

О РАСПАДАХ $\tau \rightarrow 3\mu$ И $\tau \rightarrow 3\mu 2\nu$

Д.А.Мжавия*, Г.В.Мицельмахер

Указано на возможность поиска распада $\tau \rightarrow 3\mu$ в экспериментах типа "beam-dump" на ускорителях высоких энергий с фиксированной мишенью на уровне относительных вероятностей 10^{-7} - 10^{-9} . Рассчитана вероятность фонового процесса $\tau \rightarrow 3\mu 2\nu$.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

On the Decays $\tau \rightarrow 3\mu$ and $\tau \rightarrow 3\mu 2\nu$

D.A.Mzhavia, G.V.Micelmacher

Search for the decay $\tau \rightarrow 3\mu$ in beam-dump experiments at high-energy accelerators with a fixed target is shown to be possible at the 10^{-7} - 10^{-9} relative probability level. The probability of the background process $\tau \rightarrow 3\mu 2\nu$ is calculated.

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

К настоящему времени поиски возможного несохранения τ -лептонного числа в распадах типа $\tau \rightarrow \mu\gamma$, $\tau \rightarrow \mu\mu$, $\tau \rightarrow e\gamma$ и т.п. выполнены на уровне относительных вероятностей τ -распадов, лишь немного меньшем, чем $10^{-3/1}$. Эти ограничения установлены в экспериментах на встречных e^+e^- -пучках. Такое ограничение вероятностей распадов не является значимым при проверке сохранения лептонных зарядов. Оно допускает даже максимальное несохранение τ -лептонного числа, т.к. вероятности распадов $\approx 10^{-4}$ могут быть объяснены факторами типа постоянной α , фазовым объемом и т.п., аналогично тому, как в свое время считалось "естественным" подавление $\mu \rightarrow e\gamma$ до уровня $10^{-4/2}$ без закона сохранения нового лептонного числа. Дальнейшее существенное продвижение в подобных экспериментах ограничено светимостью ускорителей на встречных пучках. Не вызывает сомнения, что поиски несохраняющих τ -лептонное число процессов представляют фундаментальную важность и должны проводиться на мак-

* Институт физики высоких энергий Тбилисского государственного университета.

симально доступном современной технике эксперимента уровне, как это делается, например, при поиске распадов $\mu \rightarrow e\gamma$ (достигнутый уровень $W_{\mu \rightarrow e\gamma} / W_{\mu \rightarrow e\nu\nu} < 4,9 \cdot 10^{-11/3}$ и $W_{\mu \rightarrow 3e} / W_{\mu \rightarrow e\nu\nu} < 2,4 \cdot 10^{-12/4}$). Заметим, что в принципе, несохранение лептонного заряда в $\tau \rightarrow \mu$ процессах может быть значительно большим, чем в $\mu \rightarrow e$ переходе /напримр, из-за разницы в массах лептонов/.

Мы хотим обратить внимание на возможность экспериментального исследования несохраняющего лептонный заряд распада $\tau \rightarrow \mu\mu\mu$ на пучках ускорителей с фиксированной мишенью /УНК, Теватрон/*, на уровне относительной вероятности $10^{-7}-10^{-9}$. Эксперимент может быть поставлен на пучках адронов либо гамма-квантов высокой энергии /200 ГэВ - 1 ТэВ/ с использованием толстого, ≥ 30 ядерных длин, задерживающего вторичные адроны и гамма-кванты поглотителя из материала с небольшим атомным номером /углерод, бериллий/, с последующей регистрацией импульсов мюонов от распада $\tau \rightarrow 3\mu 2\nu$ и восстановлением эффективной массы трех мюонов**.

