

К ВОПРОСУ ОБ ОДНОЗАРЯДНЫХ ДИМЮОННЫХ СОБЫТИЯХ В НЕЙТРИННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ

Э.Л. Липманов

Недавнее наблюдение однозарядных димюонных событий в нейтринных экспериментах интерпретируется как указание на рождение одиночных заряженных и нейтральных тяжелых лептонов в этих экспериментах. Модель, основанная на кварк-лептонной аналогии, позволяет объяснить существенное подавление тримюонных событий по сравнению с однозарядными димюонными событиями, а величина этого подавления зависит только от массы нейтрального лептона.

Недавно появились сообщения о наблюдении димюонных событий в нейтринных экспериментах [1]. Эти события можно разделить на две группы – с разнозарядными $\mu^- \mu^+$ -парами и с однозарядными $\mu^\pm \mu^\pm$ -парами (соответственно в ν_μ или $\bar{\nu}_\mu$ -пучках). Число событий во второй группе примерно на порядок меньше, чем в первой. В настоящее время по-видимому наиболее убедительным является представление, что основная масса димюонных событий связана с возбуждением новых степеней свободы кварков, с рождением и распадом в нейтринном эксперименте чармовых адронов [2, 3]. Однако такое представление, по-видимому, наталкивается на серьезные трудности при попытке объяснения происхождения однозарядных мюонных пар [4].

В настоящей статье рассматривается попытка дифференцированной интерпретации димюонных событий, согласно которой разнозарядные и однозарядные мюонные пары имеют существенно разное происхождение: первые связаны с рождением и распадом новых чармовых адронов, а вторые – с рождением и распадом тяжелых лептонов. При этом, в утилитарных целях мы рассмотрим только простейшую феноменологическую модель, основанную на аналогии между кварками и лептонами, которая достаточна для указанной интерпретации однозарядных димюонных событий, но в остальном представляется только одним из блоков, входящих в более общую кварк-лептонную $SU(2) \times U(1)$ -систему представлений единой калибровочной теории электромагнитно-слабых взаимодействий. По аналогии с известной схемой ГИМ [5] для дублетного кваркового представления слабой $SU(2) \times U(1)$ -группы,

$$\begin{pmatrix} u \\ d \cos \theta + s \sin \theta \end{pmatrix}_L, \quad \begin{pmatrix} c \\ -d \sin \theta + s \cos \theta \end{pmatrix}_L, \quad (1)$$

где θ – угол Кабиббо, а s и c – странный и чармовый кварки, запишем дублетные представления для мюонного семейства лептонов в виде

$$\begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu^- \cos \theta' + \mu'^- \sin \theta' \end{pmatrix}_L, \quad \begin{pmatrix} \mu^0 \\ -\mu^- \sin \theta' + \mu'^- \cos \theta' \end{pmatrix}_L, \quad (2)$$

где θ' – лептонный аналог Кабиббо, а μ' и μ^0 – гипотетические заряженный и нейтральный тяжелые лептоны¹⁾. Универсальный заряженный ($V - A$)-ток слабых взаимодействий приобретает вид

$$J_{\alpha}^{(V-A)} = [(\bar{u}d + \bar{c}s) \cos \theta + (\bar{\nu}_{\mu}\mu'^{-} + \bar{\mu}^0\mu'^{-}) \cos \theta' + \dots]_{\alpha} + \\ + [(\bar{u}s - \bar{c}d) \sin \theta + (\bar{\nu}_{\mu}\mu'^{-} - \bar{\mu}^0\mu'^{-}) \sin \theta' + \dots]_{\alpha}, \quad (3)$$

где, для сокращения, нижний индекс α у квадратной скобки обозначает наличие матрицы $\gamma_{\alpha}(1 + \gamma_5)$ между спинорами каждого слагаемого в скобке. Нейтральный ($V - A$)-ток, очевидно, содержит только симметричные члены и не дает вклада в распады частиц. Предполагая, что $m_{\mu'} > m_{\mu^0}$, можно ожидать, что взаимодействие высокоэнергетического ν_{μ} -пучка с ядрами дает начало следующей последовательности реакций

$$\nu_{\mu} + n \xrightarrow{\sin \theta'} \mu'^{-} + \text{адроны}, \quad (4)$$

$$\mu'^{-} \xrightarrow{\cos \theta'} \mu^0 + \begin{cases} \text{адроны,} & (5a) \\ e^{-} + \bar{\nu}_e, & (5b) \\ \mu^{-} + \bar{\nu}_{\mu}, & (5b) \end{cases}$$

$$\mu^0 \xrightarrow{\sin \theta'} \mu^{-} + \begin{cases} \text{адроны,} & (6a) \\ e^{+} + \nu_e, & (6b) \\ \mu^{+} + \nu_{\mu}. & (6b) \end{cases}$$

