

Определение параметров Вайнберга в распаде положительно заряженного каона в три пиона

Студент: Завидов Евгений Алексеевич¹

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

Научный консультант: Охотников А.В.¹

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

Содержание

Изучение
распада
 $K \rightarrow 3\pi$

Завидов Е.А.

Введение

Анализ
данных

Квадрат
матричного
элемента
процесса
 $K^+ \rightarrow 3\pi$

Заключение

1 Введение

2 Анализ данных

3 Квадрат матричного элемента процесса $K^+ \rightarrow 3\pi$

4 Заключение

Полученные ранее результаты

Изучение
распада
 $K \rightarrow 3\pi$

Завидов Е.А.

Введение

Анализ
данных

Квадрат
матричного
элемента
процесса
 $K^+ \rightarrow 3\pi$

Заключение

В ВКР, посвященной исследованию распада $K^+ \rightarrow \pi^+\pi^+\pi^-$, были определены параметры наклона Далиц-плота, характеризующие матричный элемент данного процесса. Полученные результаты приведены в таблице 1

Пар. \ Вел.	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

Полученные ранее результаты

Изучение
распада
 $K \rightarrow 3\pi$

Завидов Е.А.

Введение

Анализ
данных

Квадрат
матричного
элемента
процесса
 $K^+ \rightarrow 3\pi$

Заключение

Как можно заметить, полученные значения не совпадают с принятыми средними, приведенными в PDG. Данный факт побуждает продолжить работу в данном направлении, с целью приблизиться к общепринятому результату.

Цели и задачи

Изучение
распада
 $K \rightarrow 3\pi$

Завидов Е.А.

Введение

Анализ
данных

Квадрат
матричного
элемента
процесса
 $K^+ \rightarrow 3\pi$

Заключение

Таким образом, главной **целью** работы в данном семестре было получение уточненных параметров наклона экспериментального распределения Далица (параметров Вайнберга).

Цели и задачи

Изучение
распада
 $K \rightarrow 3\pi$

Завидов Е.А.

Введение

Анализ
данных

Квадрат
матричного
элемента
процесса
 $K^+ \rightarrow 3\pi$

Заключение

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

- 1 пересмотреть выбранные критерии отбора;
- 2 составить карту эффективности реконструкции и применить ее для процедуры фитирования;
- 3 ознакомиться с процедурой обратной свертки для более точного учета систематических ошибок эксперимента в будущем.

Установка ОКА

Изучение
распада
 $K \rightarrow 3\pi$

Завидов Е.А.

Введение

Анализ
данных

Квадрат
матричного
элемента
процесса
 $K^+ \rightarrow 3\pi$

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

Схема установки

Изучение
распада
 $K \rightarrow 3\pi$

Завидов Е.А.

Введение

Анализ
данных

Квадрат
матричного
элемента
процесса
 $K^+ \rightarrow 3\pi$

Заключение

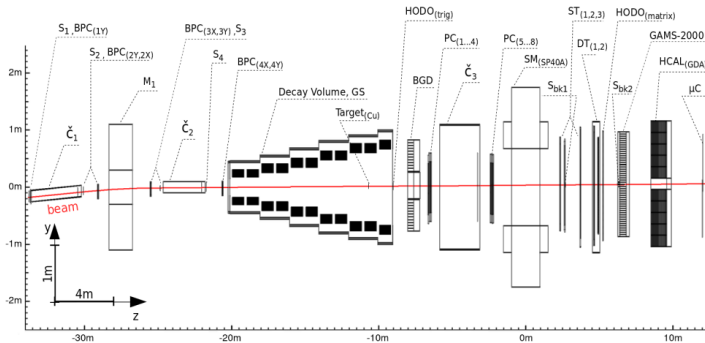


Рисунок 1 — Схема установки ОКА

Набор данных

Изучение
распада
 $K \rightarrow 3\pi$

Завидов Е.А.

Введение

Анализ
данных

Квадрат
матричного
элемента
процесса
 $K^+ \rightarrow 3\pi$

Заключение

В данной работе использовались данные, собранные в Run 14 2013 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

Квадрат
матричного
элемента
процесса
 $K^+ \rightarrow 3\pi$

Заключение

- 1 число заряженных треков в реконструированном событии равняется 4, что отвечает распадному 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 недостающий импульс $|\vec{p}_{miss}| < 1 \text{ ГэВ}$;

Результаты отбора

Изучение
распада
 $K \rightarrow 3\pi$

Завидов Е.А.

