
Детектор КМД-3: взгляд из 2018



Логашенко И.Б.

Научная сессия ИЯФ, 22 февраля 2019

План доклада



- Детектор КМД-3 и физическая программа
- Набор данных в 2018 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 $p\bar{p}, n\bar{n}$
Поведение адронных сечений на пороге

Отдельные задачи:

$$e^+e^- \rightarrow \eta'$$
$$e^+e^- \rightarrow \pi^0 e^+e^-$$
$$e^+e^- \rightarrow D^{0*}$$

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

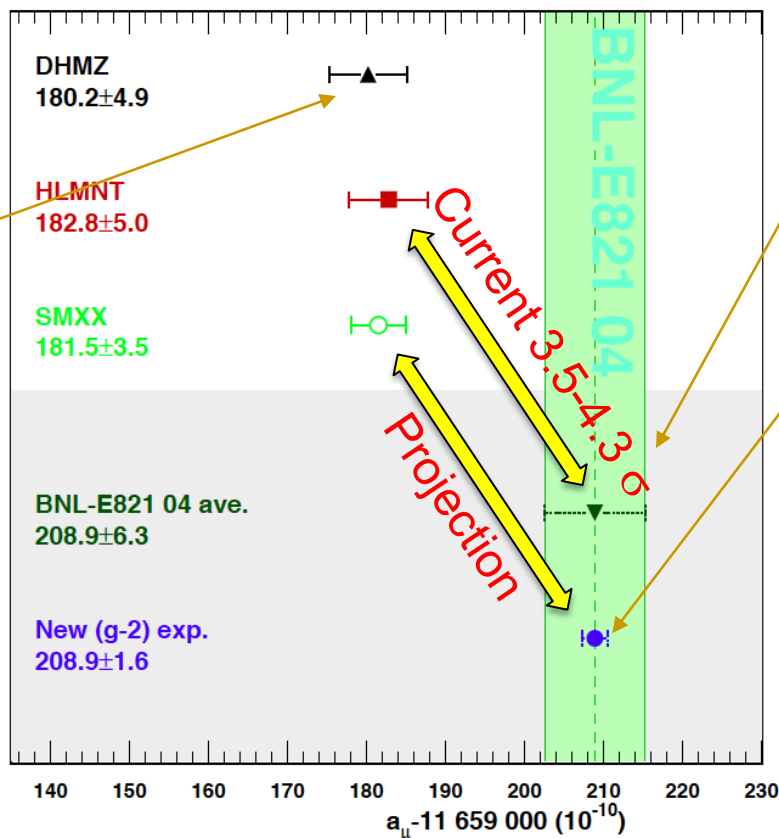


Один из самых ожидаемых результатов с КМД-3 и СНД

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.

