

Изучение процесса электрон-позитронной аннигиляции в пару протон-антипротон на детекторе КМД-3

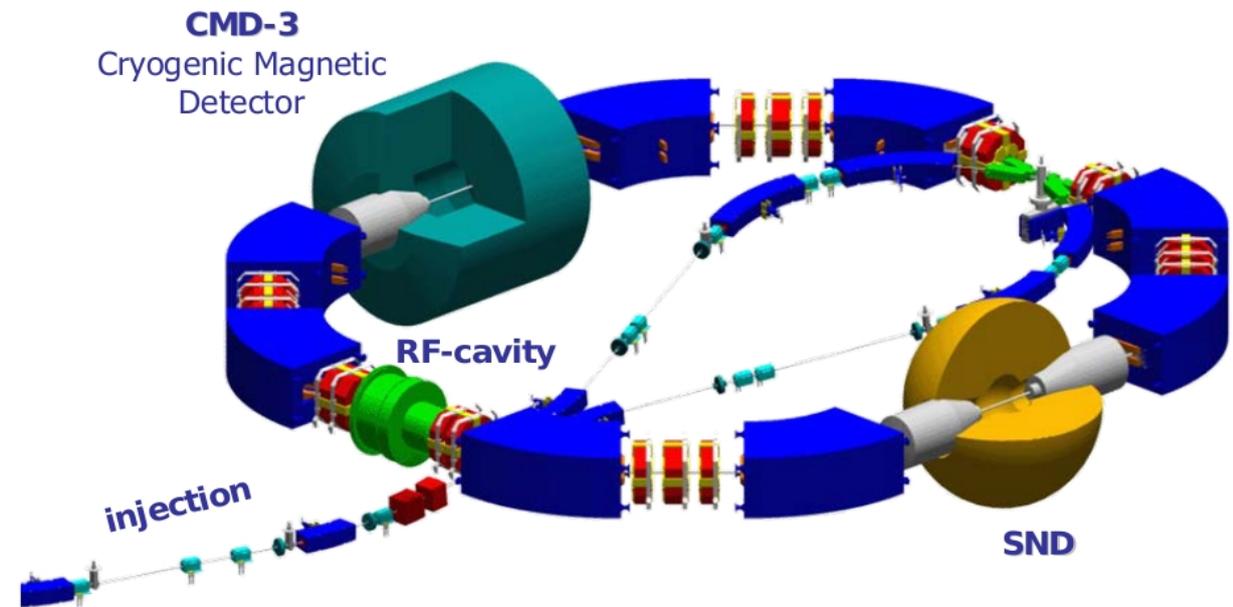
Громов Евгений
(коллаборация КМД-3)

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН

ВЭПП-2000

- электрон-позитронный коллайдер
- энергия в системе центра масс до 2 ГэВ
- круглые пучки,
- светимость до $10^{32} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$
- 2 детектора: КМД-3, СНД

VEPP-2000 e^+e^- collider (2 x 1000 MeV)



В области выше порога рождения протон-антипротонной пары:

2011 год — 3 пб^{-1} , 6 точек по энергии,

2012 год — 3.8 пб^{-1} , 5 точек по энергии.

Зачем изучать процесс $e^+e^- \rightarrow P\bar{P}$

Протон обладает внутренней структурой

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = |F(Q^2)|^2 * \frac{d\sigma}{d\Omega_{точ}}, \text{ где}$$

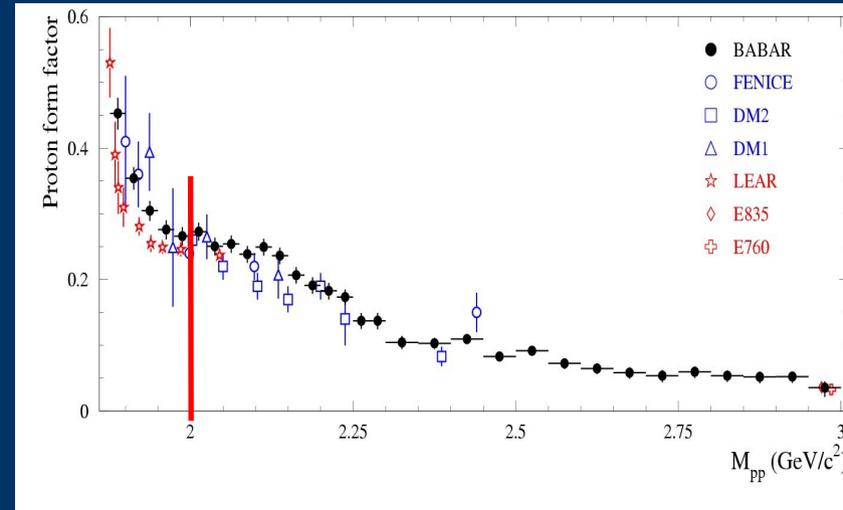
$F(Q^2)$ — формфактор протона.

Можно параметризовать следующим образом через магнитный и электрический формфакторы:

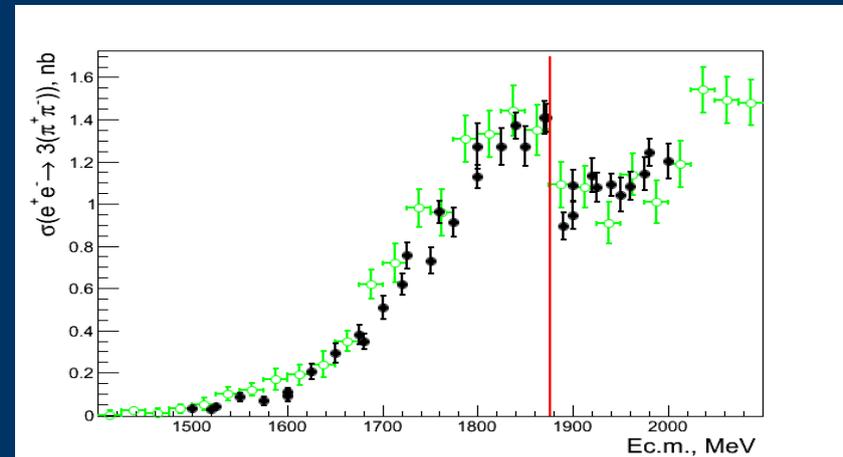
$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{\alpha^2 \beta C}{4Q^2} \left[|G_M^p(Q^2)|^2 (1 + \cos^2 \theta) + \frac{4M^2}{Q^2} |G_E^p(Q^2)|^2 \sin^2 \theta \right],$$

$$\text{где } \beta = \frac{v}{c}, \quad C = \frac{\pi \alpha / \beta}{1 - \exp(-\pi \alpha / \beta)}$$