Введение

Анализ
данных

Квадрат
матричного
элемента
процесса
 $K^+ \rightarrow 3\pi$

Заключение

По результатам отбора было выделено 696494 событий, отвечающих исследуемой моде распада, для которых была построена гистограмма распределения инвариантной массы продуктов реакции.

Результаты отбора

Изучение
распада
 $K \rightarrow 3\pi$

Завидов Е.А.

Введение

Анализ
данных

Квадрат
матричного
элемента
процесса
 $K^+ \rightarrow 3\pi$

Заключение

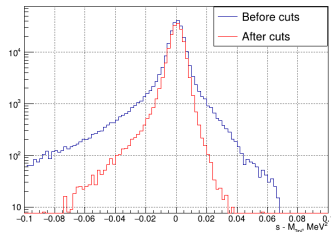
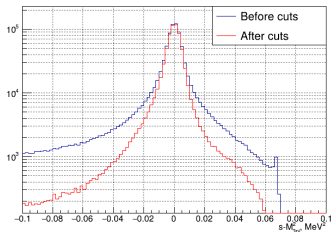


Рисунок 2 — Распределения по инвариантной массе системы вторичных частиц для экспериментальных данных и данных Монте-Карло

Квадрат матричного элемента процесса $K^+ \rightarrow 3\pi$: теория

Изучение
распада
 $K \rightarrow 3\pi$

Завидов Е.А.

Введение

Анализ
данных

Квадрат
матричного
элемента
процесса
 $K^+ \rightarrow 3\pi$

Заключение

В общем виде любую амплитуду распада некоторой частицы X на 3 пиона можно представить следующим образом

$$\mathcal{M} = \sum \mathcal{M}_I \mathcal{M}_F \mathcal{M}_{JP}, \quad (1)$$

где $\mathcal{M}_I$ — часть амплитуды, несущая изоспиновую зависимость, $\mathcal{M}_{JP}$ — отвечает за спин-четность, а $\mathcal{M}_F$ описывает энергетические зависимости в виде форм-факторов.

Квадрат матричного элемента процесса $K^+ \rightarrow 3\pi$: теория

Изучение
распада
 $K \rightarrow 3\pi$

Завидов Е.А.

Введение

Анализ
данных

Квадрат
матричного
элемента
процесса
 $K^+ \rightarrow 3\pi$

Заключение

Для положительно заряженного каона $J^P = 0^-$ и $I = \frac{1}{2}$ амплитуда, отвечающая доминирующему переходу с $\Delta I = \frac{1}{2}$, имеет следующий вид

$$\mathcal{M}(K \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^-)_{\Delta I = \frac{1}{2}} = f_1 + f_2, \quad (2)$$

где f_1, f_2 — форм-факторы от переменных $r_i = s_i - s_0$, симметричные относительно перестановок (23) и (13) соответственно.

Из-за малого энерговыделения в распадах $K \rightarrow 3\pi$ квадрат матричного элемента в центре Далиц плота может быть разложен в ряд по степеням r_i

$$|\mathcal{M}|^2 \approx 1 + g \frac{s_3 - s_0}{m_{\pi^+}^2} + h \left[\frac{(s_3 - s_0)^2}{m_{\pi^+}^4} \right] + k \left[\frac{(s_2 - s_1)^2}{m_{\pi^+}^4} \right], \quad (3)$$

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

$$u = \frac{s_3 - s_0}{m_{\pi^+}^2} \quad (4)$$
$$v = \frac{(s_2 - s_1)}{m_{\pi^+}^2}$$

Квадрат матричного элемента процесса $K^+ \rightarrow 3\pi$: эксперимент

Изучение
распада
 $K \rightarrow 3\pi$

Завидов Е.А.

