

Исследование распада каона в 3 пиона

Студент: Завидов Евгений Алексеевич

Научный руководитель: к.ф.-м.н., доц. Солдатов Е.Ю

Научный консультант: д.ф.-м.н. Слабоспицкий С.Р.¹

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
1 НИЦ «Курчатовский Институт» — ИФВЭ имени А.А. Логунова

ВКР

24.06.2025

Содержание

Изучение
распада
 $K \rightarrow 3\pi$

Завидов Е.А.

Введение

Анализ
данных

Изучение
связанного
состояния
 $\pi^+\pi^-$ в
распаде
 $K^+ \rightarrow 3\pi$

Заключение

1 Введение

2 Анализ данных

3 Изучение связанного состояния $\pi^+\pi^-$ в распаде $K^+ \rightarrow 3\pi$

4 Заключение

Поиск Новой Физики (НФ) на современных ускорителях

Изучение
распада
 $K \rightarrow 3\pi$

Завидов Е.А.

Введение

Анализ
данных

Изучение
связанного
состояния
 $\pi^+\pi^-$ в
распаде
 $K^+ \rightarrow 3\pi$

Заключение

Существует 2 подхода к поиску НФ на ускорителях:

- поиск прямых проявлений, открытие новых частиц — эксперименты ATLAS, CMS и др.
- поиск косвенных проявлений в редких распадах — эксперименты NA62, OKA

Установка ОКА

Изучение
распада
 $K \rightarrow 3\pi$

Завидов Е.А.

Введение

Анализ
данных

Изучение
связанного
состояния
 $\pi^+\pi^-$ в
распаде
 $K^+ \rightarrow 3\pi$

Заключение

Установка ОКА ("Опыты с КАонами") посвящена исследованию распадов каонов "на лету". Физическая программа эксперимента нацелена на поиск редких распадов K^+ -мезонов, поиск прямого CP -нарушения в распадах заряженных каонов, проверку киральной теории возмущений и исследование редких мезонных состояний

Цели и задачи работы

Изучение
распада
 $K \rightarrow 3\pi$

Завидов Е.А.

Введение

Анализ
данных

Изучение
связанного
состояния
 $\pi^+\pi^-$ в
распаде
 $K^+ \rightarrow 3\pi$

Заключение

Цели:

- изучение реакции $K^+ \rightarrow \pi^+\pi^+\pi^-$ на установке ОКА;
- исследование возможности образования пиония в распаде $K^+ \rightarrow \pi^+\pi^+\pi^-$;
- изучение свойств пиония.

Задачи:

- разработать программное обеспечение, которое позволит выделить интересующую моду распада из набора экспериментальных данных;
- провести анализ распада $K^+ \rightarrow \pi^+\pi^+\pi^-$;
- вычислить вероятность распада $K^+ \rightarrow A_{2\pi}\pi^+$;
- провести расчеты ширин основных мод распада пиония в S - и P - состояниях.

Схема установки

Изучение
распада
 $K \rightarrow 3\pi$

Завидов Е.А.

Введение

Анализ
данных

Изучение
связанного
состояния
 $\pi^+\pi^-$ в
распаде
 $K^+ \rightarrow 3\pi$

Заключение

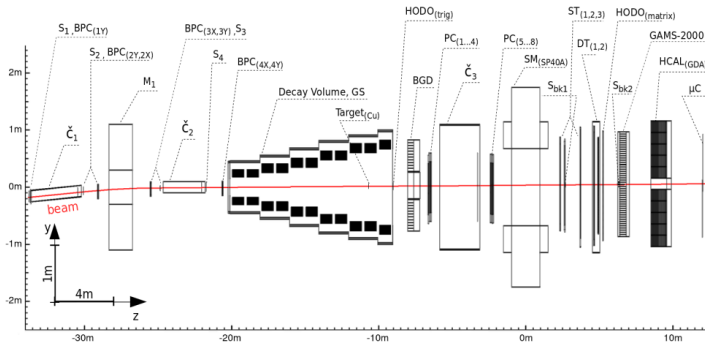


Рисунок 1 — Схема установки ОКА

Набор данных

Изучение
распада
 $K \rightarrow 3\pi$

Завидов Е.А.

Введение

Анализ
данных

Изучение
связанного
состояния
 $\pi^+\pi^-$ в
распаде
 $K^+ \rightarrow 3\pi$

Заключение

В данной работе использовались данные, собранные в сеансе 2018 года.

