

ИЗМЕРЕНИЕ ФОРМФАКТОРА РАСПАДА $K^- \rightarrow \pi^0 e^- \bar{\nu}$

В.Н. Болотов, С.Н. Гниненко, Р.М. Джилкибаев, В.В. Исаков,
Ю.М. Клубаков, В.Д. Лаптев, В.М. Лобашев, В.Н. Марин,
А.А. Поблагуев, В.Е. Постоев, А.Н. Торопин

В K_{e3}^- -распаде была исследована зависимость от q^2 векторного формфактора f_+ , который представляется в виде $f_+(q^2) = f_+(0) (1 + \lambda_+ q^2/m_\pi^2)$. Для параметра λ_+ получено значение $\lambda_+ = 0,029 \pm 0,004$. Учет радиационных поправок приводит к увеличению значения λ_+ на 0,002. Впервые получено экспериментальное ограничение на относительную вероятность K_{e5}^- -распада: $\text{B.R.}(K_{e5}^-) < 3,5 \cdot 10^{-6}$.

В предположении, что в K_{e3}^- -распад дает вклад только векторный ток, матричный элемент записывается в виде:

$$M = \frac{G}{\sqrt{2}} \sin \theta (f_+(q^2) p_\alpha + f_-(q^2) q_\alpha) \varphi_\pi \varphi_K \bar{u}_\nu \gamma^\alpha (1 + \gamma_5) u_e, \quad (1)$$

где $p = p_K + p_\pi$, а $q = p_K - p_\pi$ — четырех-импульс, переданный лептонной паре. Формфакторы f_+ , f_- зависят только от q^2 и обычно записываются в линейном приближении: $f_+(q^2) = f_+(0) (1 + \lambda_+ q^2/m_\pi^2)$. Слагаемое, содержащее f_- , дает вклад, пропорциональный массе электрона, и поэтому им можно пренебречь.

Наиболее точное значение λ_+ для распадов K^+ -мезонов получено в эксперименте ¹ и составляет $\lambda_+ = 0,027 \pm 0,008$.

Настоящие измерения проводились на установке "Истра" ИЯИ АН СССР ² на пучке отрицательных частиц с энергией 25 Гэв ускорителя ИФВЭ. Экспериментальная установка

(рис. 1) описана в других работах (см., например, ³). Геометрическая эффективность установки, как функция q^2 , изображена на рис. 2.

В эксперименте было зарегистрировано $2,8 \cdot 10^6$ событий типа $K^- \rightarrow e^- + n(\gamma)$ при числе прошедших K -мезонов $1,5 \cdot 10^9$. После геометрической реконструкции записанных событий были введены следующие отборы для выделения K_{e3}^- распадов: а) в Н и РС зарегистрировано по одному треку; б) в S_p зарегистрировано 3 электромагнитных ливня с энергией $E_\gamma > 1$ Гэв; в) расстояние между центрами ливней не менее 10 см; г) расстояние между точкой пересечения трека из РС с плоскостью S_p и центром ближайшего ливня не более 5 см; д) расстояние от оси пучка до центра ближайшего ливня не менее 5,5 см.

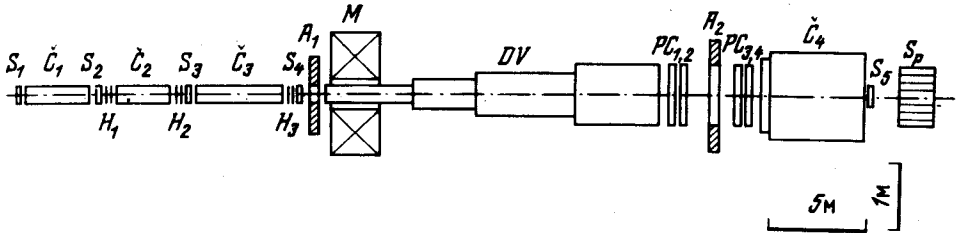


Рис. 1. Схема экспериментальной установки "Истра". S_{1-5} - сцинтилляционные счетчики, C_{1-4} - газовые пороговые черенковские счетчики, H_{1-3} - пучковые годоскопические фотоумножители, PC_{1-4} - пропорциональные камеры с наведенным зарядом, SP - годоскопический черенковский спектрометр, A_{1-2} - антисовпадетельные счетчики, DV - распадный объем, M - отклоняющий магнит для калибровки спектрометра.

