

Поиск процесса $e^+e^- \rightarrow D^{*0}$ (2007) с детектором КМД-3

Дима Шемякин
ИЯФ СО РАН



Budker Institute of
Nuclear Physics
Siberian Branch of RAS

N* Novosibirsk
State
University
*THE REAL SCIENCE



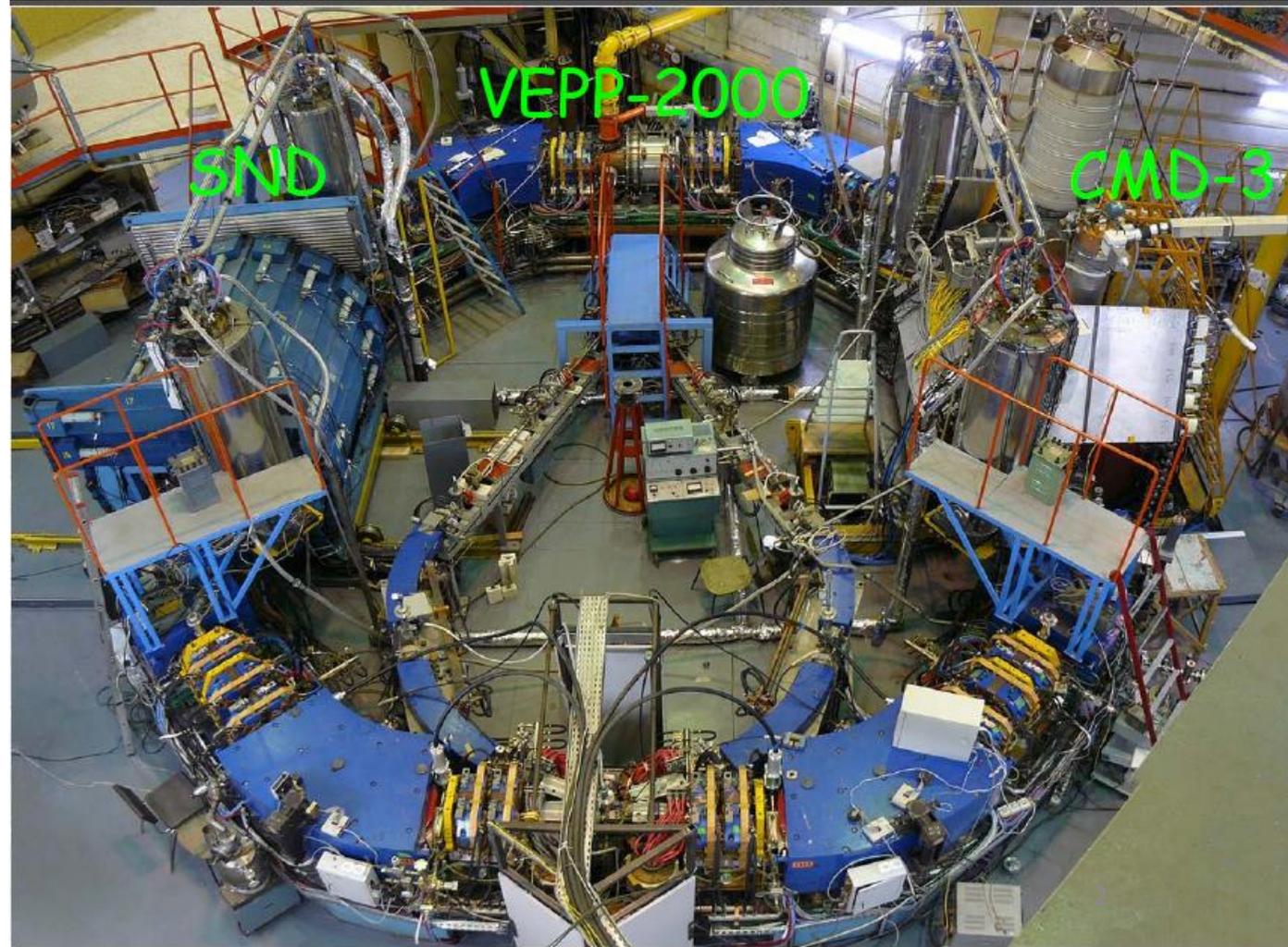
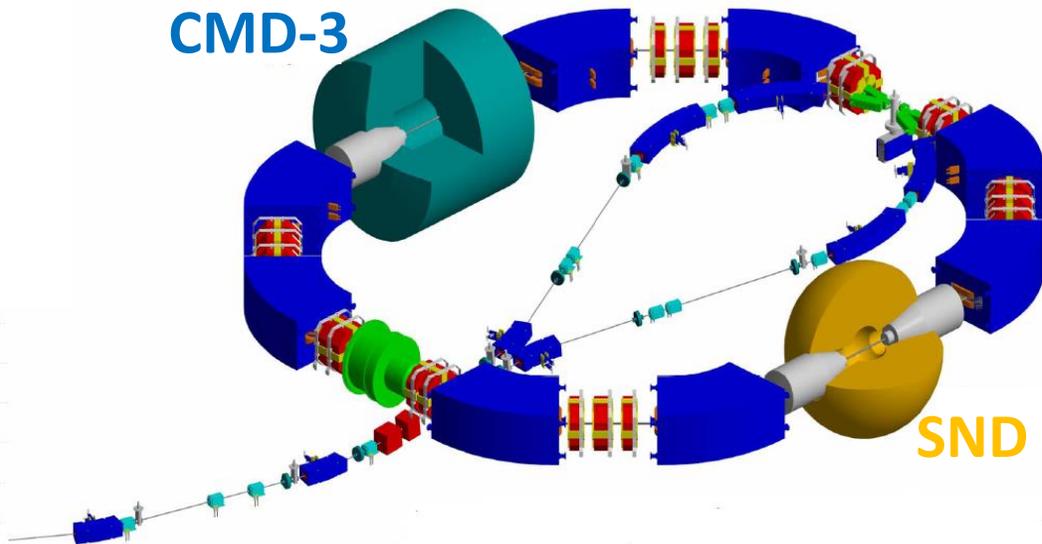
академпарк

**Сессия-конференция
Секции ядерной физики
ОФН РАН**

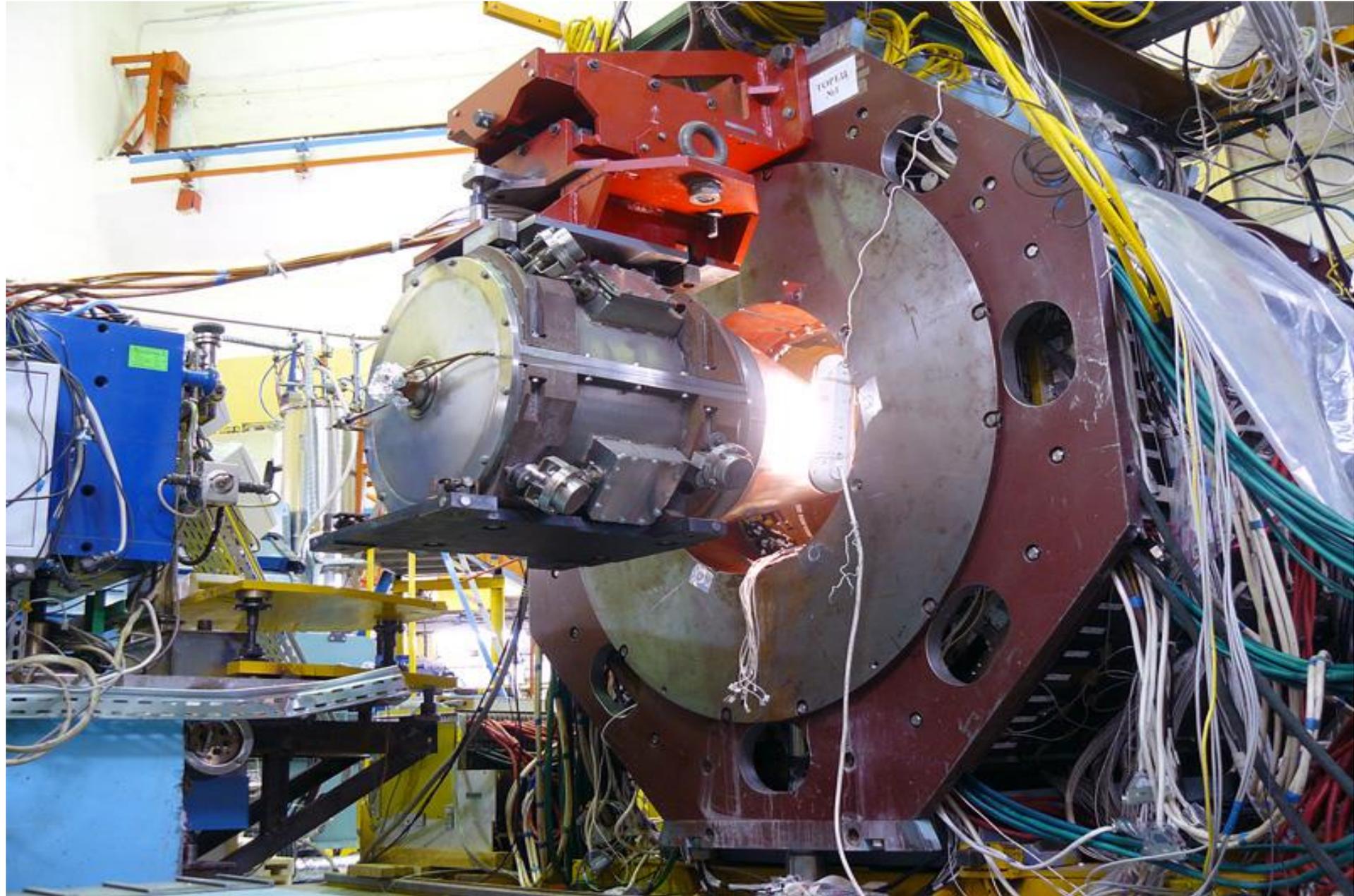
10 - 12 марта 2020 г.