Отбор распадов каонов происходит on-line по срабатыванию соответствующего триггера.

Всего для анализа было выделено $\approx 3.3 \cdot 10^6$ распадов K^+ .

Используемые критерии отбора событий

Изучение
распада
 $K \rightarrow 3\pi$

Завидов Е.А.

Введение

Анализ
данных

Изучение
связанного
состояния
 $\pi^+\pi^-$ в
распаде
 $K^+ \rightarrow 3\pi$

Заключение

- 1 число заряженных треков в реконструированном событии равняется 4, что отвечает распаднему K^+ и 3 вторичным частицам ($\pi^\pm, \mu^\pm, e^\pm$);
- 2 суммарный заряд реконструированных вторичных треков равняется +1;
- 3 вершина распада находится внутри распадного объема и не попадет в мишень;
- 4 энергии всех распадных частиц в системе покоя каона лежат в разрешенных кинематических пределах $E_i^* > m_\pi \approx 0.14$ ГэВ и $E_i^* < E_{max} \approx 0.18$ ГэВ;
- 5 модуль импульса системы вторичных треков в системе покоя каона $|\sum_i \vec{p}_i| < 0.025$ ГэВ;

Сравнение реконструированных экспериментальных данных и данных МС-симуляции

Изучение
распада
 $K \rightarrow 3\pi$

Завидов Е.А.

Введение

Анализ
данных

Изучение
связанного
состояния
 $\pi^+\pi^-$ в
распаде
 $K^+ \rightarrow 3\pi$

Заключение

По результатам отбора было выделено 466606 событий, отвечающих исследуемой моде распада

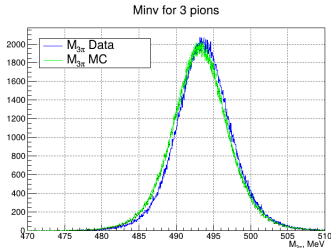


Рисунок 2 — Распределение по инвариантной массе вторичных частиц для экспериментальных данных и данных Монте-Карло симуляции

Пик для эксперимент. данных
 $M_{3\pi} = 493.685 \pm 0.005$ МэВ

Пик для данных Монте-Карло
 $M_{3\pi} = 493.230 \pm 0.005$ МэВ.

Разность полученных величин
равна

$$\Delta M_{3\pi} = 455 \pm 7 \text{ кэВ} \quad (1)$$

Диаграмма Далица для распада $K^+ \rightarrow 3\pi$: теория

Изучение
распада
 $K \rightarrow 3\pi$

Завидов Е.А.

Введение

Анализ
данных

Изучение
связанного
состояния
 $\pi^+\pi^-$ в
распаде
 $K^+ \rightarrow 3\pi$

Заключение

Квадрат матричного элемента в центре Далиц плота раскладывается в ряд по степеням $r_i = s_i - s_0$

$$|\mathcal{M}|^2 \approx 1 + g \frac{s_3 - s_0}{m_{\pi^+}^2} + h \left[\frac{(s_3 - s_0)^2}{m_{\pi^+}^4} \right] + k \left[\frac{(s_2 - s_1)^2}{m_{\pi^+}^4} \right], \quad (2)$$

где $s_i = (p_K - p_i)^2$ и $s_0 = \frac{1}{3}(m_K^2 + m_1^2 + m_2^2 + m_3^2)$, а индекс 3 относится к нечетному пиону (в данном случае отрицательному).

Для упрощения записи вводятся переменные

$$u = \frac{s_3 - s_0}{m_{\pi^+}^2} \quad (3)$$
$$v = \frac{(s_2 - s_1)}{m_{\pi^+}^2}$$

Диаграмма Далица для распада $K^+ \rightarrow 3\pi$: эксперимент

Изучение
распада
 $K \rightarrow 3\pi$

Завидов Е.А.