Вначале мы оценим интенсивность образования τ -лептонов, а затем обсудим возможный фоновый процесс $\tau \rightarrow 3\mu 2\nu$. Оценка интенсивности образования τ -лептонов в пучках различных частиц высоких энергий /- 500 ГэВ/ дает следующие результаты:

а/ адронный пучок интенсивности /в среднем/ $\sim 10^8$ адронов/с. Полагая, что основным источником τ -лептонов являются распады F-мезонов /парциальная вероятность распада $\sim 3 \cdot 10^{-3}$, сечение образования F-мезонов ≈ 10 мкб¹⁶/, получим $n_{\tau} \approx 5 \cdot 10^8$ за 100 часов работы ускорителя;

б/ фотонный пучок, взаимодействующий с легкой /дейтериевой/ мишенью. При интенсивности пучка $\sim 10^8$ γ /с и адронном механизме образования τ -лептонов $n_{\tau} \approx 10^7$ за 100 часов. Фотонный пучок в силу меньшего полного сечения взаимодействия фотонов дает очевидное преимущество с точки зрения возможного подавления фонов;

в/ фотонный /или электронный/ "beam-dump" на тяжелой, например свинцовой, мишени, с образованием τ -лептонов за счет электромагнитного рождения пар $\tau^+\tau^-$ на ядрах $\gamma + Z \rightarrow \tau^+\tau^- + Z$. Число $\tau^+\tau^-$ пар на γ -квант $N_{\tau^+\tau^-}$ равно¹⁷:

* Это предложение было высказано одним из авторов /Г.В.М./ на I совещании по экспериментальным исследованиям на встречных пучках УНК /Протвино, 1981 г./.

Возможность поиска распада $\tau \rightarrow 3\mu$ на ускорителях с фиксированной мишенью упомянута и в работе¹⁵, доложенной на том же совещании.

** Подобную постановку эксперимента с полным поглощением пучка вблизи мишени обычно называют экспериментом типа "beam-dump".

$$N_{\tau^+\tau^-} = \frac{[84 \ln(2\omega/M_\tau) - 218] m_e^2}{[84 \ln(2\omega/m_e) - 218] m_\tau^2},$$

где ω - энергия γ -кванта, m_e - масса электрона, M_τ - масса τ -лептона.

При интенсивности γ -квантов $10^8 \gamma/\text{с}$ n_τ /за 100 часов/ $\sim 2 \cdot 10^6$. При такой постановке опыта число τ -лептонов существенно меньше, однако сильно подавлены фоны, связанные с образованием мюонов в распадах адронов.

В принципе, возможно образование τ -лептонных пар μ -мезонами, но сечение такого процесса $\sigma_{\tau^+\tau^-} = 6 \cdot 10^{-36} \text{ см}^2 / 8$. Таким образом, ожидаемая статистика очень мала / $\sim 5 \cdot 10^5$ за 100 часов/.

Приведенные оценки показывают, что на пучках ускорителей высоких энергий с фиксированной мишенью в экспериментах типа "beam-dump" доступна такая статистика τ -лептонных событий, что, в принципе, возможны поиски распада $\tau \rightarrow \mu\mu$ на уровне вероятностей 10^{-7} - 10^{-9} . Заметим, что обсуждаемый уровень интенсивности пучков ($\sim 10^8 \gamma/\text{с}$) не является предельным и выбран из тех соображений, чтобы не было серьезных проблем с регистрацией мюонов, триггером и случайными совпадениями.

Конечно, реально достижимый уровень будет определяться не только статистикой, но и уровнем фоновых процессов, среди которых не все поддаются расчету. Мы остановимся на расчете вероятности фонового процесса $\tau \rightarrow 3\mu 2\nu$, с которым надо считаться при любой постановке опыта.

Распад $\tau \rightarrow 3\mu 2\nu$ ранее не обсуждался, хотя в экспериментах типа "beam-dump" с регистрацией мюонов доступен изучению. Мы вычислили дифференциальную вероятность распада $\tau \rightarrow 3\mu 2\nu$, учитывая все диаграммы низшего порядка теории возмущений. Расчет проводился с помощью программы SCHOONSHIP /9/. Процесс $\tau \rightarrow 3\mu 2\nu$ аналогичен процессу $\mu \rightarrow 3e 2\nu$, рассчитанному в работах /10, 11/.

