

Распад $\tau \rightarrow \mu + \gamma$

на $c - \tau$ фабрике.

Одним из пунктов физической программы проекта $c - \tau$ фабрики является поиск распадов τ -лептона нарушающих закон сохранения лептонного аромата. Распад $\tau \rightarrow \mu + \gamma$ относится к этой категории распадов (СМ $Br(\tau \rightarrow \mu\gamma) < 10^{-50}$, расширения $Br(\tau \rightarrow \mu\gamma) \sim 10^{-8} - 10^{-10}$).

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

Хорошо подходит для формулирования требований на основные параметры (за исключением трековой системы!) детектора для $c - \tau$ фабрики. Может стать одним из "флагов" проекта?

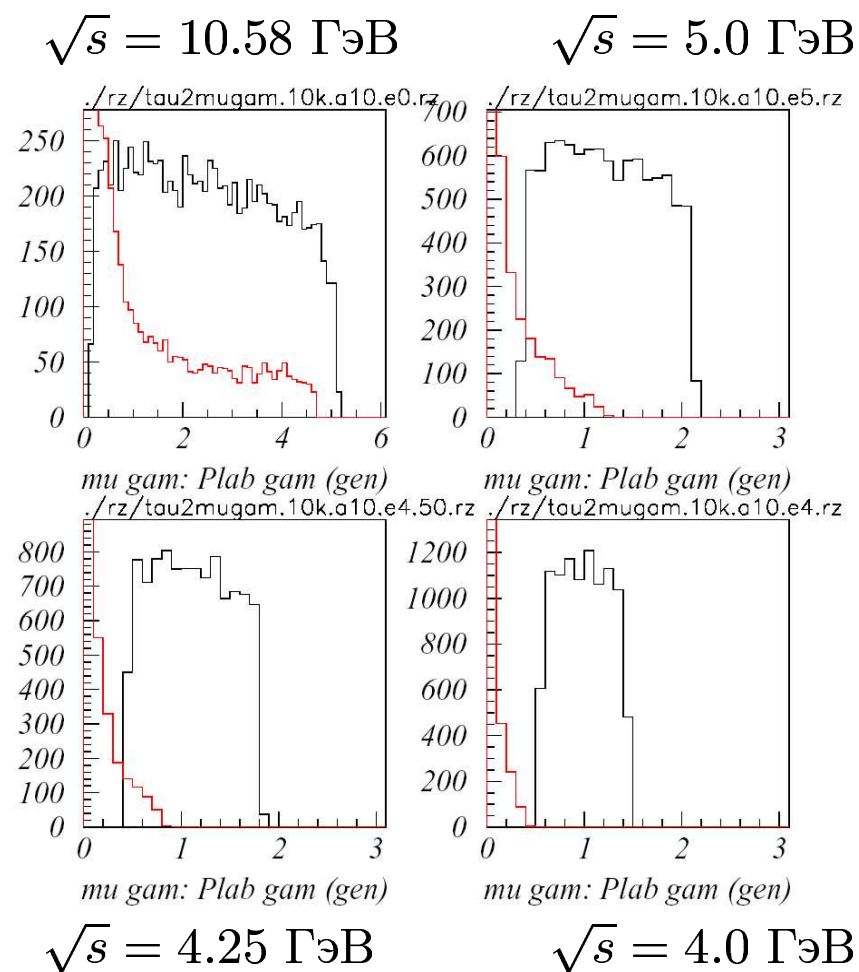
$Br(\tau \rightarrow \mu\gamma) < 4.4 \cdot 10^{-8}$ (скорее всего улучшится в 1.5 раза), B фабрики (порядка 10^9 пар $\tau\bar{\tau}$, фон ISR)

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 для супер с- τ фабрики.