Введение

Анализ
данных

Изучение
связанного
состояния
 $\pi^+\pi^-$ в
распаде
 $K^+ \rightarrow 3\pi$

Заключение

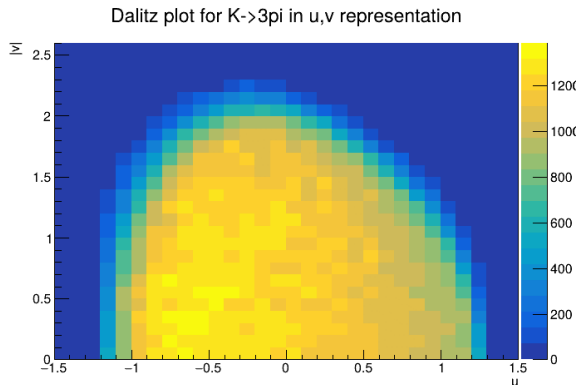


Рисунок 3 — Двумерный вид диаграммы Далица для экспериментальных данных

Фитирование данных

Изучение
распада
 $K \rightarrow 3\pi$

Завидов Е.А.

Введение

Анализ
данных

Изучение
связанного
состояния
 $\pi^+\pi^-$ в
распаде
 $K^+ \rightarrow 3\pi$

Заключение

Фит данного распределения согласно (2) проводился с помощью следующей функции

$$F(u, |v|)^{data} = N(F(u, |v|)_0^{MC} + gF(u, |v|)_u^{MC} + hF(u, |v|)_{u^2}^{MC} + kF(u, |v|)_{v^2}^{MC}), \quad (4)$$

где N — константа нормировки, а F_i^{MC} — сгенерированные при помощи данных Монте-Карло диаграммы Далица с постоянным матричным элементом. Нижний индекс указывает вес, приписанный каждому бину распределения в соответствие с формулой (2).

Результаты фита

Изучение
распада
 $K \rightarrow 3\pi$

Завидов Е.А.

Введение

Анализ
данных

Изучение
связанного
состояния
 $\pi^+\pi^-$ в
распаде
 $K^+ \rightarrow 3\pi$

Заключение

В результате были получены следующие значения параметров

Вел. / Пар.	Фит	σ фита	PDG	σ PDG
N	0.998	0.004	—	—
g	-0.158	0.005	-0.21134	0.00017
h	0.009	0.010	0.01848	0.00040
k	-0.003	0.003	-0.00463	0.00014

Таблица 1 — Параметры полученные из фита и представленные в PDG

Отношение $\frac{\chi^2}{NDF}$ для полученных значений параметров равно

$$\frac{\chi^2}{NDF} = \frac{312}{291} = 1.1. \quad (5)$$

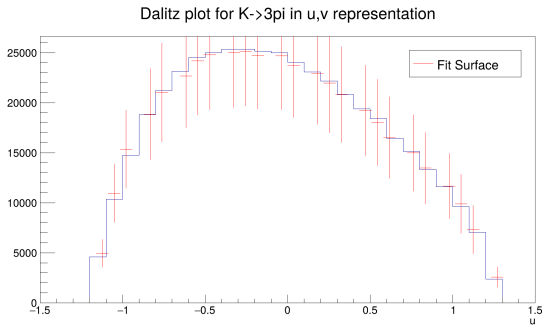


Рисунок 4 — Проекция фитирующей поверхности на ось u

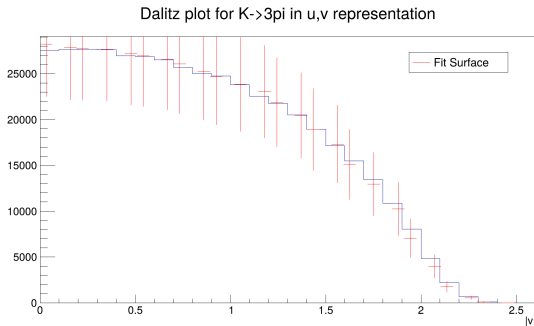


Рисунок 5 — Проекция фитирующей поверхности на ось v

Формализм связанных состояний мезонов

Изучение
распада
 $K \rightarrow 3\pi$

Завидов Е.А.

Введение

Анализ
данных

Изучение
связанного
состояния
 $\pi^+\pi^-$ в
распаде
 $K^+ \rightarrow 3\pi$

Заключение

Для нерелятивистских систем, взаимодействующих центрально, вводятся импульсы относительного движения p и центра масс P :

$$\vec{p}_1 = -\vec{p} + \frac{\vec{P}}{2} \quad (6)$$

$$\vec{p}_2 = \vec{p} + \frac{\vec{P}}{2} \quad (7)$$

вектор состояния пиония в покое имеет вид

$$\left| A_{2\pi}(\vec{P}_B = 0) \right\rangle = \sqrt{2M} \int \frac{d^3p}{(2\pi)^3} \frac{1}{\sqrt{2E_{+p}}\sqrt{2E_{-p}}} \left| \pi^+(\vec{p}), \pi^-(-\vec{p}) \right\rangle \psi(p) \quad (8)$$

Формализм связанных состояний мезонов

Изучение
распада
 $K \rightarrow 3\pi$

Завидов Е.А.