Матричный элемент, соответствующий диаграммам /рис. 1/, имеет вид:

$$M = \frac{e^2 G}{(2\pi)^5 \sqrt{2}} \left(\frac{m_\mu^3 m_\tau}{p_{10} p_{20} p_{30} q_0} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{1}{k^2}$$

$$\{ \bar{u}(q_2) \gamma_\beta (1 + \gamma_5) \times u(-p_1) \bar{u}(-q) \gamma_\alpha \times \frac{1}{-\hat{q} + \hat{k} - i m_\mu} \times$$

$$\times \gamma_\beta (1 + \gamma_5) u(-q_1) + \bar{u}(-q) \gamma_\beta (1 + \gamma_5) \},$$

$$u(-q_1)\bar{u}(q_2)\gamma_\beta(1 + \gamma_5) \times \frac{1}{-\hat{p}_1 - \hat{k} - im_\mu} \gamma_\alpha u(-p_1) \} \times \\ \times \bar{u}(p_3)\gamma_\alpha u(-p_2)\delta^4(p_1 + p_2 + p_3 + q_1 + q_2 - q) - \{p_1 \leftrightarrow p_2\};$$

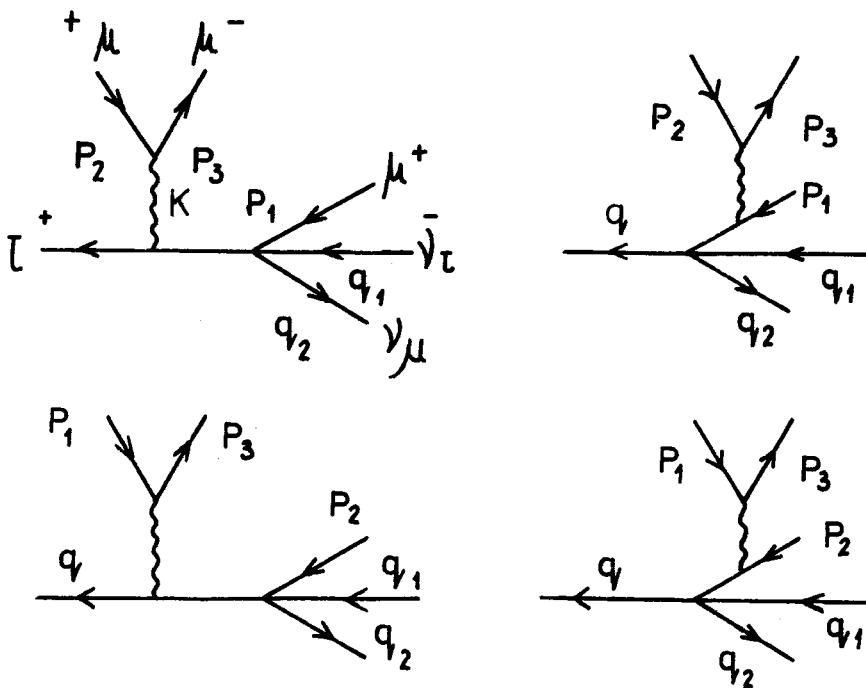


Рис. 1. Диаграммы распада $\tau \rightarrow 3\mu 2\nu$.

В этом выражении обозначения импульсов соответствуют приведенным на диаграммах, $\alpha = \frac{e^2}{4\pi}$ - постоянная тонкой структуры, $G = \frac{10^{-5}}{m_p^2}$ - константа слабого взаимодействия, m_μ , m_τ - массы мюона и τ -лептона. Интегральные и полные вероятности процесса были рассчитаны методом Монте-Карло. Полная вероятность распада $\tau \rightarrow 3\mu 2\nu$ составляет $W(\tau \rightarrow 3\mu 2\nu) / W_{\tau \rightarrow \mu \bar{\nu} \nu} = 1,07 \cdot 10^{-6} *$.

На рис. 2 приведено значение вероятности распада $\tau \rightarrow 3\mu 2\nu$ при различных обрезаниях по инвариантной массе трех мюонов /инвариантная масса трех мюонов от распада $\tau \rightarrow 3\mu$

* Мы нормируем на распад $\tau \rightarrow \mu \bar{\nu} \nu$, частичная вероятность которого составляет $(17,5 \pm 0,6)\%$ от полной вероятности τ -распада /12/.

