

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»
(НИЯУ МИФИ) ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

КАФЕДРА №40 «ФИЗИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ»

УДК 539.1.07

**ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ**

ИЗУЧЕНИЕ РАСПАДА $K \rightarrow 3\pi$

Студент _____ Е. А. Завидов

Научный руководитель

д.ф-м.н. _____ С. Р. Слабоспицкий

Москва 2024

Содержание

1	Введение	3
1.1	Эксперимент ОКА	3
1.2	Описание установки	3
2	Отбор событий	5
3	Диаграммы Далица	6
4	Заключение	10

1 Введение

1.1 Эксперимент ОКА

Эксперимент ОКА (сокращение от "Опыты с Каонами") - это экспериментальная установка на ускорителе У-70, находящаяся в Институте Физики Высоких Энергий в г. Протвино. Целями эксперимента является поиск отклонений от Стандартной Модели, проявляющихся в редких распадах каонов, а также наблюдении эффектов от прямого нарушения СР-симметрии в распадах заряженных каонов.

В частности в данной работе проводится исследование распада положительно заряженного каона на три заряженных пиона

$$K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^+$$

Анализ этого распада проводился в разное время в большом количестве экспериментов, наиболее известным из которых является NA-48 в CERN, закончивший работу в начале 00-ых. Однако подробного исследования данного распада на ОКА еще не проводилось, с чем и связана новизна данной работы.

1.2 Описание установки

Эксперимент ОКА использует вторичный адронный пучок, обогащенный каонами. Сама установка состоит из двух магнитных спектрометров, двух калориметров и распадного объема.

Первый магнитный спектрометр состоит из магнита M_1 , окруженного миллиметровыми пропорциональными камерами BPC_{1-4} , служащими для измерения импульса входящего пучка. В дополне-

ние к ним применяются два черенковских детектора C_{1-2} , служащих для идентификации каонов.

11-метровый распадный объем DV , наполненный гелием, внутри которого помещена медная мишень оснащена 11 кольцами защитной системы, в помощь к которым применяется гамма детектор (BGD), состоящий из хрусталя, используемый для наложения ограничений по углам разлета продуктов распада.

Второй спектрометр состоит из магнита SP_{40A} , 2-мм пропорциональных камер PC_{1-8} , и дрейфовых трубок ST_{1-2} , DT_{1-2} . Матричный годоскоп $HODO_{matrix}$, состоящий из 252 сцинтилляторов, используется для улучшения временного разрешения и связи $x - y$ проекций треков. Два сцинтилляционных счетчика S_{bk} служат для поглощения нераспавшихся частиц.

В задней части установки стоят два калориметра: электромагнитный GAMS-2000 и адронный HCAL. Наконец, 4 частично перекрывающихся мюонных счетчика стоят позади адронного калориметра. Более детальное описание установки дано в [1]

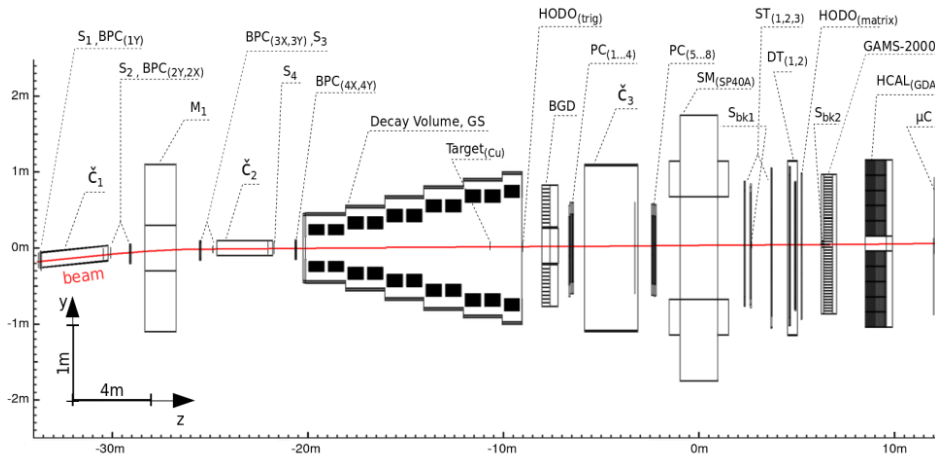


Рис. 1: Схема установки ОКА

2 Отбор событий

В данной работе проводится анализ данных, собранных в ранах 2012-13 годов, с использованием пучка импульсом 17.7 ГэВ.

