

СЗ46.3а

И-564

27/8-64

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P-1778



Д.Б. Понтекорво, Р.М. Суляев

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

ПАРАМЕТР МИШЕЛЯ  
В  $\mu \rightarrow e \gamma$ -РАСПАДЕ

ЯФ, 1965, т.1, в.2, с.283-287.

1964

P-1778.

Д.Б. Понтекорво, Р.М. Суляев

ПАРАМЕТР МИШЕЛЯ  
В  $\mu\beta e^-$ -РАСПАДЕ

Направлено в ЖЭТФ

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

2219/3 48

Большинство исследований, имевших целью определение параметра Мишеля  $\rho$ , было выполнено с положительными  $\mu^+$ -мезонами. Среднее взвешенное значение этого параметра, вычисленное по результатам наиболее точных измерений<sup>/1,2,3,4/</sup>, оказывается равным  $0,712 \pm 0,012$ , что нужно сравнивать с величиной 0,75, предсказываемой V - A вариантом теории слабого взаимодействия. С  $\mu^-$ -мезонами выполнено два эксперимента<sup>/4,5/</sup>.

В настоящей работе получен энергетический спектр электронов, образующихся при распаде отрицательных  $\mu^-$ -мезонов из состояний мезоатомов гелия.

#### Постановка опыта

В эксперименте была использована помещенная в стабилизированное магнитное поле  $H = 6100 \text{ э}$  диффузионная камера, наполненная  $\text{He}^3$  при давлении 20 атм и с высотой чувствительного слоя  $5-7 \text{ см}^{\text{X/}}$ . Камера облучалась пучком медленных  $\mu^-$ -мезонов.

Чувствительный слой камеры фотографировался стереоскопически на одну пленку двумя объективами с параллельными оптическими осями и фокусными расстояниями 35 мм. Расстояние от объективов до середины чувствительного слоя равнялось 45 см; стереобаза фотоаппарата и плоскость пленки были расположены перпендикулярно к магнитному полю.

Всего получено 200.000 стереофотографий, просмотрено для настоящей работы 46.000, из них - 22.000 снимков  $\mu^- \rightarrow e^-$ -распада (рис.1). Для измерений отобрано 4090 фотографий.

#### Измерения

При отборе событий для измерений мы придерживались следующих критериев:

1. Точка остановки  $\mu^-$ -мезона находится не ближе чем на расстоянии 27 мм от стенки камеры.
2. Глубинный угол "Э" следа электрона, т.е. угол между направлением импульса электрона и перпендикулярной к магнитному полю плоскостью (горизонтальной), не больше  $30^\circ$ .
3. Длина следа электрона в пространстве не меньше 5 см.
4. При наличии вдоль следа провала чувствительности длиной больше 1 см след исключается из рассмотрения, если видимые части его обе короче 4 см. Провал в начале следа должен быть не больше 1 см.
5. Расстояние от точки остановки  $\mu^-$ -мезона до стенки камеры по касательной

---

<sup>X/</sup> Постановка эксперимента была предпринята в основном с целью наблюдения захвата  $\mu^-$ -мезонов в  $\text{He}^3/6/$ .

к следу должно быть не меньше 5 см. При имевшей место в нашем эксперименте топография остановок  $\mu^-$ -мезонов в камере этот критерий делает первые четыре критерия равноправными для следов с любой кривизной.

Измерения производились на репротекторе, предназначенном для репроектирования стереофотографий на подвижный экран<sup>/7/</sup>; репроекция стереофотографий велась тем же фотоаппаратом, которым производилось фотографирование, или идентичным.

Импульс электрона определялся по формуле  $p = 300 H r / \cos \theta \frac{eB}{c}$ , где  $H$  - магнитное поле,  $\theta$  - угол между направлением импульса электрона и перпендикулярной к магнитному полю плоскостью,  $r$  - радиус кривизны проекции следа на плоскость, перпендикулярную магнитному полю.

Радиус кривизны  $r$  измерялся путем последовательного совмещения проекции с дугами окружностей, нанесенными на тонкие плексигласовые пластины-шаблоны. Шаг между величинами радиусов двух рядом проведенных дуг не превышал 2%. Радиусы кривизны дуг известны с точностью 0,5%.

В каждом отдельном случае при вычислении импульса вводились поправки, связанные с конечностью репроектирования стереографий<sup>/8/</sup> и с усадкой пленки.

Магнитное поле в области чувствительного слоя камеры менялось линейно как по высоте, так и по радиусу камеры, причем максимальный разброс значений магнитного поля по высоте чувствительного слоя не превышал 6%, а по радиусу камеры - 1,5%. При вычислении импульсов электронов магнитное поле выбиралось равным значению поля на высоте середины следа электрона на расстоянии 5 см от центральной оси диффузионной камеры. Тогда, если учесть флуктуацию поля (тока магнита) в течение экспозиции, неопределенность в относительной величине  $H$  не превышала 1,5%.

