

О ВОЗМОЖНОЙ ПРИРОДЕ ПРЯМЫХ ЛЕПТОНОВ

Я.И. Азимов, Л.Л. Франкфурт, В.А. Хозе

Обсуждается роль, которую могут играть тяжелые лептоны, входящие в вектороподобные схемы, при образовании прямых лептонов и в e^+e^- аннигиляции. Указаны характерные явления, позволяющие проверить существование тяжелых нейтральных лептонов.

Аннигиляция e^+e^- дает указания [1, 2] на существование заряженных лептонов с массой $1,6 \div 2 \text{ ГэВ}$, которые, видимо, не рождаются в нейтринных экспериментах [3, 4]¹⁾. Возможно, это связано с новым лептонным числом, но более привлекательны варианты, основанные на вектороподобных моделях слабых взаимодействий [5, 6]. В них имеются не только заряженные, но и нейтральные тяжелые лептоны, входящие в лагранжиан в паре с электроном или мюоном. Например, в шестилептонной модели [6, 7] слабые заряженные лептонные токи строятся из дублетов

$$\begin{pmatrix} \nu_e & N_M & \nu_\mu \\ e^- & M^- & \mu^- \end{pmatrix}_L, \quad \begin{pmatrix} \nu_e & N_M & N_\mu \\ M^- & e^- & \mu^- \end{pmatrix}_R, \quad (1)$$

где M^- и N_M — заряженный и нейтральный тяжелые лептоны с электронным числом, а N_μ — тяжелый майорановский фермион, нарушающий мюонное число. Индексы L и R соответствуют $V-A$ и $V+A$ токам. Нейтральные токи в этой модели диагональны.

Мы обсудим возможные проявления вклада тяжелых нейтральных лептонов в различных экспериментах, прежде всего, в проблеме прямых лептонов в адронных реакциях [8], а также в e^+e^- аннигиляции.

1. Прямые лептоны с большими p_\perp . Одним из источников прямых лептонов, как известно, могут быть слабые распады некоторых пока мезонов, содержащих тяжелые кварки Q и легкие $q = u, d, s$ (мы будем считать их псевдоскалярными). При отборе лептонов с большими p_\perp кинематически усиливается роль двухчастичных распадов мезонов. Можно даже предположить, что при этом доминируют распады на $\mu\nu$ [9]. Но тогда выход прямых электронов в этой кинематической области, экспериментально близкий к выходу μ [8], должен описываться совсем иным механизмом.

¹⁾ Мы благодарны В.Д. Хованскому за обсуждение этого круга вопросов

Имеется другая возможность. Существование N_M и N_{μ} порождает новые двухчастичные каналы распада тяжелых мезонов F^{\pm} (при $m_F > m_N$)



В схеме, где кварк Q — очарованный [10], так распадаются именно F^{\pm} мезоны ($c\bar{s}$ или $\bar{c}s$). Аналогичные распады D^{\pm} мезонов ($c\bar{d}$ или $\bar{c}d$) подавлены множителем $\sin^2\theta_c \approx 0,06$.

В пренебрежении массами e и μ

$$\frac{\Gamma(F \rightarrow lN)}{\Gamma(F \rightarrow \mu\nu)} = \frac{m_N^2}{m_{\mu}^2} \frac{(1 - m_N^2/m_F^2)^2}{(1 - m_{\mu}^2/m_F^2)^2} \approx 60 \quad (3)$$

при $m_F \sim 2 \text{ Гэв}$, $m_N \sim 1,2 \text{ Гэв}$ (выбор значения m_N обсуждается ниже). Взяв для определенности схему с очарованным кварком и предположив, что кварковая волновая функция в нуле зависит лишь от приведенной массы пары кварков, можем оценить при $m_s/m_u \approx 3/2$ и $m_c/m_u \approx 5$

$$\frac{\Gamma(F \rightarrow \mu\nu)}{\Gamma(K \rightarrow \mu\nu)} \approx \text{ctg}^2\theta_c \left| \frac{\phi_F(0)}{\phi_K(0)} \right|^2 \approx \text{ctg}^2\theta_c \left(\frac{m_c m_s}{m_c + m_s} \frac{m_s + m_u}{m_s m_u} \right)^3 \approx 110. \quad (4)$$

Подставляя $\Gamma(K \rightarrow \mu\nu) \approx 5 \cdot 10^7 \text{ сек}^{-1}$ [11], получаем $\Gamma(F \rightarrow lN) \approx 3 \times 10^{11} \text{ сек}^{-1}$, тогда как для полулептонных распадов $\Gamma(F \rightarrow \mu(e)\nu + \dots) \approx 10^{11} \div 10^{12} \text{ сек}^{-1}$ [12]. Эти грубые оценки показывают, что распады (2) должны быть существенны и при больших p_{\perp} могли бы быть основным источником прямых лептонов. В таком подходе выходы e и μ близки, если близки массы N_M и N_{μ} . Распады типа (2) приводят к характерным явлениям:

а) поляризация прямых лептонов зависит от p_{\perp} . При больших p_{\perp} важны распады (2), дающие левополяризованные e^+ и μ^+ , как в распаде $\pi^+ \rightarrow \mu^+\nu$. С уменьшением p_{\perp} растет доля полулептонных распадов (правополяризованные e^+ и μ^+) и электромагнитных процессов (неполяризованные пары l^+l^-). Эксперимент указывает на левую поляризацию μ^+ при $p_{\perp} \sim 2 \text{ Гэв}/c$ [13] и отсутствие поляризации в среднем при $p_{\perp} \lesssim 2 \text{ Гэв}/c$ [14].