VEPP-2000

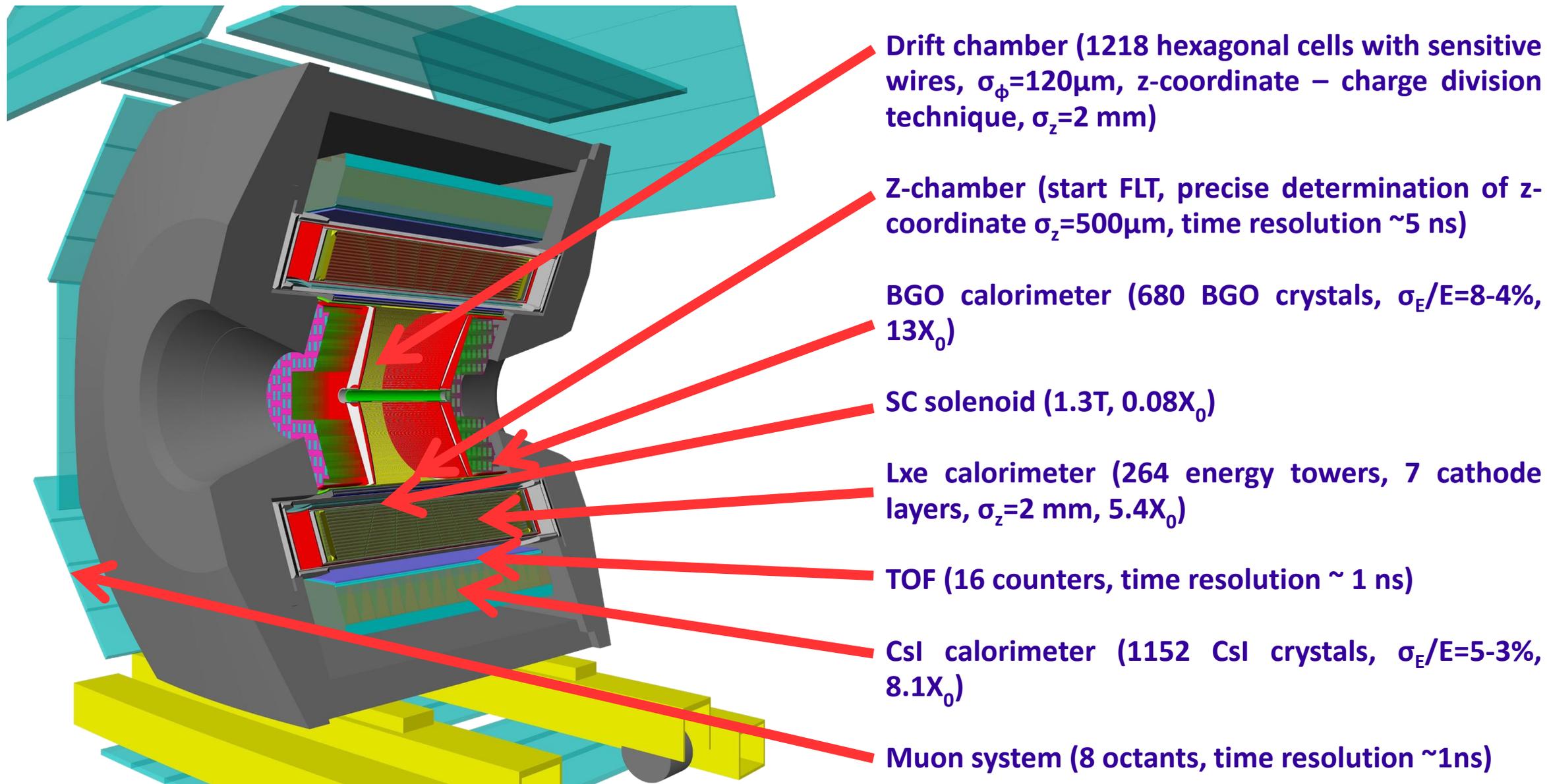
- VEPP-2000 (Novosibirsk, Russia) scans the \sqrt{s} in the range from 0.32 to 2.01 GeV
- Beam energy is monitored by the Compton backscattering laser light system with ~ 50 keV precision
- Uses “round beams” technique (focusing solenoids)
- Maximum luminosity achieved - $4 \times 10^{31} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
- CMD-3 and SND detectors placed at two beam interaction points



CMD-3 DETECTOR



CMD-3 DETECTOR

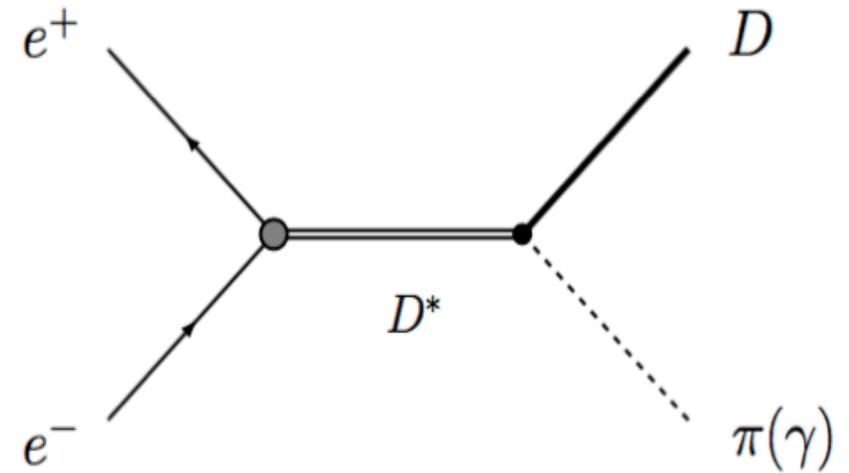


Мотивация

Измерение вероятности распада $D^{*0} \rightarrow e^+e^-$ является хорошим способом поиска новой физики.

В Стандартной модели $\mathcal{B}(D^{*0} \rightarrow e^+e^-) \sim (0.1-5) \times 10^{-19}$, что значительно меньше, чем в некоторых моделях. Например, в модели с нейтральным слабым током изменяющим аромат бранчинг $\mathcal{B}(D^{*0} \rightarrow e^+e^-) \sim 2.5 \times 10^{-11}$

Alexander Khodjamirian, Thomas Mannel and Alexey A. Petrov
[High Energ. Phys. (2015) 2015: 142.]



$$\Gamma_0 = \Gamma(D^{*0} \rightarrow D^0\pi^0) + \Gamma(D^{*0} \rightarrow D^0\gamma)$$

$$\simeq \frac{\Gamma_+ \mathcal{B}_{D^{*+} \rightarrow D^0\pi^+}}{2} \left(\frac{\lambda(m_{D^{*0}}^2, m_{D^0}^2, m_{\pi^0}^2)}{\lambda(m_{D^{*+}}^2, m_{D^0}^2, m_{\pi^+}^2)} \right)^{3/2} \left(1 + \frac{\mathcal{B}_{D^{*0} \rightarrow D^0\gamma}}{\mathcal{B}_{D^{*0} \rightarrow D^0\pi^0}} \right) \simeq 60 \text{ keV}$$

$$\sigma(e^+e^- \rightarrow D\pi)_{\sqrt{s} \simeq m_{D^*}} \equiv \sigma_{D^*}(s) = \frac{12\pi}{m_{D^*}^2} \mathcal{B}_{D^* \rightarrow e^+e^-} \mathcal{B}_{D^* \rightarrow D\pi} \frac{m_{D^*}^2 \Gamma_0^2}{(s - m_{D^*}^2)^2 + m_{D^*}^2 \Gamma_0^2}$$

Основная идея анализа

При средней энергии в системе центра масс $E=2006.62$ МэВ было набрана статистика отвечающая интегральной светимости $L=3.7$ пбн⁻¹. Данная энергия близка к массе D^{*0} мезона $m_{D^{*0}}=2006.85 \pm 0.05$ МэВ.