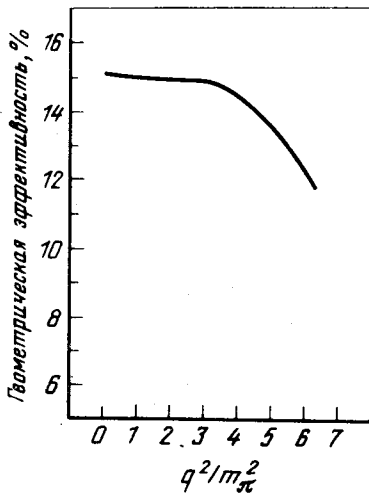


Рис. 2. Геометрическая эффективность установки.

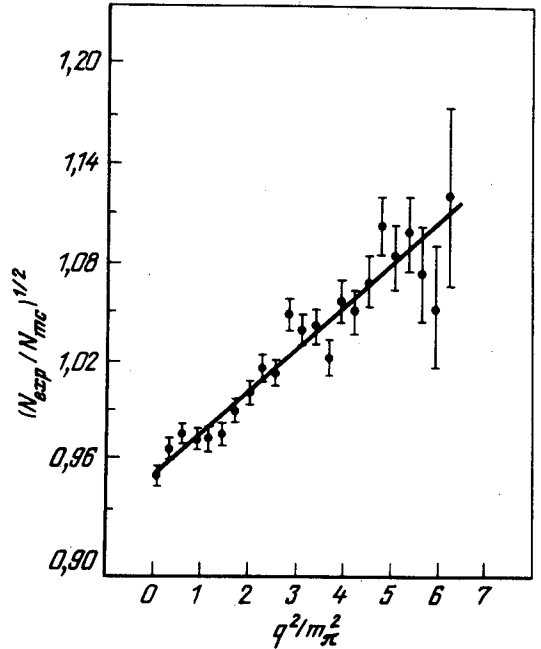


Рис. 3. Отношение $f_+(q^2)/f_+(0)$ по данным K_{e3} -распада. Показан результат линейного фита, приводящего к $\lambda_+ = 0,029$.

Для отделения от фона, который в основном определяется распадом $K^- \rightarrow \pi^- \pi^0$, отбрасывались события, удовлетворяющие гипотезе $K^- \rightarrow \pi^- \pi^0$ (5С-фит) с $\chi^2 < 15,1$ (99%-ный уровень достоверности). Затем, из оставшихся событий отбирались те, которые удовлетворяют гипотезе K_{e3}^- (3С-фит) с $\chi^2 < 6,25$ (90%-ный уровень достоверности). В результате всех указанных выше отборов осталось 62000 событий.

Так как q^2 зависит от E_π ($q^2 = (p_K - p_\pi)^2 = m_K^2 + m_\pi^2 - 2m_K E_\pi$), то зависимость векторного формфактора f_+ от q^2 можно получить из сравнения экспериментального энерге-

тического спектра пионов с соответствующим распределением, разыгранным с использованием матричного элемента (1). При имеющемся большом статистическом материале важно было с самого начала учесть возможные источники систематических погрешностей. Такой возможный источник — зависимость эффективности регистрации электронов от координаты черенковским счетчиком S_4 . Поэтому была принята следующая процедура обработки. Область регистрации черенковского счетчика была разбита на участки $5 \times 5 \text{ см}^2$, в пределах которых эффективность изменялась слабо. При моделировании распада методом Монте-Карло были получены распределения событий отдельно для каждого участка. Фит с помощью метода максимального правдоподобия проводился таким образом, чтобы найти наилучшее значение λ_+ одновременно для всех участков. При моделировании принимались во внимание все обрезания, используемые при обработке экспериментальных данных, а также следующие факторы: а) многократное рассеяние; б) эффективности детекторов; в) ошибки в определении координат и энергий частиц; г) геометрическая эффективность установки.

Правильность моделирования проверялась сравнением большого числа различных геометрических и кинематических распределений с экспериментальными данными. Во всех случаях наблюдалось хорошее согласие.