Однозарядные $\mu^{-}\mu'^{-}$ -события соответствуют последовательности распадов (5в) и (6а,б). Если обозначить через B бранч μ'^{-} -канала распада нейтрального мюона (6в), то из (4) – (6) следует, что для отношения эффективных сечений тримюонных и однозарядных димюонных событий находим

$$\frac{\sigma(\nu_{\mu} + n \rightarrow \mu^{-}\mu'^{-}\mu^{+} + \dots)}{\sigma(\nu_{\mu} + n \rightarrow \mu^{-}\mu'^{-} + \dots)} = B/(1 - B). \quad (7)$$

Оно зависит в основном только от массы μ^0 -лептона. Для минимального значения этой массы $m_{\mu^0} = 0,4 \text{ Гэв}$ находим $B = 1/50^2$). При $m_{\mu^0} \sim 1 \text{ Гэв}$, $B \sim 0,1$. Таким образом, экспериментальное открытие тримюонных событий и измерение отношения (7) позволило бы в рамках нашей модели оценить величину массы нейтрального лептона m_{μ^0} . Удов-

1) Блок мюонного семейства лептонов (2) не трудно было бы включить в минимальную векторноподобную модель с шестью кварками Фритча – Гелл-Манна – Минковского [3], если добавить в их лептонный сектор нейтральные синглеты.

2) $\mu^0 \rightarrow \mu^{-} + \pi^{+}$ ($\sim 90\%$), $\mu^0 \rightarrow \mu^{-} + e^{+} + \nu_e$ ($\sim 10\%$), $\mu^0 \rightarrow \mu^{-} + \mu^{+} + \nu_{\mu}$ ($\sim 2\%$).

летворить данным об отношении чисел однозарядных и разнозарядных мюонных пар можно было бы тогда при соответствующем выборе величин угла θ' и массы $m_\mu e$. Другими предсказаниями нашей модели являются равенства сечений

$$\sigma(\nu_\mu + n \rightarrow \mu^- \mu^- + \dots) = \sigma(\nu_\mu + n \rightarrow e^- \mu^- + \dots) . \quad (8)$$

и соотношение

$$\sigma(\nu_\nu \rightarrow \mu^- \mu^- \mu^+) \leq \sigma(\nu_\mu \rightarrow \mu^- \mu^- e^+) \lesssim 5\sigma(\nu_\mu \rightarrow \mu^- \mu^- \mu^+) . \quad (9)$$

Аналогичные соотношения с обращением знака заряда лептонов (и $n \rightarrow p$) должны иметь место в антинейтринном пучке.

В заключение отметим, что в то время как наблюдение μ - e -событий на встречных $e^- e^+$ -пучках, возможно, является первым указанием на электромагнитное рождение пар заряженных тяжелых лептонов [6], наблюдение однозарядных $\mu^+ \mu^-$ димюонных событий в нейтринных экспериментах, возможно, также является первым указанием на нейтринное рождение одиночных заряженных и нейтральных тяжелых лептонов.

Выражаю искреннюю благодарность С.С.Герштейну, Л.Б.Окуню, Б.М.Понтекорво и участникам секции слабых взаимодействий февральской Научной сессии ОЯФ АН СССР за интерес к работе и ценное обсуждение.

Ярославский
государственный университет

Поступила в редакцию
9 февраля 1976 г.

Литература

- [1] A.Benvenuti et al. Phys. Rev. Lett., 34, 419, 597, 1975; 35, 1199, 1203, 1975.
- [2] В.И.Захаров, Б.Л.Иоффе, Л.Б.Окунь. УФН, 117, 227, 1975.
- [3] H.Fritsch, M.Gell-Mann, P.Minkowski. Phys. Lett., 59B, 256, 1975.
- [4] A.Pais, S.B.Treiman. Phys. Rev. Lett., 35, 1556, 1975.
- [5] S.L.Glashow, J.Jliopoulos, L.Maiani. Phys. Rev., D2, 1285, 1970.
- [6] M.L.Perl et al. Phys. Rev. Lett., 35, 1489, 1975.