
Детектор КМД-3: состояние дел и планы



Логашенко И.Б.

Научная сессия ИЯФ, 16 марта 2018

План доклада



- Детектор КМД-3 и физическая программа
- Набор данных в 2017 году
- Результаты анализа данных
- Планы работ

Физическая программа ВЭПП-2000



1. Прецизионное измерение $R(s)$
$$R(s) = \sigma(e^+e^- \rightarrow \text{hadrons}) / \sigma(e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-)$$

<1% для основных каналов
2. Изучение адронных каналов:
 $e^+e^- \rightarrow 2h, 3h, 4h \dots, h = \pi, K, \eta$
3. Изучение возбуждений векторных мезонов: $\rho', \rho'', \omega', \phi', \dots$
4. Проверка CVC: сравнение сечений $e^+e^- \rightarrow \text{hadr. (T=1)}$ со спектрами распадов τ
5. Изучение парного рождения нуклон-антинуклона - электромагнитные формфакторы нуклона, ...
6. Измерение сечений с использованием методики ISR
7. Двухфотонная физика
8. Изучение процессов QED высокого порядка 2- \rightarrow 4,5

Изучение рождения адронов в аннигиляции e^+e^- :

- Что рождается?
- Сколько рождается?
- Как рождается?

Рождение пар $p\bar{p}, n\bar{n}$

Отдельные задачи:

$$e^+e^- \rightarrow \eta'$$
$$e^+e^- \rightarrow \pi^0 e^+e^-$$

Измерение сечений $e^+e^- \rightarrow$ адроны

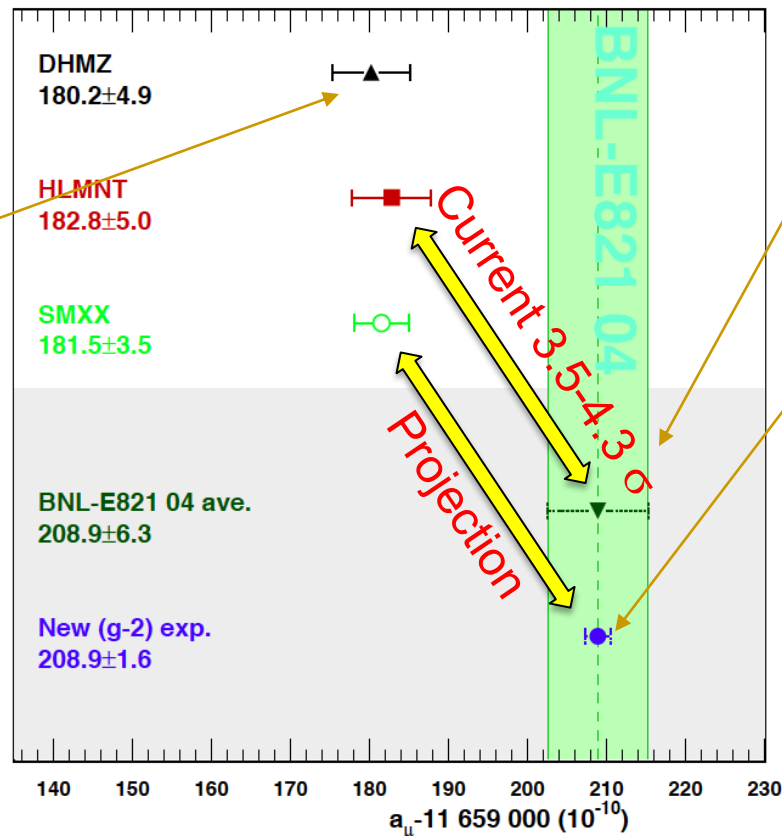


Один из самых ожидаемых результатов с КМД-3 и СНД

Очень важен для вычисления адронного вклада в $(g-2)$ мюона a_μ

Измерения адронных сечений на ВЭПП-2000 нужны для улучшения точности теоретического расчета.

Разница между теорией и измерение – сигнал Новой физики



Измерение в БНЛ

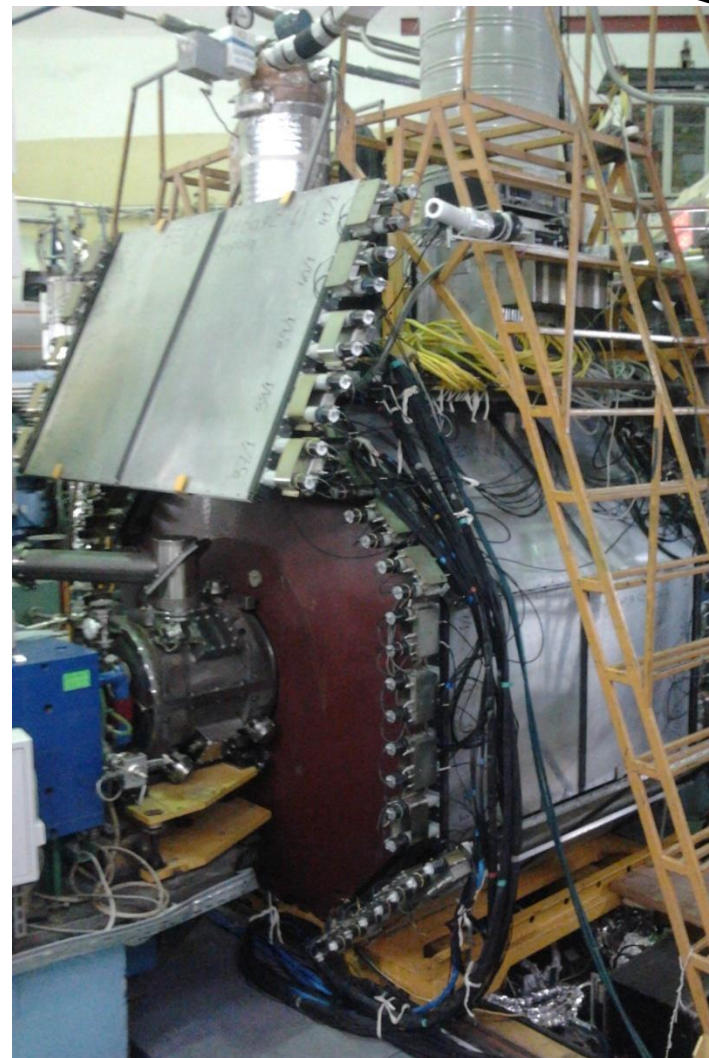
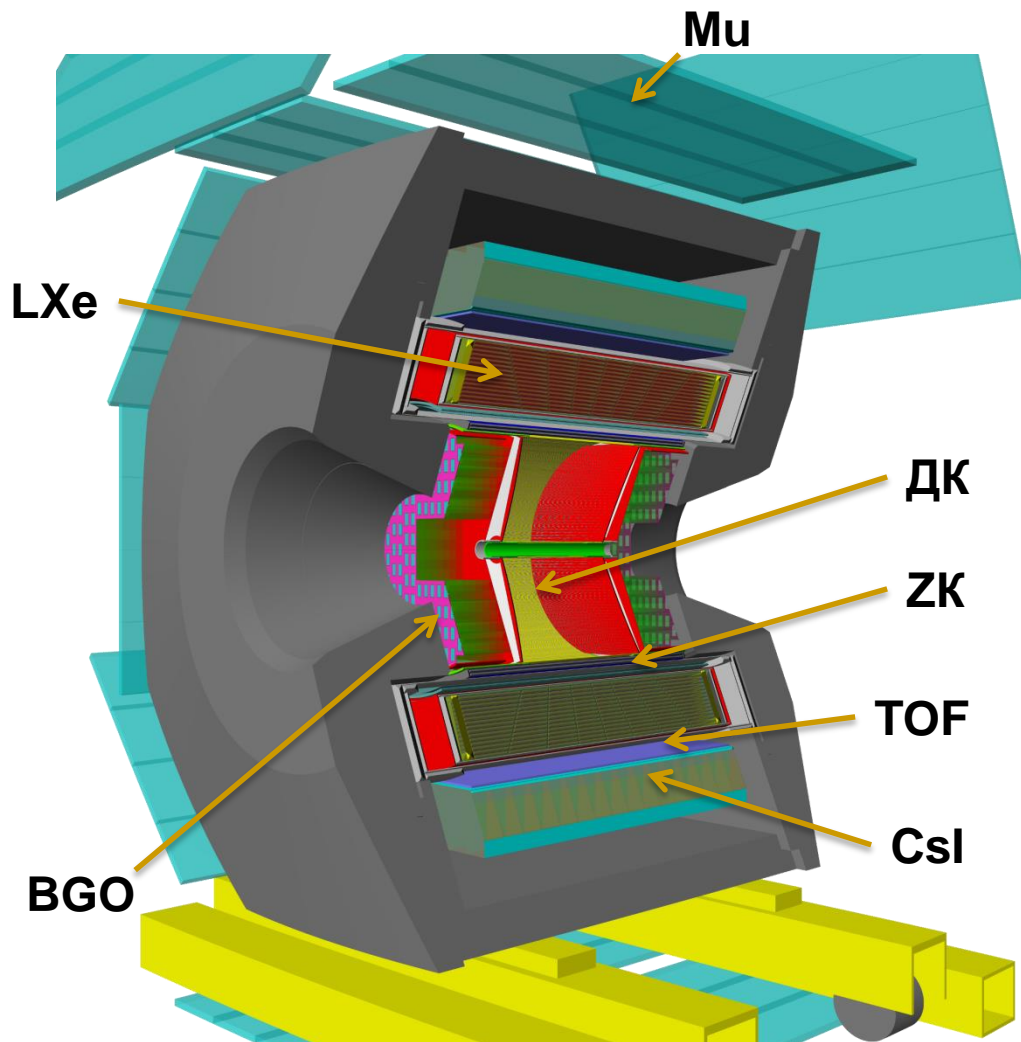
В 2018 году начал набор данных эксперимент в Фермилаб.