Отбор событий производится с использованием следующих катов:

- Число треков в реконструированном событии равняется 4, что отвечает одному первичному треку и 3 вторичным.
- Распадная частица - каон. Проверка типа частицы идет по срабатыванию соответствующего триггера.
- Суммарный заряд треков равняется +1.
- Вершина распада находится внутри распадного объема и не попадает в мишень.
- Заряженные треки, зарегистрированные электромагнитным калориметром, не соответствуют электронам.
- Энергии всех распадных частиц в системе покоя каона лежат в разрешенном кинематикой диапазоне.
- Модуль импульса системы вторичных треков в системе покоя каона < 0.025 ГэВ. Данный кат отображает закон сохранения импульса.

В связи с большим брэнчингом изучаемого распада, [2]

$$Br(K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^+) = (5.583 \pm 0.024)\%$$

как такового фона практически не наблюдается.

По результатам отбора для экспериментальных данных построено распределение по инвариантной массе системы продуктов.

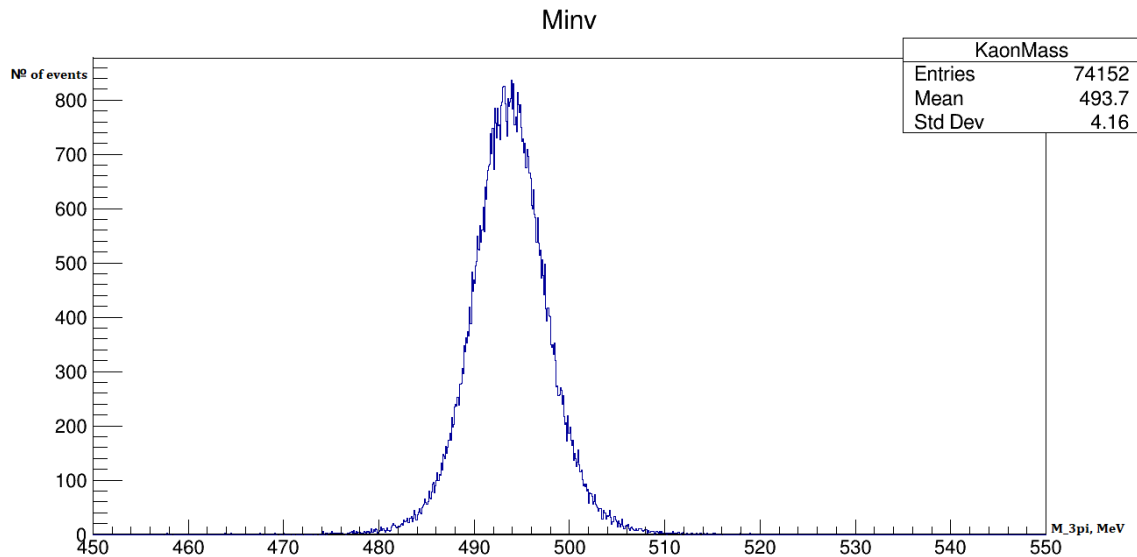


Рис. 2: Распределение по инвариантной массе системы продуктов распада

Пик гистограммы приходится на значение (493.706 ± 3.818) МэВ, что согласуется с общепринятым значением массы $K^+ = (493.677 \pm 0.016)$ МэВ [2].

3 Диаграммы Далица

Далее была построена диаграмма Далица в переменных s_{12}, s_{13} , где индекс 1 означает π^-

Так как плотность распределения вероятности по фазовому объему не зависит от кинематики процесса, любые уплотнения связаны с динамикой процесса и характеризуются квадратом модуля матричного элемента.

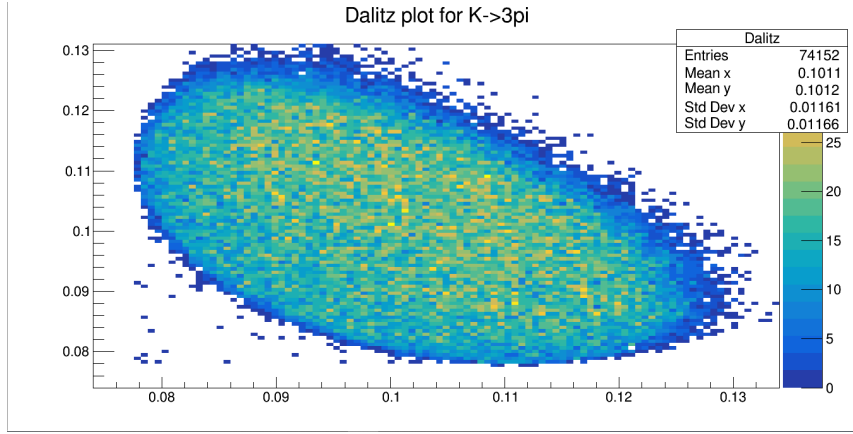


Рис. 3: Диаграмма Далица для распада $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^+$

