

ИЗМЕРЕНИЕ МАССЫ НЕЙТРАЛЬНОГО КАОНА

*Л.М. Барков, Г.А. Блинов, И.Б. Вассерман, П.В. Воробьев,
П.М. Иванов, Г.Я. Кезерашвили, И.А. Кооп, А.П. Лысенко,
В.С. Охупкин, Е.А. Переведенцев, А.А. Полунин,
Н.М. Рыскулов, А.Н. Скринский, В.П. Смахтин,
Е.П. Солодов, Б.И. Хазин, Ю.М. Шатунов, А.И. Шехтман*

В реакции $e^+e^- \rightarrow K_L^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$ на накопителе ВЭПП-2М с помощью детектора КМД измерялись импульсы и углы разлета пионов. Энергия частиц в накопителе определялась методом резонансной деполяризации. Получено значение массы нейтрального каона, равное $497,742 \pm 0,085$ МэВ.

Эксперимент проводился с помощью криогенного магнитного детектора (КМД) ¹ на накопителе ВЭПП-2М при энергии пучков $2E = 1018, 73 \pm 0,03$ МэВ вблизи максимума ϕ -резонанса. При этой энергии пучков кинетическая энергия каонов составляет 11,7 МэВ и импульс нерелятивистских каонов, а также предельный угол разлета пионов при распаде оказываются чувствительными к относительно малым вариациям массы нейтрального каона.

Регистрация пионов распада и измерение их импульсов проводились с помощью цилиндрической оптической искровой камеры, помещенной внутрь сверхпроводящего соленоида. Величина магнитного поля в объеме детектора в данном эксперименте составляла 15 кГс. Благодаря наличию магнитного поля, применению низкой температуры и повышенному давлению газовой смеси в искровой камере, в XY-плоскости, перпендикулярной оси пучков, получено пространственное разрешение около 100 мкм. Вдоль оси Z, параллельной оси пучков, пространственное разрешение составляет 2,5 мм. Влияние многократного рассеяния пионов на точ-

ность восстановления импульсов сравнимо с вкладом пространственного разрешения детектора. Точность определения угла разлета пионов от распада каона равна 2 градусам. Такие характеристики детектора позволяют по углам и импульсам зарегистрированных пионов получить импульсное разрешение для K_S -мезонов около 10,5 МэВ/с. Юстировка оптики контролировалась с помощью реперных знаков, установленных на передней и задней стенках искровой камеры. В программах восстановления траекторий частиц учитывались оптические характеристики детектора, смещения искр в скрещенных магнитном и электрическом полях и неоднородность магнитного поля.

Набранный интеграл светимости составил 10 обратных нанобари при средней светимости накопителя ВЭПП-2М во время набора статистики $1,3 \cdot 10^{29} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$. Использовались условия запуска, при которых регистрировались двухчастичные события с углом расколлинеарности в XU -плоскости от 0 до 90 градусов. Эффективность регистрации процесса $e^+ e^- \rightarrow K_L K_S \rightarrow \pi^+ \pi^-$ составила около 20%. В эксперименте получено 58 тысяч фотографий, из которых обмерено около 2000 кандидатов на распад каона.

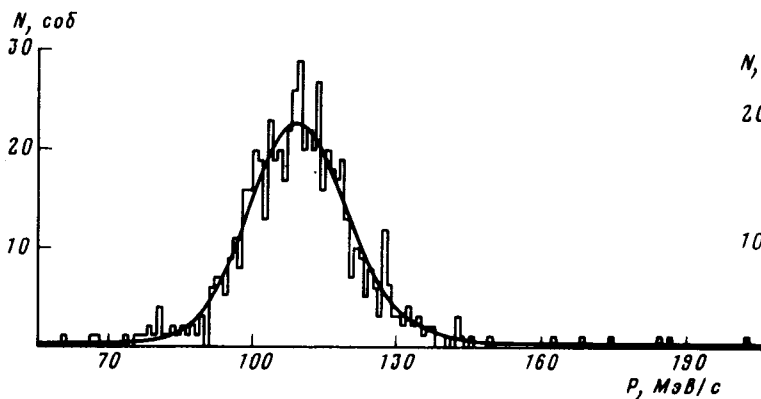


Рис. 1

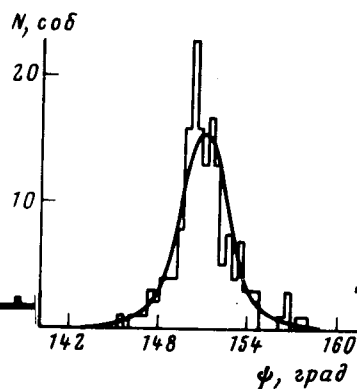


Рис. 2

Рис. 1. Распределение событий первой группы по импульсам K_S -мезонов. Сплошная линия – расчетная кривая с $M = 497,762$ МэВ

Рис. 2. Распределение событий второй группы по углам разлета ψ -пионов. Сплошная линия – расчетная кривая с $M = 947,720$ МэВ

Полезные события в первую очередь отбирались по сумме импульсов пионов, $(P_1 + P_2)$, поскольку эта величина в распаде каона на два пиона находится в узком диапазоне значений вблизи 416 МэВ/с. С учетом радиационных поправок и импульсного разрешения детектора отбирались события, у которых $340 \text{ МэВ/с} < (P_1 + P_2) < 500 \text{ МэВ/с}$.