В данном анализе мы использовали две основных мода распада D^{*0} :

$$D^{*0} \rightarrow D^0 \pi^0 \quad B=64.7 \pm 0.9 \%$$

$$D^{*0} \rightarrow D^0 \gamma \quad B=35.3 \pm 0.9 \%$$

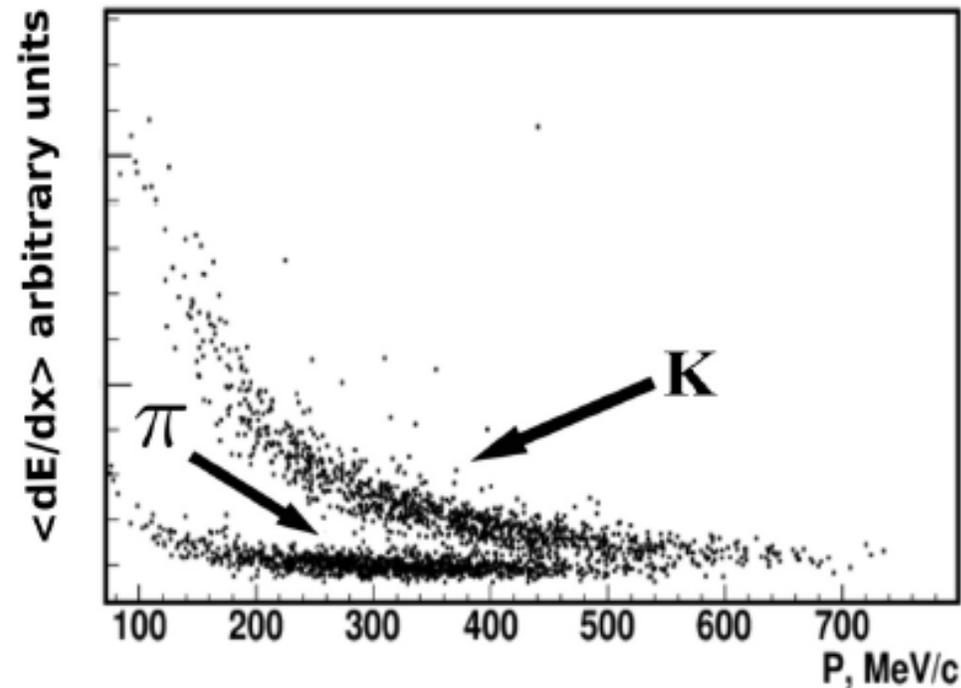
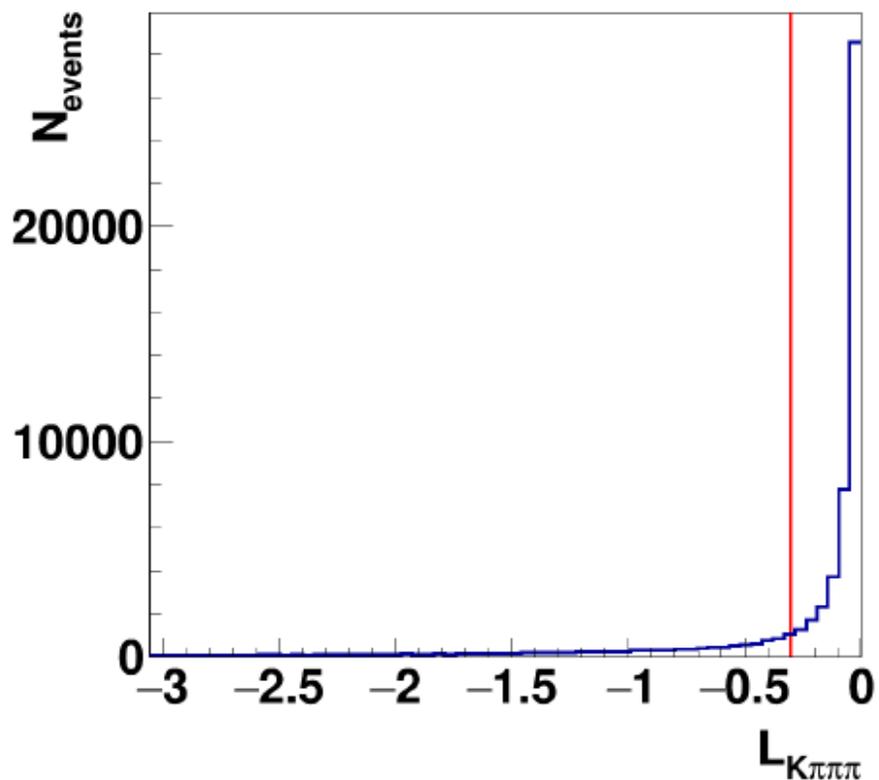
D^0 восстанавливался в канале $D^0 \rightarrow K-\pi+\pi-\pi+$ ($B=8.11 \pm 0.15\%$). К/π разделение осуществляется по ионизационным потерям в дрейфовой камере.

На основе моделирования детектора КМД-3 была получена эффективность регистрации процесса $D^{*0} \rightarrow D^0 \pi^0(\gamma) \rightarrow K-\pi+\pi-\pi+0(\gamma)$.

К/π разделение

По событиям $e^+e^- \rightarrow K^+K^-\pi^+\pi^-$ и $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^+\pi^-$ были построены функции плотности вероятности $f_{K|\pi}(p, dE/dx)$. С их использованием была построена функция максимального правдоподобия:

$$L_{K\pi\pi\pi} = \log \left(\frac{\prod f_{\alpha}^i(p, dE/dx_{DC})}{\prod [f_{\pi}^i(p, dE/dx_{DC}) + f_{K}^i(p, dE/dx_{DC})]} \right)$$



Для каждого события с четырьмя треками определялось какой трек наиболее вероятно является каоном. Дополнительное условие на значение $L_{K\pi\pi\pi} > -0.3$ позволяет также подавить фон от событий без каонов или с двумя и более каонами.

Условия на энергию и импульс

Для событий полная энергия системы из четырёх частиц определяется как:

$$E_{tot} = \sum_{i=1}^4 \sqrt{p_i^2 + m_\pi^2} - 2E_{beam}$$

На гистограмме изображена полная энергия системы от модуля полного импульса.

Красные точки – моделирование $D^{*0} \rightarrow D^0\pi^0$

Синие – моделирование $D^{*0} \rightarrow D^0\gamma$

Черные – экспериментальные данные.

В анализе используются следующие критерии отбора:

$$D^{*0} \rightarrow D^0\pi^0$$

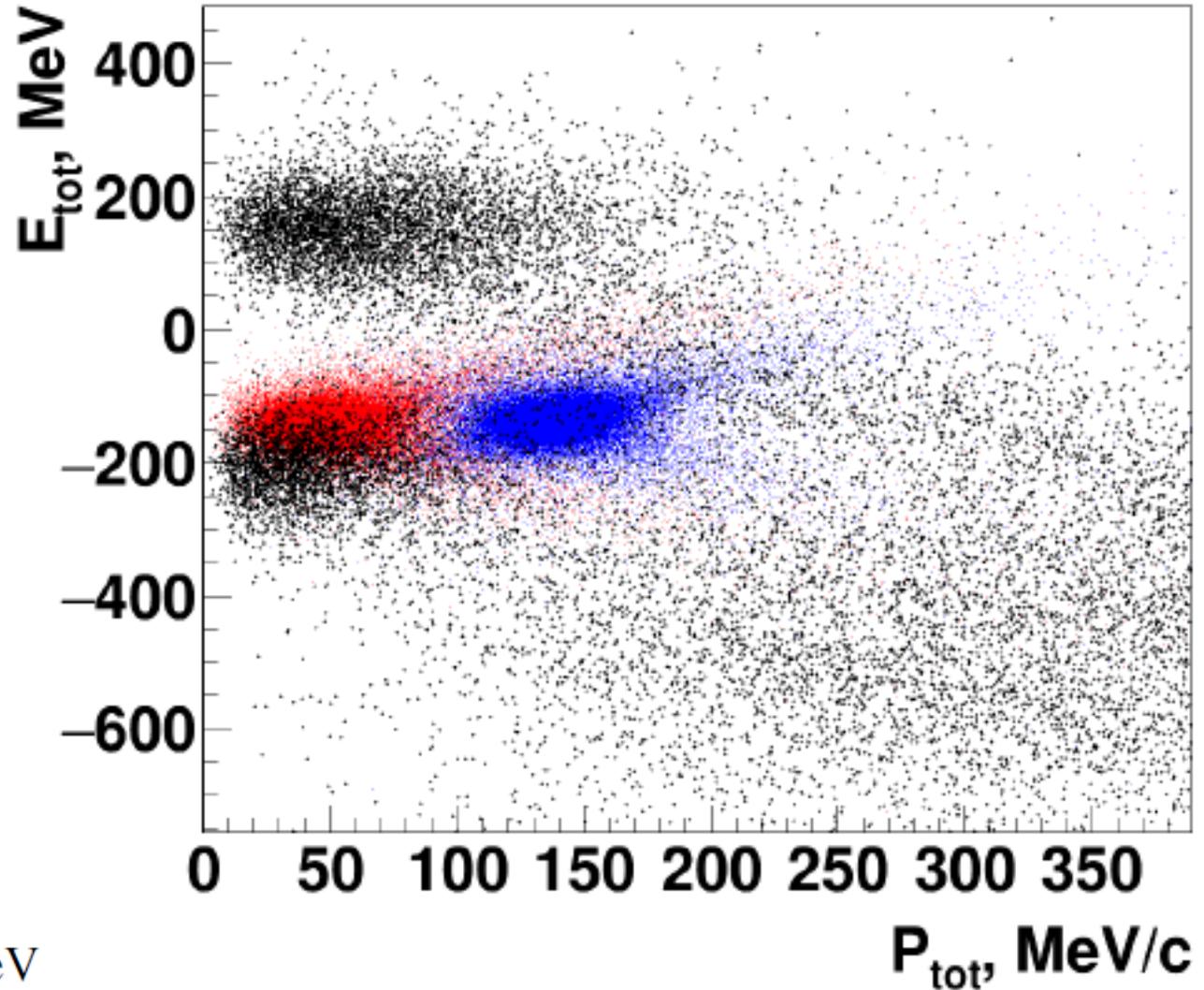
$$D^{*0} \rightarrow D^0\gamma$$

- $|E_{tot} - 141.6| < 40 \text{ MeV}$

- $|E_{tot} - 136.6| < 40 \text{ MeV}$

- $|P_{tot} - 46| < 50 \text{ MeV}/c$

- $|P_{tot} - 138.6| < 50 \text{ MeV}/c$



Дополнительное подавление фона

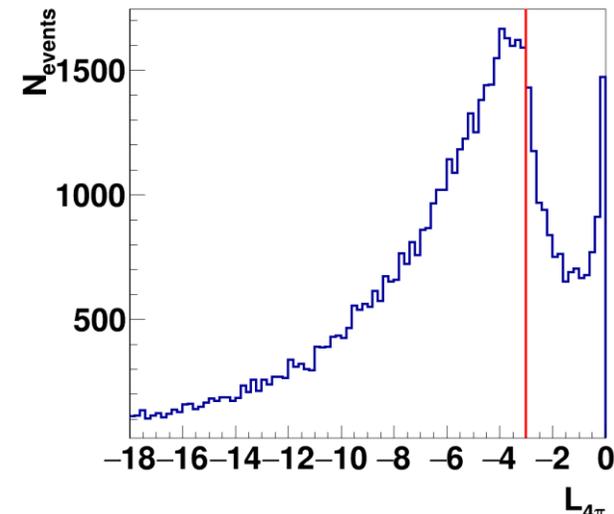
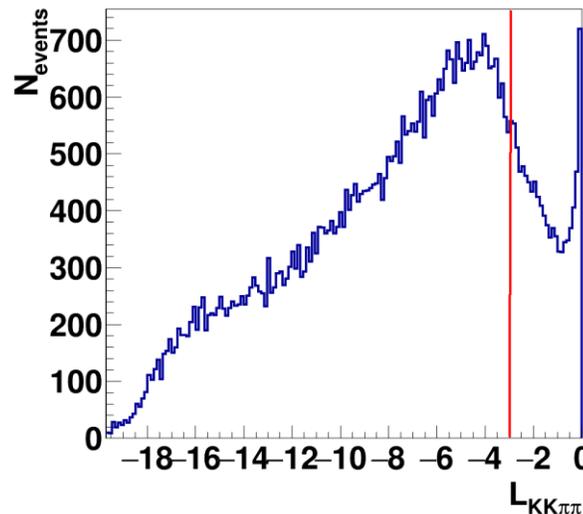
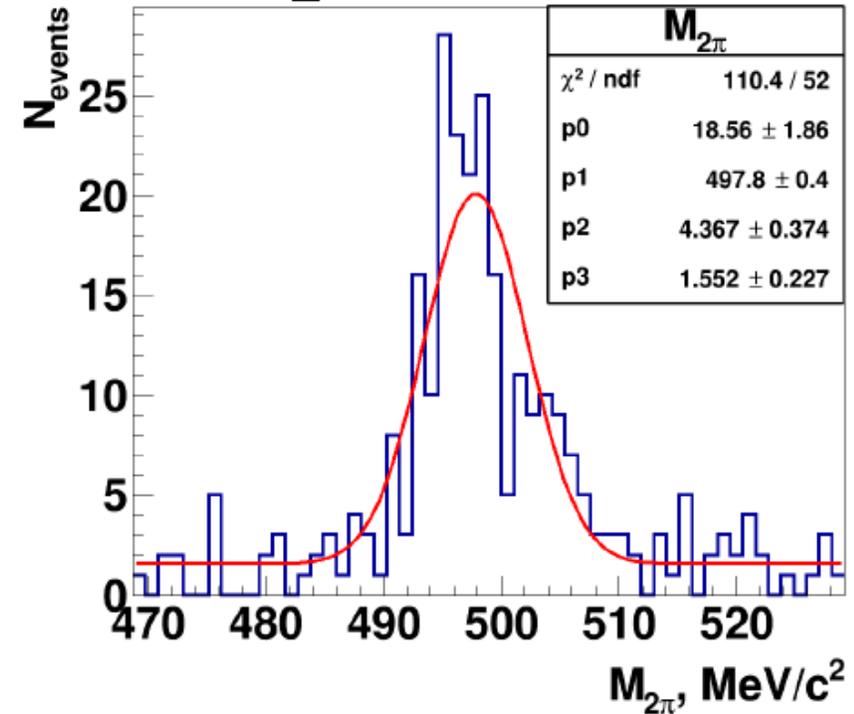
Моделирование фоновых процессов при помощи многоадронного генератора MNG2000 показало, что основной фон это события процессов $e^+e^- \rightarrow K^+K^-\pi^+\pi^-$, $\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-$, $\pi^+\pi^-\pi^+\pi^0$, $3(\pi^+\pi^-)$, $2(\pi^+\pi^-\pi^0)$, $K^+K^-\pi^0\pi^+$, $K^+K^-\pi^+$. Для подавления фона с K_S мезонами использовалось условие на инвариантную массу двух пионов:

$$|M_{\pi^+\pi^-} - 498| > 15 \text{ MeV}/c^2$$

Для подавления событий процессов $e^+e^- \rightarrow K^+K^-\pi^+\pi^-$ и событий только с пионами в конечном состоянии дополнительно строились функции $L_{KK\pi\pi}$ и $L_{\pi\pi\pi\pi}$.

Применялись условия отбора:

- $L_{KK\pi\pi} < -3$ ($K^+K^-\pi^+\pi^-$ events)
- $L_{\pi\pi\pi\pi} < -3$ ($\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-$ events)



Вычисление сечения

$$\sigma(E) = \frac{12\pi}{m_{D^*}^2} \mathcal{B}_{D^* \rightarrow e^+ e^-} \mathcal{B}_{D^{*0} \rightarrow D^0 \pi^0} \frac{m_{D^*}^2 \Gamma_{D^*}^2}{(m_{D^*}^2 - E^2)^2 + E^2 \Gamma_{D^*}^2}$$

$$\sigma_{\text{int}} = \int_0^{E_{\text{beam}}} dE \int_0^1 \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{E_{\text{c.m.}}}} e^{-\frac{(E_{\text{c.m.}}^{\text{av.}} - E)^2}{2\sigma_{E_{\text{c.m.}}}^2}} \cdot F(x, E) \cdot \sigma(E(1-x)) dx$$

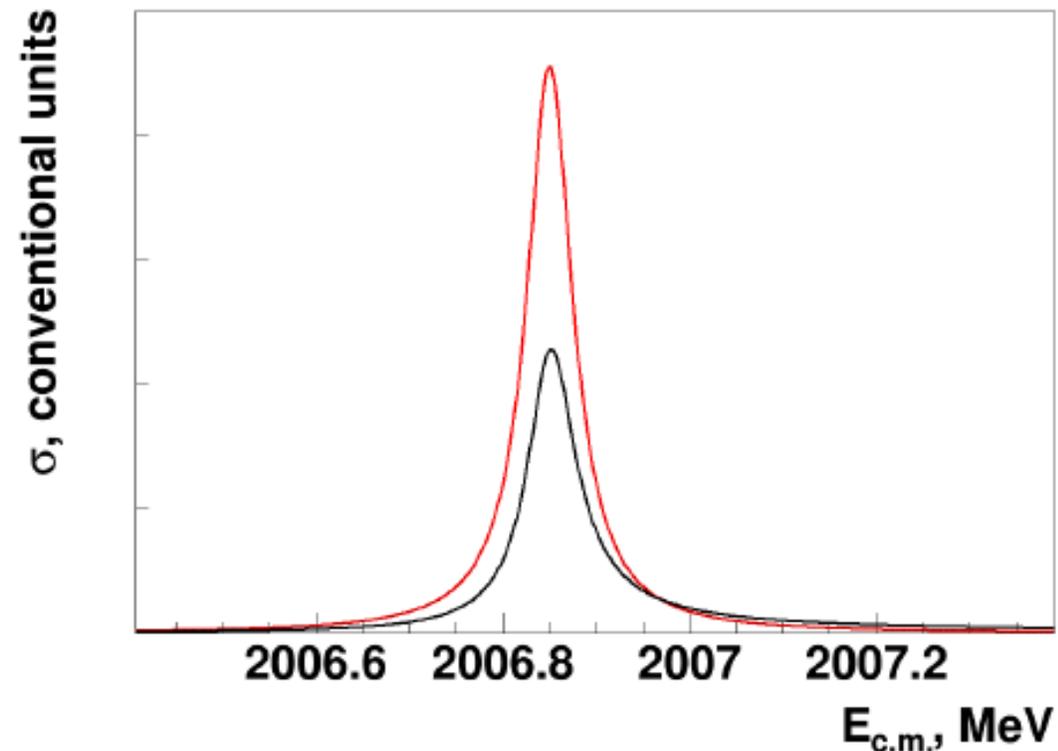
Ширина для D^{*0} -мезона $\Gamma = 60$ кэВ взята из оценки с использованием ширины заряженных D^* -мезонов. [High Energ. Phys. (2015) 2015: 142.]

