Оглавление

[1. Введение 3](#_Toc103437624)

[2. Методы измерения массы нейтрального каона 4](#_Toc103437625)

[3. Детектор КМД-3 6](#_Toc103437626)

[4. Экспериментальная статистика и отбор событий 6](#_Toc103437627)

[5. Анализ систематических эффектов 7](#_Toc103437628)

[6. Список литературы 8](#_Toc103437629)

# Введение

Целью данной работы является измерение массы нейтрального каона на основе статистики, полученной на детекторе КМД-3 на коллайдере ВЭПП-2000 в области энергий, соответствующей φ-мезонному резонансу ().

В качестве источника каонов использовался процесс

|  |  |
| --- | --- |
| *.* | (1) |

В связи с недостаточным импульсным разрешением детектора КМД-3 масса определялась не прямым вычислением инвариантной массы, а при помощи двух малочувствительных к ошибке измерения импульса соотношений, которые позволяют по измеренным углам и отношению импульсов пионов определить массу каона [1]. При измерении массы с помощью, использованных в данной работе методов, были учтены следующие эффекты: излучение фотонов в начальном состоянии (радиационная поправка), эффекты, связанные с импульсным и пространственным разрешением детектора (поправки на нелинейность), разброс энергии в пучках и взаимные корреляции этих эффектов.

Полный интеграл светимости, набранный в использованных в этой работе заходах, составляет , что соответствует (сколько?) отобранных пар пионов. Эффективность регистрации каонов составила .

Таблица 1. Предыдущие измерения массы нейтрального каона [2]

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Value (MeV)** | **Events** | **Document ID** | **Experiment** |
| 497.607±0.007±0.015 | 261k | Tomoradze | KLOE |
| 497.583±0.005±0.020 | 35k | Ambrosino | KLOE |
| 497.625±0.001±0.031 | 655k | Lai | NA48 |
| 497.661±0.033 | 3713 | Barkov | CMD |
| 497.742±0.085 | 780 | Barkov | CMD |
| 497.611±0.013 | PDG Fit (Error includes scale factor of 1.2) | | |

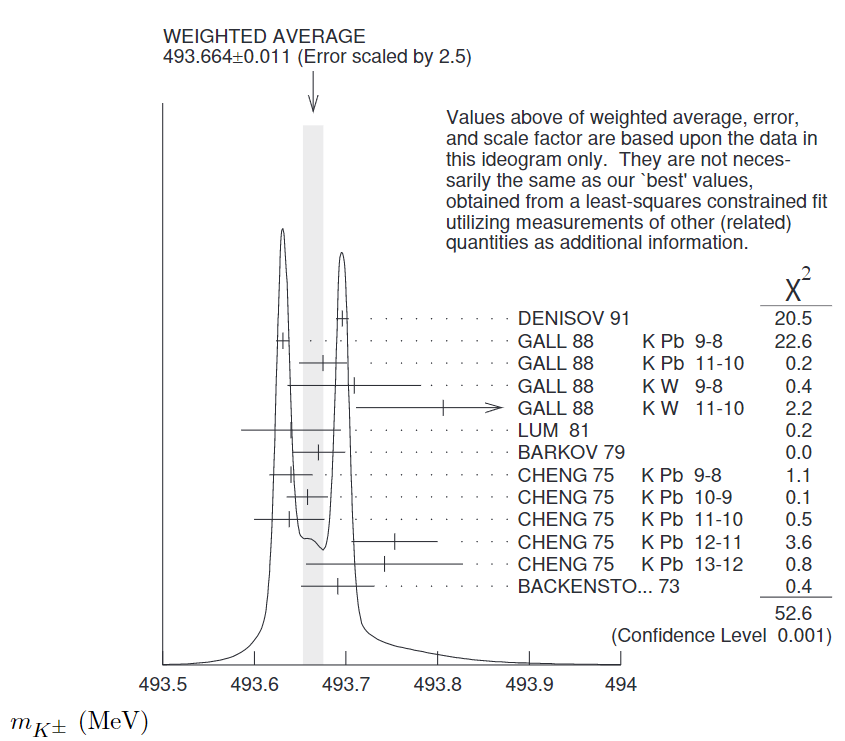


Рис. 1. График измерения массы. Измерения GALL 88 и CHENG 75 показаны отдельно для каждого измеренного перехода. [2]

Таблица 1 и рисунок 1 содержат информацию о предыдущих измерениях массы как нейтрального, так и заряженного каона. На рисунке 1 видно, что предыдущие измерения дают достаточно точные, но не согласованные результаты. Поэтому представляет высокий интерес очередное измерение массы заряженного каона. Для этого планируется использовать применённые в этой работе методы для измерения массы заряженного каона.