Вблизи порога формфакторы измерены плохо



Протонный формфактор. Линия показывает максимальную энергию ВЭПП-2000

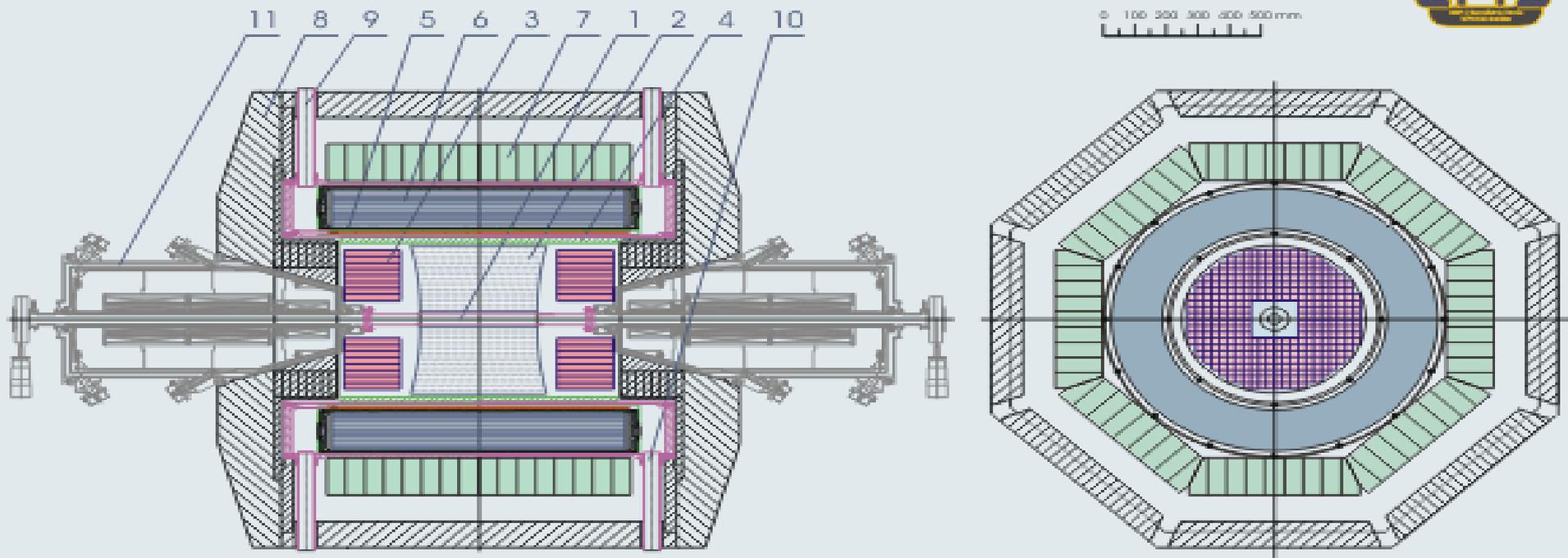


Сечение $e^+e^- \rightarrow 3(\pi^+\pi^-)$, линия показывает порог рождения $P\bar{P}$. Зеленые точки — измерение ВаВар, черные — КМД-3.

КМД-3

CMD-3 DETECTOR

[HTTP://CMD.INP.NSK.SU](http://cmd.inp.nsk.su)

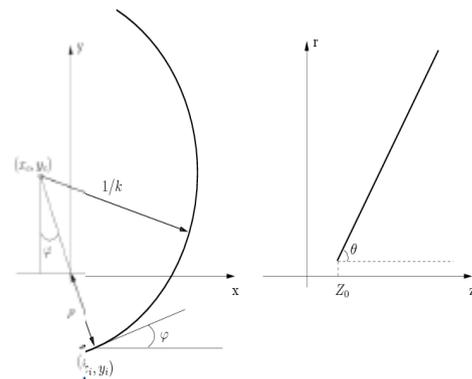
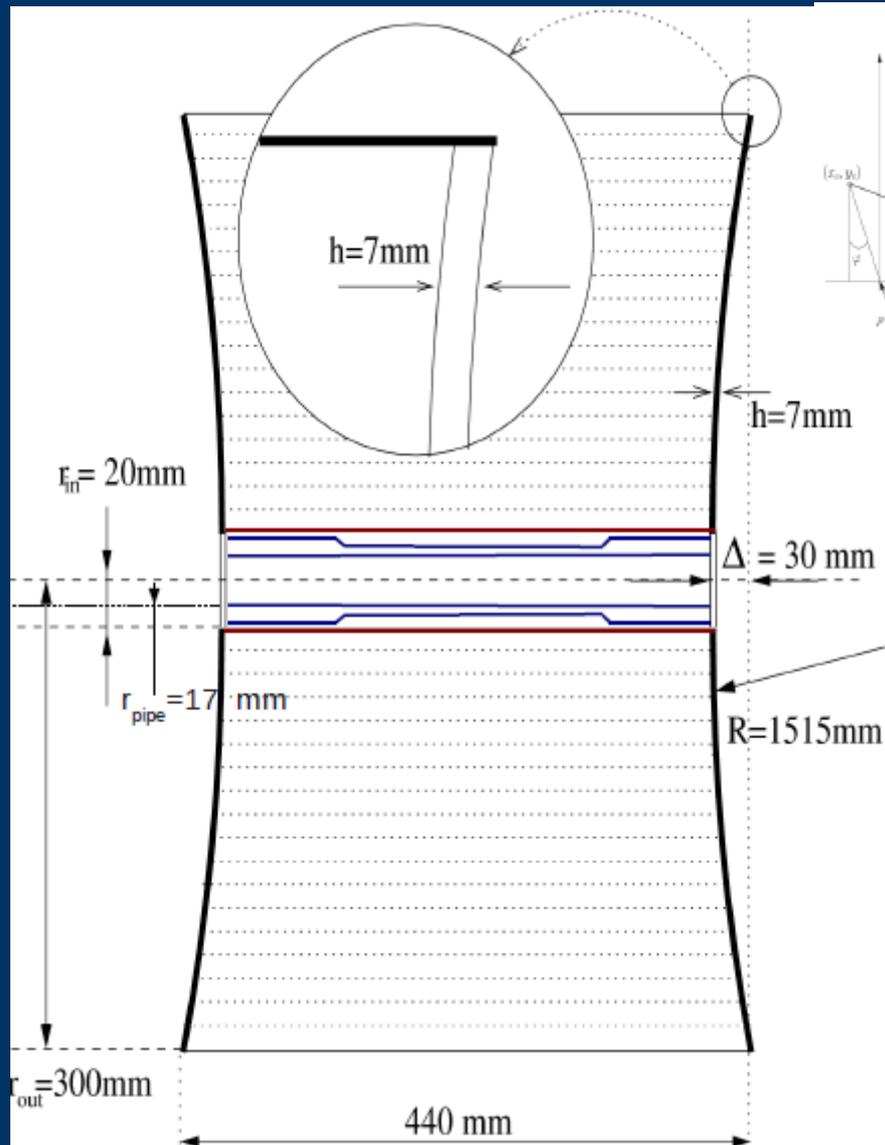


