

Нарушение лептного аромата в распадах τ -лептона

Александр Бобров

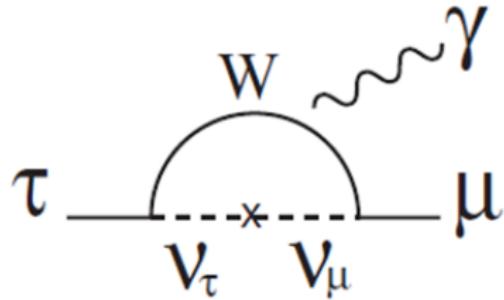
ИЯФ СО РАН

План

- ① Введение
- ② Предыдущие эксперименты по поиску LFV в распадах τ
- ③ LFV в экспериментах на СуперВ фабриках и Belle-II
- ④ Супер Чарм-Тау Фабрика и LFV
- ⑤ Заключение

Введение

Процессы нарушение лептонного аромата экспериментально открыты в осцилляциях нейтрино. Проблема дефицита солнечных нейтрино. Решена в теории с помощью механизма осцилляций конец 70 середина 80 годов.



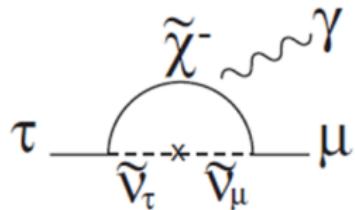
Пересчет из данных по параметрам осцилляций дает исчезающе малое значение для процессов нарушение лептонного числа с участием

$$\mathcal{B}_{\tau \rightarrow l\gamma} = \frac{3\alpha}{32\pi} \left| \sum_i U_{\tau i}^* U_{\mu i} \frac{\Delta_{\tau i}^2}{M_W^2} \right|^2$$

$\mathcal{B}_{\tau \rightarrow \mu\gamma} = 10^{-54}$, $\mathcal{B}_{\tau \rightarrow e\gamma} = 10^{-57}$ W. J. Marciano, T. Mori, and J. M. Roney, Rev. of Nucl. And Part. Science 58 (2008) p.315

Введение

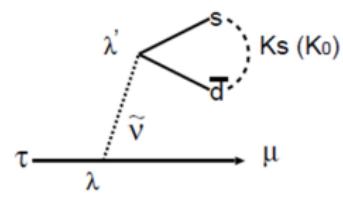
Различные расширения стандартной модели дают значения для вероятностей распадов до уровня $10^{-7} - 10^{-8}$.



SUSY



Higgs-mediation



R-parity vailotion

В частности для распадов $\tau \rightarrow \mu\gamma$, после интегрирования в петле получается следующий эффективный лагранжиан.

$$\mathcal{L} = -\frac{4G_F}{\sqrt{2}}(m_\tau A_R \overline{\tau} R \sigma^{\alpha\beta} \mu_L F_{\alpha\beta} + m_\tau A_L \overline{\tau} L \sigma^{\alpha\beta} \mu_R F_{\alpha\beta} + h.c.)$$

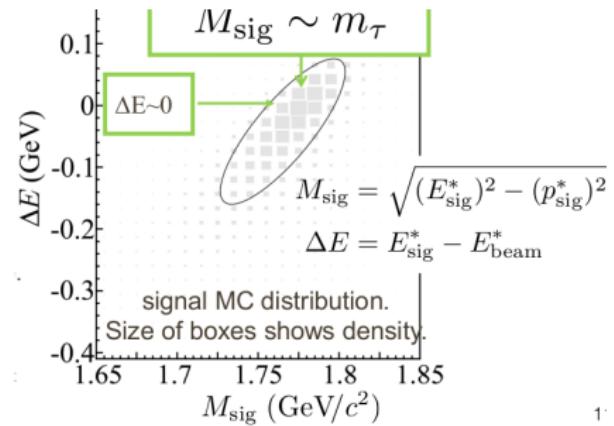
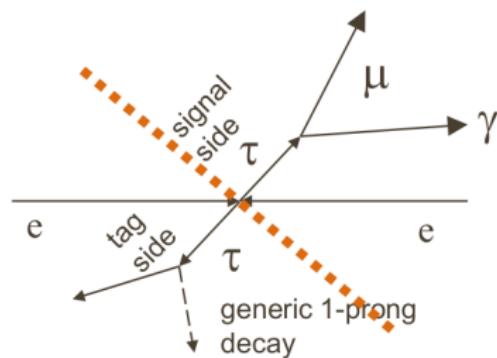
$$\frac{dB}{d\cos\theta} = \frac{B}{2}\{1 + A(\tau \rightarrow \mu\gamma)P \cos\theta\}$$