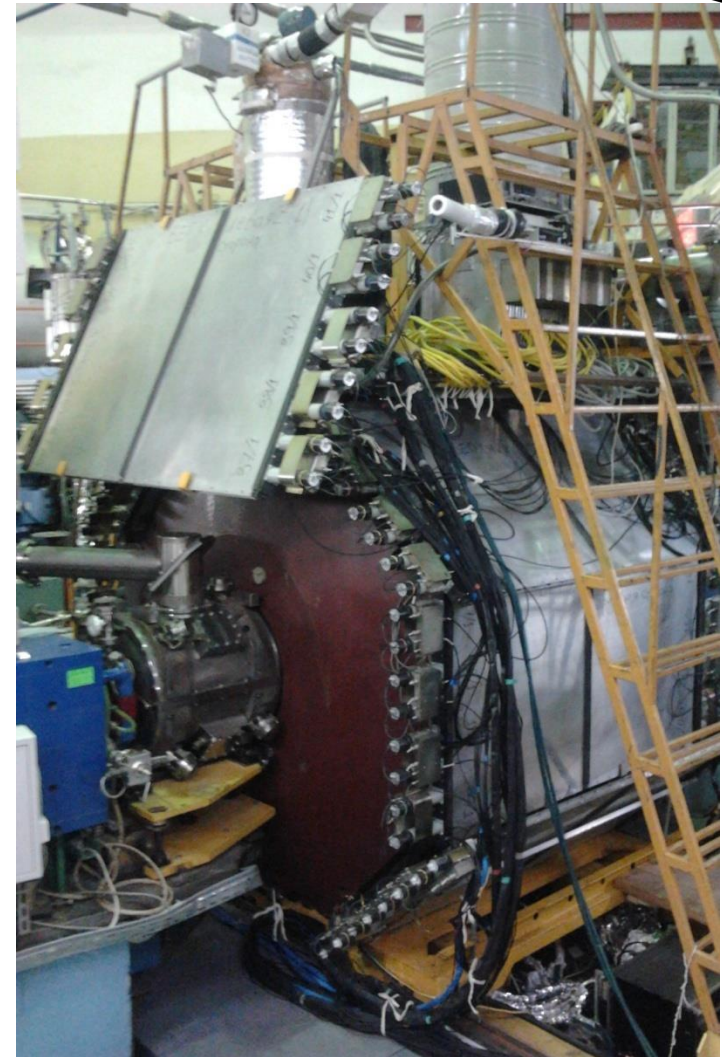
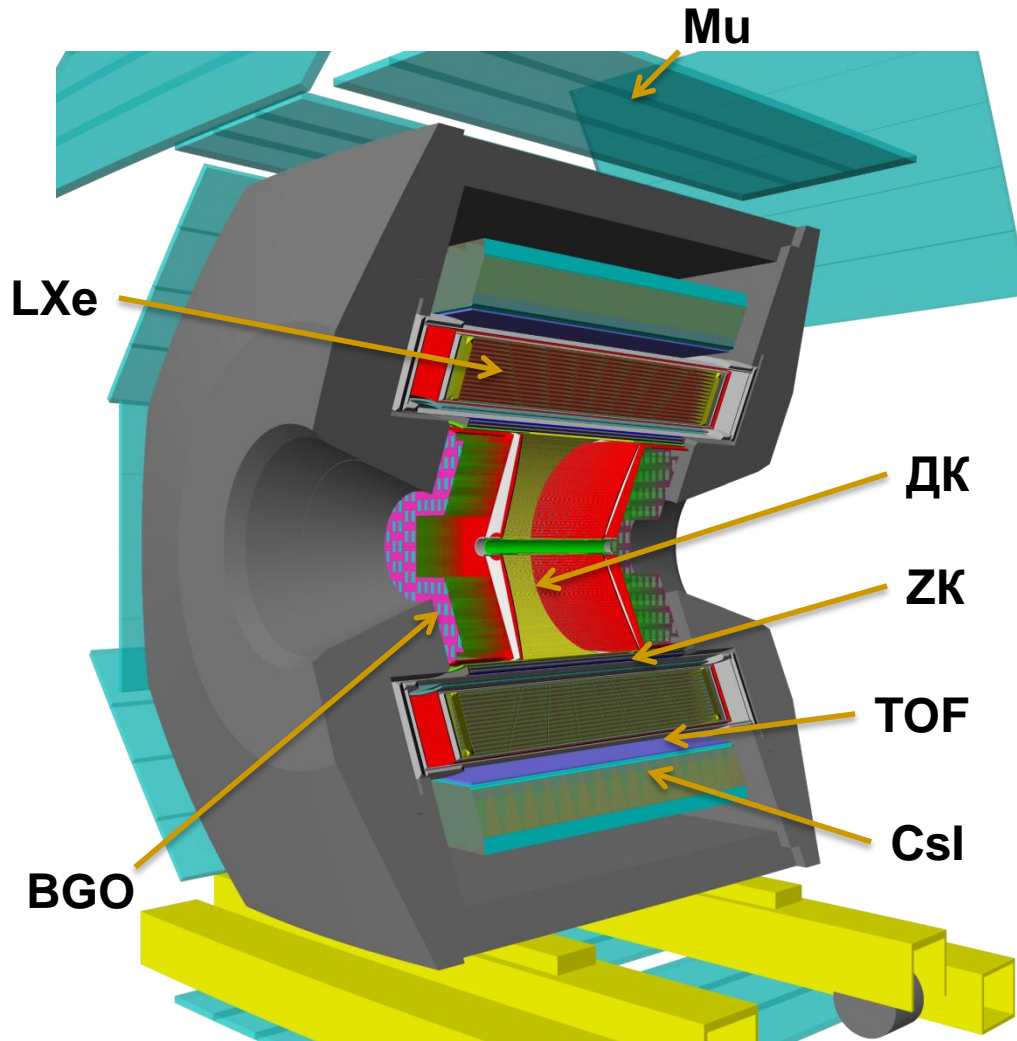
Набрано 200% БНЛ