В результате фита было получено $\lambda_+ = 0,029$ с $\chi^2 = 29$ для 21 степени свободы. Статистическая ошибка составила 0,002. Учет радиационных поправок к энергетическому спектру пионов в соответствии с работой ⁴ приводит к возрастанию значения λ_+ до величины $\lambda_+ = 0,031$.

Наглядно зависимость формфактора от q^2 изображена на рис. 3. Число экспериментально наблюдаемых событий в интервале q^2 разделено на предсказываемое из (1) для постоянного формфактора ($\lambda_+ = 0$). Отношение пропорционально $f_+(q^2)^2$. Прямая соответствует приведенной выше величине наклона.

Для проверки влияния непостоянства эффективности регистрации электронов в пределах каждого участка были разыграны события в предположении колебаний эффективности. При этом отклонения в величине λ_+ были порядка статистической ошибки.

Метод Монте-Карло использовался также для оценки влияния на результат систематических погрешностей в определении координат и энергий детекторами. Исследовались систематические погрешности от следующих эффектов:

- а) ошибки в определении координат K^- годоскопическими фотоумножителями;
- б) ошибки в определении координат e^- пропорциональными камерами и спектрометром;
- в) изменение точности определения энергий электронов и гамма-квантов со временем (на основе данных о стабильности характеристик спектрометра);

Перечисленные эффекты не приводят к возникновению систематической погрешности в определении величины λ_+ . Дополнительная систематическая погрешность исследовалась по зависимости значения λ_+ от условий отбора событий (из различных обрезаний, разбиений и т.д.). При этом, по принятой в Particle Data Group ⁵ процедуре определялся масштабный множитель для ошибки, который составил 1,8. Таким образом окончательный результат (без учета радиационных поправок) может быть записан в виде (ошибка увеличена в 1,8 раза):

$$\lambda_+ = 0,029 \pm 0,004.$$

Зарегистрированные в эксперименте события, относящиеся к распадам типа $K^- \rightarrow e^- + n(\gamma)$ были, также, обработаны с целью обнаружения событий от распада $K^- \rightarrow \pi^0 \pi^0 \pi^0 e^- \bar{\nu}$, на вероятность которого пока нет экспериментального ограничения. По теоретическим оценкам ожидаемая относительная вероятность распада B.R. (K_{e5}) $\approx 10^{-11}$. ⁶

При обработке, к трем событиям, у которых спектрометром Sr было зарегистрировано 7 электромагнитных ливней с энергией $E_\gamma > 1$ Гэв, были применены критерии а), в), г) и д), используемые для выделения K_{e3}^- -распадов (см. выше). Ни одно событие не удовлетворяло одновременно всем критериям. Таким образом, верхний предел на число распадов $K^- \rightarrow \pi^0 \pi^0 \pi^0 e^- \bar{\nu}$ для 90%-ного уровня достоверности составляет величину $N(K_{e5}) < 2,3$. Число распадов K_{e5} и K_{e3} на одно и то же число распавшихся K -мезонов N_K составляет:

$$N(K_{e5}) = N_K \text{B.R.}(K_{e5}) \epsilon,$$

$$N(K_{e3}) = N_K \text{B.R.}(K_{e3}) \epsilon',$$

где: ϵ и ϵ' — суммарные эффективности регистрации и обработки процессов, получаемые с помощью моделирования. Таким образом, после простых преобразований и подстановки известных значений $N(K_{e3}) = 177500$, $\text{B.R.}(K_{e3}) = 0,048$, $\epsilon'/\epsilon = 6,3$ получаем:

$$\text{B.R.}(K_{e5}) < 3,5 \cdot 10^{-6}.$$

В заключение мы пользуемся случаем поблагодарить дирекции ИЯИ АН СССР и ИФВЭ за поддержку программы исследований, в рамках которой была выполнена эта работа. Авторы благодарны также А.И. Берлеву и О.В. Каравичеву за помощь в работе.

Литература

1. Braun H. et al. Phys. Lett., 1973, 47B, 182.
2. Арбузов Б.А. и др. Препринт ИЯИ АН СССР, П-0018, Москва, 1975.
3. Болотов В.Н. и др. ЯФ, 1986, 44, 117.
4. Ginsberg E.S. Phys. Rev., 1967, 162, 1570.
5. Phys. Lett., 1986, 170B, 7.
6. McNamee P. Phys. Rev., 1968, 168, 1683.