Введение

Анализ
данных

Изучение
связанного
состояния
 $\pi^+\pi^-$ в
распаде
 $K^+ \rightarrow 3\pi$

Заключение

Таким образом, матричный элемент некоторого процесса, в котором участвует пионий, можно выразить через элемент S —матрицы этого же процесса, заменив пионий на пару свободных π -мезонов:

$$\mathcal{M}(a, b \rightarrow A_{2\pi}) = \frac{1}{\sqrt{m_\pi}} \int \frac{d^3 p}{(2\pi)^3} \mathcal{M}(a, b \rightarrow \pi^+, \pi^-) \psi(p) \quad (9)$$

Оценка вероятности распада $K^+ \rightarrow A_{2\pi}\pi^+$

Изучение
распада
 $K \rightarrow 3\pi$

Завидов Е.А.

Введение

Анализ
данных

Изучение
связанного
состояния
 $\pi^+\pi^-$ в
распаде
 $K^+ \rightarrow 3\pi$

Заключение

Парциальная ширина распада $K^+ \rightarrow A_{2\pi}\pi^+$ дается выражением

$$d\Gamma(K^+ \rightarrow A_{2\pi}) = \frac{1}{2m_K} \int \frac{d^3P}{(2\pi)^3 2E_P} \frac{d^3p_\pi}{(2\pi)^3 2E_\pi} \frac{|\psi(0)|^2}{m_\pi} |\mathcal{M}_{3\pi}|^2 (2\pi)^4 \delta^4(p_K - P - p_\pi) \quad (10)$$

Квадрат матричного элемента для распада $K^+ \rightarrow \pi^+\pi^+\pi^-$ дается формулой (2) с коэффициентами, определенными в предыдущем разделе.

Оценка вероятности распада $K^+ \rightarrow A_{2\pi}\pi^+$

Изучение
распада
 $K \rightarrow 3\pi$

Завидов Е.А.

Введение

Анализ
данных

Изучение
связанного
состояния
 $\pi^+\pi^-$ в
распаде
 $K^+ \rightarrow 3\pi$

Заключение

Ширина распада $K^+ \rightarrow \pi^+\pi^+\pi^-$:

$$d\Gamma(K^+ \rightarrow \pi^+\pi^+\pi^-) = \frac{1}{2m_K} \int \frac{d^3p_1}{(2\pi)^3 2E_1} \frac{d^3p_2}{(2\pi)^3 2E_2} \frac{d^3p_3}{(2\pi)^3 2E_3} |\mathcal{M}_{3\pi}|^2 (2\pi)^4 \delta^4(p_K - \sum_i p_i) \quad (11)$$

Отношение ширин имеет вид

$$\frac{\Gamma(K^+ \rightarrow A_{2\pi}\pi^+)}{\Gamma(K^+ \rightarrow \pi^+\pi^+\pi^-)} = \frac{\alpha^3 \pi^2}{2} \sqrt{\left(1 - \frac{1}{\mu^2}\right)\left(9 - \frac{1}{\mu^2}\right)} \cdot \frac{|\tilde{\mathcal{M}}_{3\pi}|^2}{I}, \quad (12)$$

где $\mu = \frac{m_\pi}{m_K}$, $|\tilde{\mathcal{M}}|^2$ — матричный элемент, соответствующий распаду $K^+ \rightarrow A_{2\pi}\pi^+$, I — безразмерный интеграл следующего вида

$$I = \int_1^{(\frac{\mu-1}{2\mu})^2} dt \int_{u^-}^{u^+} du |\mathcal{M}|^2 \quad (13)$$

Оценка вероятности распада $K^+ \rightarrow A_{2\pi}\pi^+$

Изучение
распада
 $K \rightarrow 3\pi$

Завидов Е.А.