Первый результат в 2019 году



Состояние детектора КМД-3

Детектор КМД-3





Состояние детектора

- Дрейфовая камера: в рабочем состоянии
- Z-камера: в рабочем состоянии, вышла из строя летом 2017 года
- Калориметр LXE: в рабочем состоянии, ксенон «залит»
- Калориметр CSI: в рабочем состоянии
- Калориметр BGO: в рабочем состоянии
- Время-пролетная система: в рабочем состоянии
- Мюонная система: в рабочем состоянии
- Криогенная и магнитная системы: поддерживается рабочее поле 13 кГс
- Система сбора данных: в рабочем состоянии

Основные усилия в 2017 были потрачены на набор статистики и поддержании детектора в рабочем состоянии.

2017 год – (пока) самый успешный год КМД-3

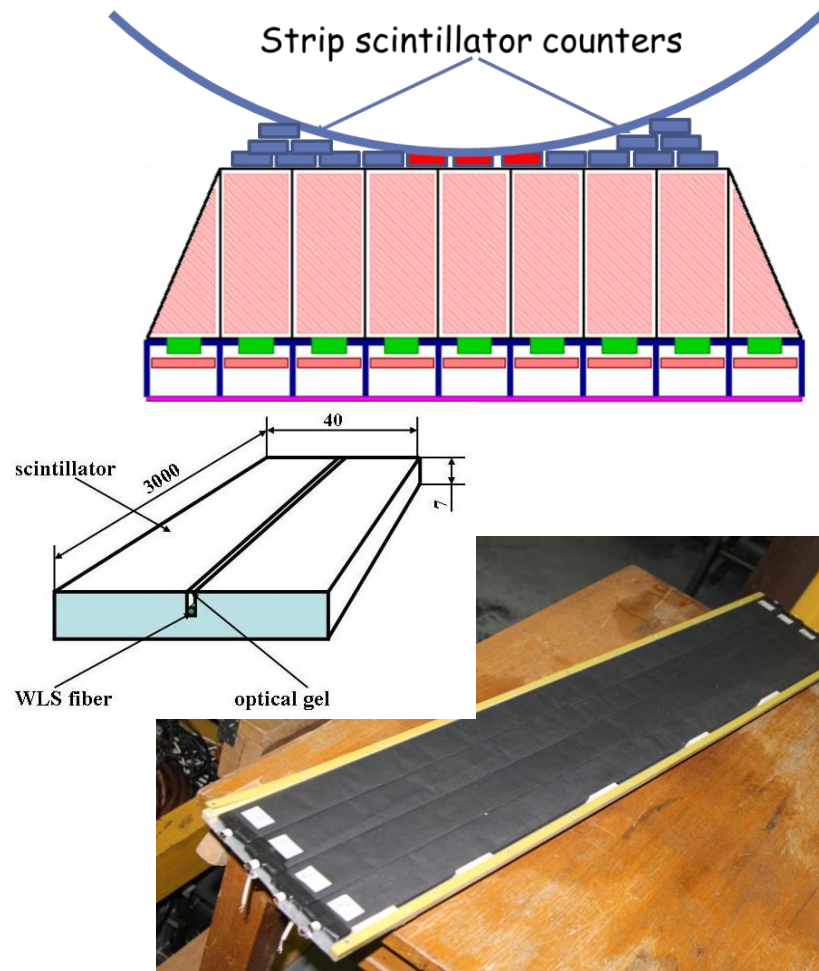
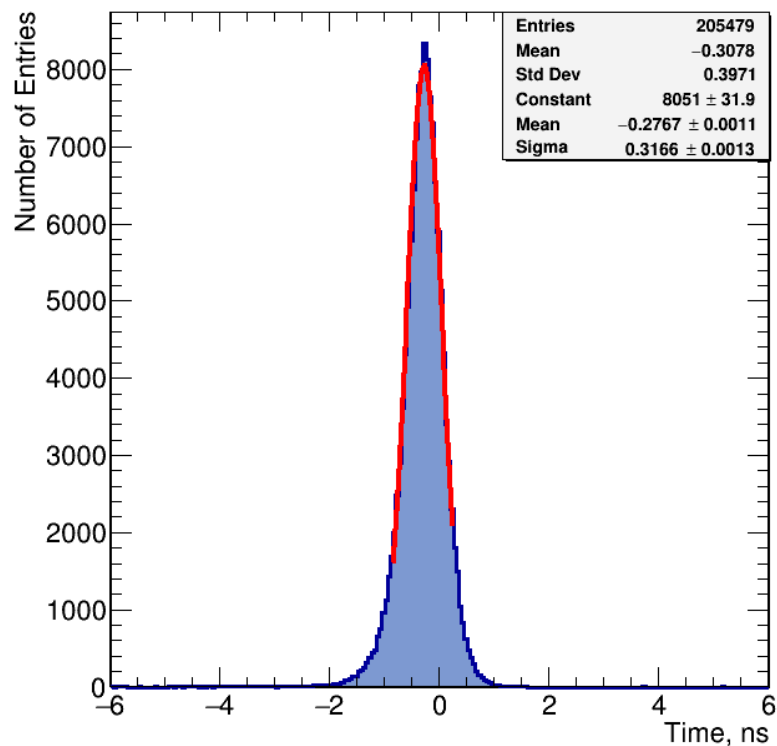
Новая времяпролетная система



В 2017 году полном объеме заработала новая время-пролетная система.

Разрешение для событий $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$:

600 пс/канал 300 пс/событие



Трудности набора



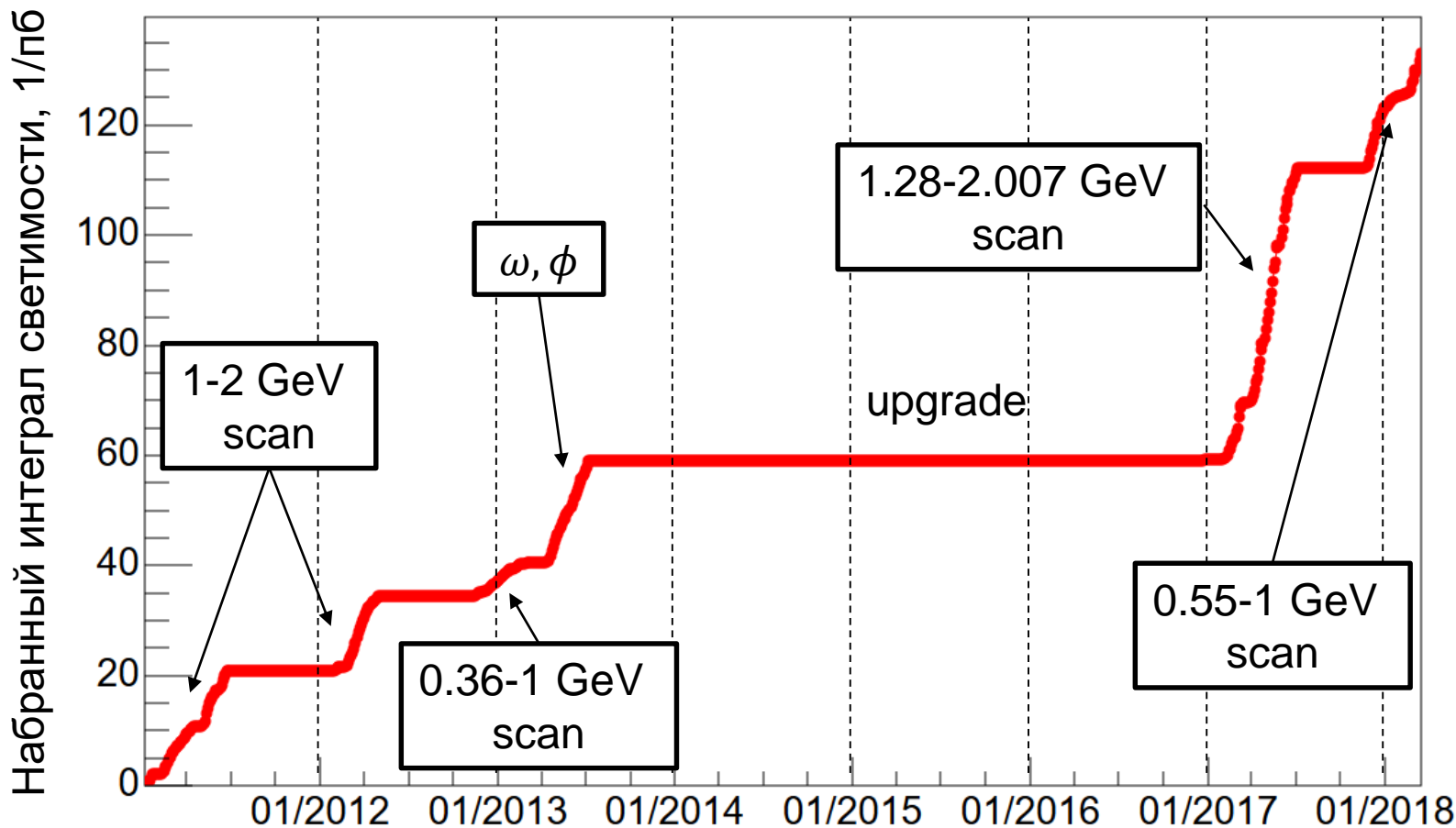
Детектор – очень сложное устройство, и 2017 год нам много раз об этом напомнил