В настоящей работе использованы стереофотографии, полученные в течение двух экспозиций диффузионной камеры в пучке  $\mu^-$ -мезонов. Абсолютное значение магнитного поля в пределах указанной точности могло измениться за время, прошедшее между двумя экспозициями. Поэтому две серии измерений обрабатывались раздельно.

Окончательные экспериментальные спектры, соответствующие двум экспозициям, представлены на рис. 2 и 3. По оси абсцисс отложена величина  $x = p/p_0$  - импульс электрона в единицах максимально возможного импульса  $p_0 = 52,82$  Мэв/с.

#### Анализ полученных спектров

Для определения параметра Мишеля  $\rho$  проведен трехпараметрический статистический анализ измеренных спектров. Кроме параметра Мишеля, в качестве варьируемых параметров введены коэффициент  $t$ , учитывающий возможные систематические ошибки в определении абсолютной величины импульсов электронов (например, погрешность в абсолютной величине магнитного поля), а также  $\sigma_0$  - коэффициент пропорциональности, связывающий среднеквадратичную ошибку измерения  $\sigma_{\text{изм}}$  с величиной импульса

электрона и с параметрами следа электрона. Методом наименьших квадратов экспериментальный спектр сравнивался с функцией вида

$$P(x, \rho) = \int_0^2 P_0(tz, \rho) R(x, tz, \sigma_0) dtz. \quad (1)$$

Здесь  $P_0(tz, \rho)$  описывает распад  $\mu^-$ -мезона из связанного состояния мезоатома гелия с учетом внутренних радиационных поправок<sup>/9,2/</sup>.  $R(x, tz, \sigma_0)$  - функция разрешения. Она представляет собой вероятность того, что для электрона с истинным значением импульса, равным  $tz$ , измеренное значение окажется в интервале от  $x$  до  $x+dx$ .

Функция  $R(x, tz, \sigma_0)$  выбрана в виде суммы четырех взвешенных нормальных законов распределения, соответствующих четырем интервалам длин проекций следов электронов (от 6 до 7 см, от 7 до 8 см и от 8 см и выше):

$$R(x, tz, \sigma_0) = \sum_{i=1}^4 \xi_i \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_i} e^{-\frac{(x-tz)^2}{2\sigma_i^2}}. \quad (2)$$

В этой формуле  $\xi_i$  - доля следов из общего числа с длинами в  $i$ -том интервале:

$$\xi_1 = 0,12; \quad \xi_2 = 0,13; \quad \xi_3 = 0,13; \quad \xi_4 = 0,62.$$

При вычислении дисперсий  $\sigma_i^2$  принимались во внимание многократное рассеяние электронов в газе<sup>/10/</sup>, неопределенность в относительной величине магнитного поля (см. выше) и зависимость среднеквадратичной ошибки измерения импульсов электронов от величины импульсов и длин проекций следов электронов. Тогда дисперсия  $\sigma_1^2 = (\sigma_{\text{изм}}^2 + \sigma_{\text{расс}}^2 + \sigma_H^2)$ , где  $\sigma_{\text{изм}}$ ,  $\sigma_{\text{расс}}$  и  $\sigma_H$  - соответствующие стандартные отклонения.

В функцию разрешения не вошли поправки, учитывающие тормозное излучение электронов и ионизационные потери в газе, т. к. они исчезающе малы по сравнению с другими эффектами.

Для оценки зависимости среднеквадратичной ошибки измерения импульсов электронов от величины импульсов и длин проекций следов на засвеченной фотобумаге были нанесены дуги окружностей, имитирующие следы электронов в камере (тест-объекты). Затем тест-объекты фотографировались, и измерялись радиусы кривизны дуг различной длины и с разной кривизной. Измерения проводились человеком, не знавшим истинных значений радиусов кривизны дуг. На основании результатов измерений тест-объектов была выбрана ошибка измерения в виде  $\sigma_{\text{изм}} = \sigma_0(tz) \frac{1}{t^{3/2}}$  (при условии  $\sigma_{\text{изм}} \geq 0,014(tz)$ ), где  $t$  соответствует середине  $i$ -того интервала и усреднена с учетом распределения следов электронов по величине глубинных углов.

#### Результаты и их обсуждение

Проведенный статистический анализ двух серий измерений дает значения параметра Мишеля, равные  $0,754 \pm 0,070$  и  $0,804 \pm 0,039$ ; значения  $\chi^2$  оказались равными 31 и 38,3, соответственно, при ожидаемых значениях, равных  $40 \pm 8,8$ .

