

Поиск нарушений LFV в распаде

$$\tau \rightarrow \mu + \gamma.$$

Бобров А. В.

LFV процессы.

Процессы в которых происходит смешивание лептонов разных поколений экспериментально обнаружены в осцилляциях нейтрино. В секторе зараженных лептонов смешивание не обнаружено.

Распад $\tau \rightarrow \mu + \gamma$ относится к LFV. Стандартная модель дает $Br(\tau \rightarrow \mu\gamma) < 10^{-50}$ (пересчет из данных по осцилляциям нейтрино), различные расширения СМ усиливают эффект до $Br(\tau \rightarrow \mu\gamma) \sim 10^{-8} - 10^{-10}$. Более естественно считать, что $Br(\tau \rightarrow \mu\gamma) \gg Br(\tau \rightarrow e\gamma)$.

Экспериментальный предел $Br(\tau \rightarrow \mu\gamma) < 4.4 \cdot 10^{-8}$, получен на В фабриках ($N_{\bar{\tau}\tau} \sim 10^9, \sigma_{\bar{\tau}\tau} = 0.9$ нб на $\Upsilon(4S)$).

Является сложным для изучения с точки зрения эксперимента и интересным с точки зрения теории.

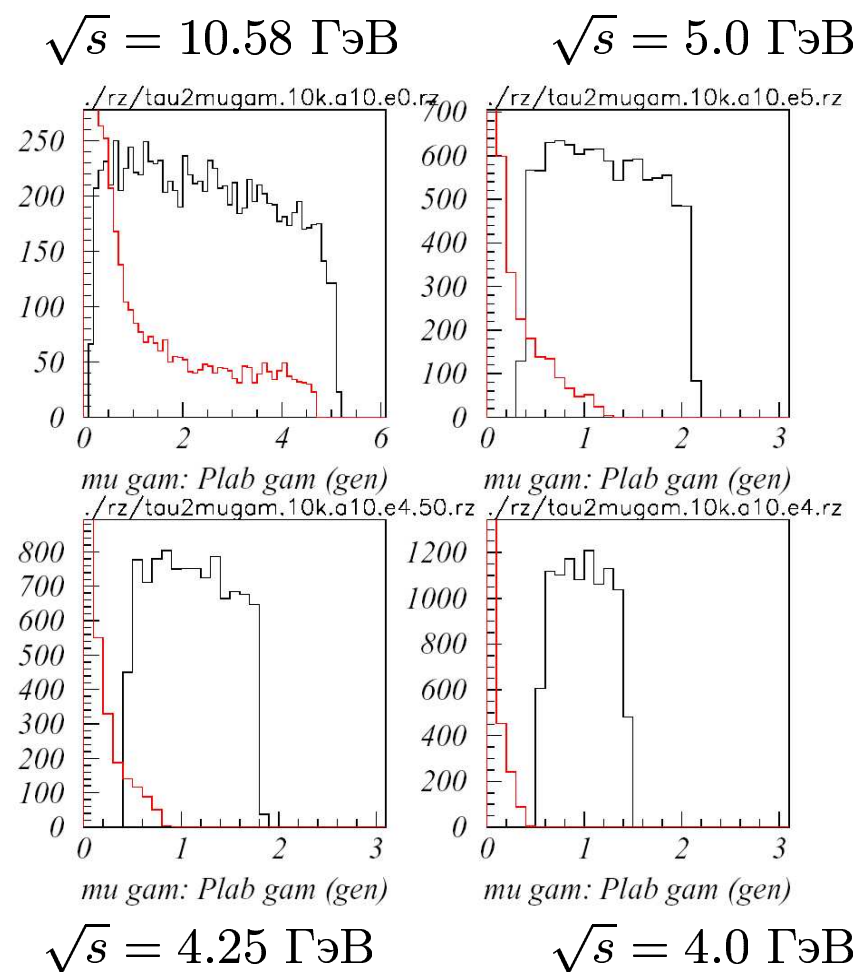
ISR фон на В и супер В фабриках

Фоном к $\tau \rightarrow \mu + \gamma$ является

$$e^-e^+ \rightarrow \tau^+\tau^-\gamma \rightarrow \tau^+\mu^-\nu_\tau\bar{\nu}_\mu\gamma$$

- При энергии $\sqrt{s} < \frac{4m_\tau}{\sqrt{3}} = 4.1$ ГэВ спектры ISR фотона и сигнального не пересекаются
- Существенно меньшее сечение
- Лучшее разрешение по m_{rec}

черным сигнал
красным фон



Предполагаемые источники фона.