- Весной 2017: **загрязнение жидкого ксенона в калориметре**
научились чистить ксенон прямо в калориметре
- Весна 2017: **большой уровень наводки в дрейфовой камере**
нашли способ снижения, с осени 2017 года работаем с малым уровнем наводки
- Лето 2017: **во время летней остановки порвались проволочки в Z-камере**
Z-камера выключена, но ее функции дублируют другие системы детектора
- Весна-лето 2017: **ряд срывов магнитного поля**
До весны 2018 работали с повышенным расходом гелия и срывами поля при выводе
Сейчас расход гелия вернулся к штатному значению
«Дамоклов меч»

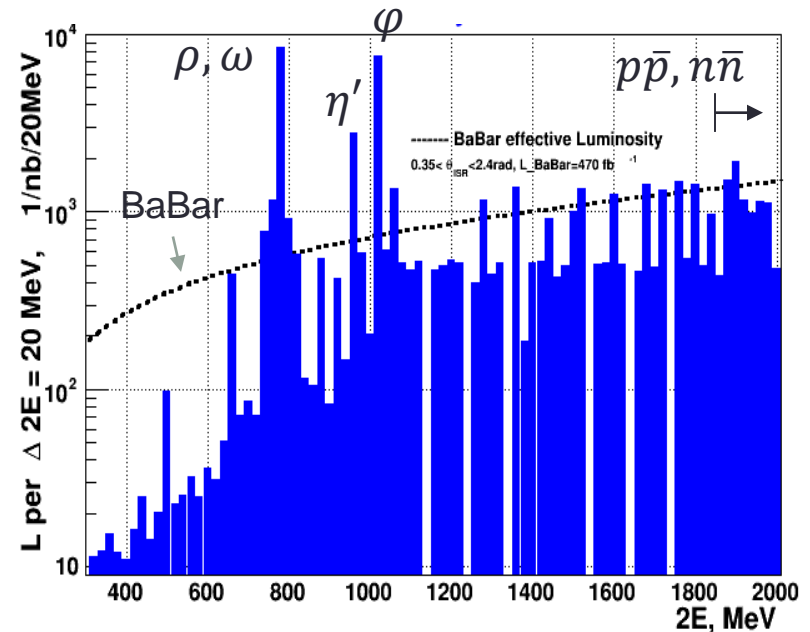
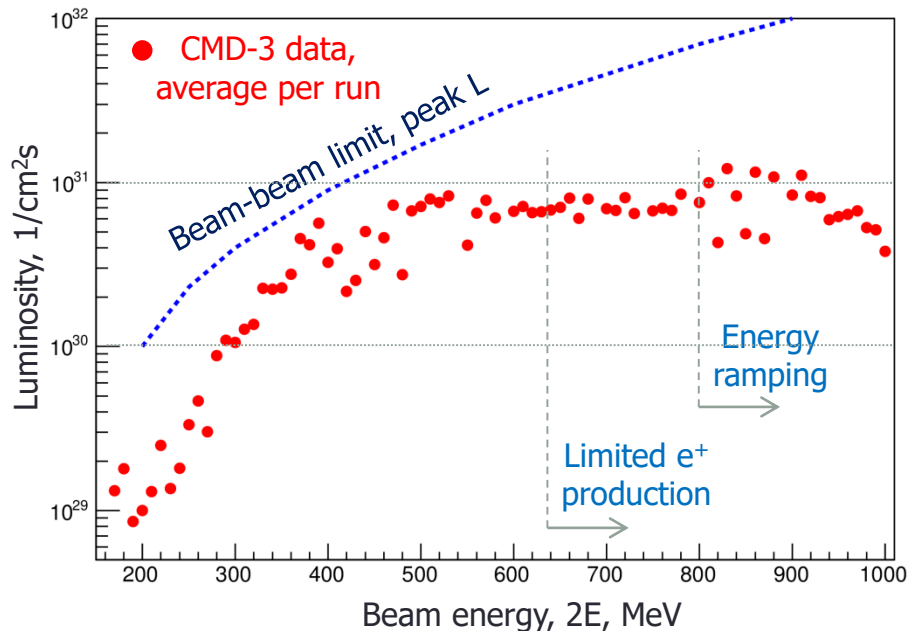


Набор данных в 2017

История набора статистики



Набор данных в 2011-2013



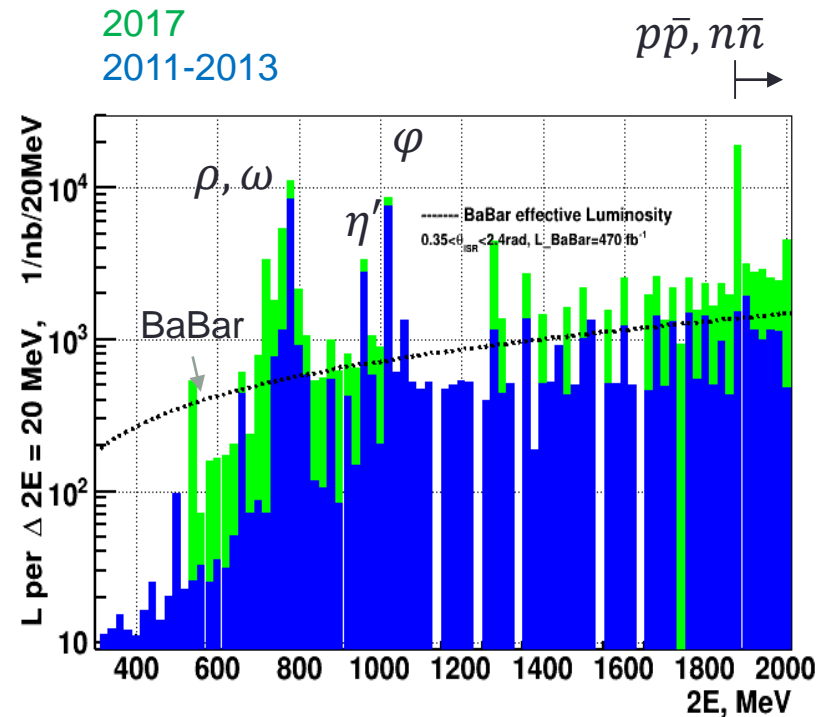
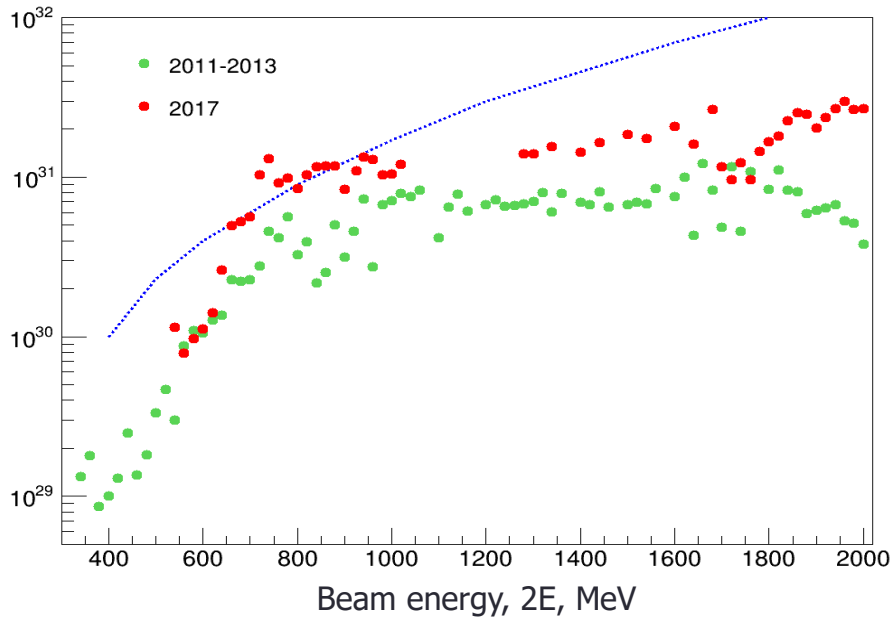
Светимость была лимитирована источником позитронов и необходимостью снижения энергии при инжекции.