$$A(\tau \rightarrow \mu\gamma) = \frac{|A_L|^2 - |A_R|^2}{|A_L|^2 + |A_R|^2}$$

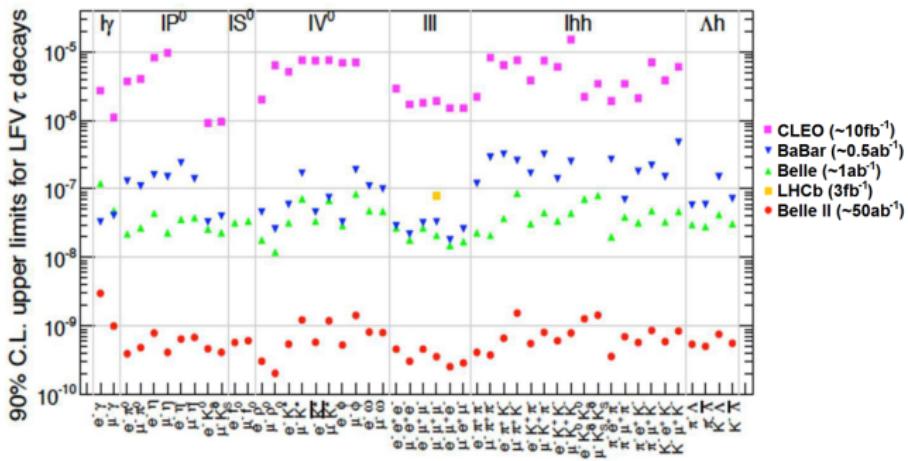
Введение

Поиск LFV в заряженном секторе ведется для безнейтринных распадов. Это очень редкие процессы, для которых регистрация нейтрино не возможна. Можно выделить следующие характерные сигнатуры (с точки зрения эксперимента): $l \rightarrow l' \gamma$, $l \rightarrow 3l'$, $\tau \rightarrow lh^0$, $\tau \rightarrow lh^+ h^-$, $\tau \rightarrow h^+ ll$

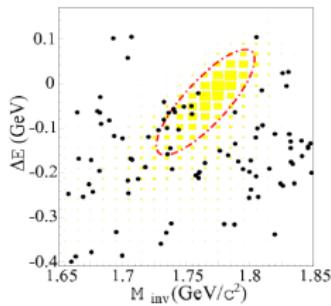
Для выделения таких событий обычно используются следующие инвариатные переменные ΔE , M_{sig} , и масса отдачи.



Полностью завершенные CLEO.
Окончен набор данных Belle, BaBar.
В процессе LHCb.

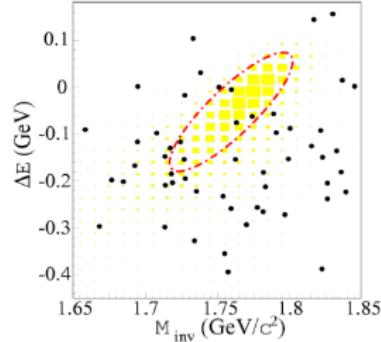


$\tau \rightarrow \mu\gamma$



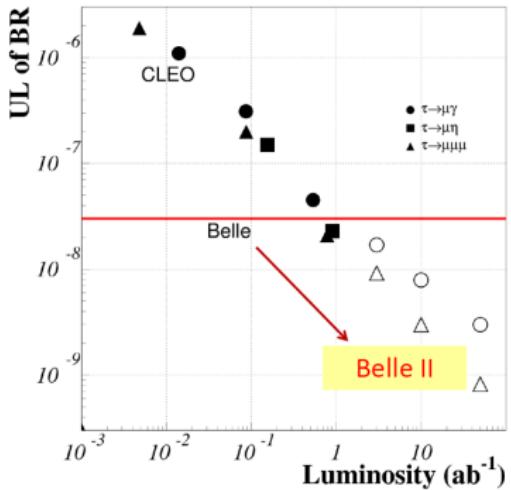
– $\text{Br} < 4.5 \times 10^{-8}$ at 90% C.L.