- 1 - Vacuum pipe
- 2 - Drift chamber
- 3 - BGO endcap calorimeter
- 4 - Z-chamber

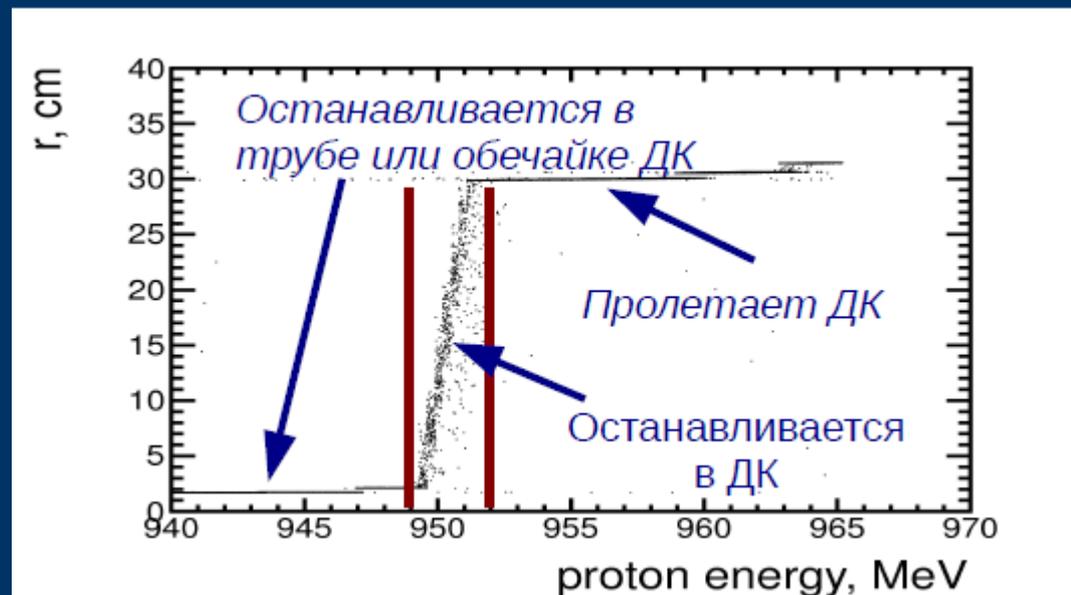
- 5 - Superconducting solenoid
- 6 - LXe calorimeter
- 7 - CsI barrel calorimeter
- 8 - Yoke

- 9 - LHe supply
- 10 - Vacuum pumpdown
- 11 - VEPP2000 superconducting magnetic lenses

Дрейфовая камера КМД-3



Трек в ДК — винтовая линия, параметры:
 θ — полярный угол вылета частицы
 φ — азимутальный угол вылета частицы
 k — кривизна трека,
 ρ — прицельный параметр (кратчайшее расстояние от трека до оси пучков)
 Z_0 — координата начала трека по оси z .
 ДК измеряет ионизационные потери dE/dx .

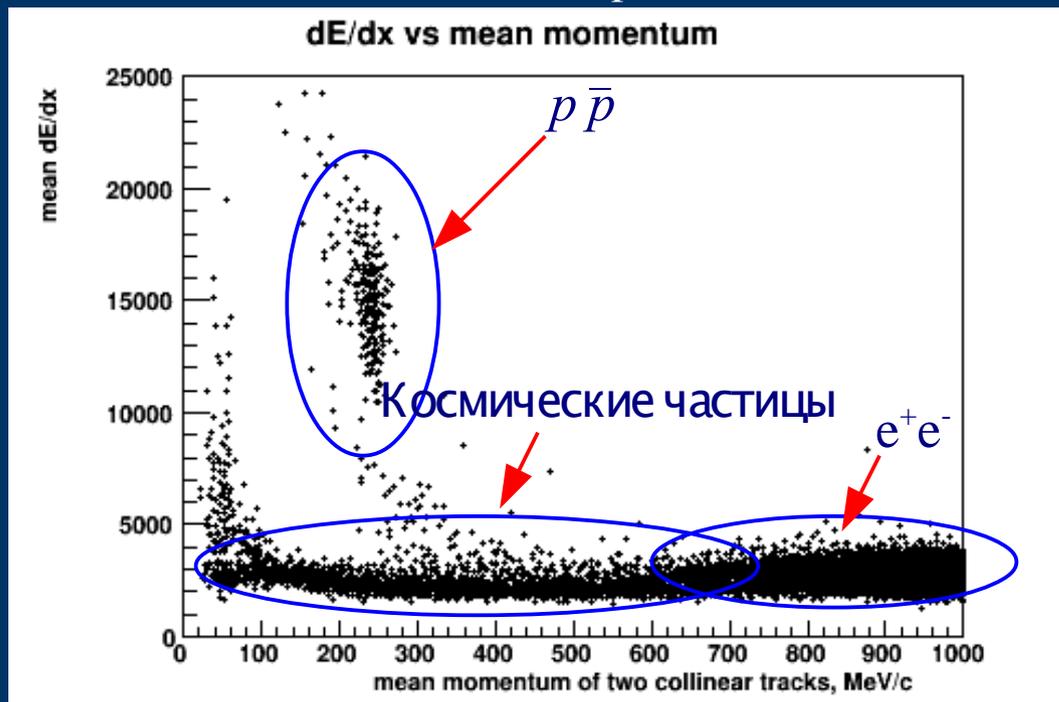


Расстояние пройденное до остановки протоном, вылетевшим поперёк оси пучков, в зависимости от энергии (по моделированию)

Отбор событий при $E_{\text{beam}} > 950$ МэВ

Кандидат в событие $e^+e^- \rightarrow p\bar{p}$ при $E_{\text{beam}} > 950$ МэВ может быть найден по следующим условиям:

- 2 коллинеарных трека с противоположными зарядами, пришедшие из места встречи пучков
- разница импульсов $< 15\%$
- энерговыделение в калориметрах > 100 МэВ
- высокий dE/dx для обоих треков



Зависимость среднего dE/dx от среднего импульса коллинеарных треков.

$$E_{\text{beam}} = 970 \text{ МэВ}$$

2 трека называются коллинеарными при выполнении следующих

условий:

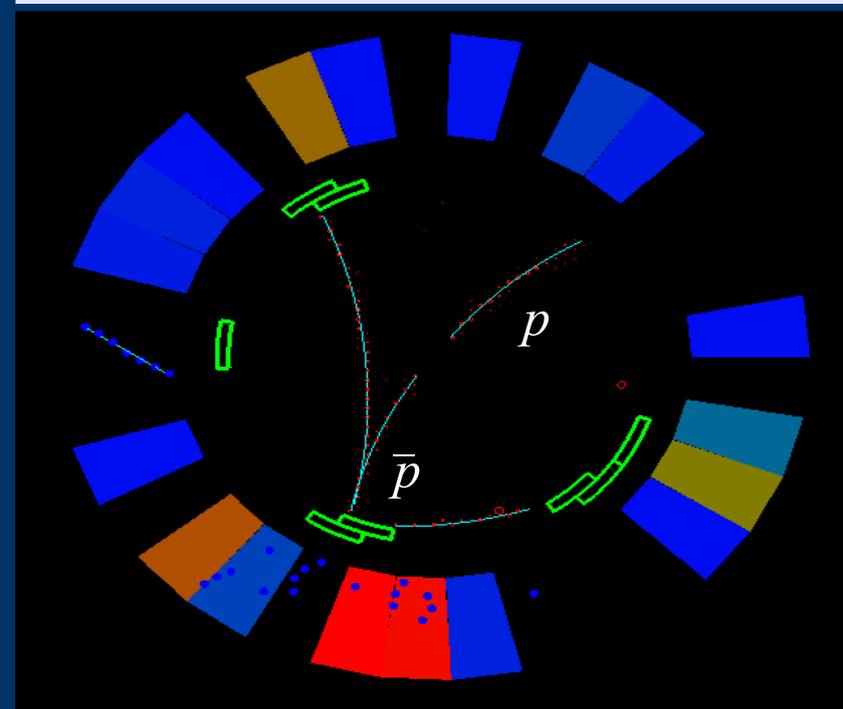
$$\delta\theta < 0.25 \text{ рад,}$$

$$\delta\phi < 0.15 \text{ рад,}$$

$$|z_1+z_2|/2 < 10 \text{ см,}$$

$$\rho < 0.5 \text{ см,}$$

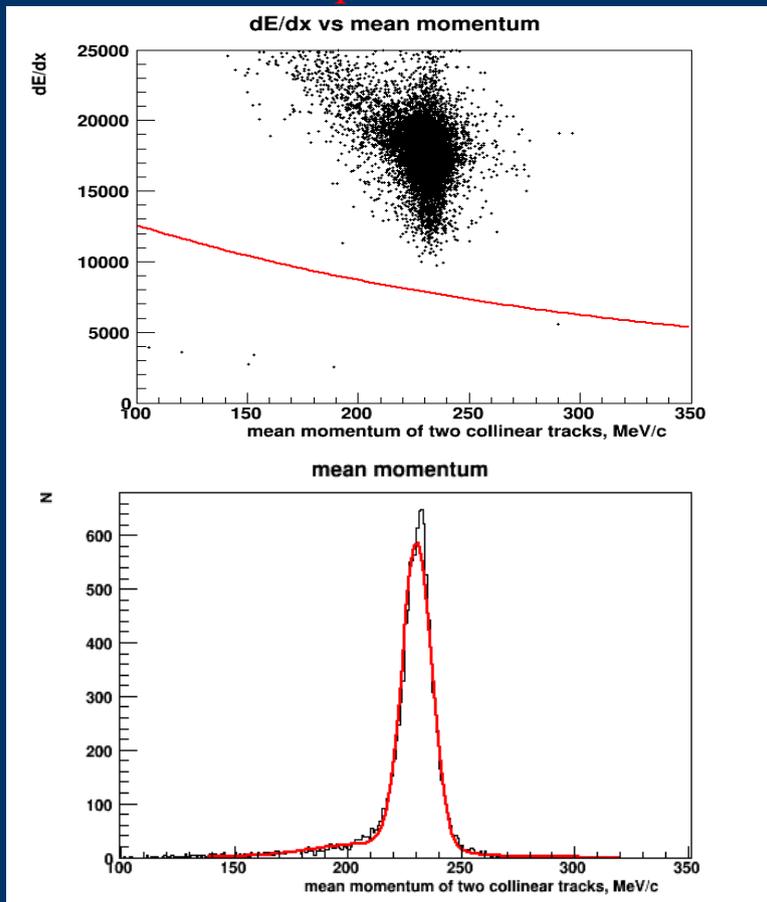
$$N_{\text{hits}} \geq 10$$



Пример события $e^+e^- \rightarrow p\bar{p}$

Отбор событий при $E_{\text{beam}} > 950 \text{ МэВ}$

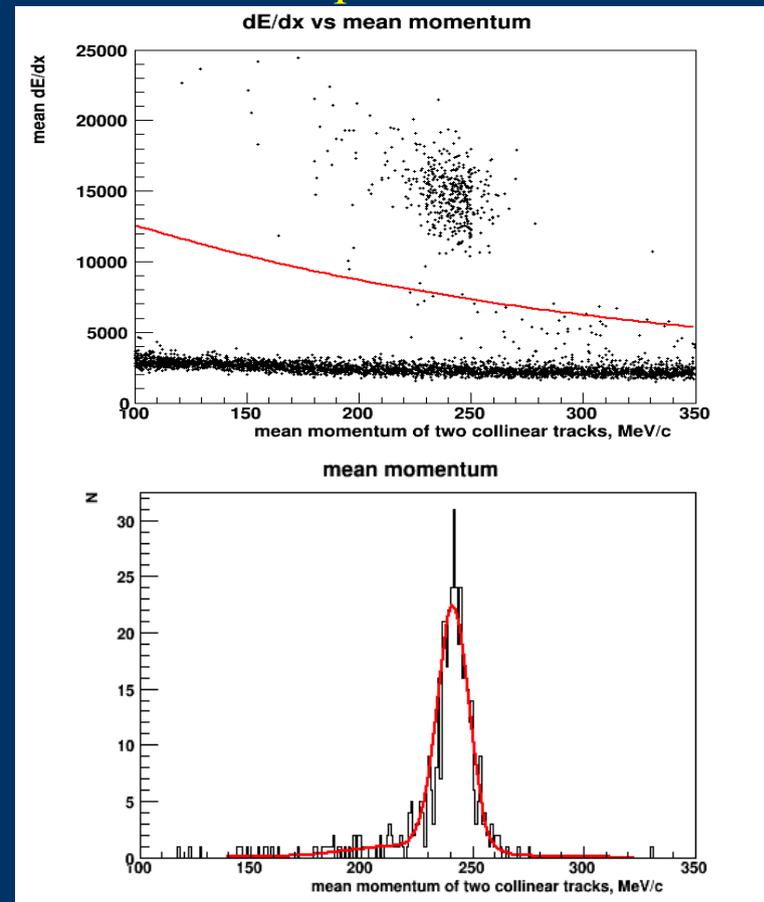
МОДЕЛИРОВАНИЕ