В 2013 году началась модернизация комплекса

Интеграл, набранный в 2011-2013: 60 1/пб

$\omega(782)$	8.3 1/pb
$2E < 1 \text{ GeV}$ (except ω)	9.4 1/pb
$\phi(1019)$	8.4 1/pb
$2E > 1.04 \text{ GeV}$	34.5 1/pb

2017 data taking



Набрали рекордный интеграл светимости почти во всей области энергий ВЭПП-2М

Светимость выросла в 2-10 раз

Интеграл, набранный в 2017-2018

2.007 GeV ($e^+e^- \rightarrow D^{0*}$)	4 $1/pb$
$p\bar{p}$ and $n\bar{n}$ threshold	14 $1/pb$
Overall:	
1.28 – 2.007 GeV	50 $1/pb$
0.55 – 1.00 GeV	20 $1/pb$



Анализ набранных данных

Эксклюзивные каналы $e^+e^- \rightarrow$ адроны



- Необходимо измерить сечение $e^+e^- \rightarrow$ адроны отдельно для каждого конечного состояния (эксклюзивный подход)
- Необходимо измерить не только сечение, но и динамику (понять механизм)

- 2 заряженные частицы

$$e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-, K^+K^-, K_S K_L, p\bar{p}$$

- 2 заряженные частицы + фотоны

$$e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0, \pi^+\pi^-\eta, K^+K^-\pi^0, K^+K^-\eta, K_S K_L \pi^0, \pi^+\pi^-\pi^0\eta, \\ \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0, \pi^+\pi^-\pi^0\eta, \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0\pi^0, \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0\pi^0\pi^0$$

- 4 заряженные частицы

$$e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^+\pi^-, K^+K^-\pi^+\pi^-, K_S K^*$$

- 4 заряженные частицы + фотоны

$$e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^+\pi^-\pi^0, \pi^+\pi^-\eta, \pi^+\pi^-\omega, \pi^+\pi^-\pi^+\pi^-\pi^0\pi^0, K^+K^-\eta, K^+K^-\omega$$

- 6 заряженных частиц

$$e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-$$

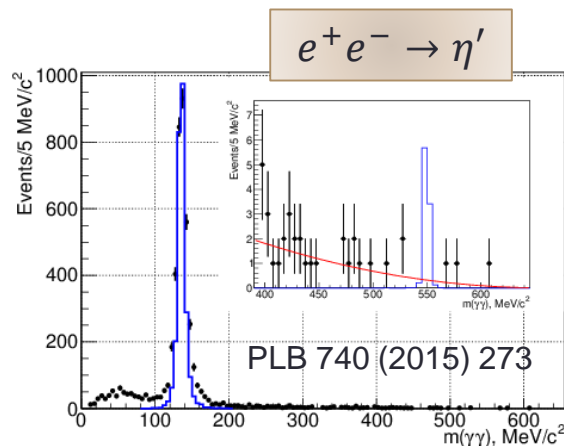
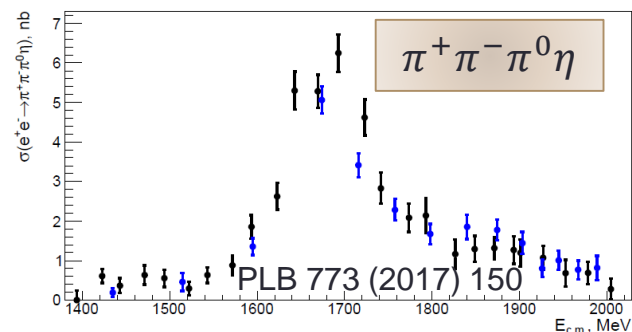
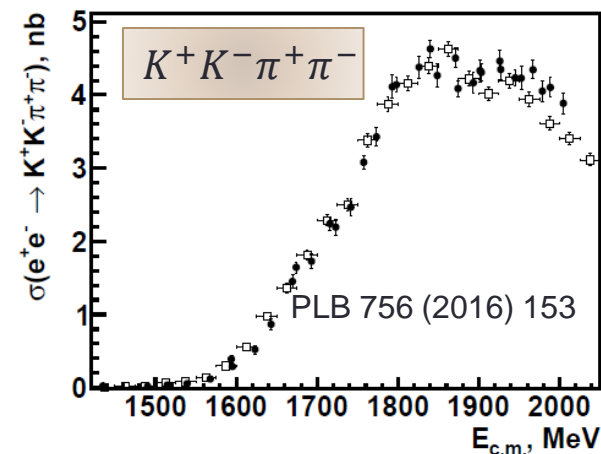
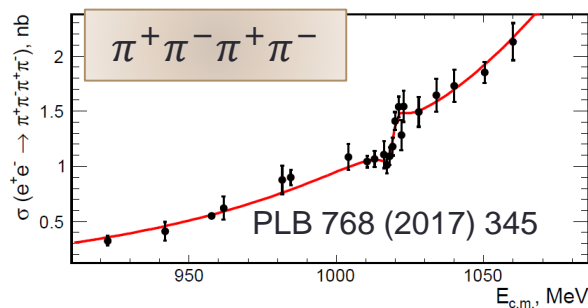
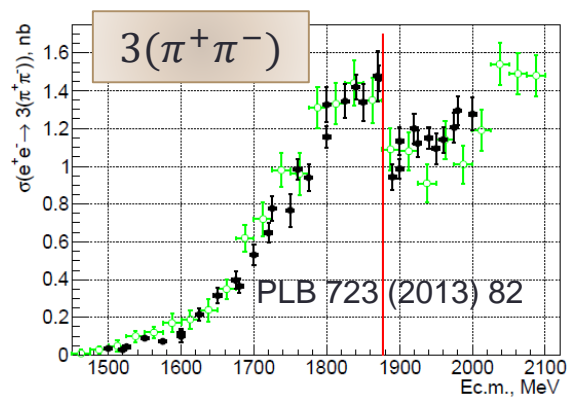
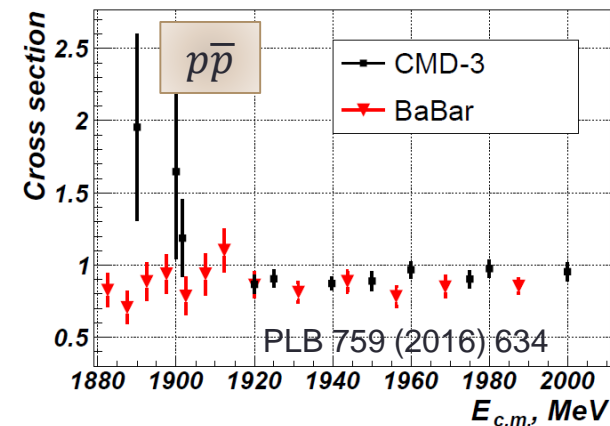
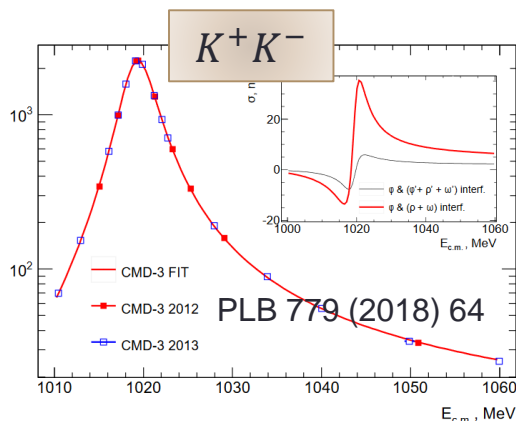
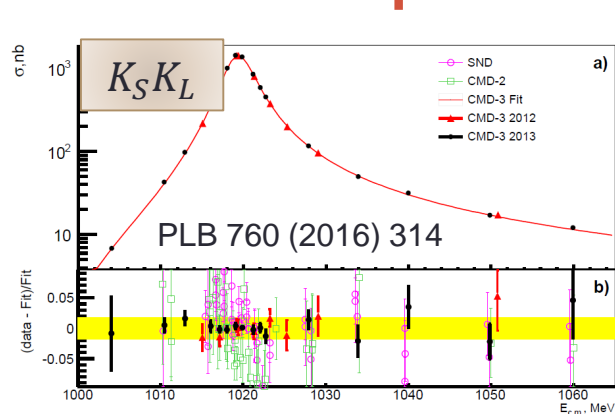
- Только фотоны

$$e^+e^- \rightarrow \pi^0\gamma, \eta\gamma, \pi^0\pi^0\gamma, \pi^0\eta\gamma, \pi^0\pi^0\pi^0\gamma, \pi^0\pi^0\eta\gamma$$