Полученные значения параметров  $t$  и  $\sigma_0$  согласуются с ожидаемыми величинами. Значения  $t$  оказались равными  $1,003 \pm 0,011$  и  $1,025 \pm 0,006$  для двух серий измерений, соответственно, а значения  $\sigma_0$ , соответственно,  $4,0 \pm 0,9$  и  $3,11 \pm 0,38$ .

Расхождение между результатами двух измерений трудно объяснить систематическими ошибками, так как обработка в обоих случаях велась совершенно идентично. Тем не менее после тщательного анализа возможных систематических ошибок были проведены повторные независимые измерения, которые дали те же значения параметра Мишеля.

Средняя величина параметра Мишеля, вычисленная по результатам двух измерений, равна  $0,867 \pm 0,035$ . Для сравнения с результатами предыдущих экспериментов с  $\mu^-$ -мезонами приведем следующую таблицу.

№ пп	Авторы	Полученное значение параметра Мишеля $\rho$
1.	Блок и др. (1980) <sup>/5/</sup>	$0,764 \pm 0,032$
2.	Барлоу и др (1964) <sup>/4/</sup>	$0,64 \pm 0,04$
3.	Данная работа (1964)	$0,867 \pm 0,035$

Среднее взвешенное значение параметра Мишеля для  $\mu^-$ -мезонов получается равным  $0,766 \pm 0,020$ , что согласуется с V-A - вариантом теории слабого взаимодействия,

Большие отклонения значений параметра  $\rho$  от среднего при малых величинах указанных ошибок (что наблюдается и в случае  $\mu^+$ -мезонов), возможно, связаны с тем, что занижены оценки среднеквадратичных ошибок при статистической обработке спектров.

Можно определить ошибку результата эмпирическим путем, вычисляя среднеквадратичные отклонения результатов, полученных по отдельным выборкам. Мы разбивали весь экспериментальный спектр на десять частей (по 409 случаев  $\mu^+ \rightarrow e^-$  распада каждая) и определяли для каждой выборки параметр Мишеля  $\rho$ . Получены следующие значения  $\rho$ : 0,718; 0,766; 0,547; 0,761; 0,886; 1,007; 0,952; 1,075; 0,867; 0,819. Среднее значение  $\rho$  вместе со среднеквадратичным отклонением  $\rho \pm \Delta\rho$  равно  $0,840 \pm 0,48$ .

Авторы благодарны О.А. Займидороге, М.М. Кулюкину, Б. Понтекорво, И.Н. Силину, А.А. Тяпкину, И.В. Фаломкину, А.И. Филиппову, В.М. Цупко-Ситникову и Ю.А. Шербакову за полезные обсуждения, Н.В. Лебедеву, А.И. Токарской, Е.А. Шбаневой - за измерения, Л.А. Исаевой и Л.Е. Кулькиной - за проделанные ими вычисления.

## Литература

1. L.Rosenson. Phys. Rev., 109, 958 (1958).
2. W.F.Dudziak, R.Sagane and J.Vedder. Phys. Rev., 114, 336, (1959).
3. R.J.Plano. Phys. Rev., 119, 1400 (1960).
4. J.Barlow, P.S.L.Booth, L.J.Carall, G.R.Court, J.D.Davies, D.N.Edwards, R.G.Johnson and J.R.Wormald. Preprint University of Liverpool (1964).
5. M.M.Block, E.Fiorini, T.Kikuchi, G.Giacomelli and S.Katti. Nuovo Cim., 23, 1114 (1962).
6. О.А. Займидорога, М.М.Кулюкин, Б. Понтекорво, Р.М. Суляев, И.В. Фаломкин, А.И. Филиппов, В.М. Цупко-Ситников, Ю.А. Шербаков. ЖЭТФ, 44, 389 (1963); Phys. Letters, 3, 229 (1962).
7. А.Т. Василенко, М.С. Козодаев, Р.М. Суляев, А.И. Филиппов, Ю.А. Шербаков. ПТЭ, 8, 34 (1957).
8. Д.Б. Понтекорво. ПТЭ, 4, 66 (1964).
9. H.Uberall. Phys. Rev., 119, 365 (1960).
10. H.Bethe. Phys. Rev., 70, 821 (1946).

Рукопись поступила в издательский отдел  
30 июля 1964 г.



Рис. 1. Фотография чувствительного слоя диффузионной камеры видны два случая распада  $\mu^- \rightarrow e^- + \nu + \gamma$ .