- 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 $c - \tau$ 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
 - уровень фона фотонов малых энергии до 20 МэВ ($\frac{m_{\pi^0}^2}{2m_\tau} \sim 5$ МэВ)
 - эффективность регистрации фотонов малых энергий до 20 МэВ ($\frac{m_{\pi^0}^2}{2m_\tau} \sim 5$ МэВ)
- Уровень π/μ разделения в области импульсов 0.4-1.8 ГэВ
- Высокая эффективность регистрации фотонов и заряженных частиц во всем телесном угле

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
- Идентификация частиц не моделировалась

Моделирование распадов

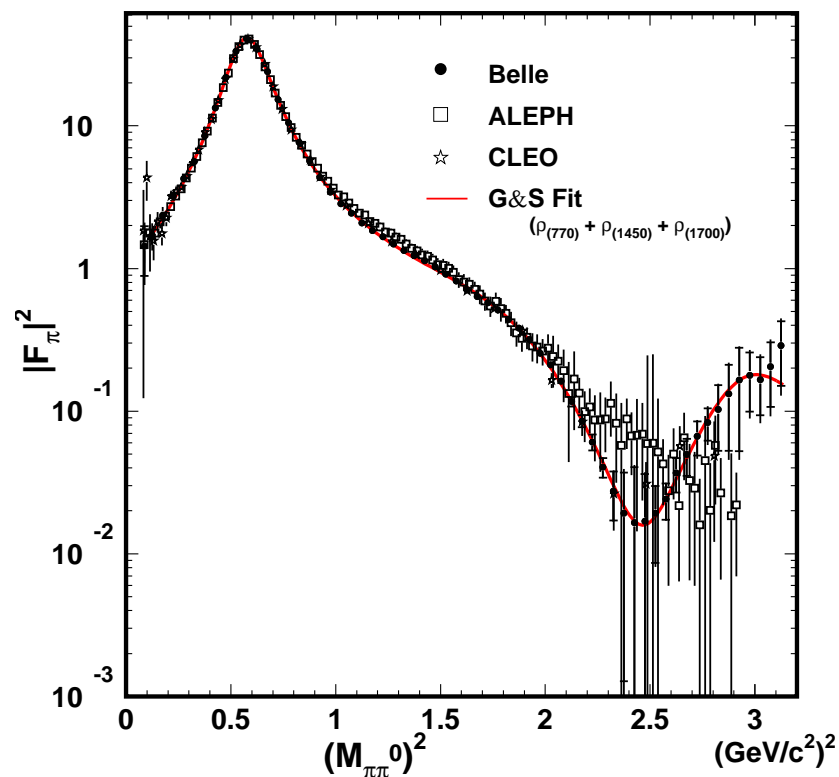
Для $\tau^- \rightarrow \pi^- + \pi^0 + \nu_\tau$ генератор Тауола с модифицированным формфактором. Данные Belle. $m_{\pi^0\pi^-} > 1.7$ ГэВ, увеличение эффективности на 4 порядка.

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

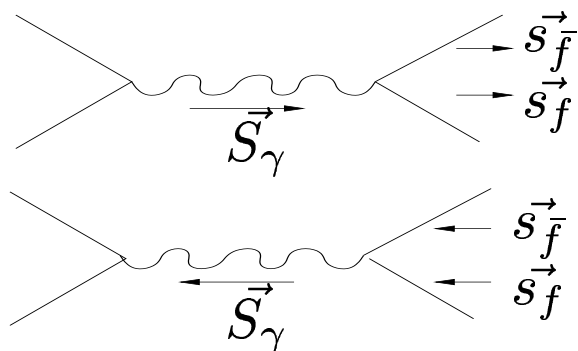
Распад $\pi \rightarrow \mu \bar{\nu}_\mu$ не моделировался

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

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



Продольная поляризация электронного пучка



S -волна $s \sim 4m_f^2$, появление векторной компоненты поляризации виртуального фотона \rightarrow поляризация фермион антифермионной пары.

Распады τ -лептона, странных и одного очарованного барионов ($\Lambda, \Sigma^+, \Sigma^-, \Xi^0, \Xi^-, \Omega^-, \Lambda_b$), $\vec{s}\vec{p}$ слагаемые.