Введение

Анализ
данных

Квадрат
матричного
элемента
процесса
 $K^+ \rightarrow 3\pi$

Заключение

Исследуемый Далиц-плот для экспериментальных данных имеет следующий вид

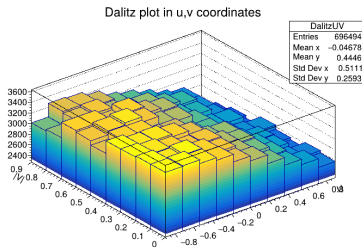
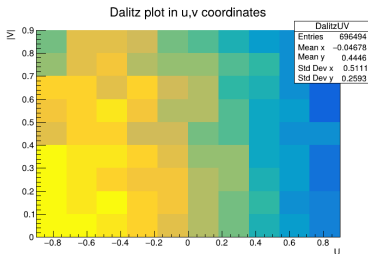


Рисунок 3 — Двумерный и трехмерный вид распределений Далица для экспериментальных данных

Фитирование данных

Изучение
распада
 $K \rightarrow 3\pi$

Завидов Е.А.

Введение

Анализ
данных

Квадрат
матричного
элемента
процесса
 $K^+ \rightarrow 3\pi$

Заключение

Для нахождения параметров Вайнберга использовался метод максимального правдоподобия в следующей форме

$$L = \prod_{i,j} \frac{N_{ij}^{obs} e^{-N_{ij}^{th}}}{N_{ij}^{obs}!}, \text{ где} \quad (5)$$

параметр N_{ij}^{th} равен

$$N_{i,j}^{th} = N_{total} \frac{\int_{u_i, v_j} |\mathcal{M}|^2 \epsilon(u, v) du dv}{\int_{PS} |\mathcal{M}|^2 \epsilon(u, v) du dv}, \quad (6)$$

Карта эффективности

Из сравнения количества событий, попавших в один и тот же бин, для истинного распределения Далица и распределения, построенного из реконструированного Монте-Карло, была построена карта эффективности реконструкции

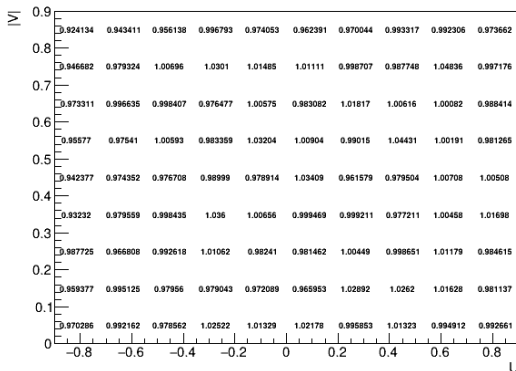


Рисунок 4 — Карта эффективности реконструкции данных

Результаты фитирования

Изучение
распада
 $K \rightarrow 3\pi$

Завидов Е.А.

Введение

Анализ
данных

Квадрат
матричного
элемента
процесса
 $K^+ \rightarrow 3\pi$

Заключение

Результаты фитирования представлены в таблице 2

Пар. \ Вел.	Фит	σ фита	PDG	σ PDG
g	-0.185	0.004	-0.21134	0.00017
h	-0.066	0.007	0.01848	0.00040
k	-0.067	0.007	-0.00463	0.00014

Таблица 2 — Параметры полученные из фита и представленные в PDG

Результаты

Изучение
распада
 $K \rightarrow 3\pi$

Завидов Е.А.

Введение

Анализ
данных

Квадрат
матричного
элемента
процесса
 $K^+ \rightarrow 3\pi$

Заключение

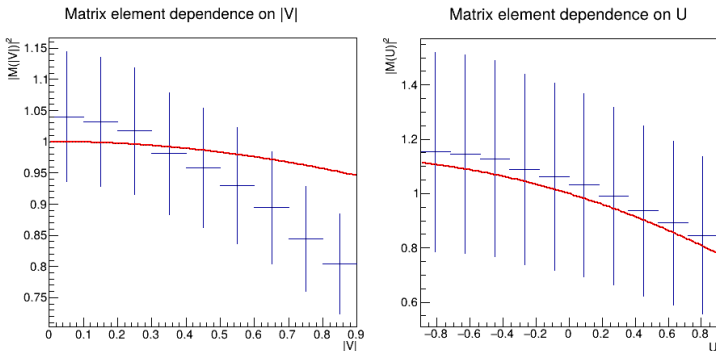


Рисунок 5 — Экспериментальная зависимость квадрата матричного элемента от кинематических переменных и фитирующие кривые

Заключение

Изучение
распада
 $K \rightarrow 3\pi$

Завидов Е.А.