- Комбинаторные фоны от распадов $\tau\bar{\tau}$ пар
- Фоны от прямых распадов τ ($\tau^- \rightarrow \pi^- + \pi^0 + \nu_\tau$)
- Фоны от электродинамических процессов
 - аннигиляционные $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-\gamma\gamma$
 - двухфотонные $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-\gamma e^+e^-$
- Фоны от адронного континуума
- Фоны от распадов пар D мезонов (D^+D^- , $D\bar{D}$, D^+D^{*-} , $D\bar{D}^*$)
- Фоны от распадов резонанса ψ'
- Что-то еще?

Совместимость задачи с изучением ψ' , D -мезонов?

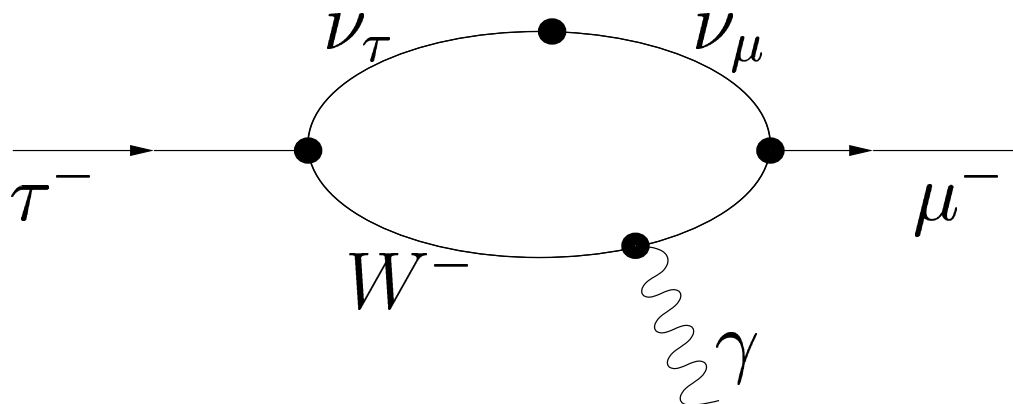
супер *B* фабрика $Br \propto N_{\tau\bar{\tau}}^{-1/2}$ $N_{\tau\bar{\tau}} = 10^{11}$ $Br(\tau \rightarrow \mu\gamma) < 3 \cdot 10^{-9}$,

супер *с τ* фабрика (возможно) $Br \propto N_{\tau\bar{\tau}}^{-1}$ $N_{\tau\bar{\tau}} = 3 \cdot 10^{10}$ (полностью подавить фоновые процессы), более высокая чувствительность?

Основные параметры детектора и ускорителя важные для этой задачи.

- Разрешение калориметра по энергии фотона в области 0.4-1.8 ГэВ
- Эффективность регистрации π^0 когда один из фотонов очень мягкий (до 5 МэВ)
- Качество π/μ разделения в области импульсов 0.4-1.8 ГэВ
- Высокая эффективность регистрации фотонов и заряженных частиц во всем телесном угле

Параметры всех системы важны!



Распад поляризованного τ в $\mu\gamma$
 Лоренц-инвариантность, калибровочная инвариантность.

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

Угловое распределение в системе покоя τ

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

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

$$B(\tau \rightarrow \mu\gamma) \propto |A_L|^2 + |A_R|^2$$

Наличие продольной поляризации электронного пучка в случае регистрации ~ 10 событий позволит измерить $A(\tau \rightarrow \mu\gamma)$.

Тоже самое для $\tau \rightarrow e\gamma$.

Некоторые фоны ($D\bar{D}$) не имеют асимметрии.