- Другие конечные состояния

$$e^+e^- \rightarrow n\bar{n}, \pi^0 e^+ e^-, \eta e^+ e^-$$

CMD-3 published results from 2011-2013



Публикации 2017 года

■ Анализ данных

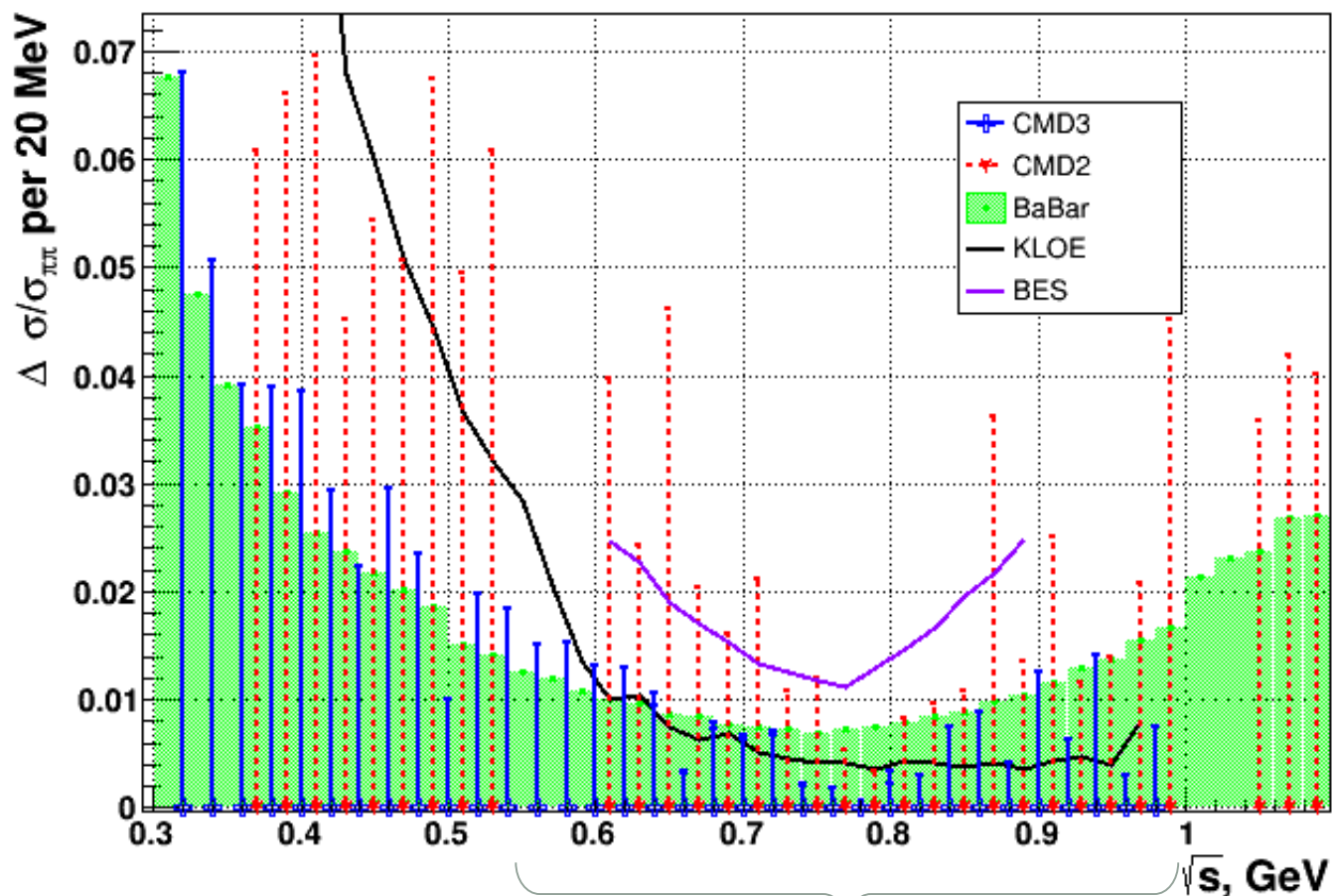
- 3 статьи с окончательным результатом
 $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^+\pi^-, \pi^+\pi^-\pi^0\eta, K^+K^-$
- ~10 конференционных статей

■ Методические статьи

- 1 статья
- 8 конференционных статей (1 направлена)

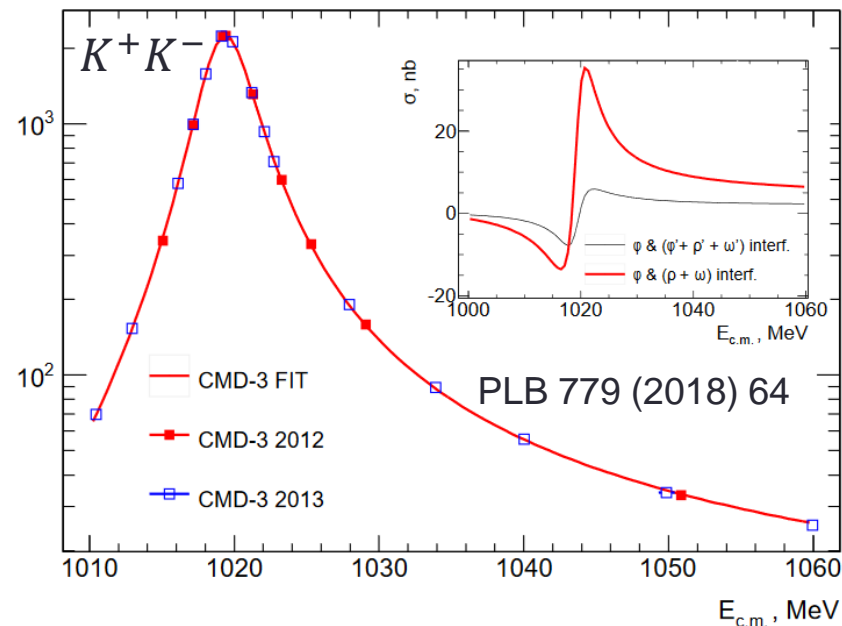
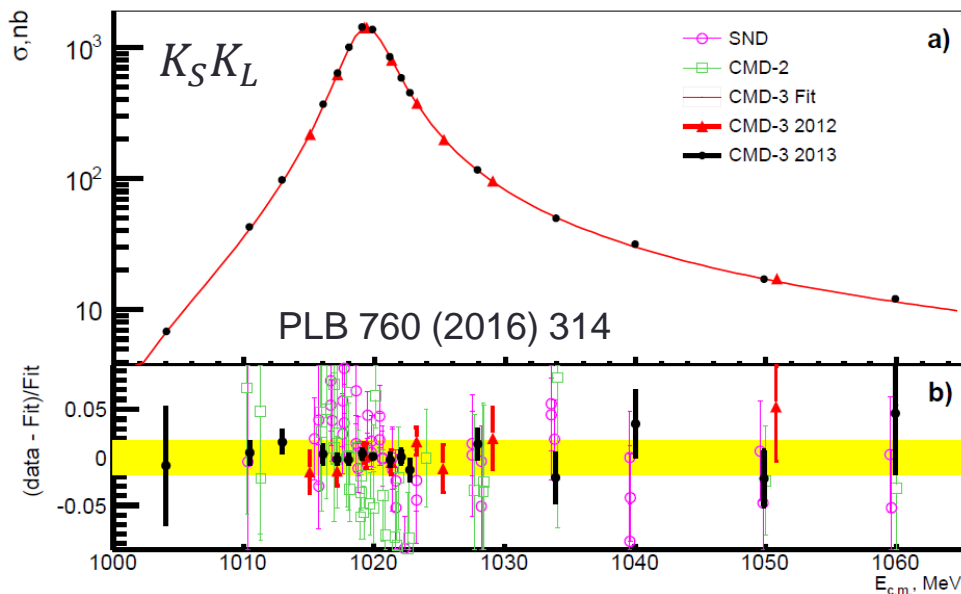
$e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$: статистика

Стат.ошибка $\Delta\sigma/\sigma$ в 20 MeV бинах



Already collected x2-3 data in 2017-2018

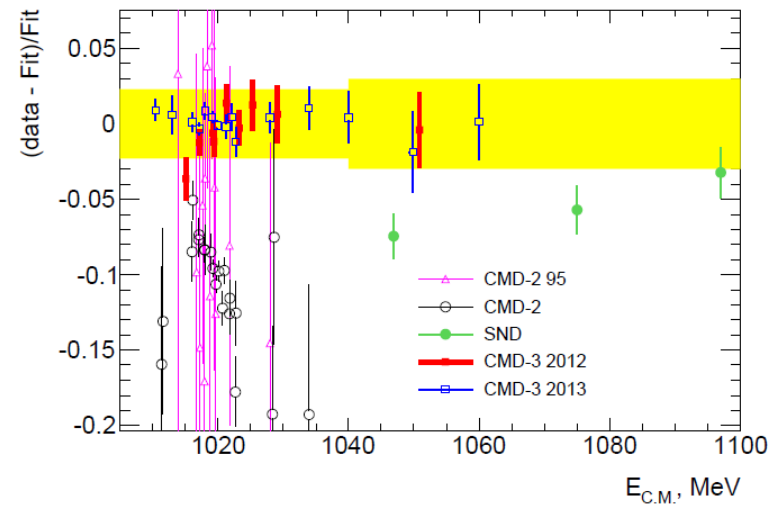
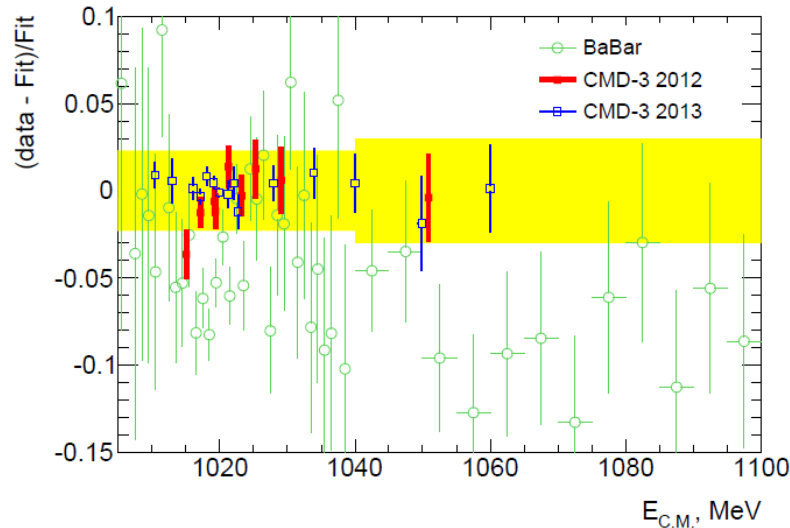
$K_S K_L$ and $K^+ K^-$ @ $\varphi(1020)$



В 2017 году опубликован окончательный результат $e^+e^- \rightarrow K\bar{K}$ в области энергий $\varphi(1020)$ мезона:

- $K_S K_L$ at φ , systematic precision 1.8%
- $K^+ K^-$ at φ , systematic precision 2.0% (2.8%)

K^+K^- : сравнение с другими измерениями



В канале K^+K^- наблюдается заметная разница с предыдущими измерениями

Новое измерение КМД-3 согласуется с изоспиновой симметрией:

$$R = \frac{g_{\phi K^+K^-}}{g_{\phi K_S K_L} \sqrt{Z(m_\phi)}} = 0.990 \pm 0.017$$