Зависимость dE/dx от среднего импульса коллинеарных треков (сверху) и средний импульс коллинеарных треков отобранных событий (снизу) для моделирования (слева) и эксперимента (справа).

$E_{\text{beam}} = 970 \text{ МэВ}$

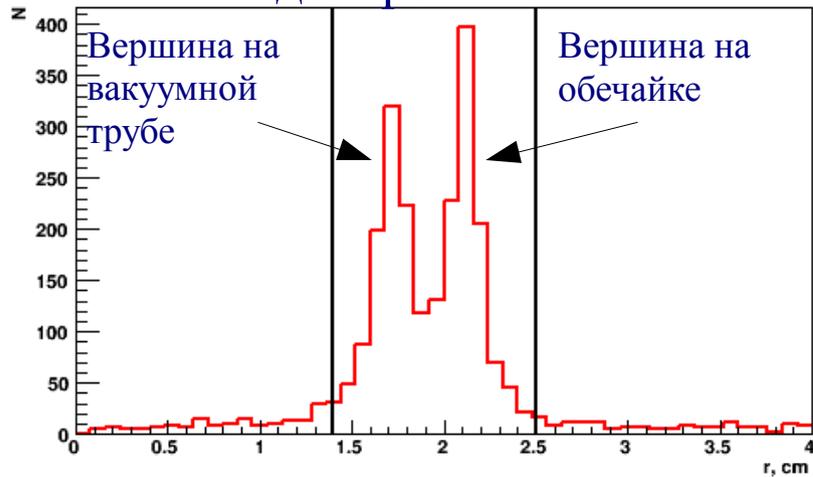
ЭКСПЕРИМЕНТ



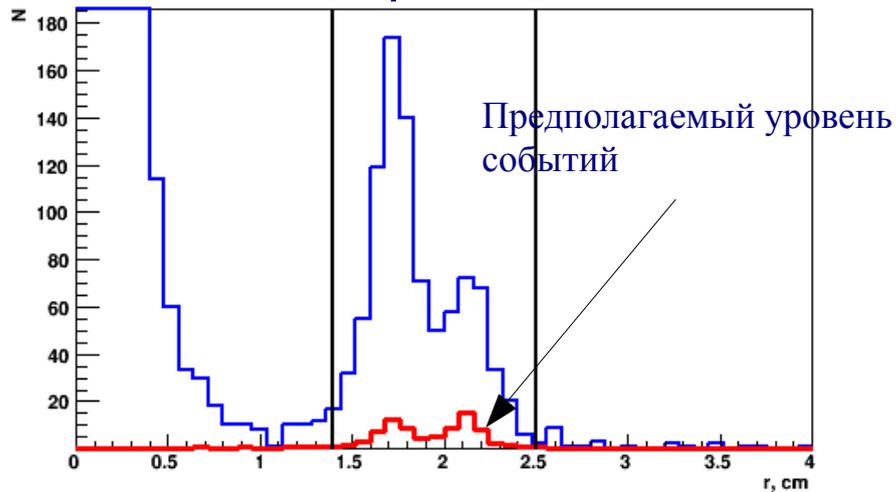
Распределение среднего импульса двух коллинеарных треков фитируется суммой 2 функций Гаусса (в моделировании). Сверткой этой функции с ещё одной функцией Гаусса (разрешение детектора) фитируется эксперимент. Свободные параметры (количество событий, сдвиг по импульсу и ширина распределения). Количество событий под функцией Гаусса — это количество событий РР.

Отбор событий при $E_{\text{beam}} < 952 \text{ МэВ}$

МОДЕЛИРОВАНИЕ

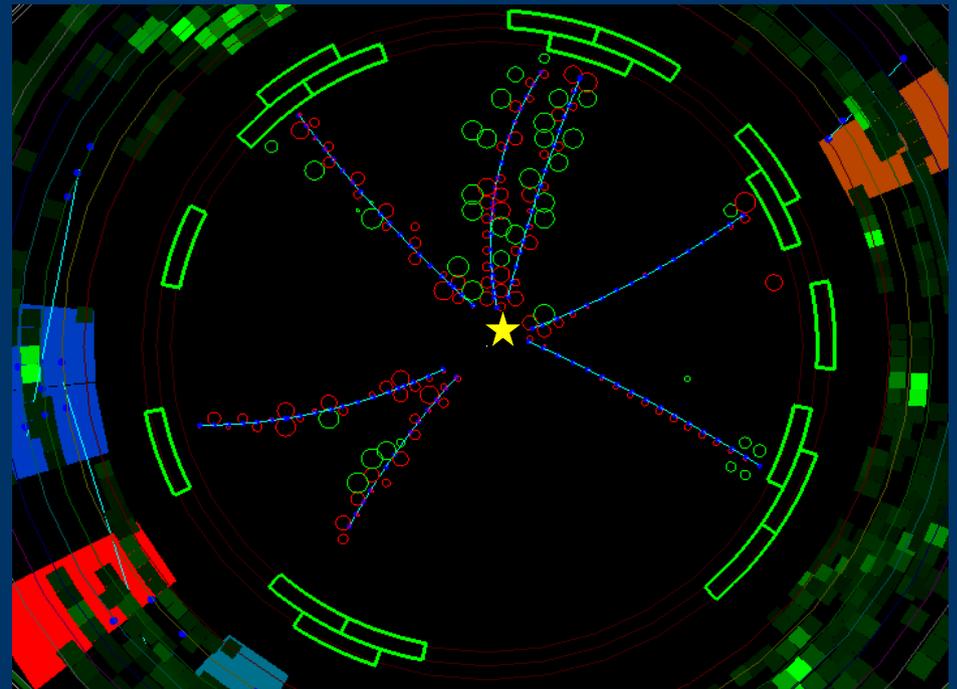


ЭКСПЕРИМЕНТ



Расстояние от вершины до оси пучка (в вершине 4 и больше треков) для моделирования (сверху) и эксперимента (снизу) при энергии пучка 950 МэВ