Для уменьшения вклада процесса электророждения, $e^+ e^- \rightarrow e^+ e^- e^+ e^-$, отбраковывались события, у которых угол расколлинеарности двух треков в XU -плоскости не превышал 10 градусов, поскольку события в этом процессе имеют максимум распределения вблизи нуля. Кроме того, отбраковывались события с малым числом измеренных точек на треке и с пространственным разрешением, превышающим среднее разрешение в три раза. В дополнение к этому, отбирались события, у которых расстояние в XU -плоскости от точки распада каона до оси пучков было меньше радиуса вакуумной трубки ускорителя. Координаты области взаимодействия электрон-позитронных пучков находились с помощью анализа событий электрон-позитронного рассеяния и процесса $e^+ e^- \rightarrow 3\pi$. По указанным критериям было отобрано 780 событий.

Рассмотрение возможного вклада фоновых процессов в отобранную таким образом статистику показывает, что наибольший вклад дает процесс с рождением нейтральных каонов, ко-

гда один из пионов распада в свою очередь распадается на мюон и нейтрино внутри объема детектора. Оценки показывают, что таких событий должно быть около 1%, что учитывалось при обработке статистики.

Использование метода резонансной деполяризации^{2,3} совместно с системой стабилизации средней энергии пучков⁴ позволило определять и поддерживать в течение всего эксперимента постоянную энергию каждого из встречных электрон-позитронных пучков в накопителе ВЭПП-2М с точностью 15 кэВ. Для уменьшения влияния радиационных поправок на точность определения массы нейтрального каона значение энергии встречных электрон-позитронных пучков в течение эксперимента было фиксировано на левом склоне резонансной кривой ϕ -мезона. Поскольку энергию каонов, с учетом радиационных поправок, можно считать известной, то становится возможным из их импульсного распределения определить массу нейтрального каона. Кроме того, появляется возможность, сравнивая измеренную в детекторе суммарную энергию пионов с известной энергией каона, определить абсолютную величину магнитного поля в установке. При этом, полученная неопределенность в величине магнитного поля 0,1% дает вклад в ошибку определения массы таким способом 27 кэВ. Та же неточность магнитного поля приводит к изменению инвариантной массы пионов, построенной в предположении, что их энергия неизвестна, на 320 кэВ.

Массу каона можно определять не только по импульсному распределению K_S -мезонов, но и посредством измерения предельного угла разлета пионов в случае, когда пионы в системе инерции каона разлетаются перпендикулярно направлению его движения.

Для определения массы каона отобранные события были разбиты на две группы. В первую группу вошли 614 событий, у которых импульсы пионов отличаются больше, чем на 10%. Во вторую группу вошли 166 событий, у которых это отличие меньше 10%.

По импульсному распределению каонов в событиях первой группы (рис. 1) с помощью метода максимального правдоподобия определялась масса нейтрального каона, которая оказалась равной $M=497,762 \pm 0,116$ МэВ. Радиационные поправки учитывались согласно работе⁵. Приведенная ошибка складывается из ошибки, связанной с разрешением детектора и набранной статистикой — 100 кэВ и ошибок, связанных с учетом оптических искажений и сноса искр в электрическом и магнитном полях, неточности калибровки магнитного поля в детекторе, неточности энергии пучка и неточности наигрываемого методом Монте-Карло распределения по импульсам.

Углы разлета пионов в событиях второй группы должны находиться в узкой области 0,6 градусов вблизи предельного угла разлета, приблизительно равного 150 градусам, но процессы с излучением мягких фотонов и конечное разрешение детектора по углам увеличивают эту область. Из сравнения экспериментально полученного распределения по углам разлета пионов событий второй группы (рис. 2) методом максимального правдоподобия получено $M=497,720 \pm 0,122$ МэВ.

Приведенная ошибка складывается из ошибки, связанной с разрешением детектора и набранной статистикой — 115 кэВ, и ошибок, связанных с учетом оптических искажений и сноса искр в электрическом и магнитном полях, неточности определения энергии пучка и неточности наигрываемого методом Монте-Карло ожидаемого распределения по углам разлета пионов.

Поскольку полученные двумя методами результаты хорошо согласуются между собой в пределах ошибок измерения, которые в основном имеют статистический характер, их можно усреднить. Окончательное значение массы каона по этим результатам $M=497,742 \pm 0,085$ МэВ.

Это значение на 0,097 МэВ отличается от предварительного результата нашей работы⁶. Отличие связано с более точным учетом влияния пространственного разрешения детектора на форму распределений по импульсам каонов и углам разлета пионов.

Полученная в данной работе ошибка в 1,5 раза меньше ошибки в⁷, где приводится усредненное по существующим к настоящему времени работам значение массы нейтрального каона $497,67 \pm 0,13$ МэВ.

В заключение авторы выражают признательность коллективу ВЭПП-2М, обеспечившему хорошую работу ускорительного комплекса во время проведения эксперимента.

Литература

1. *Barkov L.M. et al. Nucl. Instr. Meth.*, 1983, 204, 379.
2. *Букин А.Д. и др. Труды 5 международного симпозиума по физике высоких энергий и элементарных частиц. Варшава, 1975, с. 138.*
3. *Derbenev Ya.S. et al. Preprint INP 76 – 64, Novosibirsk, 1976.*
4. *Баклаков Б.А. и др. Труды седьмого всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1980, 1, 338.*
5. *Азимов Я.И., Вайнштейн А.И., Липатов Л.Н., Хозе В.А. Письма в ЖЭТФ, 1975, 21, 378.*
6. *Anikin G.V. et al. Preprint INP 83 – 85, Novosibirsk, 1983.*
7. *Reviews of Modern Physics, 1984, vol. 56, No 2, part 2, S105.*

Институт ядерной физики
Академии наук СССР
Сибирское отделение

Поступила в редакцию
24 мая 1985 г