Энергетическая размазка пучка $\sigma_E = 1$ МэВ.

Поправка на излучение учитывалась с использованием радиатора $F(x, E)$ [Sov.J.Nucl.Phys. 41, 466(1985)].

Красная линия соответствует стандартной резонансной форме,

Черная линия – с учетом радиационной поправки.



Верхний предел

$$\mathcal{B} = \frac{N}{L_{int} \cdot \epsilon_{D^{*0} \rightarrow f} \cdot \mathcal{B}_{D^{*0} \rightarrow f} \cdot \mathcal{B}_{D^0 \rightarrow K^+ \pi^- \pi^+ \pi^-} \cdot C}$$

Бранчинг считается по формуле:

где светимость $L=3701$ нбн⁻¹, эффективность регистрации $\epsilon_{D^{*0} \rightarrow D^0 \pi^0} = 13.4\%$, $\epsilon_{D^{*0} \rightarrow D^0 \gamma} = 13.2\%$, энергия в системе центра масс $E_{cm}=2006.62$ МэВ, $\mathcal{B}_{D^{*0} \rightarrow D^0 \pi^0} = 64.7$, $\mathcal{B}_{D^{*0} \rightarrow D^0 \gamma} = 35.3$, $\mathcal{B}_{D^0 \rightarrow K^+ \pi^- \pi^+ \pi^-} = 0.08$. N определяется с необходимым доверительным уровнем по числу обнаруженных кандидатов в события процесса и ожидаемому числу событий фона в байесовском подходе.

Уровень фона определялся по моделированию и по статистике набранной в диапазоне энергий $E_{cm}=1900-2000$ МэВ.

Для процесса $e^+e^- \rightarrow D^{*0} \rightarrow D^0 \pi^0$ было получено одно событие-кандидат с ожидаемым уровнем фона 1.5 ± 0.7

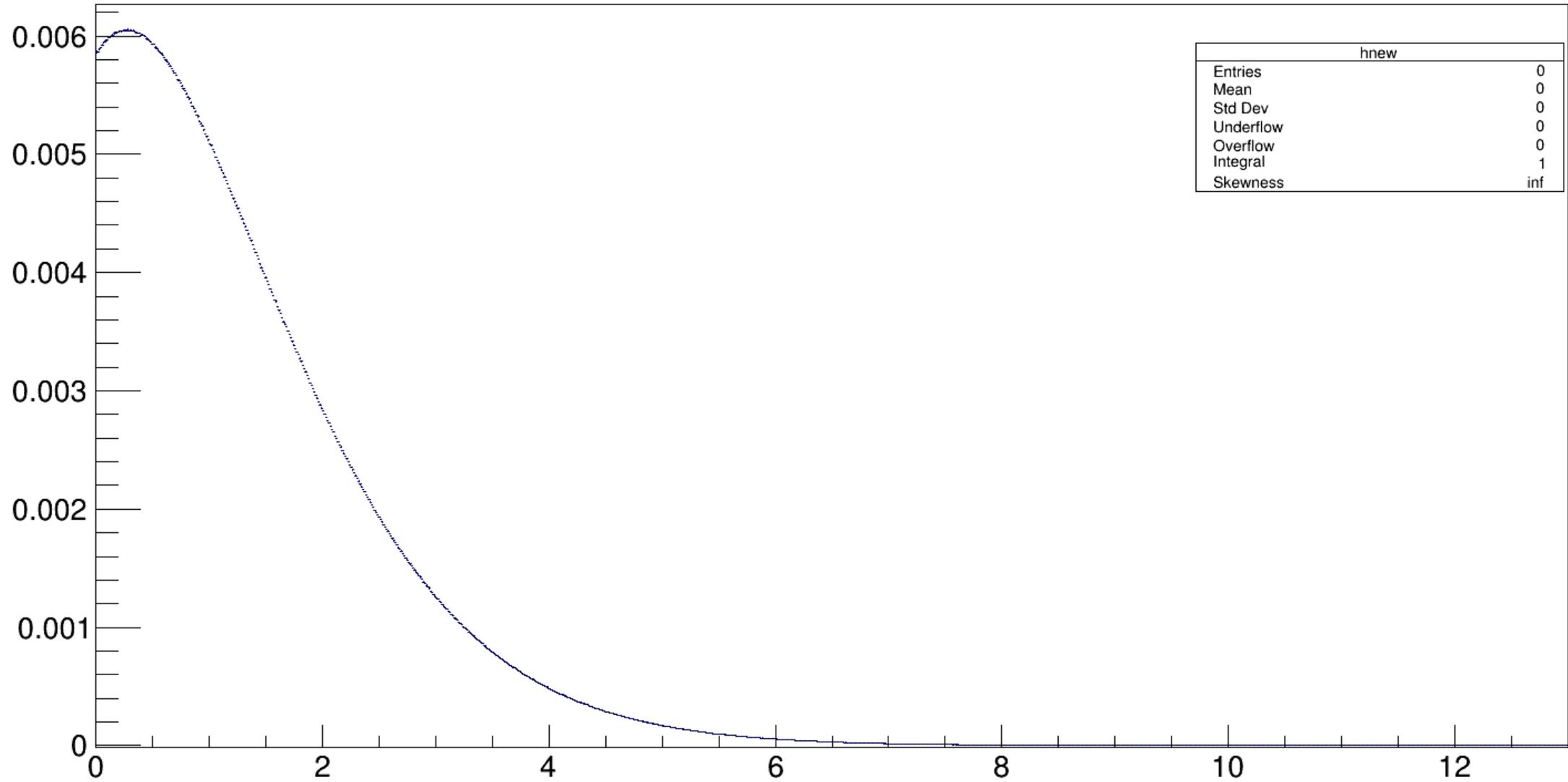
Для процесса $e^+e^- \rightarrow D^{*0} \rightarrow D^0 \gamma$ было получено 2 события-кандидата с ожидаемым уровнем фона 1.2 ± 0.5 .