- $R_{SND} = 0.92 \pm 0.03 (2.6\sigma)$
- $R_{CMD-2} = 0.943 \pm 0.013 (4.4\sigma)$
- $R_{BaBar} = 0.972 \pm 0.017 (1.5\sigma)$

На КМД-2 недооценили поправку на эффективность триггера

$K_S K_L$ and $K^+ K^-$: $\rho - \varphi$ interference

$\rho - \varphi$ interference can be directly observed:

$$R_{c/n} = \sigma(e^+e^- \rightarrow K^+K^-) \times \frac{p_{K^0}^3(s)}{p_{K^\pm}^3(s)} \times \frac{1}{Z(s)} - \delta \times \sigma(e^+e^- \rightarrow K_S K_L)$$

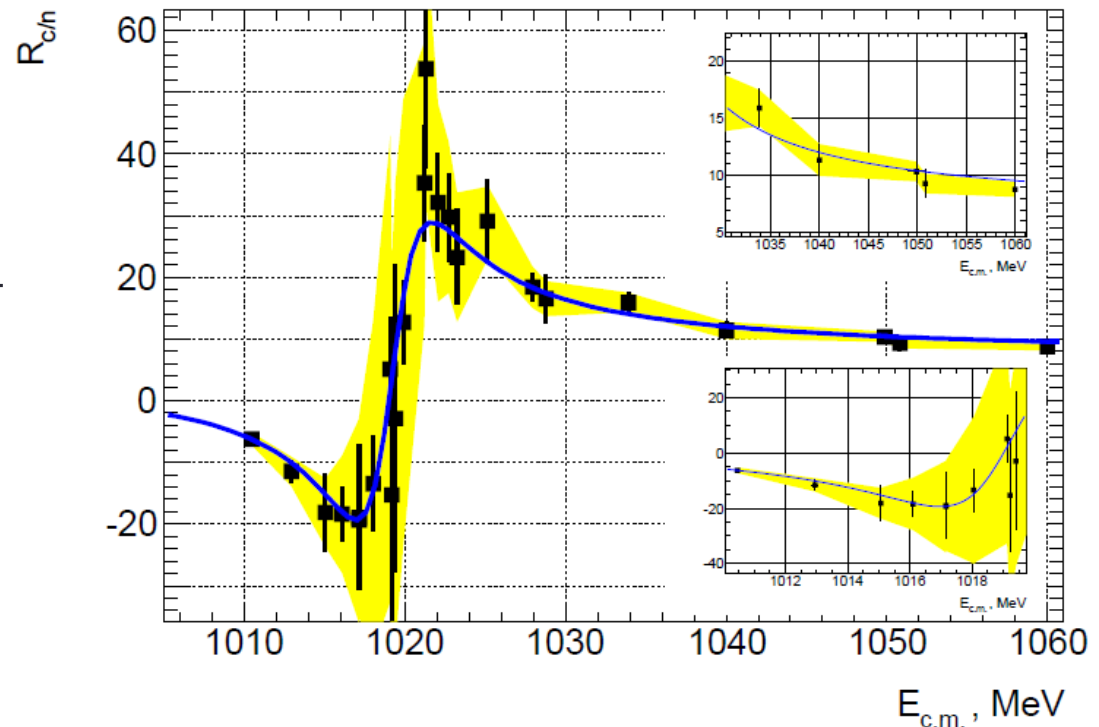
- $r_{\rho,\omega} = 0.91 \pm 0.04$

deviation of SU(3) relations

$$g_{\omega K^+ K^-} = g_{\rho K^+ K^-} = -g_{\varphi K^+ K^-} / \sqrt{2}$$

- $\delta = 0.989 \pm 0.003$

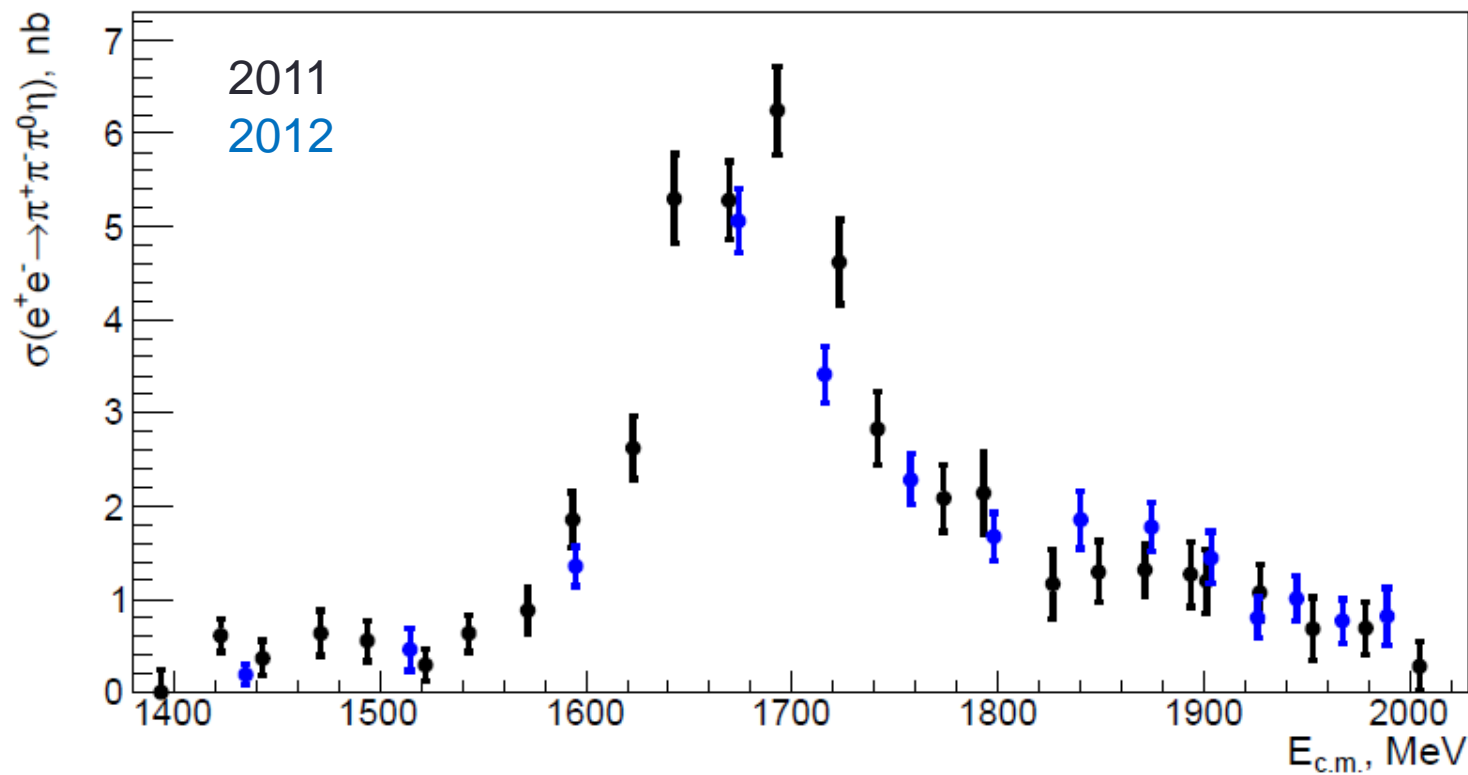
test of systematic errors



$$e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\eta$$

Первое измерение полного сечения $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\eta$. Систематическая ошибка 15%.

Phys.Lett. B773 (2017) 150-158



Dynamics of $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\eta$

В области «низких» энергий

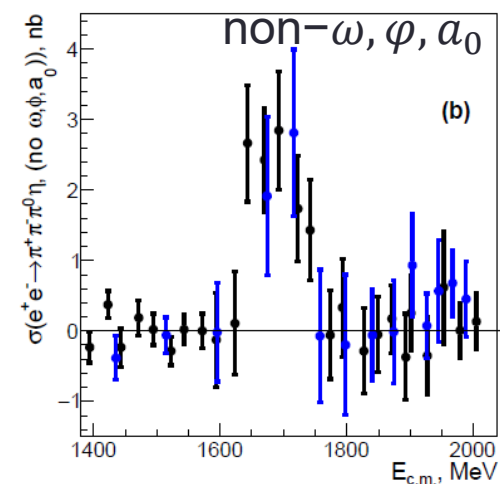
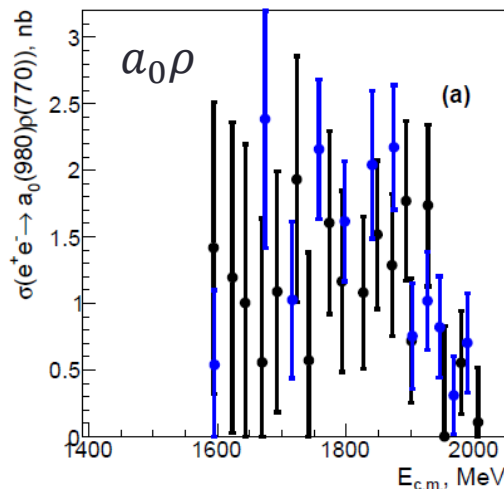
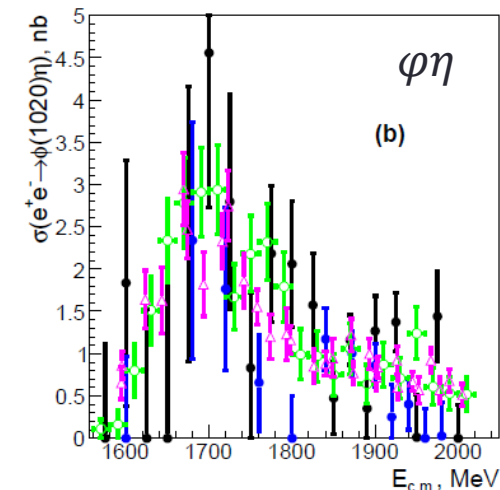
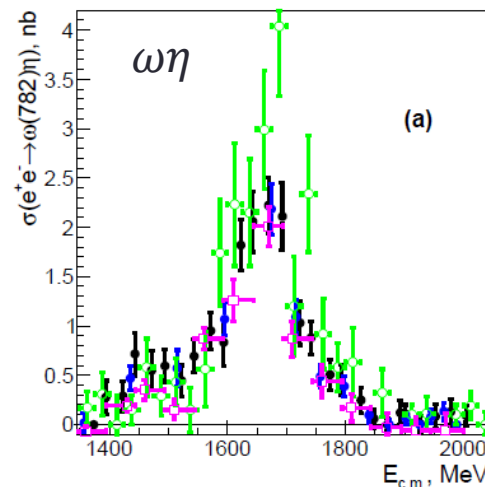
$$e^+e^- \rightarrow \omega\eta, \varphi\eta$$

