

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P1-99-293

ИЗМЕРЕНИЕ НАКЛОНА ВЕКТОРНОГО  
ФОРМФАКТОРА  $\lambda_+$  В РАСПАДЕ  $K^+ \rightarrow \pi^0 e^+ \nu$

1999

Измерение наклона векторного формфактора  $\lambda_+$   
в распаде  $K^+ \rightarrow \pi^0 e^+ \nu$

В работе приводится предварительный результат измерения параметра наклона векторного формфактора  $\lambda_+$  в распаде  $K^+ \rightarrow \pi^0 e^+ \nu$ , полученный на статистике 14000 событий, что составляет лишь 1/4 часть всех экспериментальных данных, отобранных при обработке. Полученное значение находится в хорошем согласии с мировым средним, и точность измерения сравнима с точностью, достигнутой в лучших экспериментах. Эксперимент проводился на установке «Гиперон» в ИФВЭ, г. Серпухов.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 1999

Перевод авторов

Batusov V.Yu. et al.

P1-99-293

The Measurement of the Vector Formfactor Slope  $\lambda_+$   
for the  $K^+ \rightarrow \pi^0 e^+ \nu$  Decay

In this work the preliminary result of the measurement of the vector formfactor slope parameter  $\lambda_+$  for the  $K^+ \rightarrow \pi^0 e^+ \nu$  decay is shown. It is based on 14000 events, which account for only 1/4 of all the experimental data selected on processing. The result is in good agreement with the world average value and the accuracy of measurement is comparable with the accuracy achieved in the best experiments. The experiment was carried out at the «Hyperon» set-up in IHEP.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

В.Ю.Батусов, Ю.А.Будагов, В.Б.Виноградов, В.В.Глаголев,  
 М.Ю.Дорошенко, Ю.И.Давыдов, Ю.Ф.Ломакин, С.Н.Малюков,  
 И.А.Минашвили, О.Е.Пухов, В.И.Романовский, Н.Л.Русакович,  
 Н.А.Русакович, А.А.Семенов, А.С.Соловьев, В.Б.Флягин,  
 И.Е.Чириков-Зорин, Г.А.Чладидзе, А.Н.Шалюгин

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

А.М.Блик, В.Н.Колосов, В.М.Кутьин

Институт физики высоких энергий, Серпухов, Россия

А.Иорданов, Л.Литов, Р.Ценов

Софийский государственный университет, Болгария

Г.Велев

Болгарская Академия наук, София

А.С.Курилин

Национальный центр физики частиц и высоких энергий, Минск

## Введение

Распад  $K^+ \rightarrow \pi^0 e^+ \nu$  ( $K_{e3}$ ) исследовался во многих экспериментах. Полученные результаты хорошо соответствуют стандартной ( $V - A$ )-теории. Однако в последнем по времени и самом точном эксперименте [1], выполненном на серпуховском ускорителе на установке «Гиперон», показано, что фит диаграммы Далитца с полным матричным элементом дает не нулевые значения скалярного и тензорного формфакторов. В 1990-1995 гг. на модифицированной установке [2] (рис. 1), в которую входят: поворотный СП-129 и спектрометрический МС-12 магниты, 39 пропорциональных камер и электромагнитные калориметры ЛГД1, ЛГД2, был набран большой статистический материал, в том числе и по  $K_{e3}$ -распаду. Благодаря наличию магнита и калориметра, позволяющих измерить как импульс, так и энергию позитронов, значительно улучшается возможность их идентификации и поэтому большой интерес представляет исследование распада  $K_{e3}$  на основе новых данных с целью проверки ранее полученных результатов.

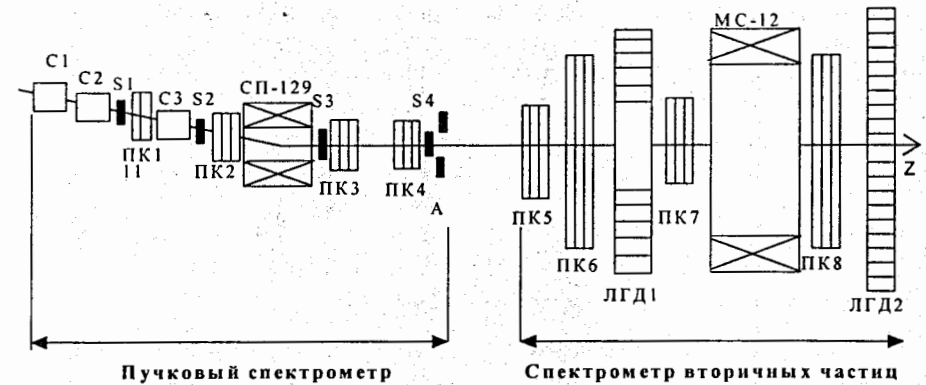


Рис.1. Схема модифицированной установки «Гиперон»