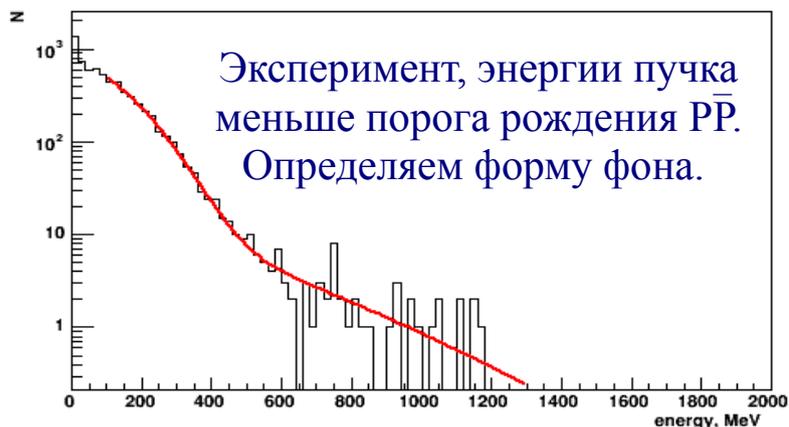
- 1) Расстояние от вершины до оси пучка от 1.4 см до 2.5 см
- 2) $|Z|$ вершины < 12 см
- 3) В вершине 4 и больше треков
- 4) Нет треков с энерговывделением > 400 МэВ (электронов).



Пример события $P\bar{P}$ при энергии пучка = 950 МэВ. Антипротон аннигилирует на трубе (звёздочка показывает реконструированную вершину)

Отбор событий при $E_{\text{beam}} < 952 \text{ МэВ}$

total energy in calorimeters



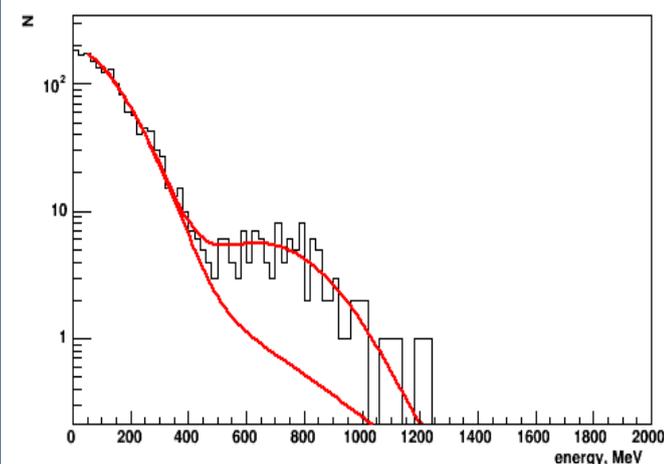
total energy in calorimeters



Полная энергия выделившаяся в калориметрах для отобранных событий

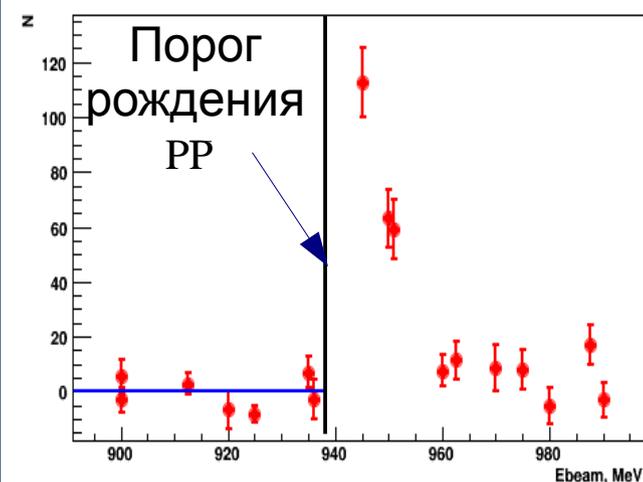
Из эксперимента определяется распределение полной энергии для фоновых событий, из моделирования для сигнала. Суммой этих функций аппроксимируется распределение полной энергии для точек по энергии выше порога рождения $P\bar{P}$. Свободными параметрами являются — количество фоновых и сигнальных событий.

total energy in calorimeters



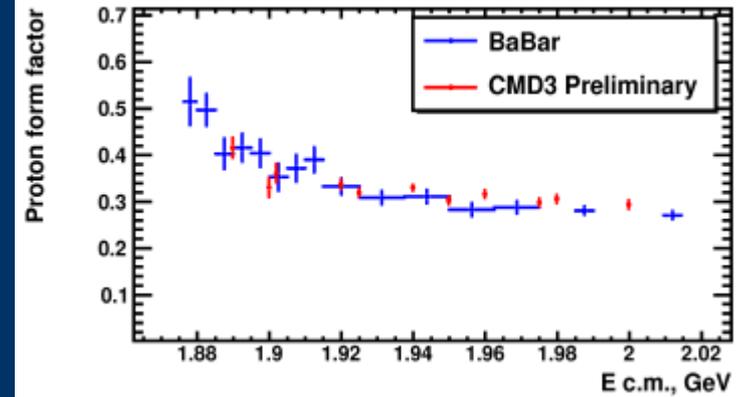
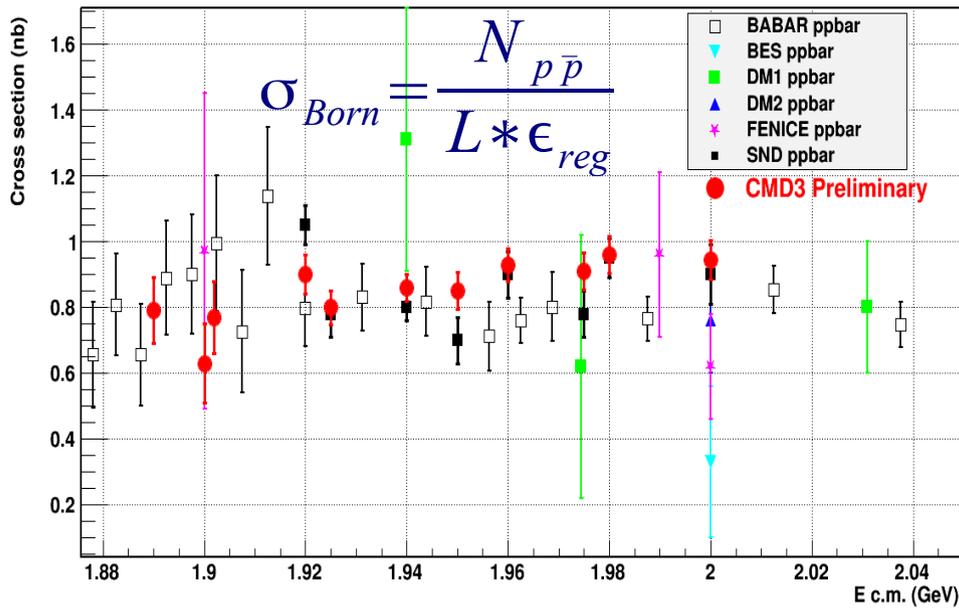
Полная энергия выделившаяся в калориметрах для отобранных событий, энергия пучка 945 МэВ.