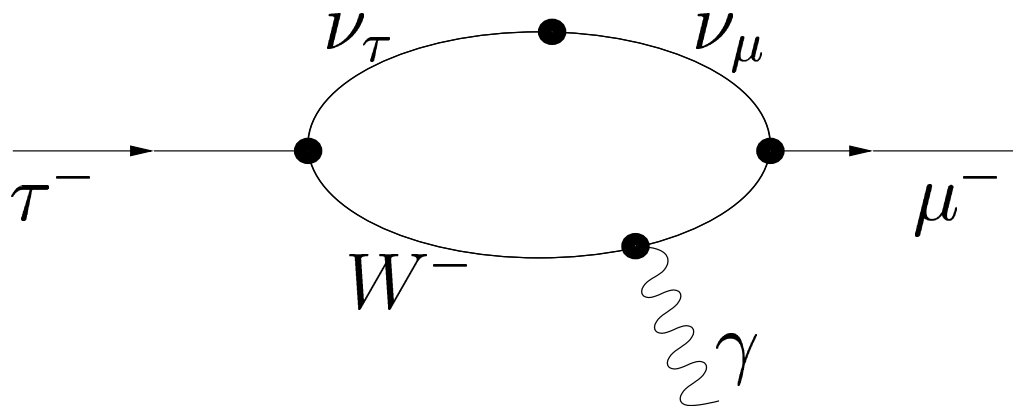
Одновременная циркуляция пучков с разными поляризациями, устранение систематик связанных с асимметрией детектора.

Проигрыш по светимости?

Без поляризации.

Изучение корреляций распадов двух частиц.

Низкая эффективность, неприменим для редких распадов, более сложный.



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 τ

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

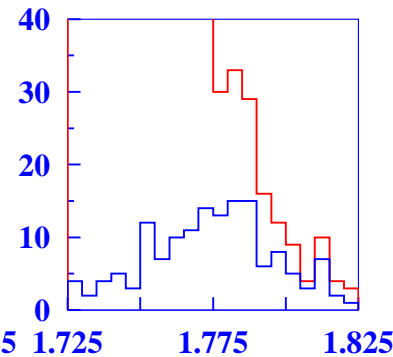
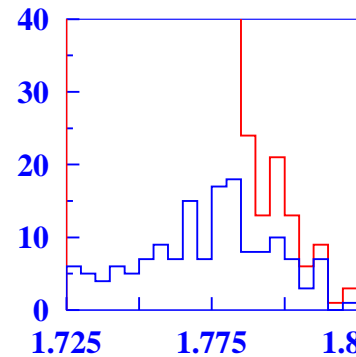
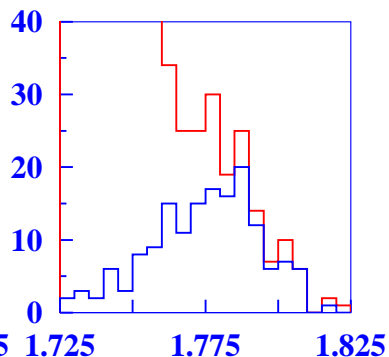
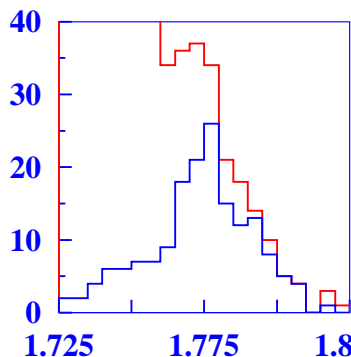
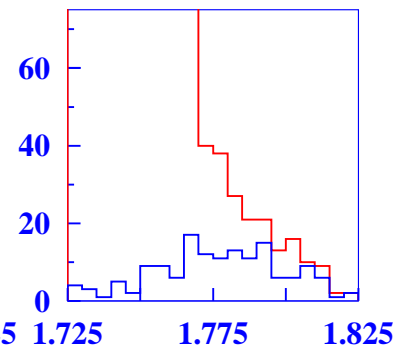
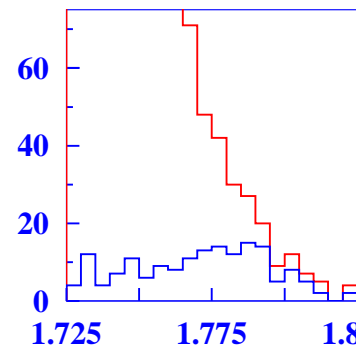
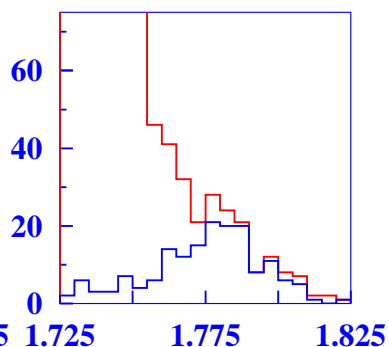
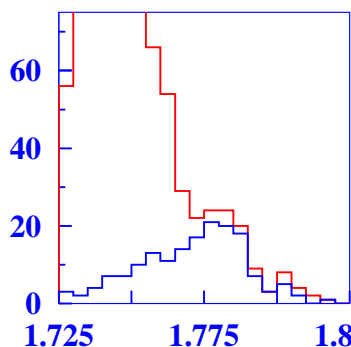
$$A(\tau \rightarrow \mu\gamma) = \frac{|A_L|^2 - |A_R|^2}{|A_L|^2 + |A_R|^2}$$