Введение

Анализ
данных

Изучение
связанного
состояния
 $\pi^+\pi^-$ в
распаде
 $K^+ \rightarrow 3\pi$

Заключение

$$\frac{\Gamma(K^+ \rightarrow A_{2\pi}\pi^+)}{\Gamma(K^+ \rightarrow \pi^+\pi^+\pi^-)} \approx 2.1 \cdot 10^{-5} \quad (14)$$

Соответствующее значение для брэнчинга распада $K^+ \rightarrow A_{2\pi}\pi^+$ будет равно

$$\text{Br}(K^+ \rightarrow A_{2\pi}\pi^+) = \text{Br}(K^+ \rightarrow \pi^+\pi^+\pi^-) \cdot 2.1 \cdot 10^{-5} = 1.2 \cdot 10^{-6} \quad (15)$$

Из-за очень маленького времени жизни $\tau_{A_{2\pi}} \approx 3.15_{-0.26}^{+0.28} \cdot 10^{-15}$ с прямое детектирование пиония на установке ОКА невозможно. Однако следы пиония можно обнаружить из анализа других распадов K^+ , в которых будет видно присутствие продуктов распада $A_{2\pi}$.

Ширина адронного распада $A_{2\pi} \rightarrow \pi^0 \pi^0$

Изучение
распада
 $K \rightarrow 3\pi$

Завидов Е.А.

Введение

Анализ
данных

Изучение
связанного
состояния
 $\pi^+ \pi^-$ в
распаде
 $K^+ \rightarrow 3\pi$

Заключение

Выражение для ширины этого распада может быть получено при рассмотрении пион-пионного рассеяния при нулевых кинетических энергиях рассеиваемых частиц

$$\Gamma(A_{2\pi} \rightarrow \pi^0 \pi^0) = |\psi(0)|^2 \frac{16\pi}{9} (a_0^2 - a_2^2)^2 \sqrt{\frac{\Delta m_\pi}{m_\pi}} \approx 0.18 \text{ эВ}, \quad (16)$$

где a_0 и a_2 это длины пион-пионного рассеяния в S -волне для состояний с изоспином 0 и 2 соответственно, а

$$\Delta m_\pi = m_{\pi^+} - m_{\pi^0}.$$

Ширина электромагнитного распада $A_{2\pi} \rightarrow 2\gamma$

Изучение
распада
 $K \rightarrow 3\pi$

Завидов Е.А.

Введение

Анализ
данных

Изучение
связанного
состояния
 $\pi^+\pi^-$ в
распаде
 $K^+ \rightarrow 3\pi$

Заключение

Анигиляция пионов в два фотона в низшем порядке теории возмущений в рамках скалярной электродинамики дается 3 диаграммами:

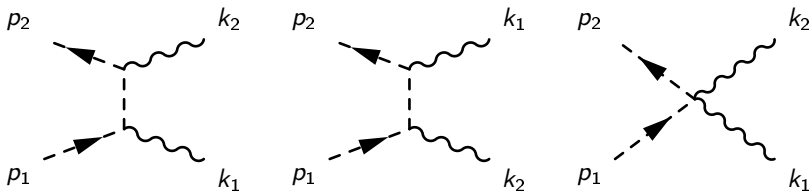


Рисунок 6 — Диаграммы Фейнмана аннигиляции пионов

Матричный элемент данного процесса

$$\mathcal{M} = ie^2 \epsilon^{*\mu}(k_1) \epsilon^{*\nu}(k_2) \times \\ \left(2g_{\mu\nu} - (p_1 + p)_\mu \frac{1}{p^2 - m^2} (p - p_2)_\nu - (p_1 + q)_\nu \frac{1}{q^2 - m^2} (q - p_2)_\mu \right) \quad (17)$$

После всех вычислений, выражение для ширины имеет следующий вид

$$\Gamma(A_{2\pi} \rightarrow 2\gamma) = \frac{\alpha^5 m_\pi}{4} \approx 7.23 \cdot 10^{-4} \text{ эВ} \quad (18)$$

Интересно сравнить ширину адронного распада с шириной распада на два фотона

$$\frac{\Gamma(A_{2\pi} \rightarrow 2\gamma)}{\Gamma(A_{2\pi} \rightarrow 2\pi^0)} = \frac{9\alpha^2}{8} \frac{1}{(m_\pi(a_0 - a_2))^2} \sqrt{\frac{m_\pi}{\Delta m_\pi}} \approx 0.4\% \quad (19)$$

Слабые распады пиония

Изучение
распада
 $K \rightarrow 3\pi$

Завидов Е.А.