Также уточнение массы нейтрального каона позволит точнее моделировать различные процессы, в которые в качестве параметра входит . Помимо этого, уточнение массы нейтрального каона увеличит точность измерения разности масс нейтрального и заряженного каонов .

# Методы измерения массы нейтрального каона

* **Метод инвариантной массы**:

Рассмотрим распад частицы массы M с энергией E на частицы с энергией и . Тогда квадрат массы изначальной частицы равен

|  |  |
| --- | --- |
| *.* | (1) |

Если частицы, образовавшиеся в результате распада, надёжно идентифицируются детектором, то (1) можно переписать в следующем виде:

|  |  |
| --- | --- |
| *.* | (2) |

То есть массу изначальной частицы можно измерить, зная лишь какие частицы родились и каков их импульс. Существенным недостатком данного метода является большая чувствительность к абсолютным сдвигам величин импульсов и углам разлёта частиц.

К сожалению, из-за недостаточной точности измерения импульсов и углов у детектора КМД-3 систематическая ошибка массы, определённой таким образом, достигает нескольких . Однако в экспериментах NA48 и KLOE систематическая погрешность измерения импульсов мала, что позволяет измерять массу при помощи (1) с ошибкой порядка нескольких сотых [3, 4].

* **Метод предельного угла:**

Если энергия каона может быть измерена независимо, то масса каона можно определить соотношением

|  |  |
| --- | --- |
| , | (3) |

где , — предельный пространственный угол разлёта пионов в распаде [1].

Так как в эксперименте величина определяется с некоторым конечным разрешением , при определении средней массы по выборке следует учитывать сдвиг , связанный с нелинейностью зависимости (3) от параметра . С точностью до второго порядка этот сдвиг равен [1]

|  |  |
| --- | --- |
| . | (4) |

Угловое разрешение детектора КМД-3 рад. При энергии пучка это соответствует .

* **Метод полной реконструкции распада**

Рассмотри распад нейтрального каона массы с энергии на два заряженных пиона с массами и импульсами и . Тогда согласно [1] верно соотношение

|  |  |
| --- | --- |
| ], | (5) |

где , , , . Выразив массу из (5) получим явное выражение:

|  |  |
| --- | --- |
| . | (6) |

В пределе (5) переходит в

|  |  |
| --- | --- |
| , | (7) |

где — предельный пространственный угол разлёта пионов. В силу того, что (7) эквивалентно (3), вышеприведённые рассуждения о сдвиге средней массы , связанный с нелинейностью зависимости от параметра , справедливы и для (5) при [1].

В отличии от прямого измерения инвариантной массы данный метод обладает малой чувствительностью к систематическим погрешностям измерения абсолютных значений импульсов пионов , так как импульсы пионов входят в виде отношения . Аналогично методу предельного угла метод полной реконструкции распада обладает высокой чувствительностью к величине .

# Детектор КМД-3

Криогенный магнитный детектор (КМД-3, рис. 2) [5] установлен в одной из двух точек столкновения электрон-позитронного коллайдера ВЭПП-2000 [6]. Треккинговая система детектора состоит из цилиндрической дрейфовой камеры (DC) и двухслойной цилиндрической многопроволочной пропорциональной Z-камеры. Обе камеры установлены внутри тонкого () сверхпроводящего соленоида с магнитным полем . DC измеряет импульс и полярный () и азимутальный () углы заряженной частицы. Z‑камера измеряет координату частиц вдоль оси пучка. Энергии и направления фотонов определяется при помощи размещённого вне соленоида баррельного электромагнитного калориметра, состоящего из двух систем: внутреннего калориметра на жидком ксеноне (LXe) толщиной и внешнего калориметра на кристаллах йодида цезия (CsI) толщиной [7]. В торцах детектора стоят калориметры, основанные на кристаллах BGO, толщиной .

Контроль энергии пучка осуществлялся посредством лазерной системы, основанной на обратном комптоновском рассеянии. Систематическая погрешность измерения энергии в системе центра масс равняется [8, 9].

События записываются согласно сигналам с двух независимых триггерных систем: нейтральной и заряженной. Заряженный триггер требует наличие хотя бы одного заряженного трека (использует информацию из DC). Нейтральный триггер требует либо энерговыделение в калориметре больше , либо наличие более двух кластеров с энерговыделением больше порога .