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

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

То же самое для $\tau \rightarrow e\gamma$.

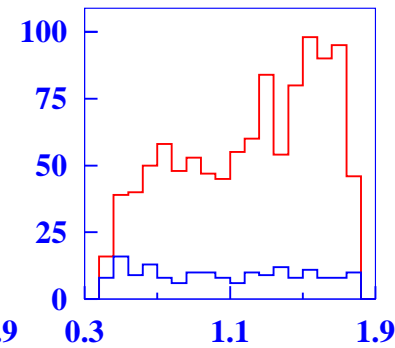
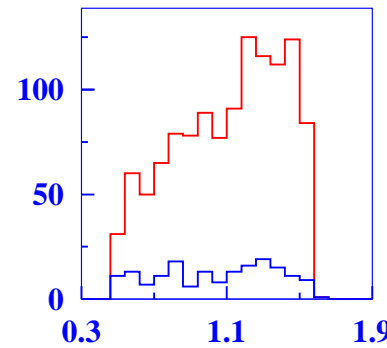
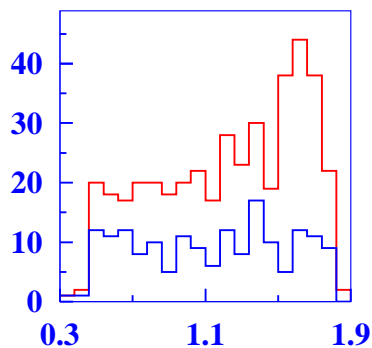
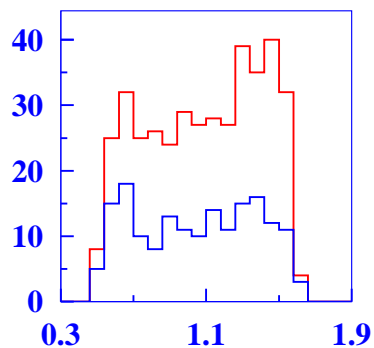
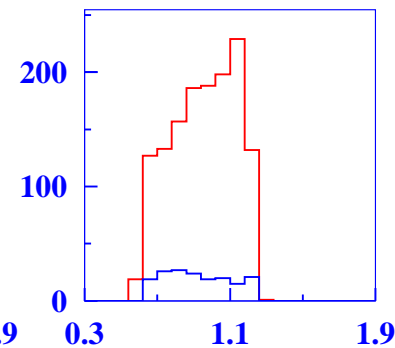
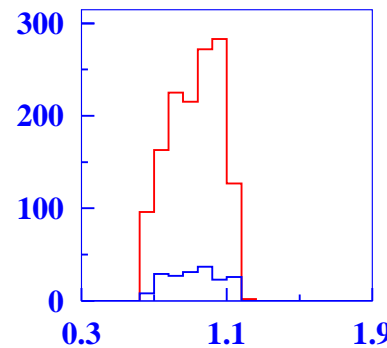
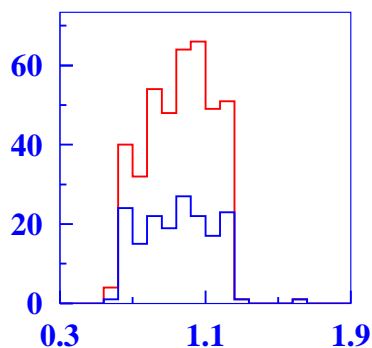
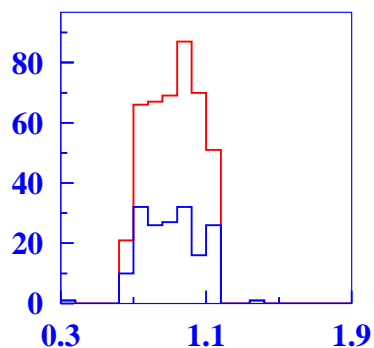
Некоторые фоны ($D\bar{D}$) не имеют асимметрии.