Введение

Анализ
данных

Изучение
связанного
состояния
 $\pi^+\pi^-$ в
распаде
 $K^+ \rightarrow 3\pi$

Заключение

Слабые распады пиония проявляются через распады его составляющих, поэтому полную ширину слабых распадов можно записать в следующем виде

$$\Gamma(A_{2\pi}^{weak}) = \Gamma(\pi^+) + \Gamma(\pi^-) + \Gamma(\pi^+\pi^-), \quad (20)$$

где $\Gamma(\pi^\pm)$ — полная ширина распада $\pi^\pm$ -мезона, а $\Gamma(\pi^+\pi^-)$ — ширина, отвечающая ситуации, когда одновременно распадаются оба пиона.

Ширина распада пиония за счет слабого взаимодействия равна

$$\Gamma(A_{2\pi}^{weak}) = (\sqrt{2} - 1)\Gamma(\pi^+) = (\sqrt{2} - 1)\frac{\hbar}{\tau_\pi} = 1.04 \cdot 10^{-8} \text{ эВ} \quad (21)$$

Распад P —волнового состояния пиония

В низшем порядке теории возмущений процесс $\pi^+\pi^- \rightarrow l^+l^-$ описывается одной диаграммой Фейнмана

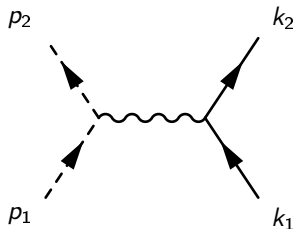


Рисунок 7 — Диаграмма Фейнмана аннигиляции пионов в пару лептонов

Матричный элемент равен

$$\mathcal{M} = \frac{ie^2}{q^2} \bar{u}(k_2) \gamma_\mu v(k_1) (p_1 - p_2)^\mu \quad (22)$$

Распад P –волнового состояния пиония

Изучение
распада
 $K \rightarrow 3\pi$

Завидов Е.А.

Введение

Анализ
данных

Изучение
связанного
состояния
 $\pi^+\pi^-$ в
распаде
 $K^+ \rightarrow 3\pi$

Заключение

Выражение для ширины распада пиония на пару лептонов

$$\Gamma = \frac{2e^4}{3m_\pi^6} [m_\pi^2 + 2m_l^2] \left(\sqrt{\frac{3}{4\pi} \frac{1}{2n} \left(\frac{\alpha m_\pi}{n} \right)^5 \frac{(n-2)!}{(n+1)!} L_{n-2}^3(0)} \right)^2 \quad (23)$$
$$\frac{1}{8\pi} \sqrt{1 - \frac{4m_l^2}{s}} = \frac{\alpha^7 m_\pi}{144} \frac{n^2 - 1}{n^5} \left(1 + 2 \frac{m_l^2}{m_\pi^2} \right) \sqrt{1 - \frac{m_l^2}{m_\pi^2}}$$

Для $1P$ –состояния ширина равна

$$\Gamma = \frac{\alpha^7 m_\pi}{1536} \left(1 + 2 \frac{m_l^2}{m_\pi^2} \right) \sqrt{1 - \frac{m_l^2}{m_\pi^2}} \sim 10^{-10} \text{ эВ} \quad (24)$$

Ширина межуровневого перехода в атоме пиония оказывается на 5 порядков больше, чем ширина распада на лептонную пару, поэтому можно считать, что данная мода также очень сильно подавлена.

Результаты

Изучение
распада
 $K \rightarrow 3\pi$

Завидов Е.А.

Введение

Анализ
данных

Изучение
связанного
состояния
 $\pi^+\pi^-$ в
распаде
 $K^+ \rightarrow 3\pi$

Заключение

В ходе работы получены следующие результаты:

- выделено 466606 событий, отвечающих реакции $K^+ \rightarrow \pi^+\pi^+\pi^-$, из данных, полученных в сеансе 2018 года ускорителя У-70;
- для параметризованного квадрата матричного элемента распада $K^+ \rightarrow \pi^+\pi^+\pi^-$ были получены значения параметров наклона распределения Далица g, h, k в соответствие с формулой (2). Сравнение полученных значений с приведенными в PDG показало некоторое расхождение. Наблюдаемые расхождения могут быть объяснены неполным учетом систематических ошибок, что предполагается проделать в дальнейшем;