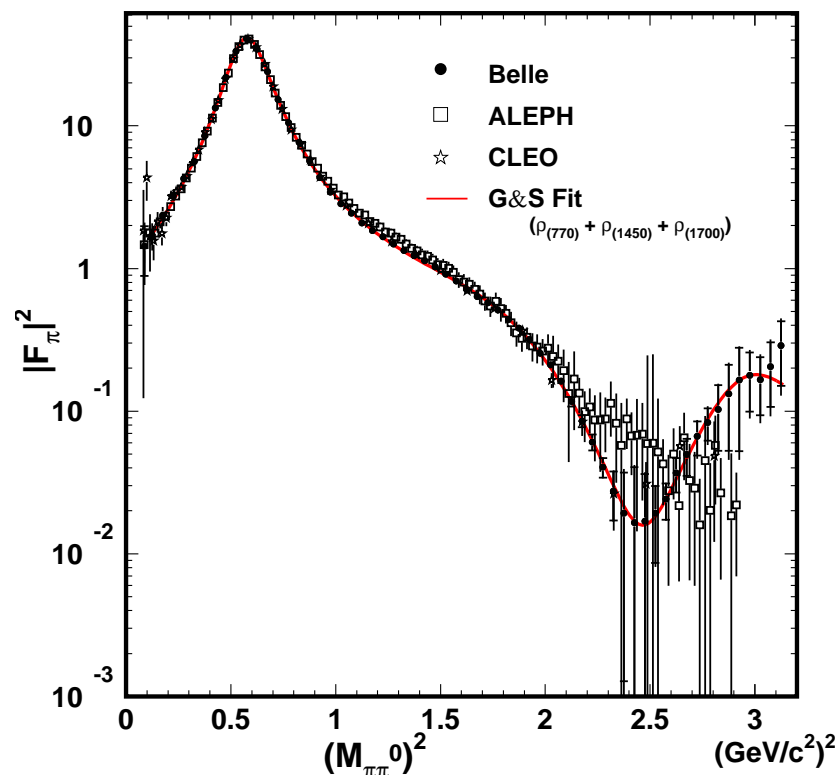
Моделирование распадов

Для $\tau^- \rightarrow \pi^- + \pi^0 + \nu_\tau$ генератор Тауола с модифицированным формфактором. Данные Belle $m_{\pi^0\pi^-} > 1.7$ ГэВ.

Для $\tau \rightarrow \mu + \gamma$ генератор Тауола из $\tau \rightarrow \pi + \nu_\tau$ путем замены $m_\pi \rightarrow m_\mu$.

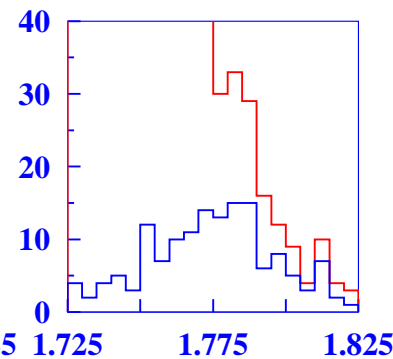
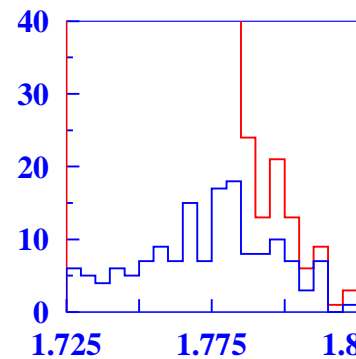
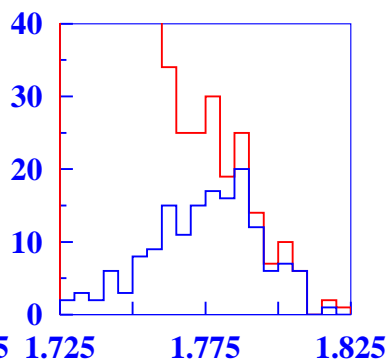
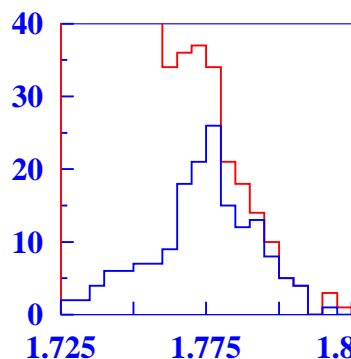
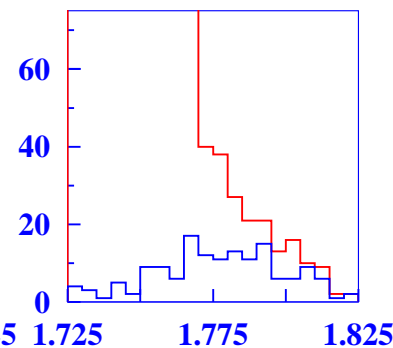
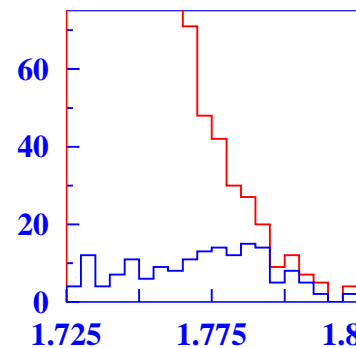
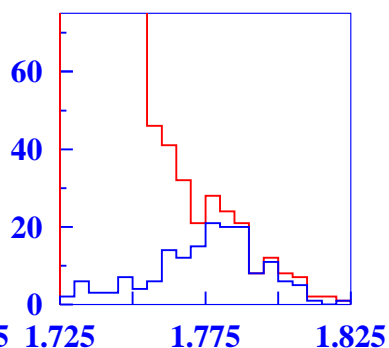
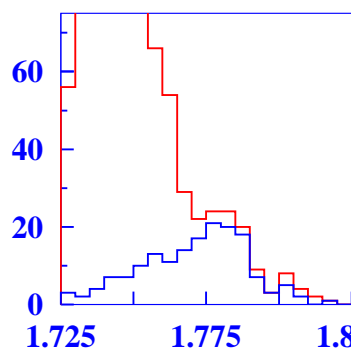
$$Br(\tau \rightarrow \mu\gamma) = 3 \cdot 10^{-9}$$