Первый результат в 2019 году



Состояние детектора КМД-3

Детектор КМД-3



Состояние детектора в 2018



- Дрейфовая камера: в рабочем состоянии
- Z-камера: вышла из строя летом 2017 года
- Калориметр LXE: в рабочем состоянии
- Калориметр CSI: в рабочем состоянии
- Калориметр BGO: в рабочем состоянии
- Время-пролетная система: новая, 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 2018 были потрачены на набор статистики и поддержании детектора в рабочем состоянии (текущий ремонт).

2018 год – очень успешный год с точки набора статистики

Трудности набора



Мы набирали данные с ноября 2017 по июнь 2018

- Весна 2018: **ряд срывов магнитного поля и повышенный расход жидкого гелия**

До весны 2018 работали с повышенным расходом гелия и срывами поля при выводе. После очередного срыва расход гелия вернулся к штатному значению и сохраняется на этом уровне до сих пор. Срывы при выводе происходят и сейчас, но не всегда.

Зимой 2019 года значительно улучшен вакуум. Для полноценного ремонта требуется глубокая разборка детектора.

- Сезон 2018: **наводка в дрейфовой камере**

В сезоне 2017 года обнаружилось, что в ДК есть наводка, которая ухудшает разрешение по θ в ~ 2 раза. Случайно обнаружили, что уровень снижается при подвижке соленоидов ВЭПП-2000. Летняя остановка 2018 года – модернизация. Сейчас уровень наводки малый.

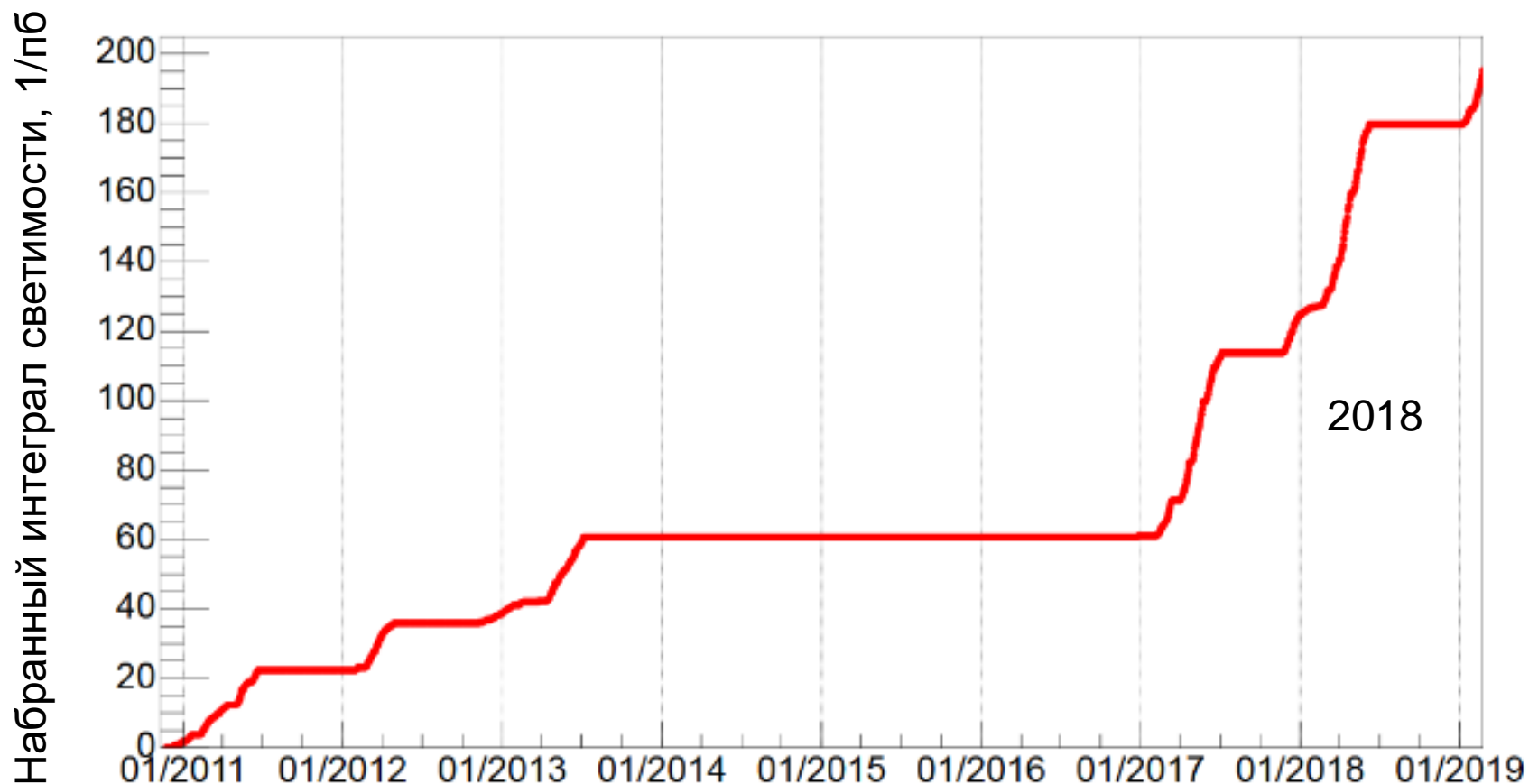
- Июнь 2018: **Пробой на 16 слое дрейфовой камеры**