- получена оценка на относительную вероятность распада $K^+ \rightarrow A_{2\pi}\pi^+$ равная

$$\text{Br}(K^+ \rightarrow A_{2\pi}\pi^+) \approx 1.2 \cdot 10^{-6}. \quad (25)$$

Малое времени жизни пиония $\tau_{A_{2\pi}} \approx 3.15_{-0.26}^{+0.28} \cdot 10^{-15}$ с делает возможным лишь косвенное наблюдение формирования димезонного атома по его продуктам распада;

- рассчитаны ширины распадов пиония в S - и P - состояниях. Установлено, что наиболее вероятной модой для S -состояний является реакция $A_{2\pi} \rightarrow \pi^0\pi^0$, а для P -состояний — излучение фотона с переходом в S -состояние с последующим распадом на пару π^0 .

Изучение
распада
 $K \rightarrow 3\pi$

Завидов Е.А.

Введение

Анализ
данных

Изучение
связанного
состояния
 $\pi^+\pi^-$ в
распаде
 $K^+ \rightarrow 3\pi$

Заключение

Спасибо за внимание!

Изучение
распада
 $K \rightarrow 3\pi$

Завидов Е.А.

Введение

Анализ
данных

Изучение
связанного
состояния
 $\pi^+\pi^-$ в
распаде
 $K^+ \rightarrow 3\pi$

Заключение

Back-up

Исключение $e^\pm$

Изучение
распада
 $K \rightarrow 3\pi$

Завидов Е.А.

Введение

Анализ
данных

Изучение
связанного
состояния
 $\pi^+\pi^-$ в
распаде
 $K^+ \rightarrow 3\pi$

Заключение

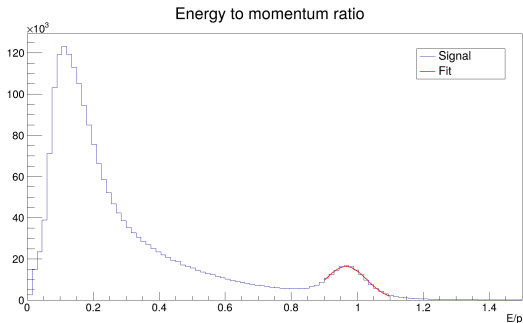


Рисунок 8 — Отношение E_{GAMS}/p для вторичных заряженных частиц

Трек считается электронным, если выполнено условие

$$\left| \mu - \frac{E_{GAMS}}{p} \right| < 2\sigma \simeq 0.17$$

Фитирование данных

Изучение
распада
 $K \rightarrow 3\pi$

Завидов Е.А.

Введение

Анализ
данных

Изучение
связанного
состояния
 $\pi^+\pi^-$ в
распаде
 $K^+ \rightarrow 3\pi$

Заключение

Для нахождения параметров g, h, k, N с помощью класса Fitter среды ROOT минимизировался функционал

$$\chi^2 = \sum_{F^{data}(u,v) > 1000} \frac{(F^{data} - NF^{MC})^2}{\sigma_{data}^2 + N^2\sigma_{MC}^2}, \quad (26)$$

где

$$F^{MC} = F(u, |v|)_0^{MC} + gF(u, |v|)_u^{MC} + hF(u, |v|)_{u^2}^{MC} + kF(u, |v|)_{v^2}^{MC} \text{ и}$$
$$\sigma_{MC}^2 = \sigma_0^2 + g^2\sigma_u^2 + h^2\sigma_{u^2}^2 + k^2\sigma_{v^2}^2$$

Приложение А

Изучение
распада
 $K \rightarrow 3\pi$

Завидов Е.А.

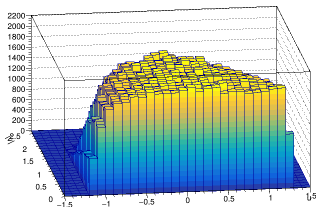
Введение

Анализ
данных

Изучение
связанного
состояния
 $\pi^+\pi^-$ в
распаде
 $K^+ \rightarrow 3\pi$

Заключение

Dalitz plot for $K \rightarrow 3\pi$ in u, v representation



Dalitz plot for $K \rightarrow 3\pi$ in u, v representation with weight u

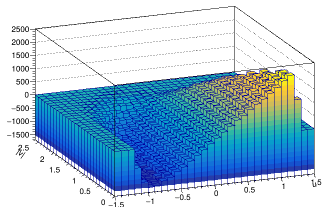


Рисунок 9 — Диаграммы Далица для Монте-Карло данных с весами 1 и u_{Tr} соответственно