В качестве первого шага на этом пути нами была произведена обработка части набранного материала и получена статистика 14000 событий распадов. На основе этой статистики определен параметр наклона векторного формфактора  $\lambda_+$ , который согласуется с мировым средним значением.

**Матричный элемент  $K_{e3}$ -распада можно записать в виде**

$$M^2 \propto f_+^2(q^2) L^2(E_e, E_{\pi^0}),$$

где  $L^2(E_e, E_{\pi^0}) = 2E_e E_{\pi^0} - M_K(W - E_{\pi^0})$  - функция кинематических параметров продуктов распада,  $E_l, E_{\pi}, E_{\nu}$  - энергии лептона,  $\pi$ -мезона,

нейтрино и  $W = \frac{M_K^2 + m_\pi^2 - m_l^2}{2M_K}$  - максимальная энергия  $\pi$ -мезона в системе покоя  $K^*$ .

Векторный формфактор  $f_+$  является вещественной функцией квадрата 4-импульса  $q^2$ , переданного лептонной паре ( $e^+, \nu$ ), и обычно записывается в линейном приближении:

$$f_+(q^2) = f_+(0) \cdot \left(1 + \lambda_+ \frac{q^2}{m_{\pi^0}^2}\right).$$

Зависимость векторного формфактора  $f_+$  от  $q^2$  можно получить модельно независимым путем на основе сравнения наблюдаемого распределения событий по  $q^2$  с распределением, разыгранным методом Монте-Карло с использованием матричного элемента в предположении  $f_+(q^2) = f_+(0)$ .

### Обработка экспериментальных данных и расчет акцептанса

Анализ полученной информации был проведен на основе пакета программ реконструкции событий, калибровки калориметров, определения пространственного положения детекторов и расчета эффективности регистрации, исследуемых распадов в установке. При обработке данных применялись алгоритмы, описанные в работах [3-9].

Расчет акцептанса проводился методом Монте-Карло. При генерации событий учитывались геометрический акцептанс, триггерные условия, ошибки измерения и эффективность детекторов. Смоделированные события обрабатывались программой реконструкции с учетом требований, предъявлявшихся к отбору реальных событий.

### Отбор событий и кинематическая идентификация

При отборе событий - кандидатов на распад  $K^+ \rightarrow \pi^0 e^+ \nu$  - требовалось выполнение следующих условий.

1. Угол вылета вторичной частицы по отношению к пучковому К-мезону должен превышать 4 мрад. При малых углах между пучковым и вторичным треками возрастает ошибка в определении точки распада и вероятность ошибочной идентификации двух участков трека нераспавшегося К-мезона, как двух разных треков. Точка распада должна находиться в зоне распада.

2. Вторичная заряженная частица должна попасть в калориметр ЛГД2 и оставить в нем не менее 1000 МэВ. А также в обоих калориметрах должно быть зарегистрировано два ливня от  $\gamma$ -квантов с энергией не ниже 1000 МэВ.

3. Событие отбрасывалось, если при проведении процедуры кинематического фита оно удовлетворяло гипотезе распада  $K_{\pi^2}$  на уровне достоверности  $P(\chi^2) > 0,01$ .