б) Распад N_M (или N_{μ}) порождает добавочно хотя бы один заряженный лептон, например, $N_M \rightarrow e^- + \text{адр.}$ Поэтому можно ожидать, что в событиях, содержащих прямой лептон с большим p_{\perp} , есть еще хотя бы один более медленный лептон. Отметим характерное свойство модели (1).

Так как N_μ — майорановский лептон, каскад $F^+ \rightarrow N_\mu + \mu^+$, $N_\mu \rightarrow \mu^\pm + \dots$ дает с равной вероятностью пары $\mu^+\mu^-$ и $\mu^+\mu^+$. В моделях без майорановской частицы, например, в восьмилептонной [7], возникают лишь пары $\mu^+\mu^-$.

в) Прямые лептоны от распадов (2) должны проявлять пороговое поведение по энергии. Такое поведение, видимо, есть для мюонов с большими p_\perp [15]. При малых p_\perp энергетическая зависимость может быть другой.

2. e^+e^- аннигиляция. В схеме (1) аномальные $e\mu$ -события [1] вызваны рождением пары M^+M^- ($m_M \sim 1,8 \text{ Гэв}$) с последующим распадом тупа

$$M^- \begin{cases} \rightarrow \nu_{eR} + e^- + \bar{\nu}_e \\ \rightarrow \nu_{eR} + \mu^- + \bar{\nu}_\mu \end{cases} \quad (5)$$

Отсутствие γ -квантов от распада $M^- \rightarrow e^- \gamma$ ограничивает m_N [16]. С учетом новых данных [17] $m_N \lesssim 4 \text{ Гэв}$. Если $m_N < m_M$, то возможны распады с образованием N_M или N_μ , например, $M^- \rightarrow N_M + e^- + \bar{\nu}_e$, $M^- \rightarrow N_M + \pi^-$. Они ведут к лептонному и адронному сопровождению в $e\mu$ -событиях, которое пока не обнаружено [1, 17]. Отсутствие его легко объяснить, если разность $m_M - m_N$ не слишком велика. Тогда малы вероятности распадов

$$\Gamma(M^- \rightarrow N_M + e^- + \nu_e) \approx \frac{G^2}{15\pi^3} \left(\frac{m_M^2 - m_N^2}{2m_M} \right)^5, \quad (6)$$

$$\Gamma(M \rightarrow N\pi) \approx \frac{G^2 f_\pi^2 m_M^3}{16\pi} \left(1 - \frac{m_N^2}{m_M^2} \right)^3, \quad (7)$$

а небольшой импульс образующихся e, μ добавочно ограничивает регистрацию таких событий [1]. Видимо, при $m_N \gtrsim 1,2 \text{ Гэв}$ тяжелые нейтральные лептоны практически не дают вклад в наблюдаемые $e\mu$ -события. Однако образование их в распадах мезонов может влиять на множественность и энергетический кризис в $e^+e^- \rightarrow \text{адр}$.

Мы использовали для оценок конкретные модели и для лептонов, и для кварков. Но обсуждавшиеся вопросы остаются и в других моделях.

Авторы благодарны В.Н.Грибову, Б.А.Долгошеину, Ю.П.Никитину за полезные обсуждения.

Институт ядерной физики
им. Б.П.Константинова
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
31 мая 1976 г.

Литература

- [1] M.Perl et al. Phys. Rev. Lett., 35, 1489, 1975.
[2] M.Cavalli-Sforza et al. Phys. Rev. Lett., 36, 558, 1976.
[3] В.С.Барिश. Invited talk at the Lepton-Photon Symposium, Stanford, 1975; CALT 68-521.

- [4] В.В.Лалин, В.Н.Фоломешкин. Препринт ИФВЭ ОТФ 75-66.
- [5] A.De Rujula, H.Georgi, S.L.Glashow. Phys. Rev., **D12**, 3589, 1975.
- [6] H.Fritzsch, M.Gell-Mann, P.Minkowski. Phys. Lett., **59B**, 256, 1975.
- [7] H.Fritzsch. CALT 68-524 (to be published in Fortschritte der Physik).
- [8] L.M.Lederman. Invited talk at the Lepton-Photon Symposium, Stanford, 1975; J.W.Gronin. Lecture at the Intern. School of Subnuclear Physics, Erice, 1975.
- [9] С.С.Герштейн, М.Ю.Хлопов. Письма в ЖЭТФ, **23**, 374, 1976.
- [10] S.L.Glashow, J.Niropoulos, L.Maiani. Phys. Rev., **D2**, 1285, 1970.
- [11] Particle Data Group. Phys. Lett., **50B**, 1, 1974.
- [12] М.К.Gaillard, В.В.Lee, J.L.Rosner. Rev. Mod. Phys., **47**, 277, 1975.
Я.И.Азимов, Л.Л.Франкфурт, В.А.Хозе. Препринт ЛИЯФ № 221, 1976.
- [13] Г.Б.Бондаренко и др. Письма в ЖЭТФ (в печати).
- [14] L.V.Leipuner et al. Preprint (BNL-Yale-FNAL collaboration).
- [15] В.В.Абрамов, И.А.Духовской, В.В.Кишкурно, Л.А.Кондратюк, А.П.Крутенкова, В.В.Куликов, И.А.Радкевич, В.С.Федорец. Письма в ЖЭТФ, **24**, 261, 1976.
- [16] H.Fritzsch, P.Minkowski. CALT 68-538, 1976; K.Fujikawa. DESY 76/04.
- [17] G.Feldman. Report at the International Meeting on Storage Ring Physics, FLAINE. Febr., 1976.
-