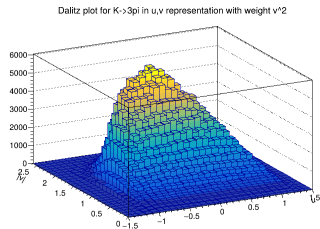
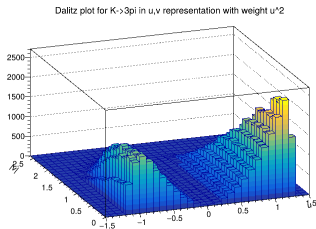


Рисунок 10 — Диаграммы Далица для Монте-Карло данных с весами u_{Tr}^2 и v_{Tr}^2 соответственно

Мюоны

Изучение
распада
 $K \rightarrow 3\pi$

Завидов Е.А.

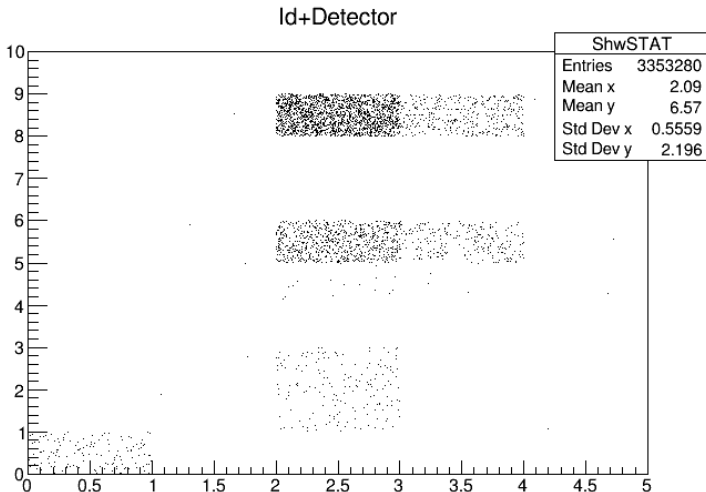
Введение

Анализ
данных

Изучение
связанного
состояния
 $\pi^+\pi^-$ в
распаде
 $K^+ \rightarrow 3\pi$

Заключение

Для Монте-Карло симуляции распада $K \rightarrow 3\pi$ исследовалась возможность идентификации мюонов по ливням



Общее влияние фона

Изучение
распада
 $K \rightarrow 3\pi$

Завидов Е.А.

Введение

Анализ
данных

Изучение
связанного
состояния
 $\pi^+\pi^-$ в
распаде
 $K^+ \rightarrow 3\pi$

Заключение

$$Br(K \rightarrow 3\pi) = 5.58\% \quad (27)$$

$$Br(K \rightarrow 2\pi\mu\nu_\mu) = (1.4 \pm 0.9) \cdot 10^{-5} \quad (28)$$

$$Br(K \rightarrow 2\pi e\nu_e) = (4.24 \pm 0.02) \cdot 10^{-5} \quad (29)$$

Триггер

Изучение
распада
 $K \rightarrow 3\pi$

Завидов Е.А.

Введение

Анализ
данных

Изучение
связанного
состояния
 $\pi^+\pi^-$ в
распаде
 $K^+ \rightarrow 3\pi$

Заключение

Отбор K -мезонов происходит on-line по срабатыванию основного триггера, который требует наличия совпадений сигналов от сцинтилляторных счетчиков ($S_1 - S_4$), 2 черенковских детекторов ($\tilde{C}_1$ детектирует пионы, $\tilde{C}_2$ детектирует π - и K -мезоны) и антисовпадения сигналов с счетчиков $S_{bk_1} - S_{bk_2}$, необходимых для подавления событий с нераспавшимися пучковыми частицами: $Tr_{Kdecay} = S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \cdot S_4 \cdot \bar{C}_1 \cdot C_2 \cdot \bar{S}_{bk}$.

Дополнительно, для подавления доминирующего распада $K^+ \rightarrow \mu^+\nu$ триггер требует энерговыделения в калориметре GAMS-2000 свыше 2.5 ГэВ:

$$Tr_{GAMS} = Tr_{Kdecay} \cdot (E_{GAMS} > 2.5 \text{ ГэВ}).$$