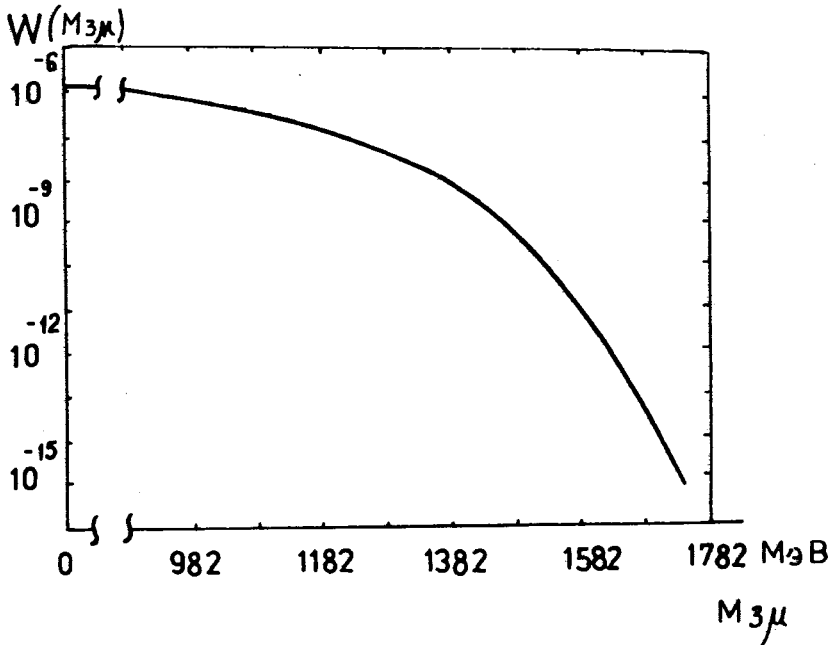


Рис. 2. Значение вероятности распада $\tau \rightarrow 3\mu 2\nu$ при различных обрезаниях инвариантной массы трех мюонов $M_{3\mu}$.

$$W(M_{3\mu})/W_{\tau \rightarrow \mu\nu\nu} = \left(\int_{3m_\mu}^{M_{3\mu}} \frac{dW_{\tau \rightarrow 3\mu 2\nu}}{dm_{3\mu}} \right) / W_{\tau \rightarrow \mu\nu\nu}.$$

отвечает правой границе графика/. Из графика видно, что при определении инвариантной массы с точностью < 300 МэВ, что достижимо в обсуждаемых экспериментах, процессом $\tau \rightarrow 3\mu 2\nu$, как физическим фоном к распаду $\tau \rightarrow 3\mu$, можно пренебречь при поиске $\tau \rightarrow 3\mu$ на уровне вероятностей 10^{-9} .

Авторы благодарны Ю.М. Антипову, С.П. Денисову, С.М. Коренченко и Б.М. Понтекорво за полезные обсуждения и Б.Ф. Костину за большую помощь в расчетах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hayes K.G. et al. Phys.Rev., 1982, D25, p.2869.
2. Feinberg G. Phys.Rev., 1958, 110, p.1482.
3. Bolton R.D. et al. Phys.Rev.Lett., 1968, 56, p.2461.
4. Bertl W. Nucl.Phys., 1985, B260, p.1.
5. Зайцев А.М. и др. В сб: Физические исследования на ускорительно-накопительном комплексе ИФВЭ. ИФВЭ, Серпухов, 1982, с.90.

6. Hinchliffe I, Lewellyn Smith G.H. Nucl.Phys., 1976, B14, p.45; Bourguin M., Gaillard J.M. Phys.Lett., 1975, 58B, p.191; S.Mori. Fermilab 2251.0, 1979.
7. Smith J., Soni A., Vermaseren J.A.M. Phys.Rev., 1977, D15, p.648.
8. Ganapathi V., Smith J. Phys.Rev., 1981, D23, p.75.
9. Strubbe H. Com.Phys.Comm., 1974, vol.8, p.1.
10. Бардин Д.Ю., Истатков Ц.Г., Мицельмахер Г.В. ЯФ, 1972, 15, с.284.
11. Fishbane P.M., Gaemers K.J.F. Phys.Rev., 1986, vol.33, No.1, p.159.
12. Review of particle properties. Phys.Lett., 1986, 170B.

Рукопись поступила 17 сентября 1986 года.