$$N_{\tau\bar{\tau}} = 3.2 \cdot 10^{10}$$



Моделирование детектора

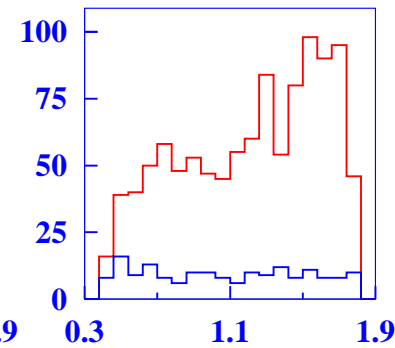
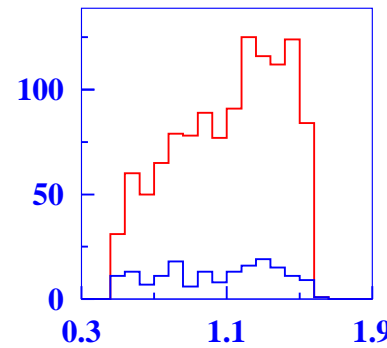
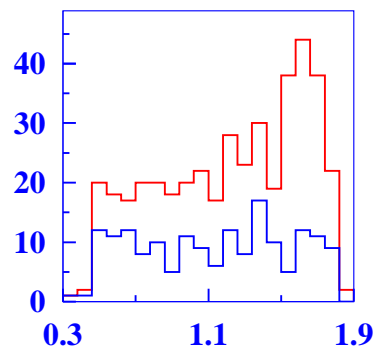
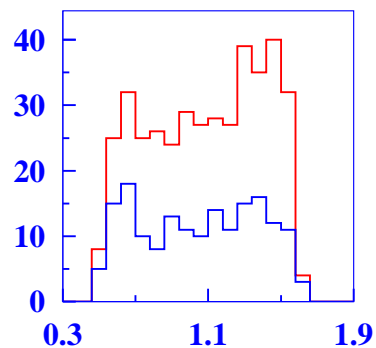
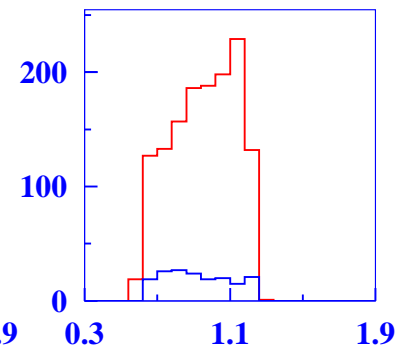
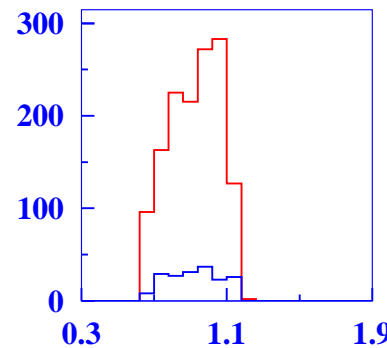
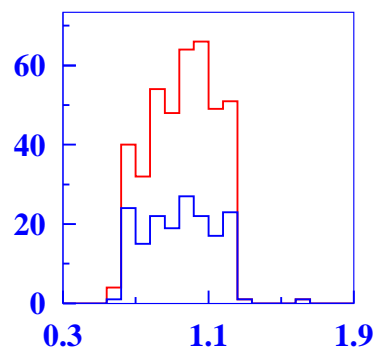
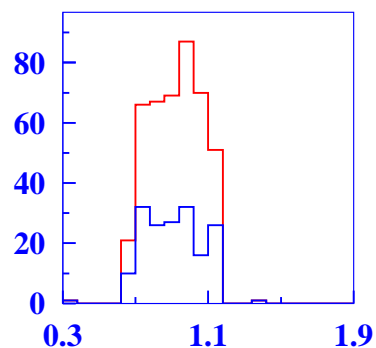
- Энергетическое разрешение калориметра (сшивка гаусса и экспоненты)
- Координатное разрешение по точке конверсии фотона 1 см
- "Дыры" $\Theta < 20^\circ$
- Порог регистрации по энергии фотона 20 МэВ
- Импульсное разрешение заряженных частиц
- Все частицы регистрируются независимо, эффективность 100 %
- Отклик трековой системы на распад $\pi \rightarrow \mu \bar{\nu}_\mu$ не моделировался