В области «высоких» энергий

$$e^+e^- \rightarrow a_0(980)\rho$$

Наблюдается не- ω, φ, a_0
механизм, возможно:

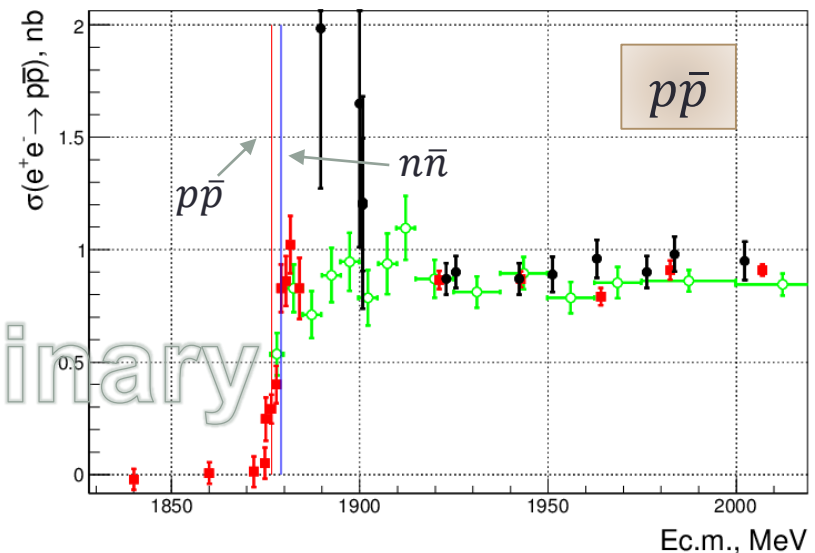
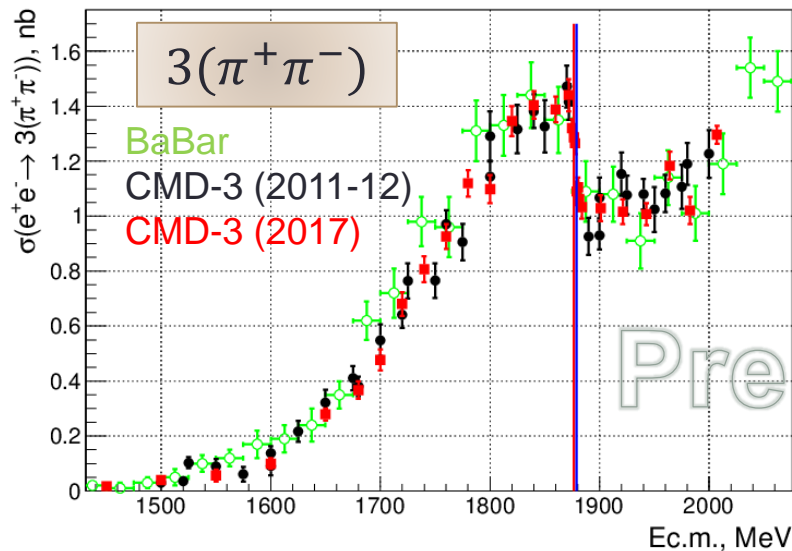
$$e^+e^- \rightarrow \omega(1650) \rightarrow \rho(1450,1700)\pi \rightarrow \rho(770)\eta\pi$$



2017: $e^+e^- \rightarrow 3(\pi^+\pi^-)$ at $N\bar{N}$ threshold

В 2017 набрали 13 1/пб в узкой области энергий вокруг порога рождения $N\bar{N}$

- подтвердили резкое нарастание сечения $e^+e^- \rightarrow p\bar{p}$
- подтвердили резкое падение сечения $e^+e^- \rightarrow 3(\pi^+\pi^-)$
- неожиданно наблюдали резкое изменение сечения и в других каналах



Анализ данных - обзор



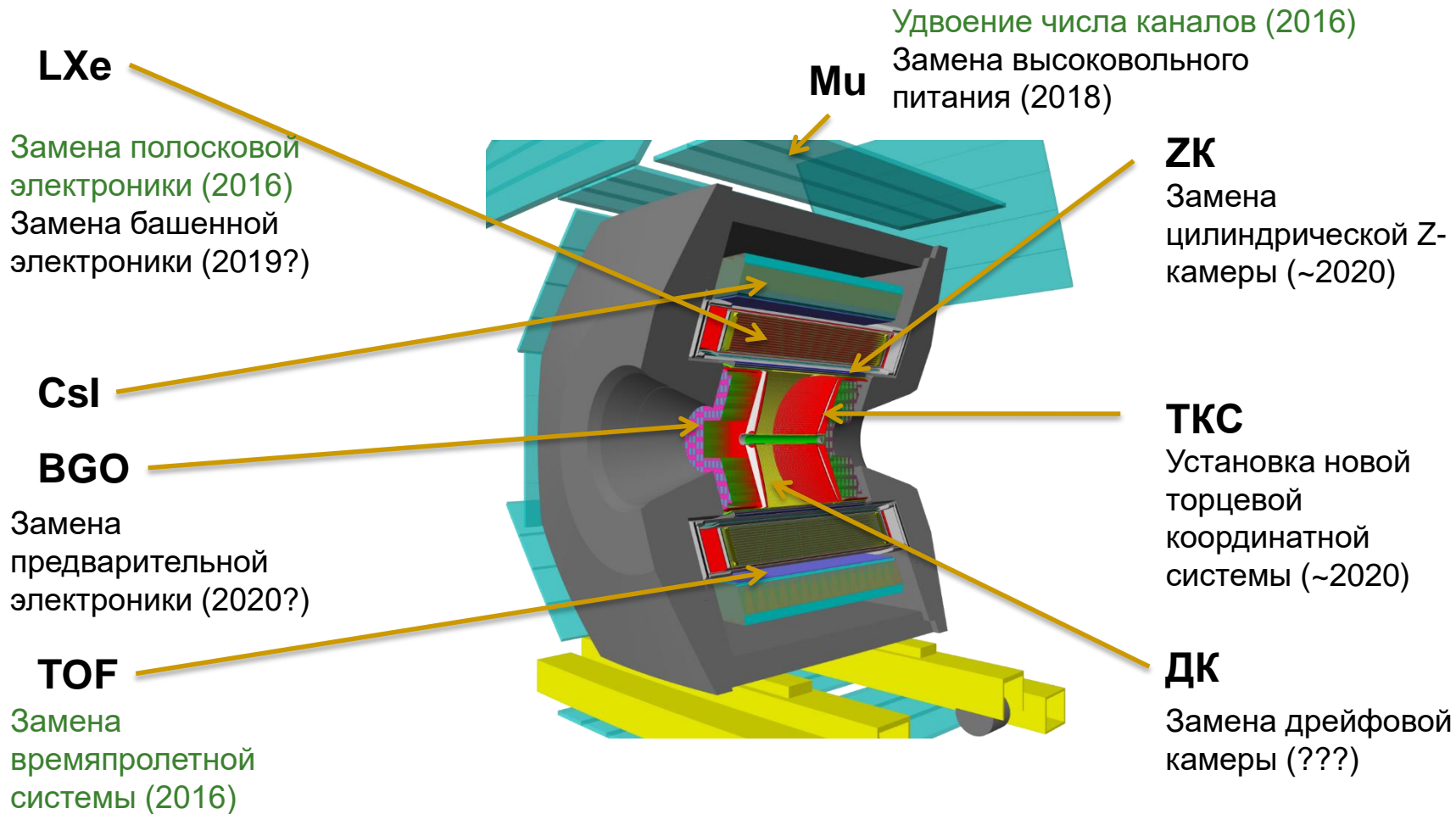
$e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$		$e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^+\pi^-$	ϕ
$e^+e^- \rightarrow K^+K^-$	ϕ	$e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$	ϕ
$e^+e^- \rightarrow K_S K_L$	ϕ	$e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^+\pi^-\pi^0$	
$e^+e^- \rightarrow \eta\gamma, \pi^0\gamma, 3\gamma$		$e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-$	
$e^+e^- \rightarrow K^+K^-\pi^0$		$e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$	
$e^+e^- \rightarrow K^+K^-(\eta, \omega)$		$e^+e^- \rightarrow p\bar{p}$	
$e^+e^- \rightarrow K_S K^* ?$		$e^+e^- \rightarrow n\bar{n}$	
$e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0 ?$		$e^+e^- \rightarrow \eta'(958)$	
$e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\eta$		$e^+e^- \rightarrow K_S K_L \eta, \pi^0$	
$e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma$		$e^+e^- \rightarrow \eta\gamma, \eta \rightarrow 3\pi$	
dark photon search		$e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-\pi^0$	
$e^+e^- \rightarrow K^+K^-\pi^+\pi^-$		Конв. распады $e^+e^- \rightarrow e^+e^-\pi^0, e^+e^-\eta$	