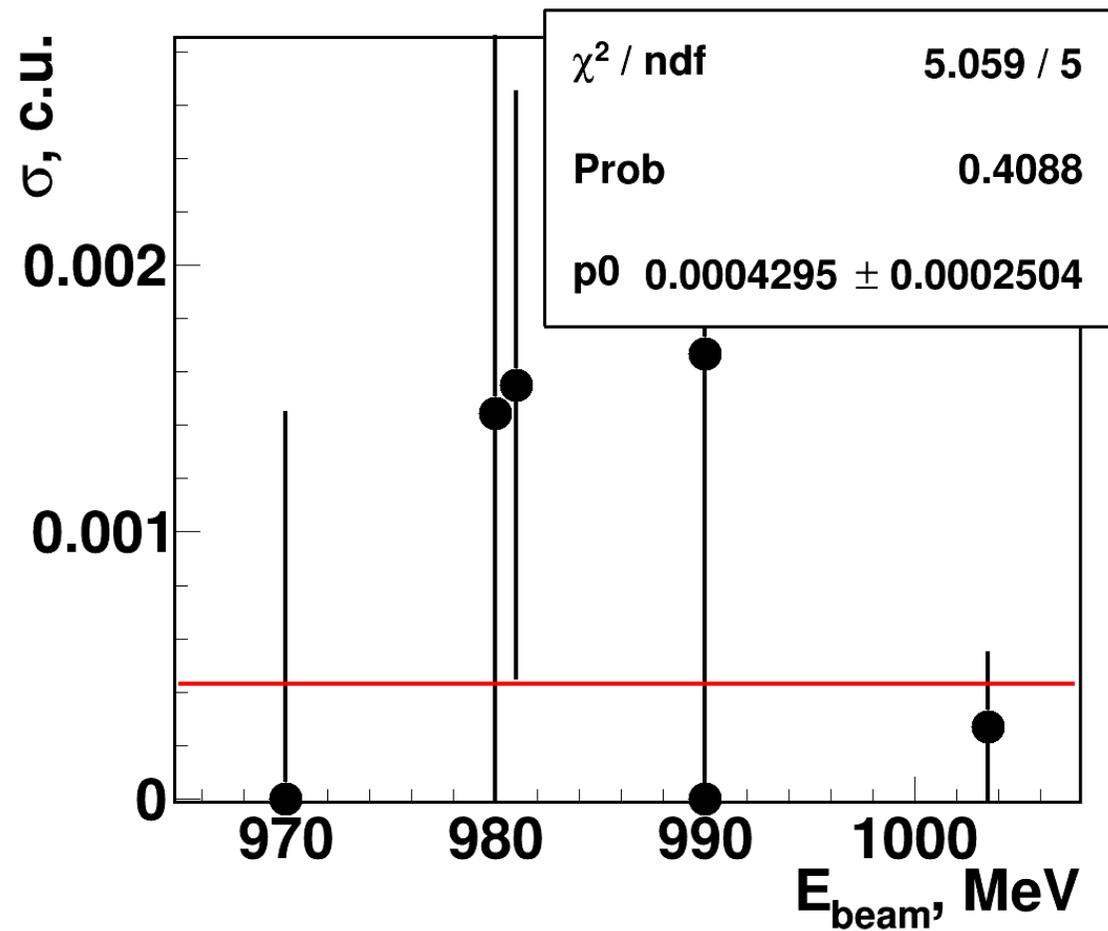
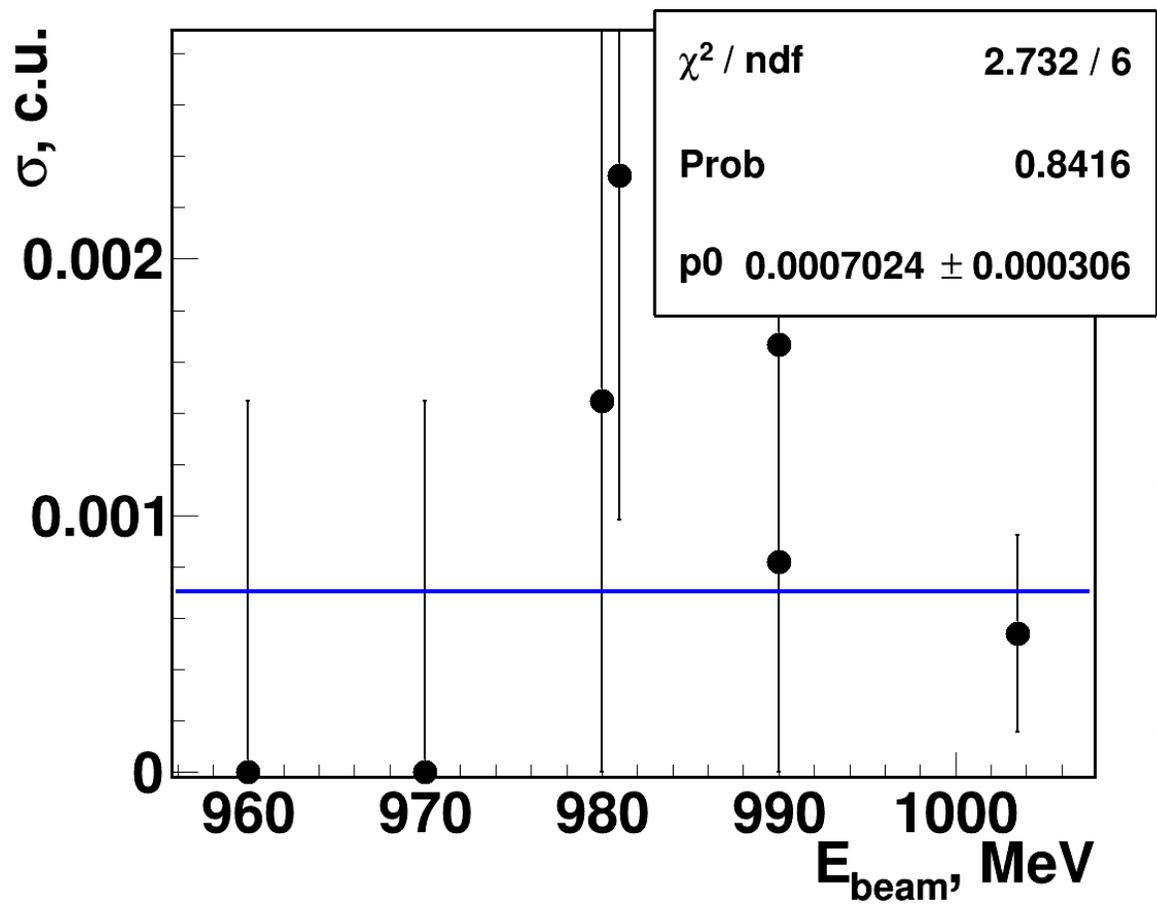
Верхний предел оценен в $\mathcal{B}(D^{*0} \rightarrow e^+e^-) < 1.7 \cdot 10^{-6}$ с 90% C.L.

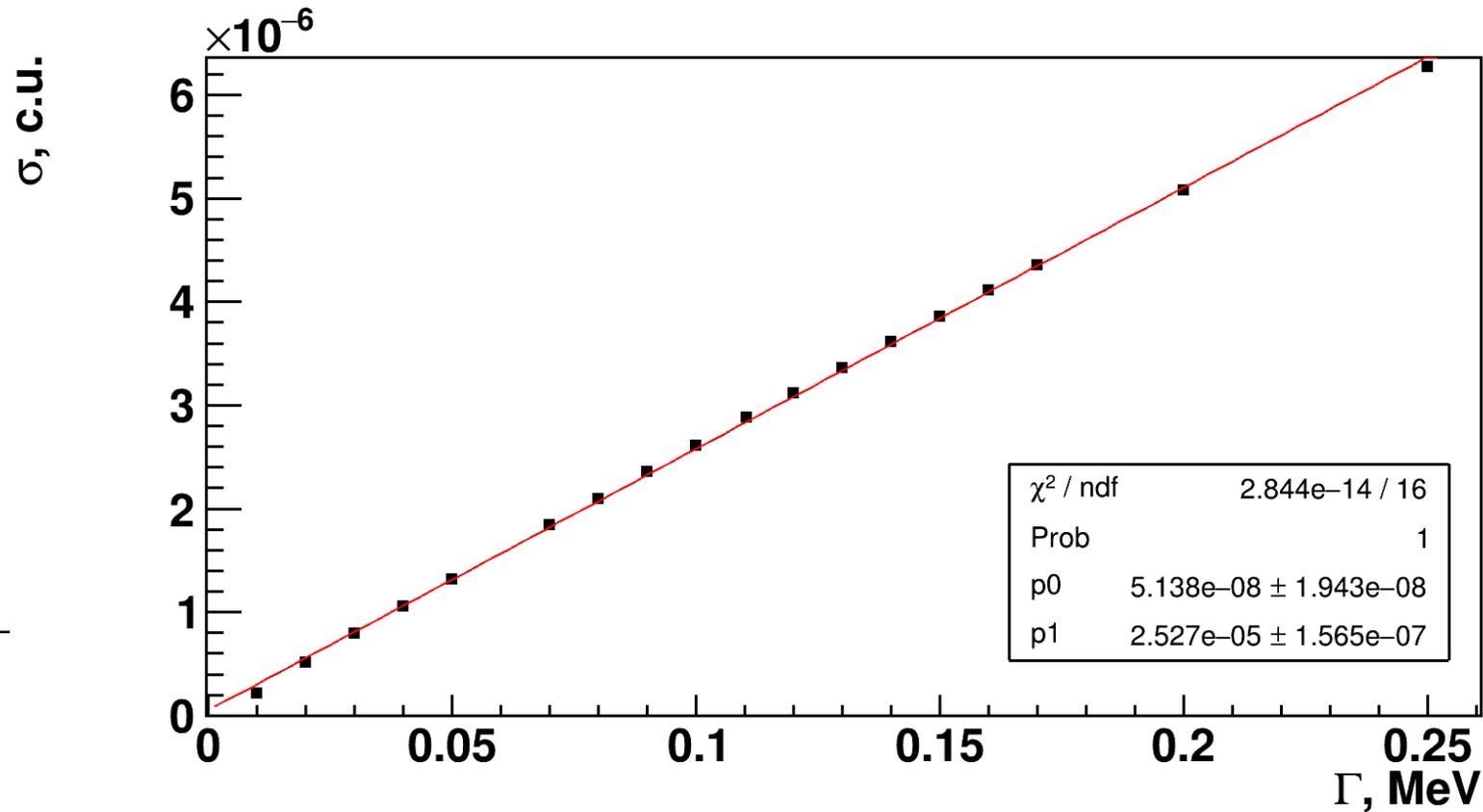
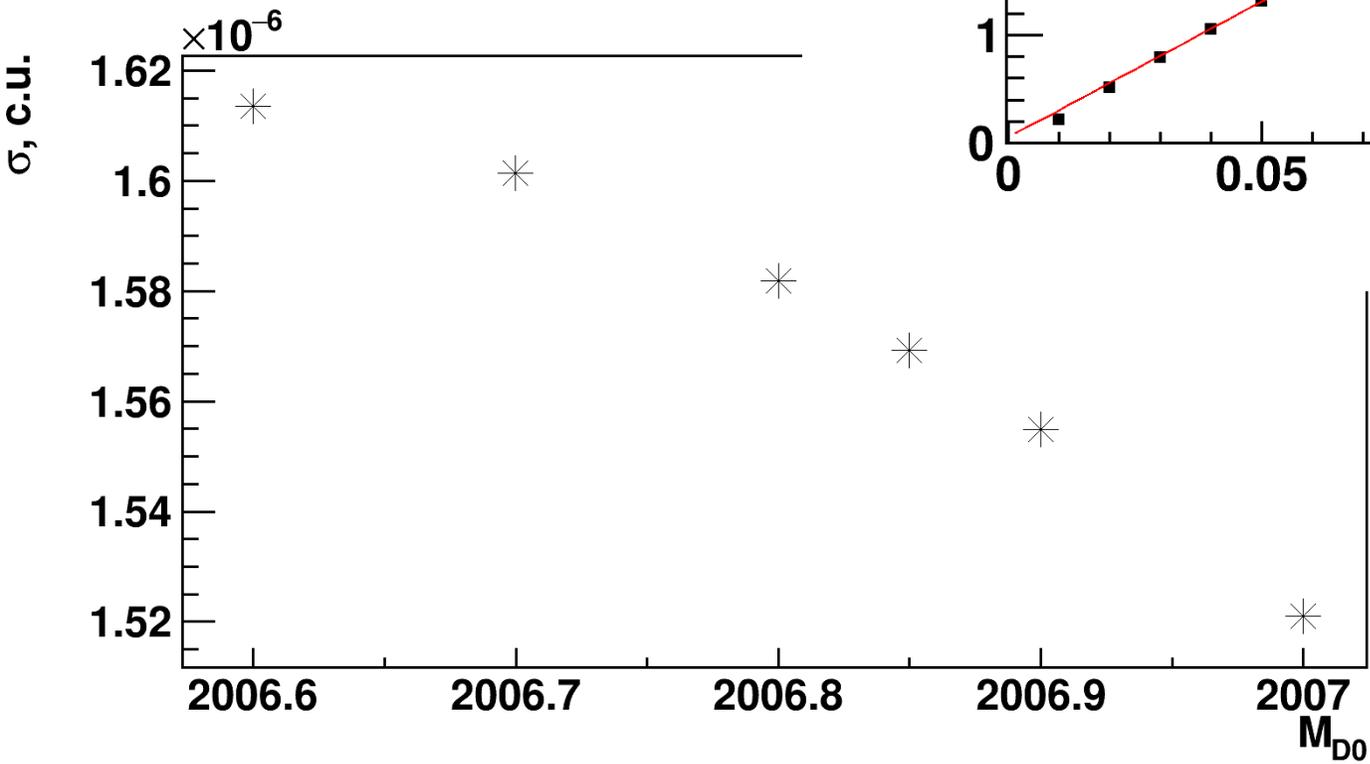
Спасибо!