$\sqrt{s} = 3.68$ ГэВ $\sqrt{s} = 3.77$ ГэВ $\sqrt{s} = 3.68$ ГэВ $\sqrt{s} = 3.77$ ГэВ M_{vis} GeV M_{vis} GeV $\sqrt{s} = 4.17$ ГэВ $\sqrt{s} = 4.5$ ГэВ $\sqrt{s} = 4.17$ ГэВ $\sqrt{s} = 4.5$ ГэВ

$$\frac{\sigma_E}{E} = 1.5 \%$$

$$\frac{\sigma_E}{E} = 2.5 \%$$

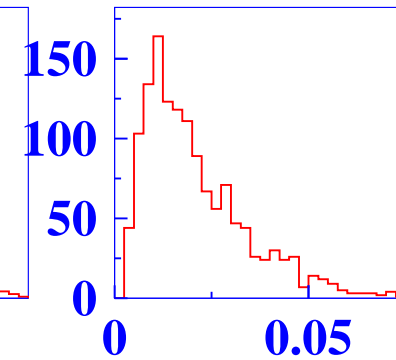
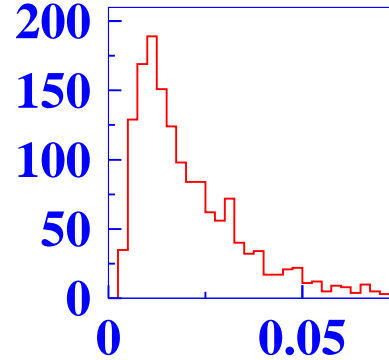
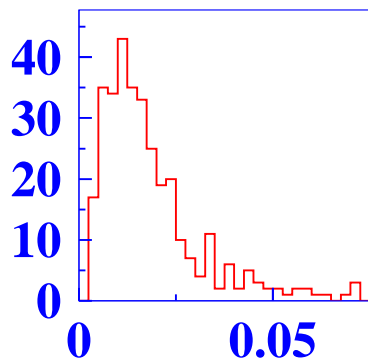
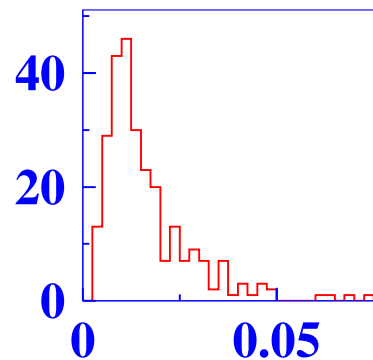
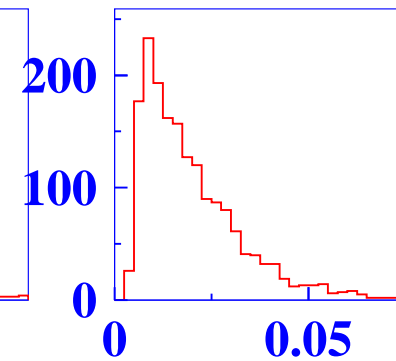
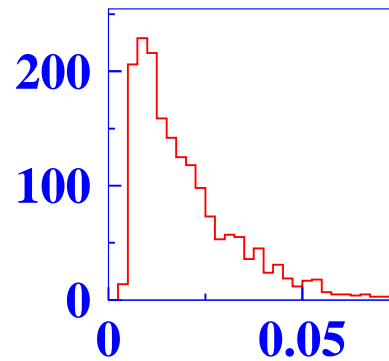
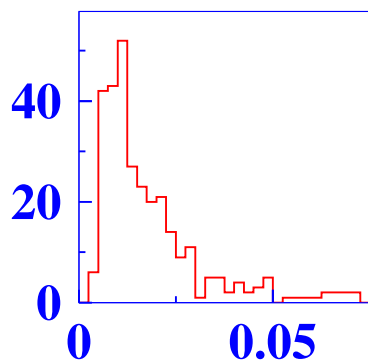
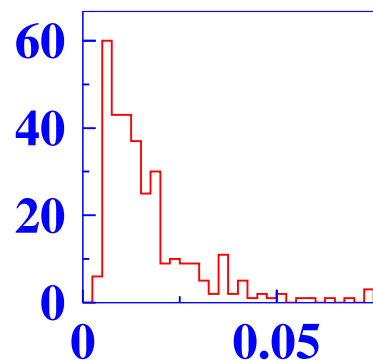
синим сигнал, красным сумма