$\tau \rightarrow e\gamma$



– $\text{Br} < 1.2 \times 10^{-7}$ at 90% C.L.

В экспериментах Belle и BaBar для процессов $\tau \rightarrow l\gamma$ стал виден фон, который полностью устраниТЬ не удается. $\mathcal{B} \propto \frac{1}{\sqrt{\mathcal{L}}}$



Фон от процессов
 $e^+e^- \rightarrow \tau^-\tau^+\gamma \rightarrow \tau^-\nu\bar{\nu}\mu^+\gamma$
ограничивает

чувствительность для $\tau \rightarrow \mu\gamma$.
Есть несколько работ по
изучение чувствительности к
этому процессу на Супер В
фабриках.

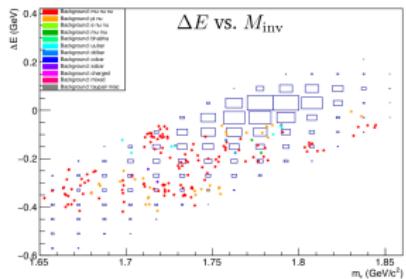
SuperB Progress Reports
Physics. SuperB Collaboration.

arXiv:1008.1541

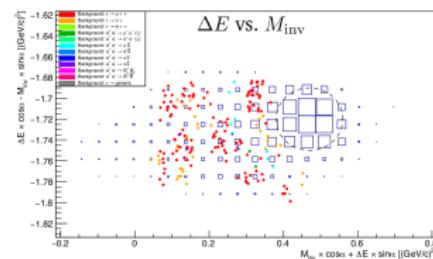
$\mathcal{B}_{\tau \rightarrow \mu\gamma} < 2.4 \times 10^{-9} \text{ @ } 75 \text{ ab}^{-1}$,
260 событий фона.

Physics at Super B Factory
arXiv:1002.5012

$\tau \rightarrow \mu\gamma$ in Belle II (MC study)



$\tau \rightarrow \mu\gamma$ in Belle II (MC study)



- rotating $(M_{\text{inv}}, \Delta E)$ to minimize correlation
 - $\varepsilon_{\text{sig}} = 4.59\%$ with zero background

Выбор стратегии поиска обеспечивающей максимальную чувствительность. Итоговая эффективность порядка 5%.

При наборе данных вблизи порога (для всех энергий СЧТФ), проблемы с фоном от ISR процессов нет! Мы рассматривали в качестве основного источника фона распады пар $\tau^+\tau^-$.

Для этих процессов можно выделить два основных механизма:

- ① Комбинаторный $\tau^+\tau^- \rightarrow \mu\nu\bar{\nu} + n\pi\pi^0\nu$
- ② Прямой $\tau^- \rightarrow \pi^-\pi^0\nu$

Оптимизация детектора под поиск распада $\tau \rightarrow \mu\gamma$ является разумной стратегией. Для увеличения чувствительности к этому процессу нужен хороший калориметр.

- ① Энергитическое разрешение
- ② Высокая эффективность реконструкции π^0
- ③ Хорошее временное разрешение

А также специальная система идентификации для разделения π^\pm/μ^\pm в широком диапазоне импульсов.

Детали моделирования для поиска $\tau \rightarrow \mu\gamma$

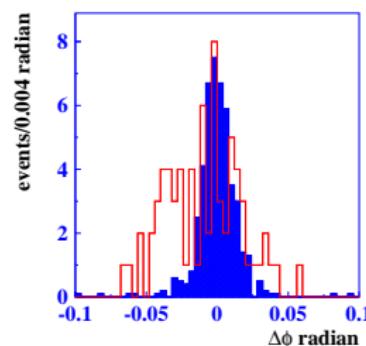
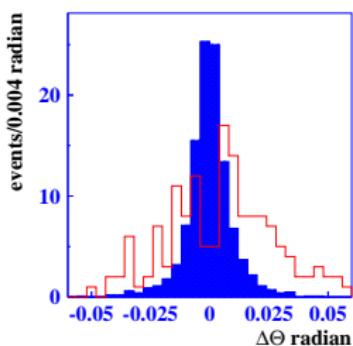
- ① Энергетическое разрешение 1.5% ,2.5 %
- ② Акцептанс
- ③ Импульсное разрешение
- ④ Порог регистрации фотона 20 MeV