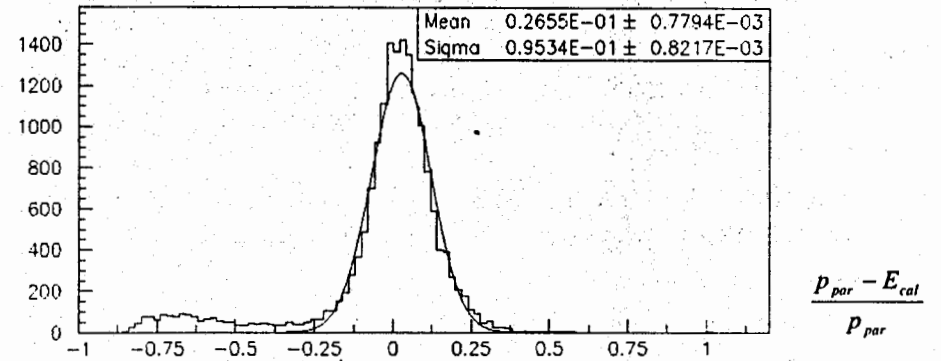


Рис. 2. Распределения параметра  $(p_{par} - E_{cal}) / p_{par}$ , где  $p_{par}$  - импульс частицы,

$E_{cal}$  - отклик ЛГД2

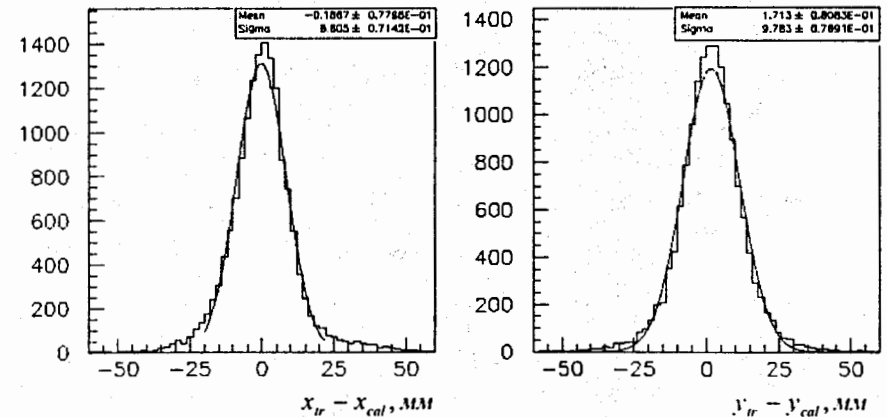


Рис. 3. Разность между координатами попадания  $e^+$  в ЛГД2, восстановленными по треку и по ливню в калориметре

4. Разность между энергией частицы  $E_{cal}$ , выделенной в калориметре, и ее импульсом  $p_{par}$ , определенным с помощью магнита, нормированная на импульс  $(p_{par} - E_{cal}) / p_{par}$ , не должна превышать 0,25 (для позитрона  $p_{e^+} \approx E_{e^+}$ ). Это связано с тем, что  $\pi^+$ -мезоны, попадая в калориметр, как правило, оставляют в нем только часть своей энергии, а позитроны поглощаются почти

полностью. Как видно из рис.2, величина 0,25 - достаточно хороший критерий для обрезания фона.

5. Разность между точкой попадания заряженной частицы в калориметр, восстановленной по треку, и точкой, полученной при восстановлении оси ливня в калориметре, должна быть меньше 20 мм. Как правило,  $\pi^+$ -мезон при попадании в калориметр рождает более широкий ливень, чем позитрон, что и отражает данный критерий. Из рис.3 видно, что отклонение в 20 мм (что составляет  $2\sigma$ ) в ту или другую сторону является разумным критерием для отбора  $K_{e3}$ -распадов.

6. Окончательно событие отбиралось, если оно удовлетворяло гипотезе  $K_{e3}$ -распада на уровне достоверности  $P(\chi^2) > 0,03$  ( $\chi^2 \leq 5,95$ ).

### Фоновые распады

Основным источником фона являются распады:

$K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$  - отсеивался критериями отбора, описанными выше, и процедурой кинематического фита для распада  $K_{\pi 2}$  на 99% уровне достоверности, затем для распада  $K_{e3}$  на уровне 97%.

$K^+ \rightarrow \mu^+ \pi^0 \nu_\mu$  - практически полностью подавляется требованием, чтобы отклик калориметра на попадание заряженной частицы был более 1 ГэВ.

### Определение наклона векторного формфактора $f_+(q^2)$

После отбора  $K_{e3}$ -распадов с использованием вышеперечисленных процедур и критериев осталось примерно 14000 событий. На основе данной статистики проводилось определение наклона векторного формфактора  $\lambda_+$ .