Конец сезона. Отремонтировано летом 2018

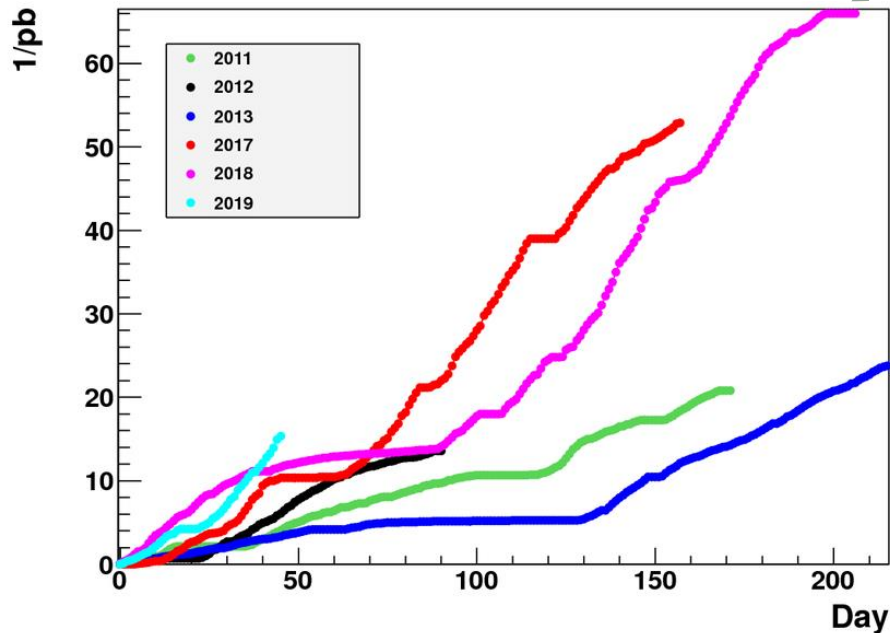


Набор данных в 2018

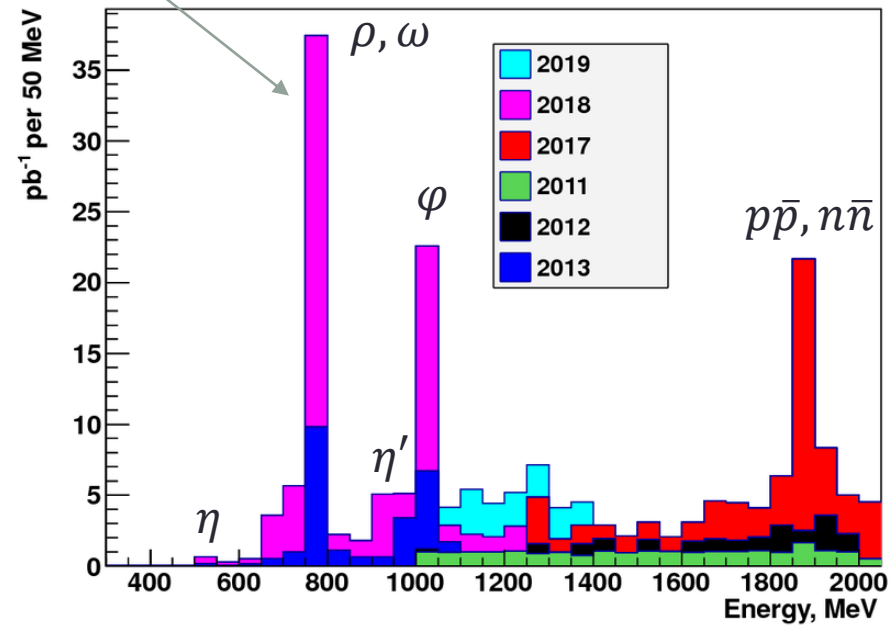
История набора статистики



2018 data taking



2018



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 66 $1/pb$

В 2018 году набрали рекордный интеграл светимости в области энергий ниже фимезона