$\sqrt{s} = 3.68$ ГэВ $\sqrt{s} = 3.77$ ГэВ $\sqrt{s} = 3.68$ ГэВ $\sqrt{s} = 3.77$ ГэВ**P GeV****P GeV** $\sqrt{s} = 4.17$ ГэВ $\sqrt{s} = 4.5$ ГэВ $\sqrt{s} = 4.17$ ГэВ $\sqrt{s} = 4.5$ ГэВ

$$\frac{\sigma_E}{E} = 1.5 \%$$

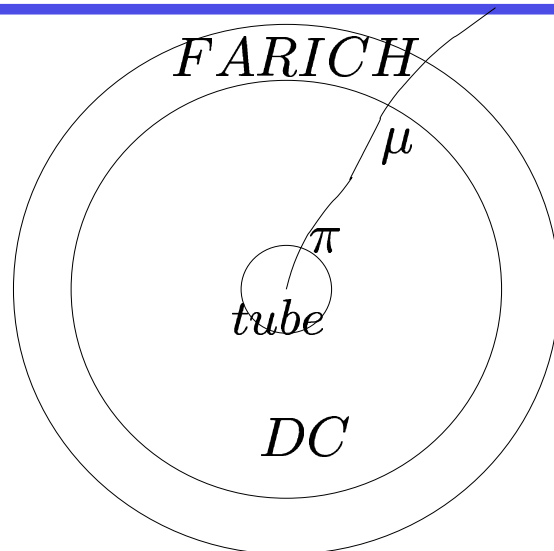
$$\frac{\sigma_E}{E} = 2.5 \%$$

синим сигнал, красным сумма

$\sqrt{s} = 3.68$ ГэВ $\sqrt{s} = 3.77$ ГэВ $\sqrt{s} = 3.68$ ГэВ $\sqrt{s} = 3.77$ ГэВ ω GeV ω GeV $\sqrt{s} = 4.17$ ГэВ $\sqrt{s} = 4.5$ ГэВ $\sqrt{s} = 4.17$ ГэВ $\sqrt{s} = 4.5$ ГэВ

$$\frac{\sigma_E}{E} = 1.5 \%$$

$$\frac{\sigma_E}{E} = 2.5 \%$$



$$n = 1.07 \quad \beta\gamma = 2.8$$

$$\sigma_{\beta} \sim 10^{-3}$$

Детектор должен реконструировать распады $\pi \rightarrow \mu \bar{\nu}_{\mu}$. Вероятность такого процесса ($ct = 7.8$ м, $q = 30$ МэВ) в зависимости от импульсов π и углов вылета меняется в пределах от 5 % до 1 %. Значит степень π/μ подавления в области импульсов до 1.2 ГэВ будет определяться вкладом от распадов. С некоторого уровня чувствительность будет зависеть от эффективности реконструкции данного распада.