N events

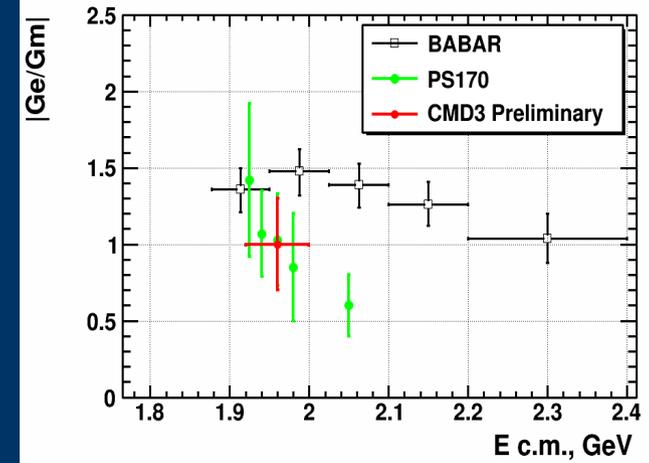
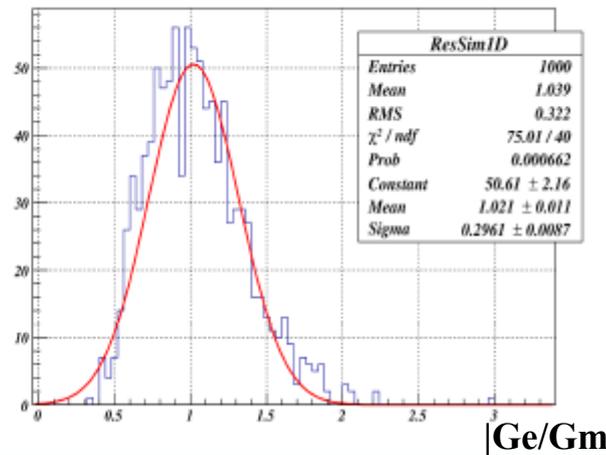
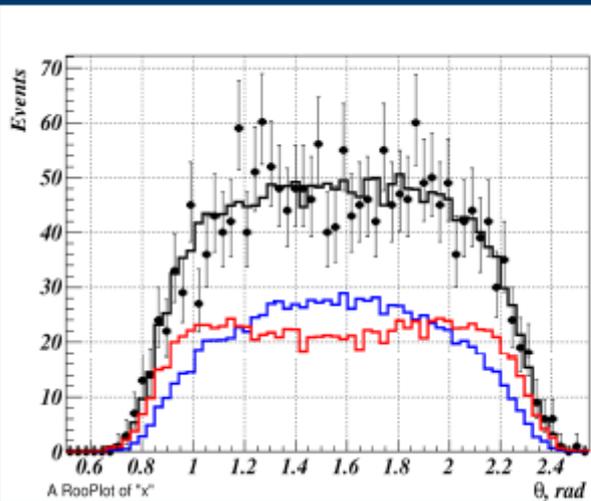


Количество найденных событий для различных энергий пучка

Результаты



$$F_p(E_{cm}) = \sqrt{\sigma_{p\bar{p}}(E_{cm}) / \sigma_n(E_{cm})}$$
, где
 $\sigma_{p\bar{p}}(E_{cm})$ — измеренное сечение
 $\sigma_n(E_{cm})$ — расчет для $|G_M| = |G_E| = 1$