$\sqrt{s} = 3.68$ 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

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

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

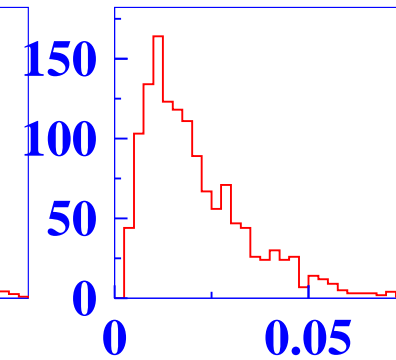
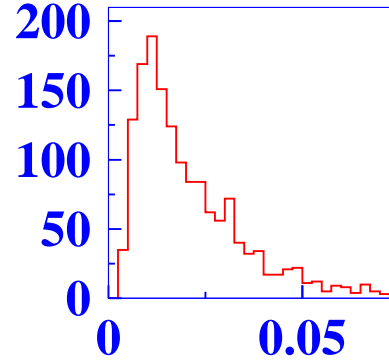
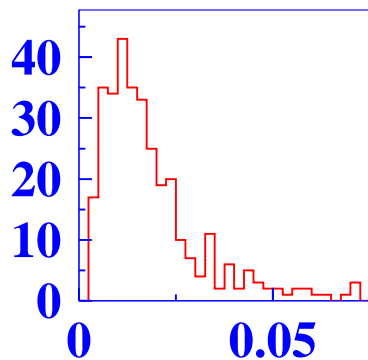
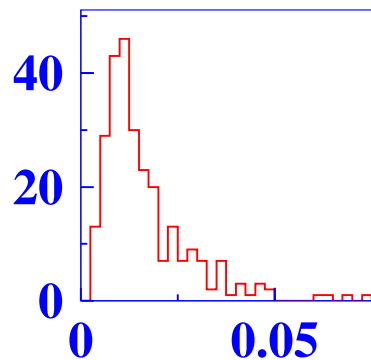
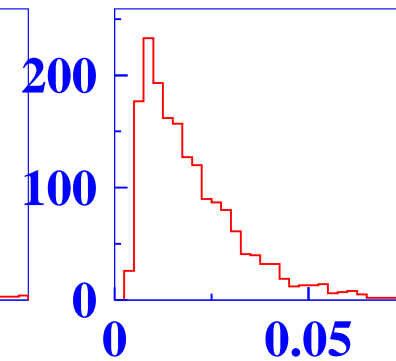
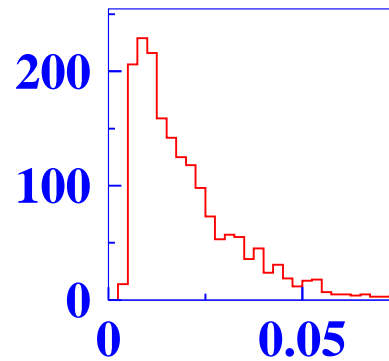
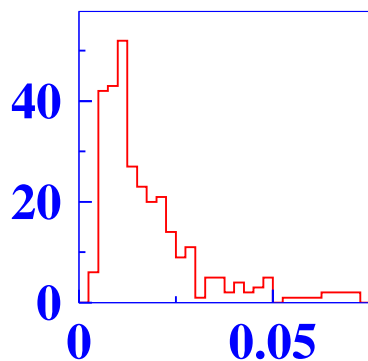
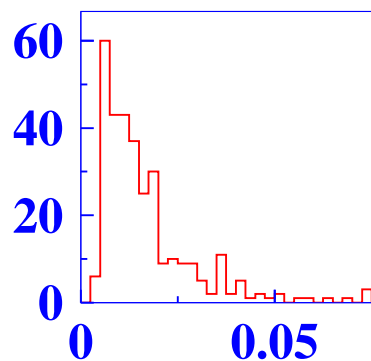
синим сигнал, красным сумма