Светимость выросла в 2-10 раз



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

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

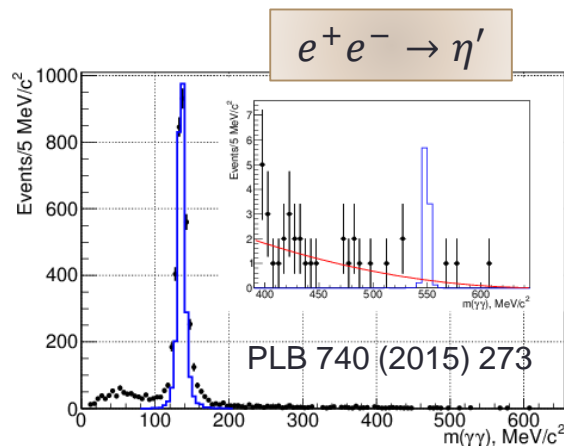
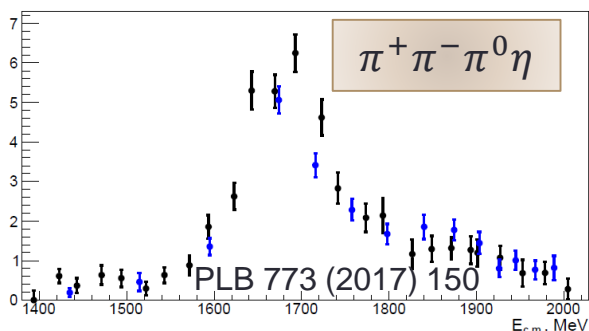
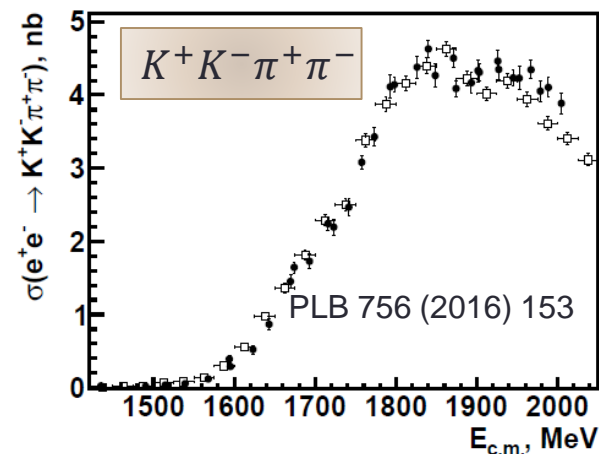