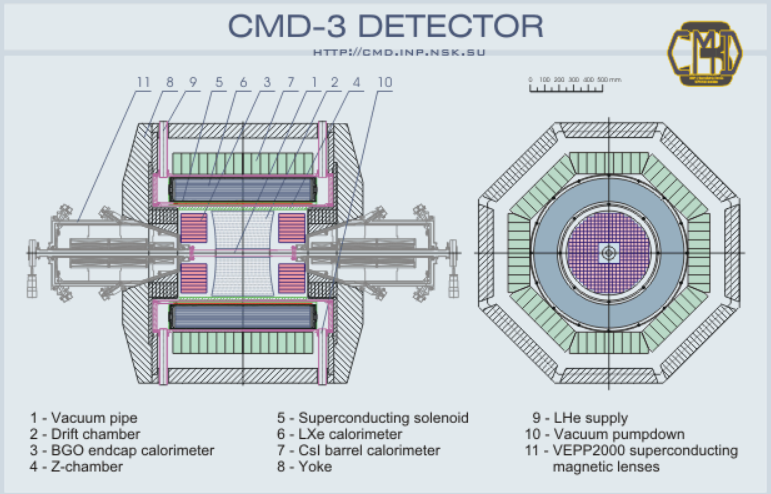


Рис. 2 Схема детектора КМД-3

# Экспериментальная статистика и отбор событий

В данной работе каона использовались данные 2018 года (сезон PHI/OMEGA 2018), набранные в семи точках по энергии вблизи пика φ‑мезонного резонанса (). Интеграл светимости по всему набору данных составил .

Процесс регистрировался по распаду . Сначала отбирались «хорошие» треки, то есть треки для которых выполнялись следующие условия:

1. Импульс трека ,
2. Координата вдоль пучка ,
3. Качество реконструкции трека в r­-φ и z-плоскостях , ,
4. Количество сработавших проволочек в дрейфовой камере ,
5. Полярный угол трека .

Если в событии находилось два «хороших» трека, то к этим трекам применялись отборы, которые определяли сигнальные события:

1. Неколлинеарность треков,
2. Противоположные заряды треков,
3. Косинус угла между радиус-вектором, соединяющим место встречи пучков с вершиной распада , и направлением импульса в r-𝜑-плоскости (рис. 3) ,
4. Средние потери двух треков на ионизацию в дрейфовой камере (рис. 4)    .

Для изучения отклика детектора и для определения эффективности детектирования было проведено Монте Карло моделирование при помощи программного пакета GEANT4. Эффективность регистрации при данных условиях отбора составила .

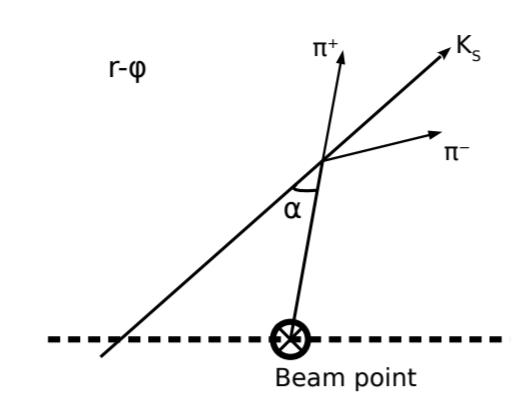


Рис. 3. Определение угла α ­– угла между радиус-вектором, соединяющим место встречи пучков с вершиной распада , и направлением импульса в r-𝜑-плоскости (сделать свою картинку)

Рис. 4. Средние ионизационные потери двух «хороших» треков (сделать для E=509.5MeV, 2018 год)

Рис. 5. Зависимость импульса одного трека от импульса другого трека (p1 vs p2)

# Анализ систематических эффектов

# Список литературы

1. Мемо Зайцева
2. PDG KK
3. <https://inspirehep.net/literature/766331>
4. <https://inspirehep.net/literature/585079>
5. B. I. Khazin et al., Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.) 376, 181 (2008).
6. Yu. M. Shatunov et al., in Proceedings of the 7th European Particle Accelerator Conference, Vienna, 2000, p. 439.
7. V. M. Aulchenko et al., JINST 10, P10006 (2015).
8. E.V. Abakumova, et al., Phys. Rev. Lett. 110 (2013) 140402
9. E.V. Abakumova, et al., J. Instrum. 10 (2015) T09001.