Введение

Анализ
данных

Квадрат
матричного
элемента
процесса
 $K^+ \rightarrow 3\pi$

Заключение

В ходе работы были пересмотрены критерии отбора, увеличена анализируемая статистика.

Применение доработанной процедуры фитирования привели к улучшению линейного коэффициента наклона. Однако результаты для квадратичных коэффициентов остаются неясными.

Вел. Пар.	Текущий фит	σ фита	Старый фит	σ фита
g	-0.185	0.004	-0.158	0.005
h	-0.066	0.007	0.009	0.010
k	-0.067	0.007	-0.003	0.003

Таблица 3 — Сравнение полученных параметров при разных схемах фитирования

Заключение

Изучение
распада
 $K \rightarrow 3\pi$

Завидов Е.А.

Введение

Анализ
данных

Квадрат
матричного
элемента
процесса
 $K^+ \rightarrow 3\pi$

Заключение

Потенциальные факторы, влияющие на полученные распределения

- большие искажения от миграции событий в соседние бины (особенно заметно вблизи краев фазового объема);
- влияние кулоновских поправок [arxiv:hep-ph/9311295]

Спасибо за внимание!

Back-up

Изучение
распада
 $K \rightarrow 3\pi$

Завидов Е.А.

Введение

Анализ
данных

Квадрат
матричного
элемента
процесса
 $K^+ \rightarrow 3\pi$

Заключение

Back-up

Общее влияние фона

Изучение
распада
 $K \rightarrow 3\pi$

Завидов Е.А.

Введение

Анализ
данных

Квадрат
матричного
элемента
процесса
 $K^+ \rightarrow 3\pi$

Заключение

$$Br(K \rightarrow 3\pi) = 5.58\% \quad (7)$$

$$Br(K \rightarrow 2\pi\mu\nu_\mu) = (1.4 \pm 0.9) \cdot 10^{-5} \quad (8)$$

$$Br(K \rightarrow 2\pi e\nu_e) = (4.24 \pm 0.02) \cdot 10^{-5} \quad (9)$$

Дополнительные критерии отбора

Изучение
распада
 $K \rightarrow 3\pi$

Завидов Е.А.

Введение

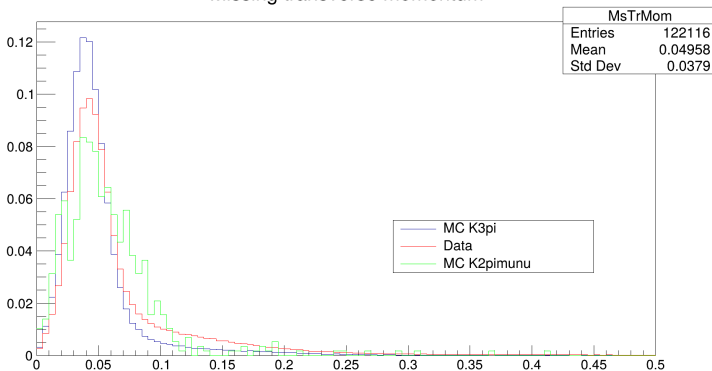
Анализ
данных

Квадрат
матричного
элемента
процесса
 $K^+ \rightarrow 3\pi$

Заключение

Также рассматривался критерий отбора по недостающему поперечному импульсу

Missing transverse momentum



Дополнительные критерии отбора

Изучение
распада
 $K \rightarrow 3\pi$

Завидов Е.А.

Введение

Анализ
данных

Квадрат
матричного
элемента
процесса
 $K^+ \rightarrow 3\pi$

Заключение

Идентификация электронов

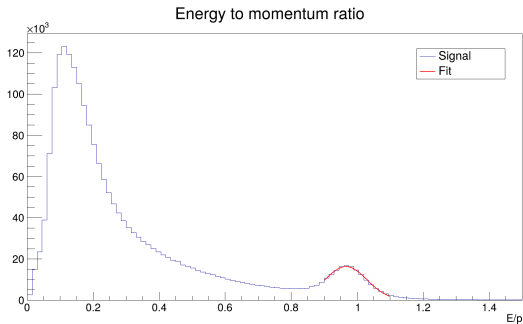


Рисунок 6 — Отношение E_{GAMS}/p для вторичных заряженных частиц

Трек считается электронным, если выполнено условие

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

Триггер

Изучение
распада
 $K \rightarrow 3\pi$

Завидов Е.А.