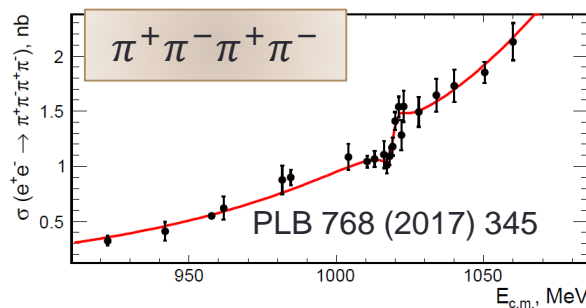
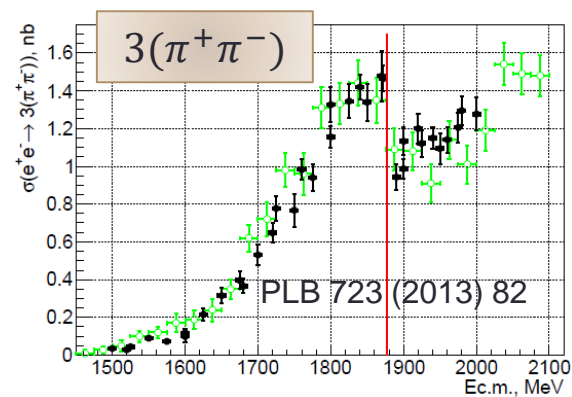
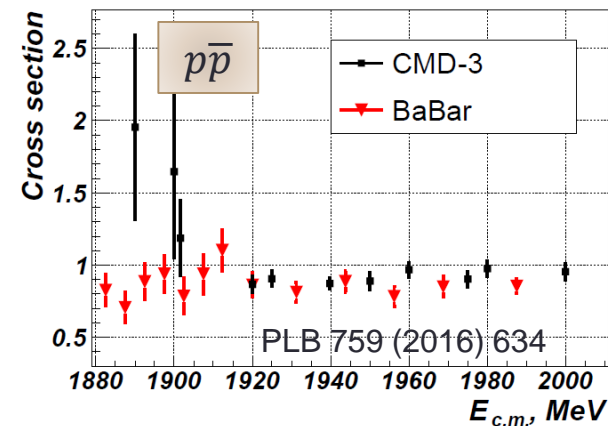
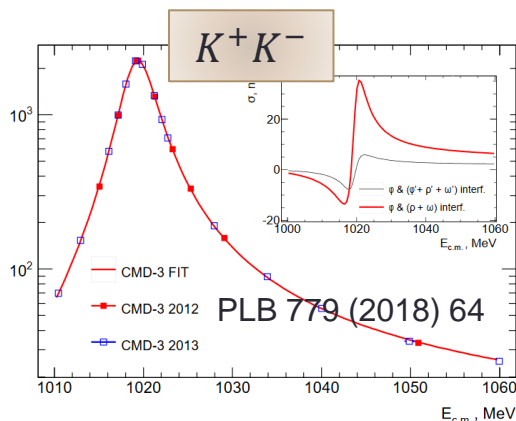
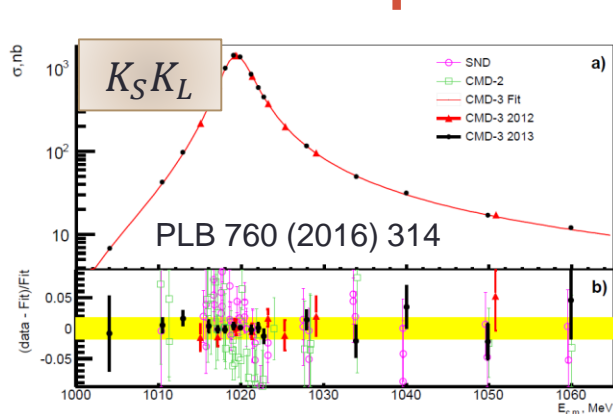
- Другие конечные состояния