Дополнительные слайды

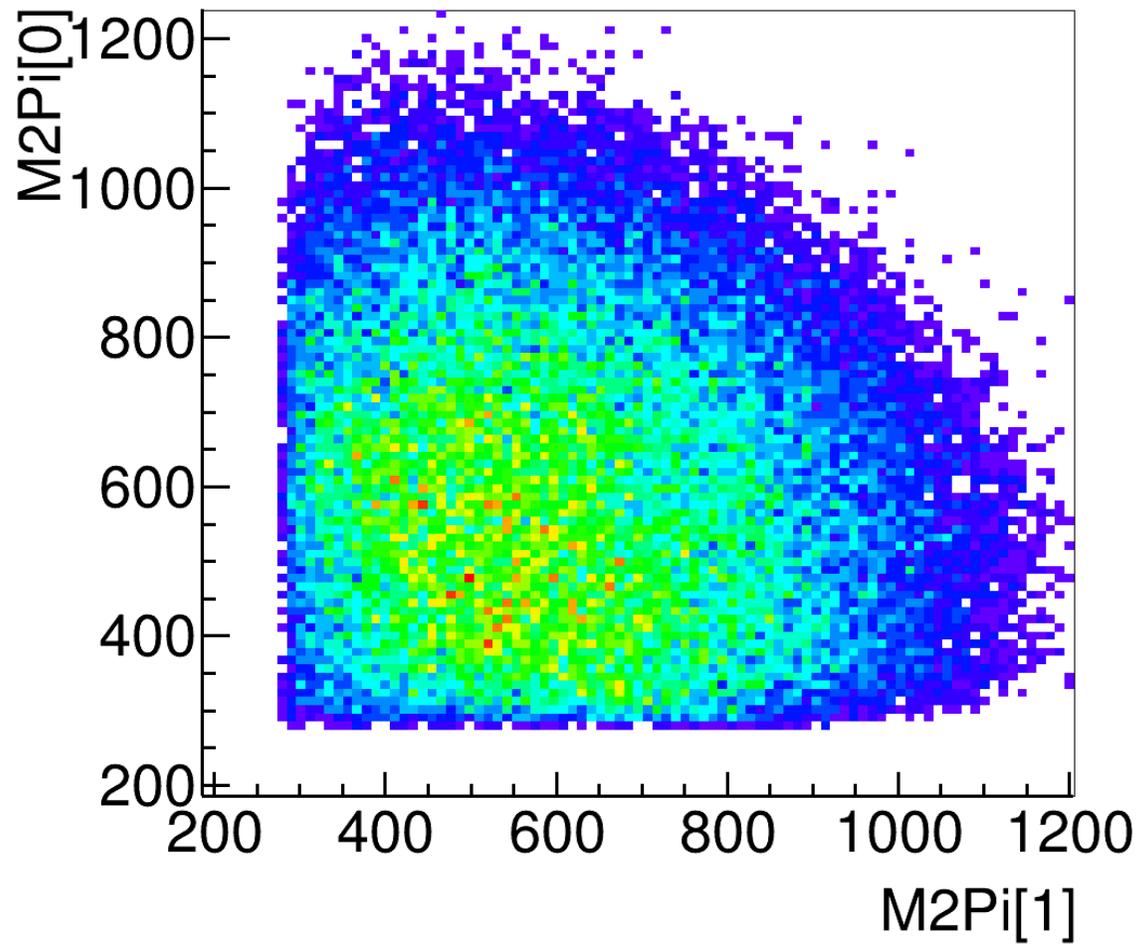
prob



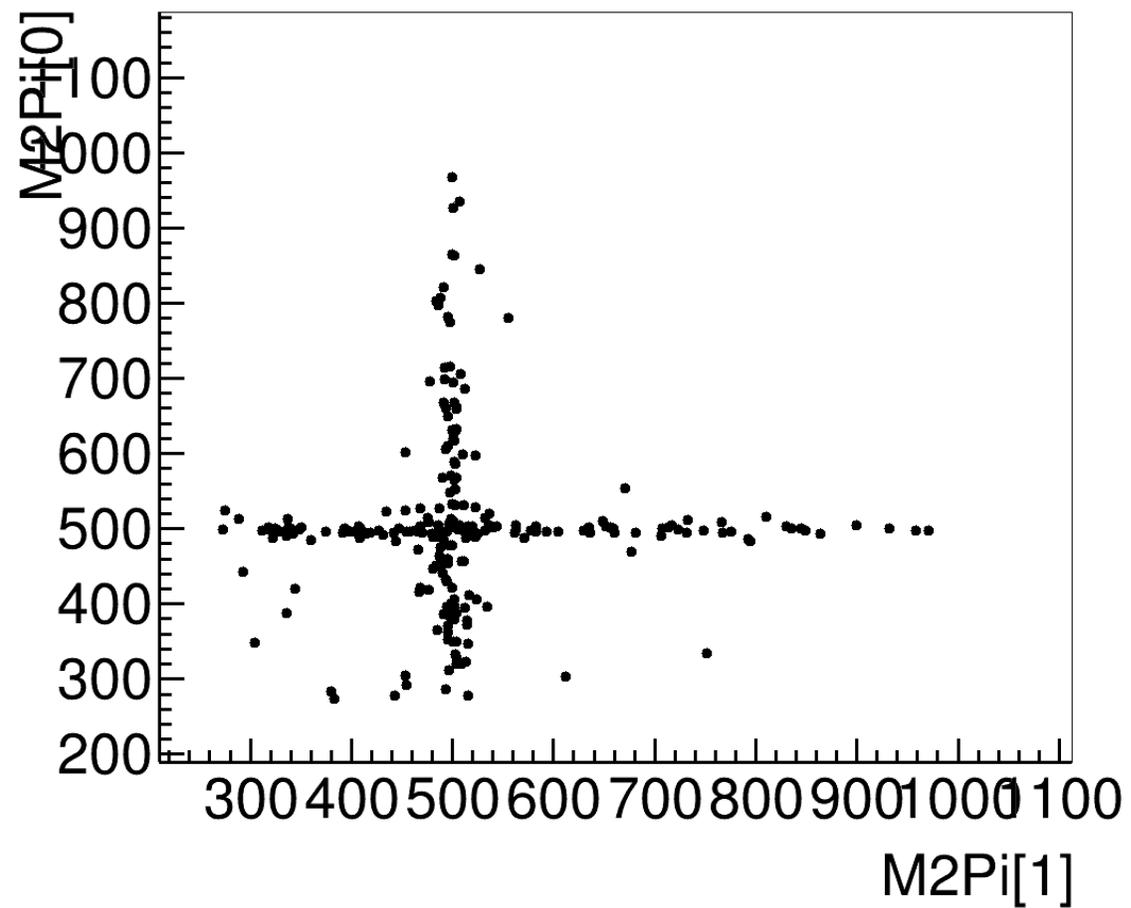


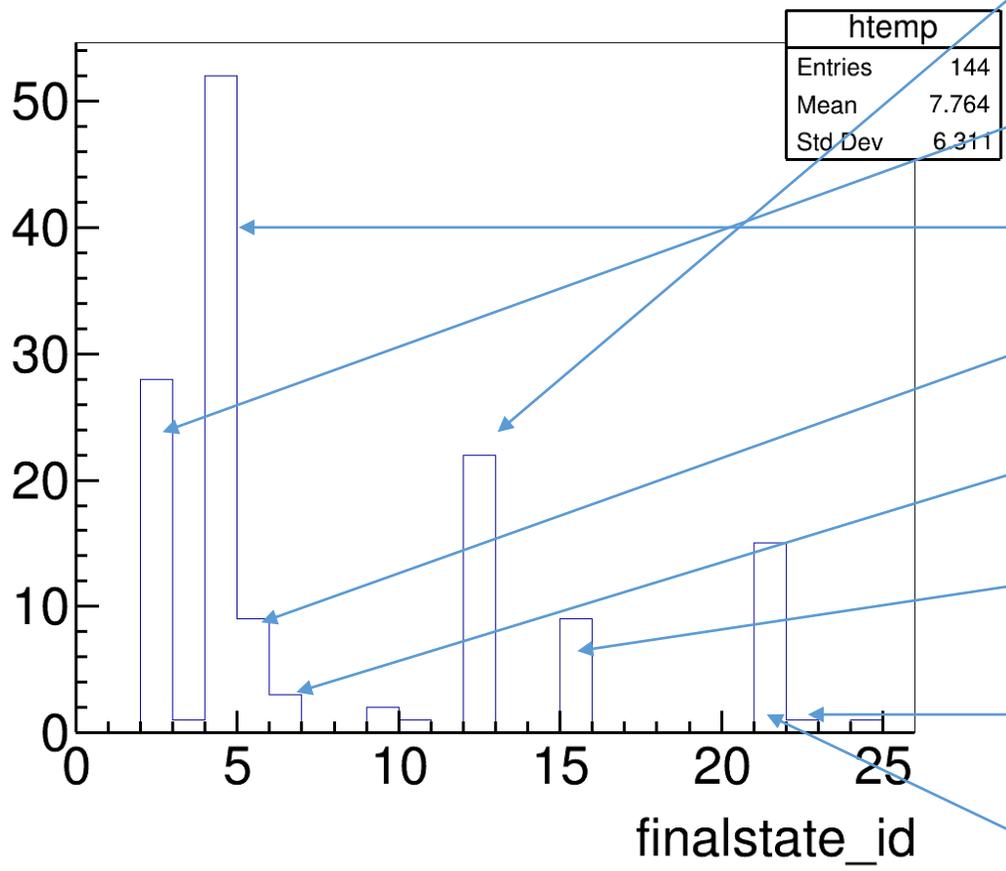


M2Pi[0]:M2Pi[1] {Ngood==4}

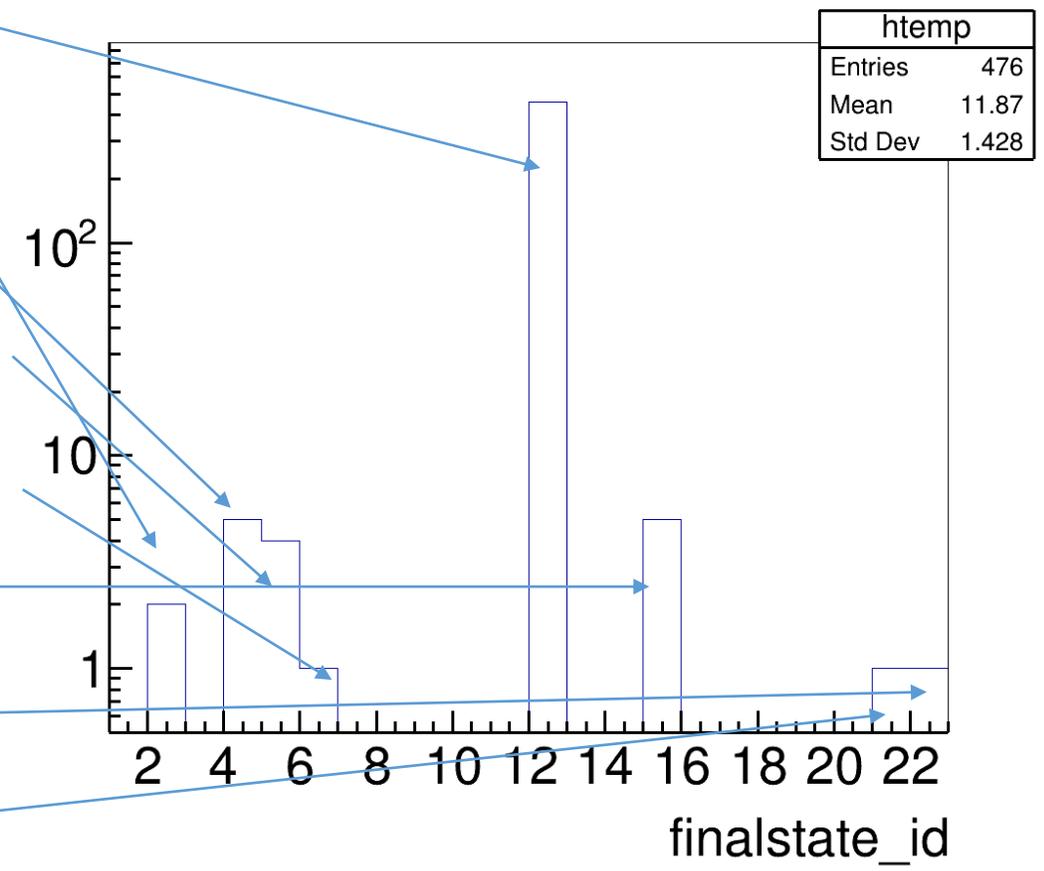


M2Pi[0]:M2Pi[1] {Ngood==4 && finalstate_id==15}



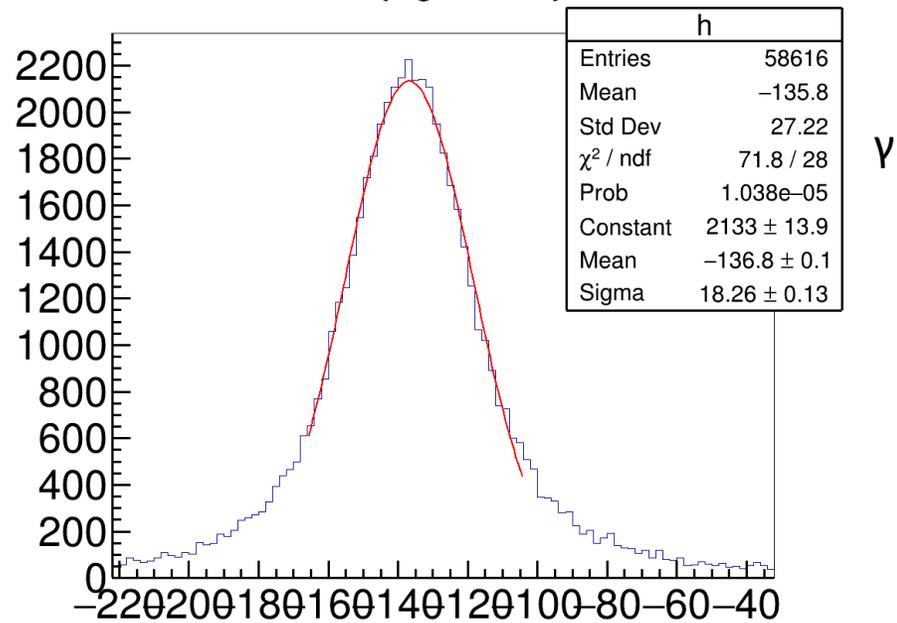


- K+K- $\pi^+\pi^-$
- $\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-$
- $\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-\pi^0$
- $\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$