- Опубликовано
- Предварительные результаты доложены на конференциях
- Идет анализ

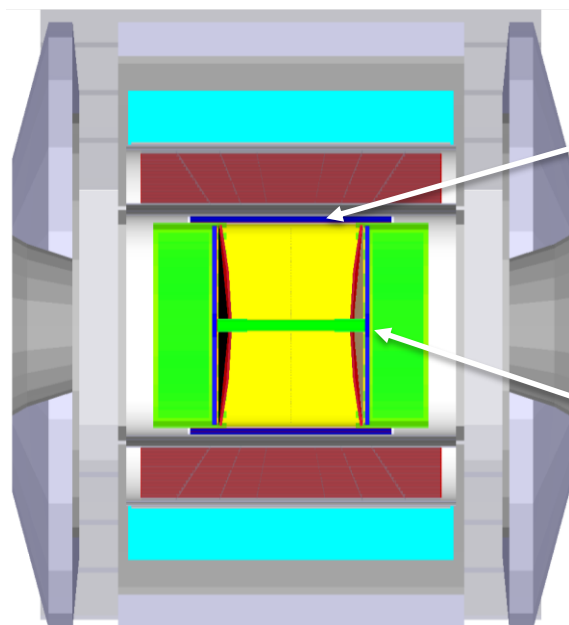


Планы и перспективы

Планы модернизации детектора

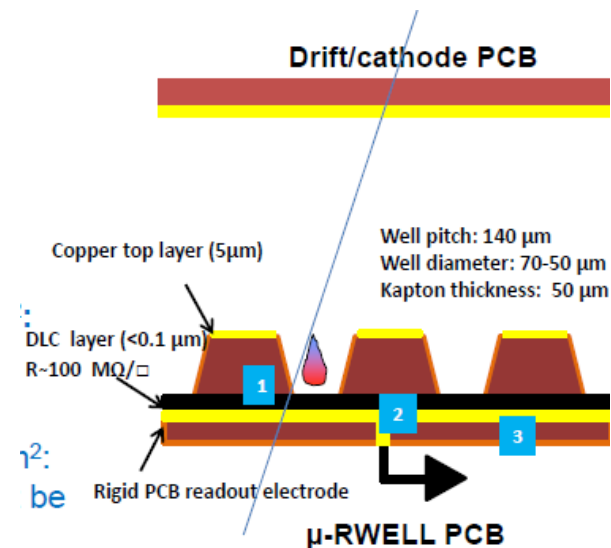


Z-камера и торцевая координатная системы



Цилиндрическая Z-камера

Торцевые координатные диски



G. Bencivenni et al., 2015_JINST_10_P02008

Предполагается заменить цилиндрическую Z-камеру и разработать новую торцевую координатную систему на основе micro-RWELL технологии (Л.И.Шехтман, Г.В.Федотович)

В 2017 начались работы с малоразмерным прототипом.

Заключение



- В 2017 году набрали рекордный объем данных

Детектор находится в хорошем состоянии

Продолжаем набор данных в 2018 году

- Продолжается анализ ранее набранных данных

«В кармане» около 60 пб^{-1} данных (2011-2013) и 70 пб^{-1} данных (2017-2018) в области энергий 0.32-2 ГэВ

Продолжаем улучшать программное обеспечение, алгоритмы, калибровки,...

- Продолжаем развивать детектор

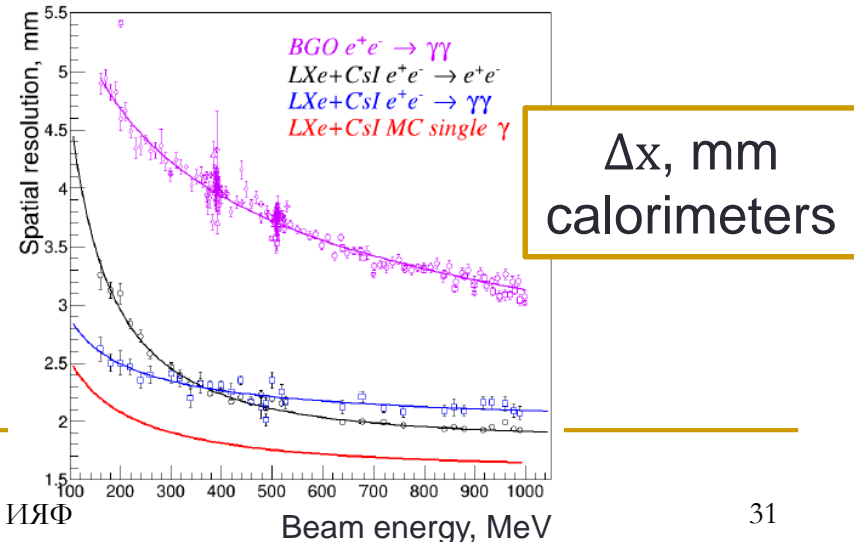
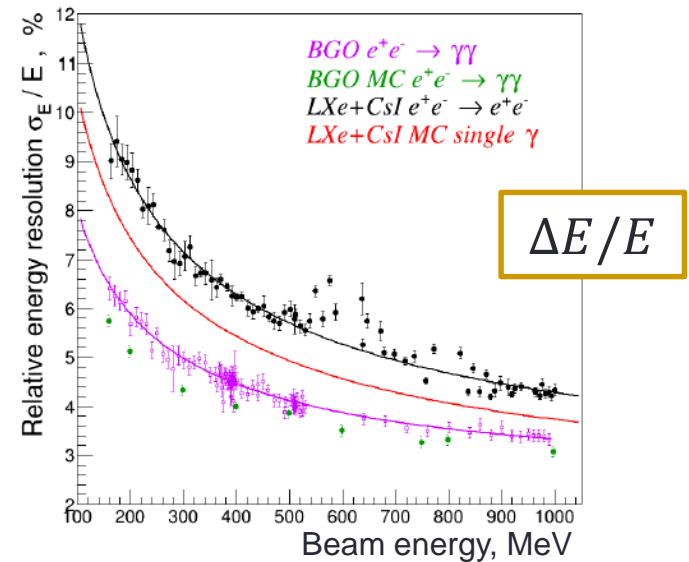
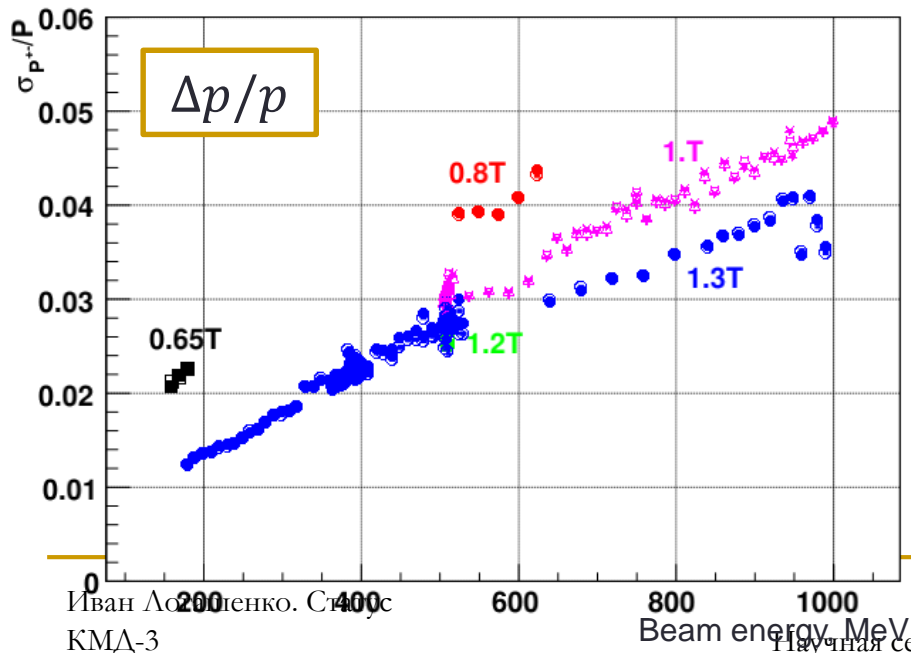
Цель – 1 фб^{-1} , набрали 12%



Запасные слайды

CMD-3 Performance (2011-2013)

- 1.0-1.3 T magnetic field
- Tracking: $\sigma_{R\phi} \sim 100 \mu, \sigma_z \sim 2 - 3 \text{ mm}$
- Combined EM calorimeter (LXE, CsI, BGO), $13.5 X_0$
 - $\sigma_E/E \sim 3\% - 10\%$
 - $\sigma_\Theta \sim 5 \text{ mrad}$



VEPP-2000 upgrade (2013-2016)



Collider upgrades:

- x10 more intense positron source
- booster up to 1 GeV (match VEPP-2000)

CMD-3 upgrades:

- New electronics for Lxe calorimeter
- New TOF system
- DAQ and electronics upgrades

Detectors resumed data taking by the end of 2016

Предварительно: $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$