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

- Редкие распады

$$e^+e^- \rightarrow \eta, \eta', D^{0*}$$

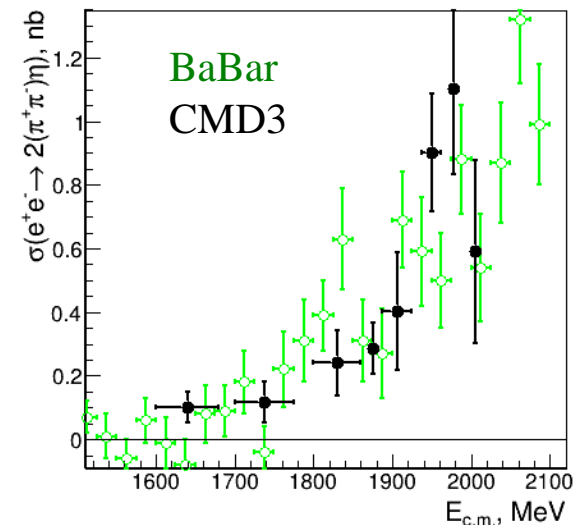
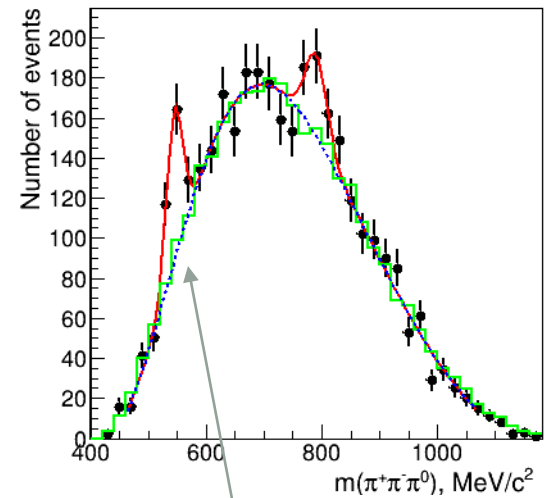
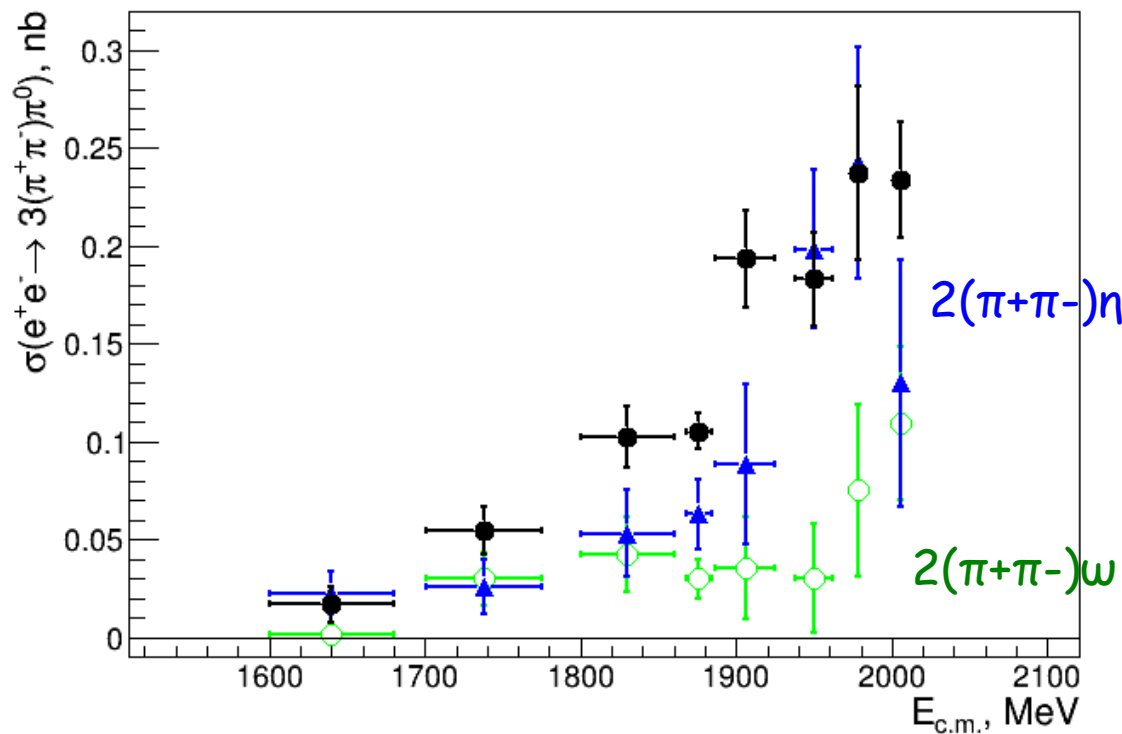
CMD-3 published results