Для экспериментального определения зависимости квадрата модуля матричного элемента от набора кинематических инвариантов обычно переходят от стандартных переменных s_{12}, s_{13} к параметризации, впервые предложенной С. Вайнбергом[3]:

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

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). Переменные $\frac{s_3 - s_0}{m_{\pi^+}^2}$ и $\frac{(s_2 - s_1)^2}{m_{\pi^+}^4}$ обозначаются u и v соответственно. Тогда задача определения параметров g, h и k , становится полезной для работы с киральной теорией возмущения[4, 5] - эффективной теории поля, в частности описывающей распада легких мезонов, и при поиске прямого CP-нарушения.

С учетом новой параметризации была построена диаграммы Далица для экспериментальных данных.

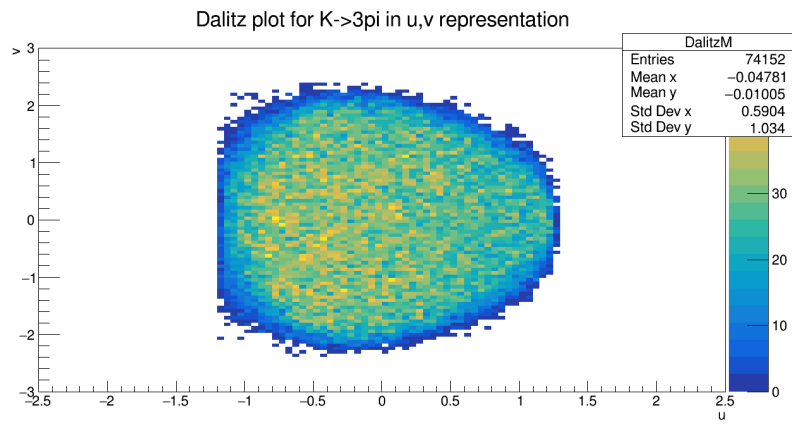


Рис. 4: Диаграмма Далица в координатах u, v

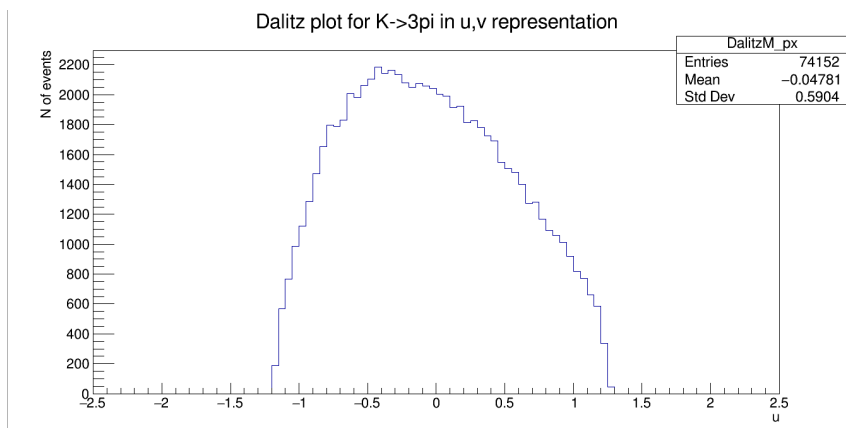


Рис. 5: Проекция на ось u

Распределение плотности числа событий было отфитировано функцией, описывающей новую параметризацию