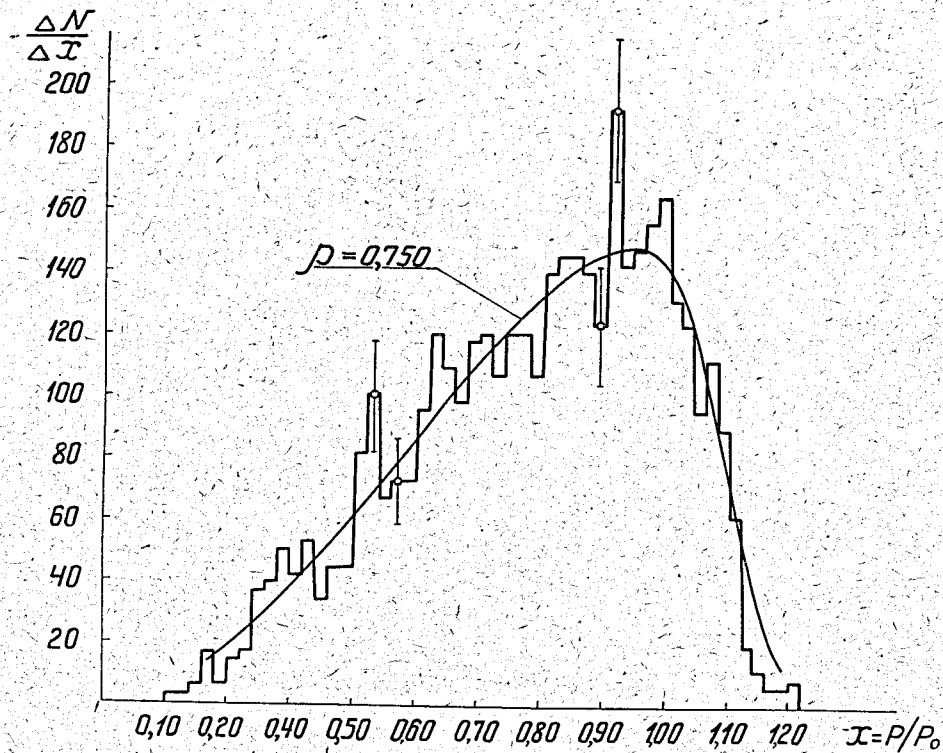


Рис. 2. Спектр импульсов электронов, полученный по 1460 случаям  $\mu^- \rightarrow e^- + \nu$  - распада;  $x$  - импульс электрона в единицах максимального возможного импульса  $p_0 = 52,82$  Мэв/с. Кривая соответствует  $\rho = 0,75$ .

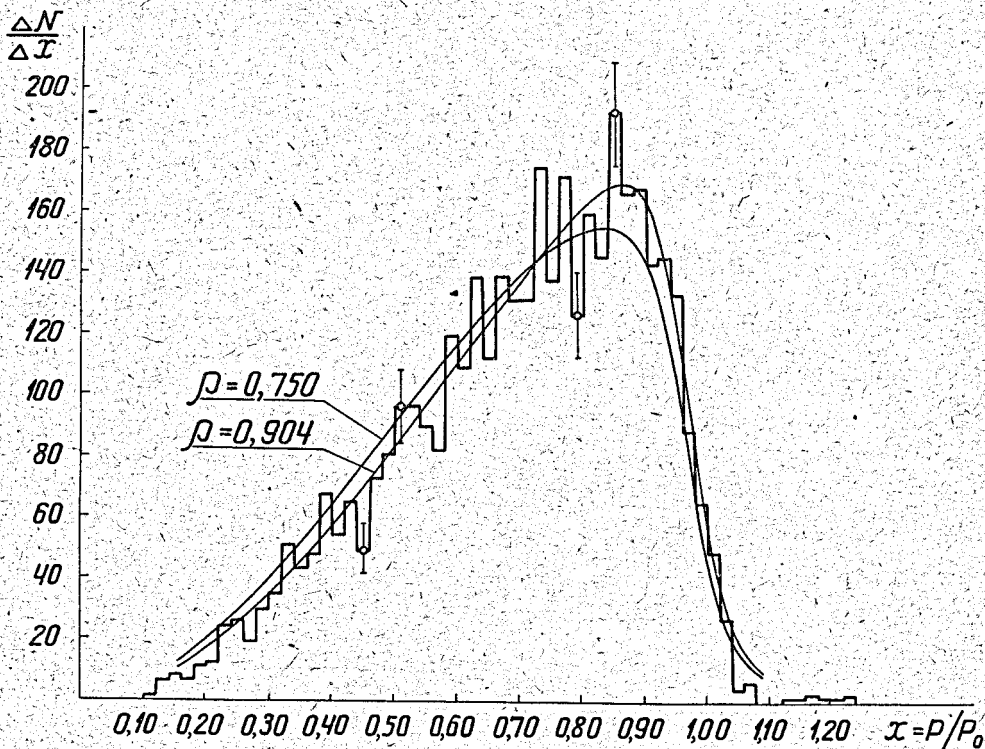


Рис.3. Спектр импульсов электронов, полученный по 2630 случаям  $\mu \rightarrow e^-$ -распада. Кривые соответствуют  $\rho = 0,804$  и  $\rho = 0,750$ .