Исследование зависимости  $f_+(q^2)$  от  $q^2$  осуществлялось следующим методом. Бралось отношение нормированных на суммарное количество событий экспериментального распределения  $N^{\text{exp}}(q^2)$  и распределения, моделированного с постоянным формфактором  $f_+(q^2) = f_+(0)$  и с весом событий, определяемых функцией  $L^2(E_{e^+}, E_{\pi^0})$ , в виде

$$\frac{f_+(q^2)}{f_+(0)} = \left[ \frac{N^{\text{exp}}(q^2)}{N^{\text{gen}}(q^2)} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Полученная зависимость формфактора  $f_+(q^2)$  от  $q^2$  изображена на рис.4. Распределение аппроксимировалось линейной функцией:

$$R(X^2) = C(1 + \lambda_+ X^2).$$

Результат фита дан на рис.4 прямой линией. Из аппроксимации было получено следующее значение  $\lambda_+$ :

$$\lambda_+ = 0,0277 \pm 0,0040 \quad (\chi^2 = 21,7/18).$$

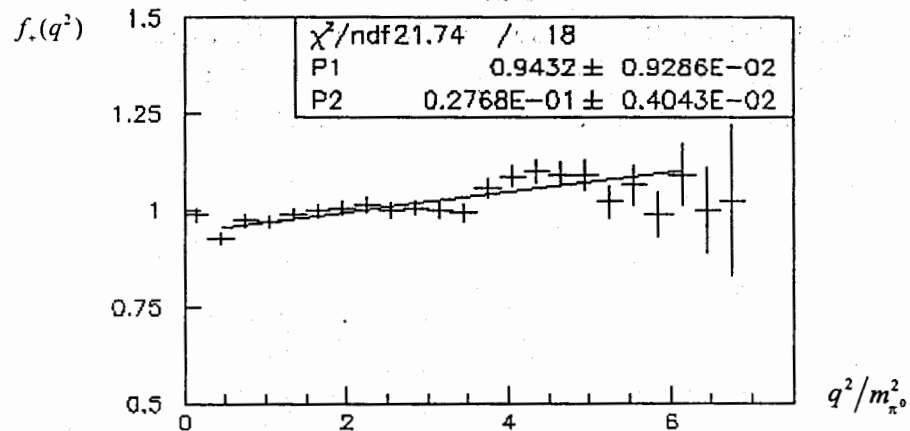


Рис. 4. Зависимость  $f_+(q^2) = C(1 + \lambda_+ q^2)$

Полученное значение находится в согласии с мировым средним значением:  $\lambda_+ = 0,0286 \pm 0,0022$  [10].

### Заключение

В данной работе приводится предварительный результат по измерению параметра наклона  $\lambda_+$  векторного формфактора в распаде  $K_{e3}$ . Статистика составила 14000 событий. Полученное значение хорошо согласуется с мировыми данными, и точность измерения сравнима с точностью, достигнутой в лучших экспериментах. При обработке была использована только часть имеющегося экспериментального материала. В дальнейшем мы намерены существенно улучшить точность определения  $\lambda_+$  и провести аппроксимацию диаграммы Далитца с полным матричным элементом с целью проверки существования скалярного и тензорного формфакторов.

### Литература

1. С.А. Акименко и др. PL B259 225(1991).
2. А.Г. Асмолов и др. ПТЭ №3, стр.13, 1994.
3. В.Ю. Батусов и др. Сообщение ОИЯИ P1-95-459 (1995) Дубна.

4. Г.В. Велев и др. Сообщение ОИЯИ P1-92-376 (1992) Дубна.
5. N.I. Chernov at al. Preprint JINR E11-89-262(1989) Dubna.
6. В.Б. Виноградов и др. Сообщение ОИЯИ P1-83-390 (1983) Дубна.
7. В.Б. Виноградов и др. Сообщение ОИЯИ 13-84-805(1984) Дубна.
8. В.Ю. Батусов, Н.Л. Русакович. ПТЭ №5 (1996) 35, Дубна.
9. Г.В. Велев и др. ПТЭ №5 (1991) 65, Дубна.
10. PDG. Europ. Phys. Journ. III №1-4(1998).

Рукопись поступила в издательский отдел  
10 ноября 1999 года.