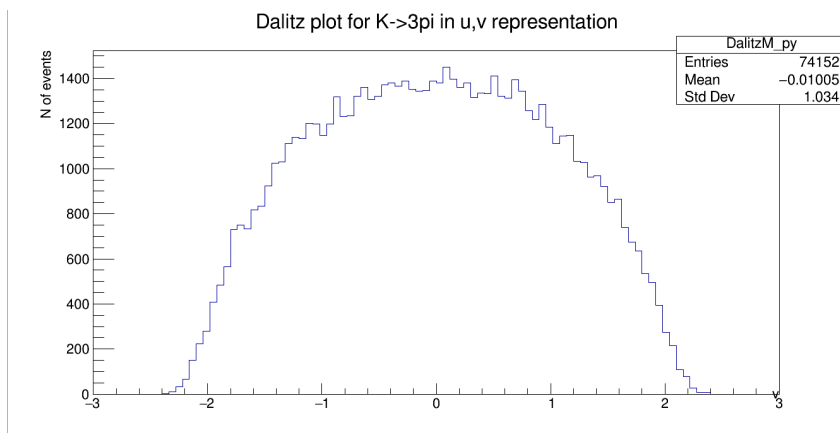


Рис. 6: Проекция на ось v

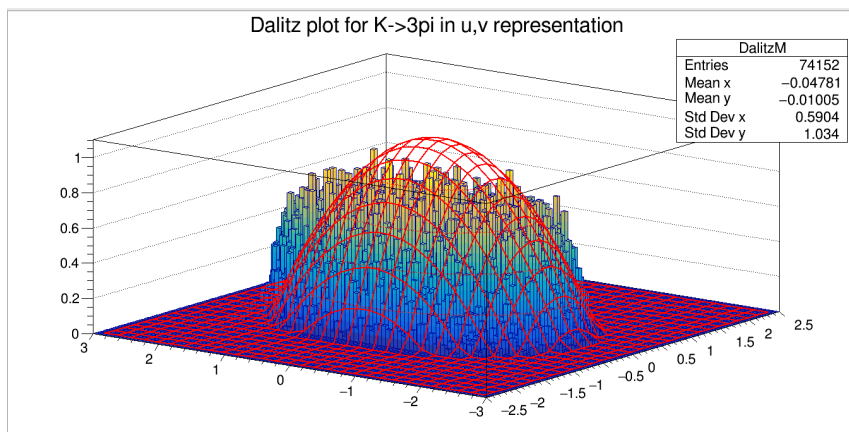


Рис. 7: Фит нормированного распределения плотности

Получены значения параметров:

$$g = (-0.02584 \pm 0.00172)$$

$$h = (-0.53877 \pm 0.00215)$$

$$k = (-0.20746 \pm 0.00178)$$

Данные значения очень сильно отличаются от общепринятых[2]

$$g = (-0.21134 \pm 0.00017)$$

$$h = (0.01848 \pm 0.00040)$$

$$k = (-0.00463 \pm 0.00014)$$

нормировки нужно использовать взвешенную функцию параметризации.

4 Заключение

В ходе данной работы было начато исследование распада $K \rightarrow 3\pi$ на установке ОКА. Были отобраны события соответствующие необходимому распаду, построены распределения по инвариантной массе системы продуктов и диаграммы Далица в разных системах координат. Далее для нахождения параметров наклона из параметрической зависимости модуля квадрата матричного элемента был проведен фит экспериментального распределения плотности вероятности и найдены соответствующие параметры

$$g = (-0.02584 \pm 0.00172)$$

$$h = (-0.53877 \pm 0.00215)$$

$$k = (-0.20746 \pm 0.00178),$$

расходящиеся с известными экспериментальными данными.

Дальнейшая работа будет посвящена коррекции текущих результатов с целью изучения влияния образования пиония - связанного состояния двух противоположно заряженных пионов, образующегося вблизи порога реакции распада - на матричный элемент.

Список литературы

- [1] M. Shapkin et al. Study of the decay $k^+ \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^+\gamma$ in the oka experiment. *The European Physical Journal C*, 79, 2019.

- [2] P. Zyla et al. Review of particle physics. *Progress of Theoretical and Experimental Physics*, 2020, 2020.
- [3] Steven Weinberg. New test for $\Delta i = \frac{1}{2}$ in K^+ decay. *Phys. Rev. Lett.*, 4(2), 1960.
- [4] Hai-Yang Cheng, C. Y. Cheung, and Wai Bong Yeung. Analysis of $K^+ \rightarrow 3\pi$ decays in chiral perturbation theory. *Zeitschrift für Physik C Particles and Fields*, 43, 1989.
- [5] John F. Donoghue, Eugene Golowich, and Barry R. Holstein. Kaon decays and a determination of the scale of chiral symmetry. *Phys. Rev. D*, 30(3):587–593, 1984.