Распад может произойти в трековой системе, вакуумной трубе или в FARICH.

$$|E_b - \sqrt{m_\mu^2 + p^2} - \omega| < \Delta E \text{ и } |M_{vis} - m_\tau| < \Delta M, \text{ вето } \pi^0 \text{ (порог 20 МэВ)}$$

$\Delta E/\Delta M$	40 МэВ/30 МэВ	60 МэВ/40 МэВ
\sqrt{s}	$\frac{\sigma_E}{E} = 1.5 \%$	$\frac{\sigma_E}{E} = 2.5 \%$
3.68	$S = 138$	$S = 137$
ГэВ	$N = 262 \ N_d = 8 \ N_\mu = 0$	$N = 1202 \ N_d = 23 \ N_\mu = 0$
3.77	$S = 136$	$S = 130$
ГэВ	$N = 238 \ N_d = 5 \ N_\mu = 1$	$N = 1199 \ N_d = 16 \ N_\mu = 0$
4.17	$S = 140$	$S = 129$
ГэВ	$N = 229 \ N_d = 5 \ N_\mu = 10$	$N = 1011 \ N_d = 15 \ N_\mu = 34$
4.50	$S = 133$	$S = 131$
ГэВ	$N = 249 \ N_d = 2 \ N_\mu = 41$	$N = 888 \ N_d = 13 \ N_\mu = 86$

S – сигнал, N – фон без FARICH и распадов π^\pm , N_d – число распавшихся пионов, N_μ – число идентифицированных как мюоны.

Выводы

- Изучение фона от распада $\tau^- \rightarrow \pi^- \pi^0 \nu_\tau$ показывает что:
 - изменение разрешение калориметра от 1.5 % до 2.5 % увеличивает фон в 4 - 5 раз;
 - вето на π^0 начинает эффективно работать от энергий мягкого фотона 15-12 МэВ;
 - при энергиях $\sqrt{s} = 3.86$ ГэВ и $\sqrt{s} = 3.77$ ГэВ FARICH позволяет полностью подавить фон (без учета распадов $\pi \rightarrow \mu \bar{\nu}_\mu$), при $\sqrt{s} = 4.17$ ГэВ и $\sqrt{s} = 4.5$ ГэВ фон остается;
 - итоговая чувствительность будет зависеть от эффективности реконструкции распада $\pi \rightarrow \mu \bar{\nu}_\mu$;
- В случае регистрации процессов $\tau \rightarrow \mu \gamma$, $\tau \rightarrow e \gamma$ продольная поляризация позволяет определить параметр асимметрии распадов на малой статистике (~ 10 событий)

Планы

- Изучение других источников фона
- Совершенствовать моделирование детектора
- Сформулировать требования для параметров детектора
- Поиск оптимальной стратегии

Список литературы

- [1] B. Aubert, et al, Phys. Rev. Lett. **95**, 041802 (2008)
- [2] K.Hayasaka, et al, Phys. Lett. **B666**: 16-22 (2008)
- [3] M. Fujikawa, H. Hayashii, S. Eidelman, for the Belle Collaboration, Phys. Rev. **D78** 072006 (2008)
- [4] J.A. Casas A. Ibarra Nucl. Phys. **B618** 171-204 (2001)
- [5] Ken-ichi Okumura arXiv:hep-ph/0004025
- [6] Rougé A. 1st Workshop on Tau-lepton Physics, Orsay, France, 24 - 27 Sep 1990, pp.213-222
- [7] The ALEPH collaboration. Measurement of the Tau Polarization at the Z Resonance. CERN-PPE/93-39.
- [8] Y. S. Tsai, Phys. Rev. D **4**, 2821 1971.
- [9] Y. S. Tsai, Phys. Rev. D **51**, 3172 1995.
- [10] The Belle Detector. The Belle collaboration. KEK Progress Report 2000