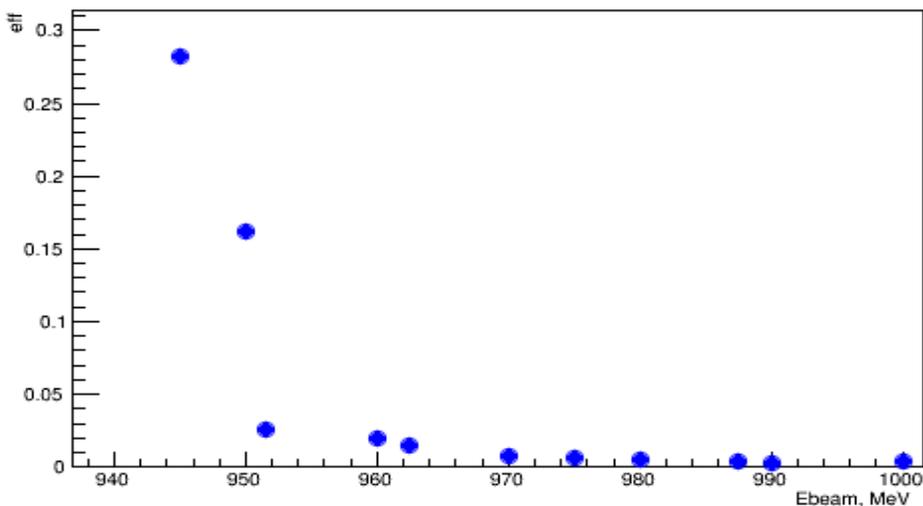


Только статистические ошибки

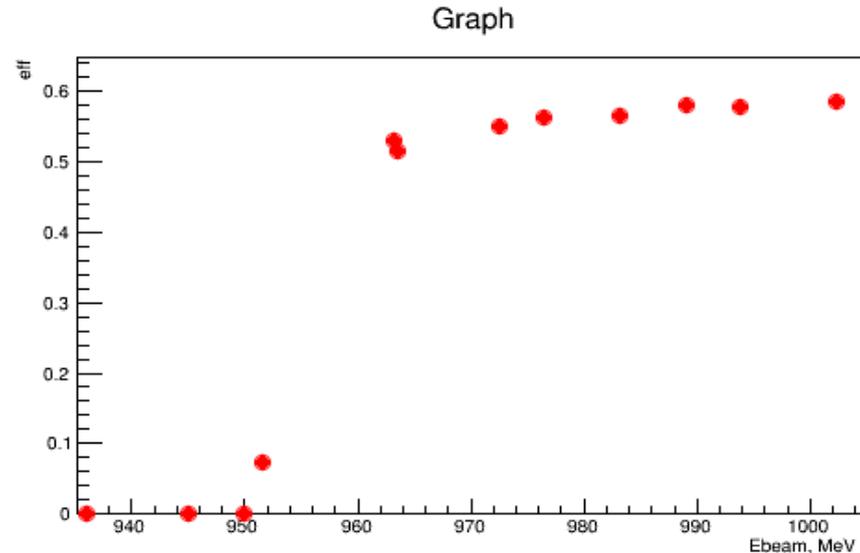
Результаты

- Набрано 6.8 пб^{-1} в области от порога рождения до 2 ГэВ.
- Найдены условия отбора событий $e^+e^- \rightarrow P\bar{P}$ в области энергий от порога рождения до 2 ГэВ.
- Проведено предварительное измерение сечения процесса $e^+e^- \rightarrow P\bar{P}$ со статистической ошибкой при энергиях выше 1.92 ГэВ - 5-8%, при энергиях ниже 1.92 ГэВ — 13-18%.
- Систематическая ошибка при энергии выше 1.92 ГэВ оценивается в 5% (фон $\sim 3\%$, ошибка $|G_e/G_m| \sim 3\%$, моделирование $\sim 2\%$, светимость $\sim 1\%$, остальное $\sim 1\%$), ниже 1.92 ГэВ $\sim 40\%$ (модельная ошибка $\sim 35\%$, определение энергии пучка $\sim 20\%$, остальное $\sim 5\%$). Ведется дальнейший анализ систематических ошибок.
- Проведено предварительное измерение отношения $|G_e/G_m|$ в области энергий выше 1.92 ГэВ (необходима большая статистика).
- Планируется увеличение статистики в 50 раз, что позволит измерить отношение $|G_e/G_m|$ с точностью 7%.

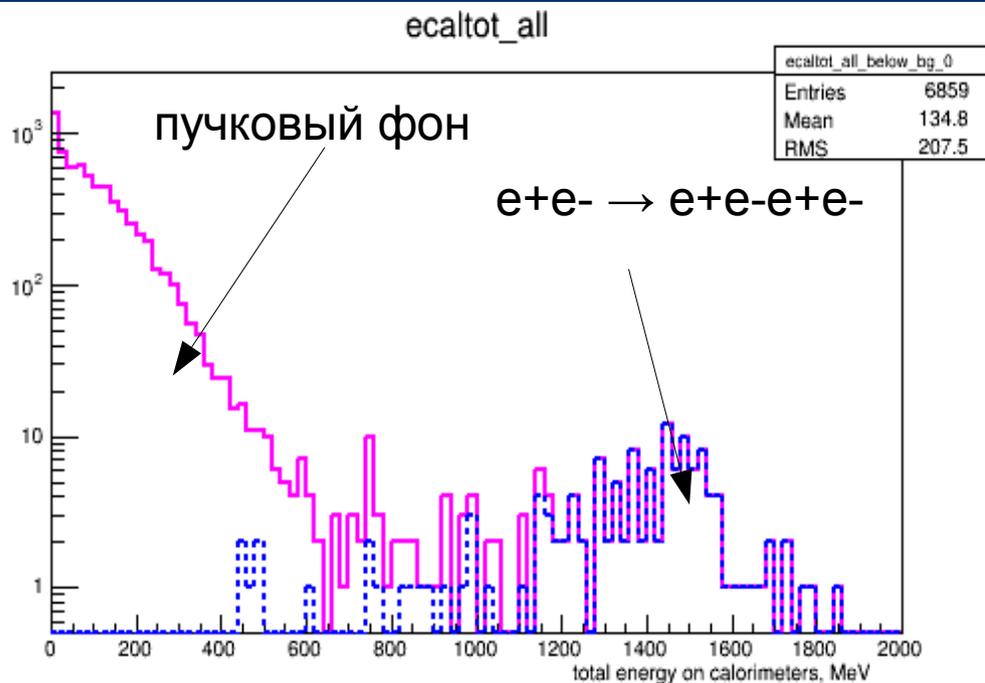
Спасибо за внимание



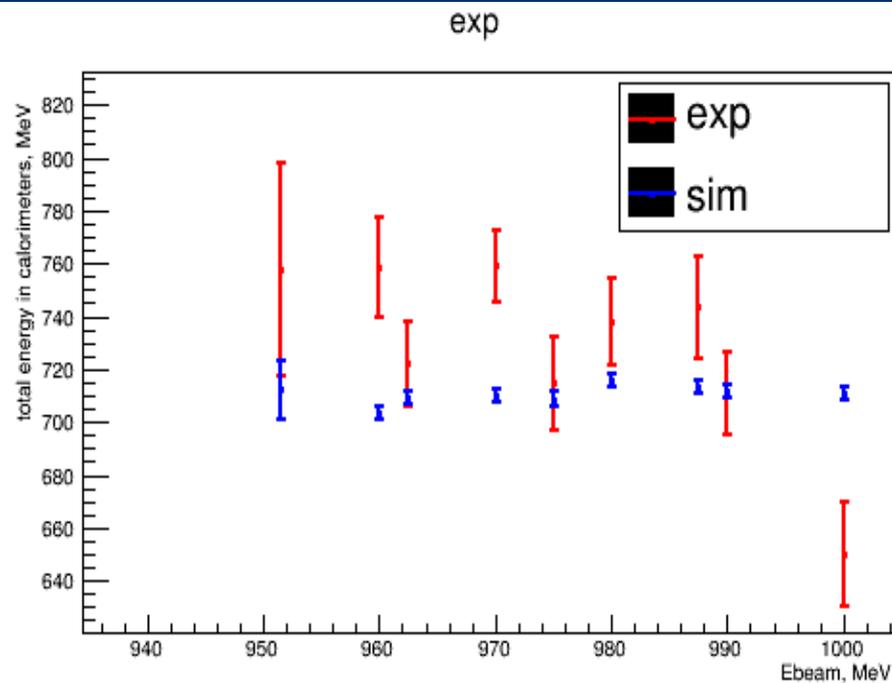
Эффективность регистрации событий аннигиляции антипротона на трубе.



Эффективность регистрации коллинеарных событий РР.



Полное энергосодержание в событиях с вершиной на трубе.



Полное энергосодержание в событиях РР.