- $\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-$
- K+Ks $\pi^-\pi^0$
- K+Ks π^-
- $\pi^+\pi^-\eta$

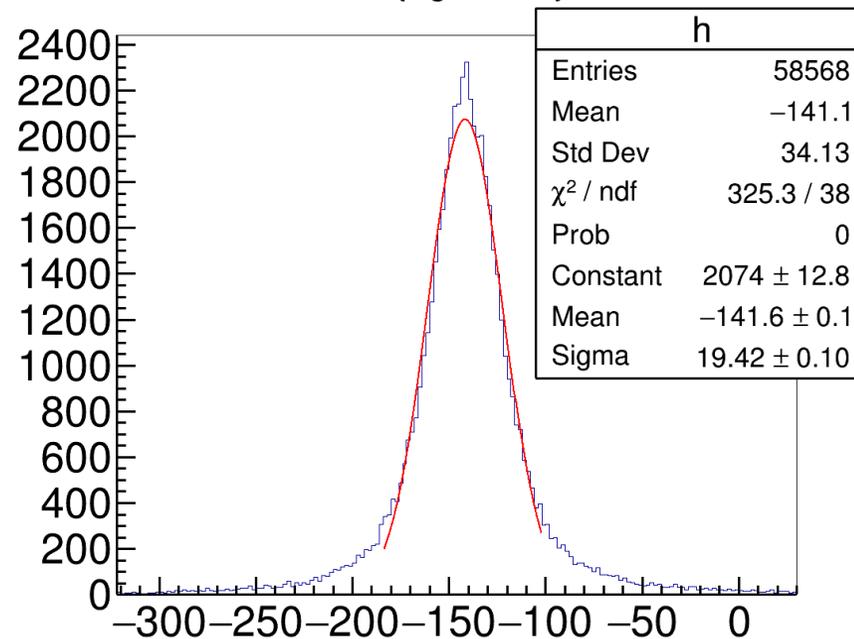


- K+K- $\pi^+\pi^-$
- $\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-$
- $\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-\pi^0$
- $\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$
- $\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-$
- K+Ks $\pi^-\pi^0$
- K+Ks π^-
- $\pi^+\pi^-\eta$

EAll {Ngood==4}

 γ

EAll {Ngood==4}

 γ 