Введение

Анализ
данных

Квадрат
матричного
элемента
процесса
 $K^+ \rightarrow 3\pi$

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:

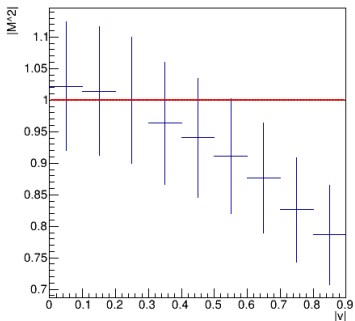
$$Tr_{GAMS} = Tr_{Kdecay} \cdot (E_{GAMS} > 2.5 \text{ ГэВ}).$$

Фитирование линейной функцией

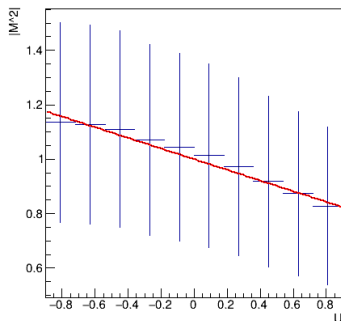
Если рассматривать квадрат матричного элемента только как функцию u , получаются следующие значения для параметра g

$$g = -0.195 \pm 0.004 \quad (10)$$

Matrix element dependence on $|V|$



Matrix element dependence on U



Распределение по недостающему импульсу

Изучение
распада
 $K \rightarrow 3\pi$

Завидов Е.А.

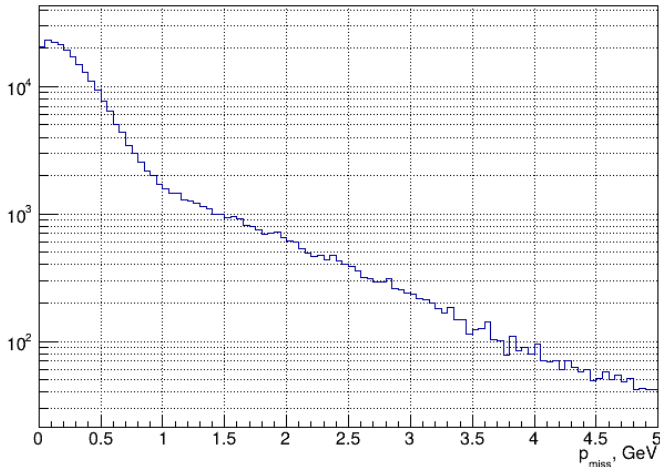
Введение

Анализ
данных

Квадрат
матричного
элемента
процесса
 $K^+ \rightarrow 3\pi$

Заключение

Missing momentum



Проявление эффекта смиринга (smearing)

Изучение
распада
 $K \rightarrow 3\pi$

Завидов Е.А.

Введение

Анализ
данных

Квадрат
матричного
элемента
процесса
 $K^+ \rightarrow 3\pi$

Заключение

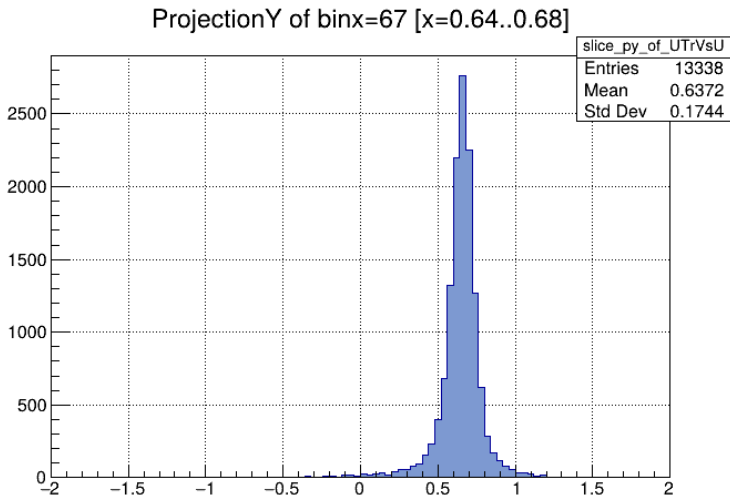


Рисунок 7 — Проявление эффекта миграции событий из бина с $m_{\pi\pi} \in [0.64; 0.68]$