A.V. Bobrov, A. E. Bondar Nucl. Phys. B (Proc. Suppl.) 225-227 (2012)
195-197

Nuclear Physics B (Proceedings Supplements), Volume 253, p. 199-201
(2014)

СЧТФ и поиск LFV в распадах τ

Удалось найти переменные в которых подавление фона улучшилось в разы. J. H. Kühn, Phys. Lett. B 313 (1993) 458. Из законов сохранения можно вычислить параметры сигнального фотона по тагирующей системе и сигнальному мюону. Отклонение направления сигнального фотона не содержит энергии фотона. В этих переменных пересечение сигнальных и фоновых процессов значительно уменьшается.



На основе этого моделирования получилась следующая чувствительность к распаду. (10 ab^{-1} π/μ разделение 10). Эффективность к сигналу около 50 %.

разрешение	\mathcal{B}	N_{bg}
1.5%	1.5×10^{-10}	11.5
2.5%	2.5×10^{-10}	45

Сейчас доступны другие работы по данной тематике. Одна из них дает следующий верхний предел 1.8×10^{-9} на 5 ab^{-1} .

Searching for $\tau \rightarrow \mu\gamma$ lepton-flavor-violation decay at super charm-tau factory Zhou Hao, Zhang Ren-You, Han Liang, Ma Wen-Gan, Guo Lei, Chen Chong

arXiv:1602.01181

Yu-Bo Li, Cheng-Ping Shen, and Chang-Zheng Yuan, Sci. Bull. 61, 307 (2016).

- ① Все LFV процессы, которые доступны для изучения на СЧТФ, могут быть изучены на Belle-II
- ② Более высокая эффективность регистрации на СЧТФ, частично или полностью может компенсировать чуть меньшую статистику рожденных пар $\tau^+\tau^- (2.2/4.6 \times 10^{10})$ по сравнению с экспериментом Belle-II, для поиска редких процессов, в частности LFV
- ③ Фоновая ситуация в целом на СЧТФ будет лучше чем на Belle-II, что увеличивает чувствительность
- ④ Необходима качественная система идентификации π/μ
- ⑤ Более сложное моделирование с учетом других источников фона

Приложение

$$P = p_1 + k_1 + p_2 + q_2$$

$$\cos \hat{\Theta} = \frac{P p_1 (P^2/2 - P p_1) - P^2 (m_\tau^2 - m_1^2)/2}{\sqrt{\{P p_1\}^2 - m_1^2 P^2 (P^2/2 - P p_1)}}$$

$$\cos \Theta = \frac{-k_1 p_1 + k_1 P P p_1 / P^2}{\sqrt{(\{P p_1\}^2 / P^2 - m_1^2)(k_1 P)^2 / P^2}}$$

$$\sqrt{1 - \cos^2 \hat{\Theta}} \cos \hat{\phi} = \sqrt{P^2} \times$$

$$\times \frac{m_{\nu\bar{\nu}}^2 - m_\tau^2 - m_2^2 + P p_2 - (P^2 p_1 p_2 - P p_2 P p_1)(m_\tau^2 + m_1^2) / P^2 m_1^2}{2 \sqrt{(-m_2^2 + P p_2^2 / P^2 + \{p_1 p_2 - P p_1 P p_2 / P^2\}^2 / m_1^2) \{P^2 / 2 - P p_1\}^2}}$$

$$\sqrt{1 - \cos^2 \Theta} \cos \phi =$$

$$\frac{k_1 p_2 - k_1 P P p_2 / P^2 - (p_1 p_2 - P p_2 P p_1 / P^2) k_1 p_1 / m_1^2}{\sqrt{(-m_2^2 + P p_2^2 / P^2 + \{p_1 p_2 - P p_1 P p_2 / P^2\}^2 / m_1^2) \{k_1 P\}^2 / P^2}}$$

$$\Delta \Theta = \hat{\Theta} - \Theta \quad \Delta \phi = \hat{\phi}(m_{\nu\bar{\nu}}^2 = 0) - \phi$$