя электронно-позитронными парами (распады  $K_2^0 \rightarrow 3\pi^0$ ) и  $V$  — события с одной электронно-позитронной парой (распады  $K_2^0 \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ ). С учетом эффективности регистрации  $\gamma$ -кванта и эффективности просмотра искомого отношения вероятности распада  $K_2^0 \rightarrow 3\pi^0$  и вероятности распада  $K_2^0 \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$  оказывается равным  $2,5 \pm 0,8$ . Приведенная ошибка включает в себя как статистические ошибки, так и неточность в определении эффективности регистрации  $\gamma$ -квантов. Полученный результат согласуется с предсказаниями теории.

5. В заключительной главе приводятся основные результаты диссертации.

а) Обнаружено, 106 событий с шестью, пятью, четырьмя и тремя  $\gamma$ -квантами, вылетающими из одной точки. Эти события с большой степенью надежности интерпретированы как распады  $K_2^0 \rightarrow 3\pi^0$ .

б) Определено отношение вероятности распада  $K_2^0 \rightarrow 3\pi^0$  ко всем распадам  $K_2^0$ -мезонов. Оно оказалось равным  $0,2 \pm 0,06$ .

в) С помощью одной экспериментальной установки измерено отношение вероятности распада  $K_2^0 \rightarrow 3\pi^0$  к вероятности распада  $K_2^0 \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ . Это отношение равно  $2,5 \pm 0,8$ .

г) На синхрофазотроне ОИЯИ создан пучок нейтральных частиц, обогащенный  $K_2^0$ -мезонами. В этом пучке была облучена пузырьковая камера объемом 570 литров, заполненная

смесью фреона-12 и фреона-13, на которой получено и обработано около 50 000 стереофотографий.

Основные результаты диссертации доложены на Международной конференции по ускорителям и экспериментальным методам, на III сессии школы физиков в Нор-Амберде, на Научной конференции Московского Инженерно-Физического института и сессии Отделения Ядерной физики АН СССР и опубликованы в работах [8—11].

---