$\sqrt{s} = 3.68$ 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

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

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

$$|E_b - \sqrt{m_\mu^2 + p^2} - \omega| < \Delta E \text{ и } m_\tau + \Delta M_+ > M_{vis} > m_\tau - \Delta M_-, \text{ вето } \pi^0$$

ΔE	40 МэВ	60 МэВ	40 МэВ	60 МэВ
ΔM_+	30 МэВ	40 МэВ	30 МэВ	40 МэВ
ΔM_-	30 МэВ	40 МэВ	0 МэВ	0 МэВ
\sqrt{s}	$\frac{\sigma_E}{E} = 1.5 \%$	$\frac{\sigma_E}{E} = 2.5 \%$	$\frac{\sigma_E}{E} = 1.5 \%$	$\frac{\sigma_E}{E} = 2.5 \%$
3.68	$\frac{S}{B} = 0.55 \pm 0.05$	$\frac{S}{B} = 0.12 \pm 0.02$	$\frac{S}{B} = 5 \pm 1$	$\frac{S}{B} = 1 \pm 0.2$
ГэВ	$S = 145 \ N = 262$	$S = 144 \ N = 1202$	$S = 65 \ N = 13$	$S = 72 \ N = 69$
3.77	0.6 ± 0.05	0.12 ± 0.02	5 ± 1	1 ± 0.2
ГэВ	$S = 143 \ N = 238$	$S = 137 \ N = 1199$	$S = 82 \ N = 16$	$S = 74 \ N = 68$
4.17	0.65 ± 0.05	0.12 ± 0.02	4 ± 1	0.8 ± 0.2
ГэВ	$S = 148 \ N = 229$	$S = 136 \ N = 1011$	$S = 68 \ N = 17$	$S = 68 \ N = 85$
4.50	0.55 ± 0.05	0.14 ± 0.02	3 ± 1	1 ± 0.2
ГэВ	$S = 140 \ N = 249$	$S = 137 \ N = 888$	$S = 75 \ N = 23$	$S = 69 \ N = 67$

Выводы

- Изучение фона от распада $\tau^- \rightarrow \pi^- \pi^0 \nu_\tau$ показывает что:
 - Соотношение $\frac{S}{B}$ уменьшается примерно в 5 раз при изменении энергетического разрешения калориметра от 1.5 % до 2.5 %
 - Для сохранения режима $Br \propto N_{\tau\bar{\tau}}^{-1}$ необходимо π/μ подавление как минимум $\frac{1}{20} - \frac{1}{30}$ FARICH и реконструкция π^0 для которых один из фотонов имеет энергию до 20 МэВ
- Процесс $\tau^- \rightarrow \pi^- \pi^0 \nu_\tau$ может является не главным источником фона
- 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

- Определить фон от комбинаторных распадов $\tau\bar{\tau}$
- Определить фон от электродинамических процессов
- Понять совместимость задачи с изучением D мезонов и ψ'
- Сформулировать требования к детектору
- Совершенствовать моделирование детектора
- Разработать стратегию поиска распада $\tau \rightarrow \mu\gamma$ в зависимости от параметров детектора

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