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

Впервые измерено полное сечение $e^+e^- \rightarrow 3(\pi^+\pi^-)\pi^0$

Показано, что доминируют каналы
 $2(\pi^+\pi^-)\eta$ и $2(\pi^+\pi^-)\omega$

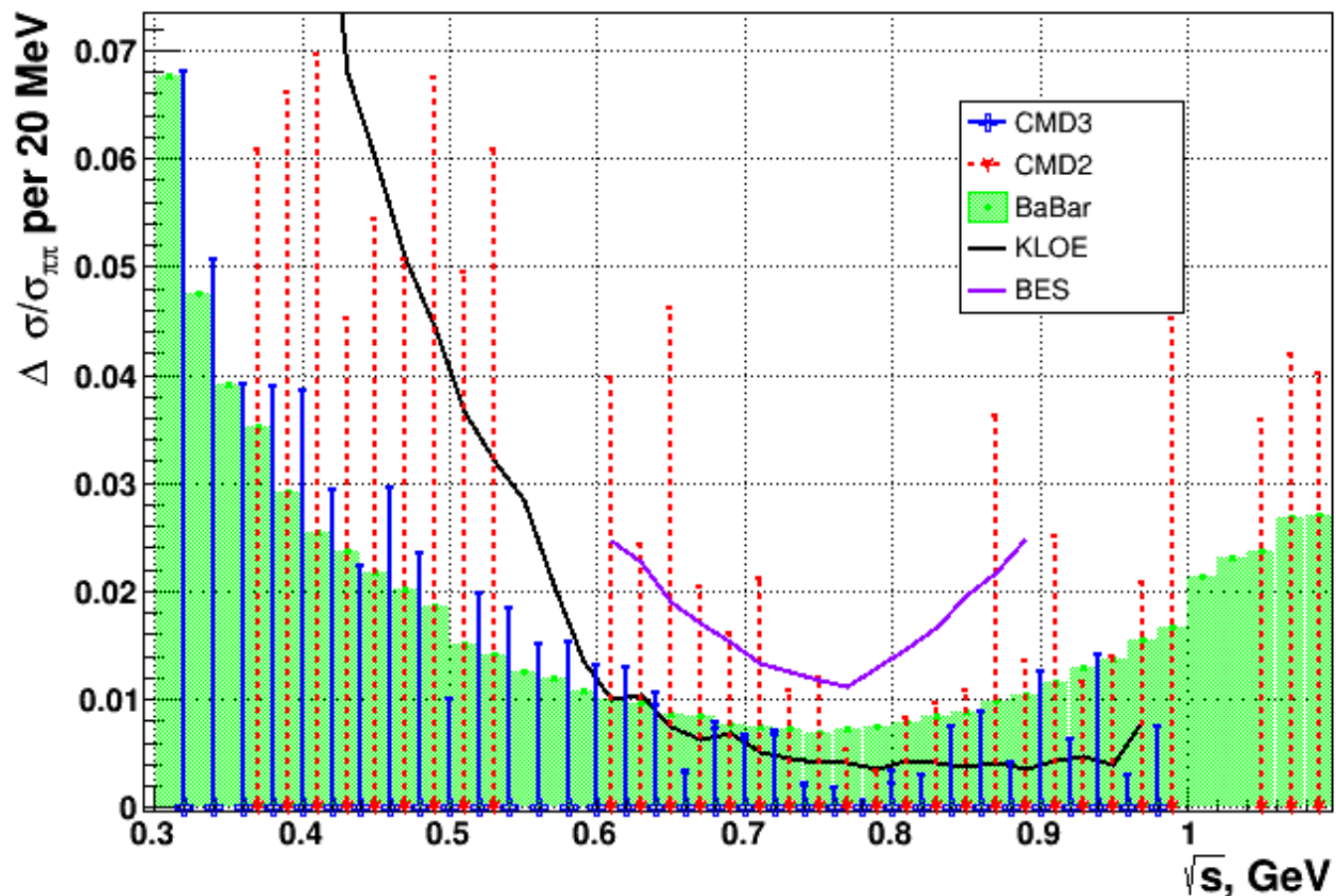


ArXiv:1902.06449

Submitted to PLB

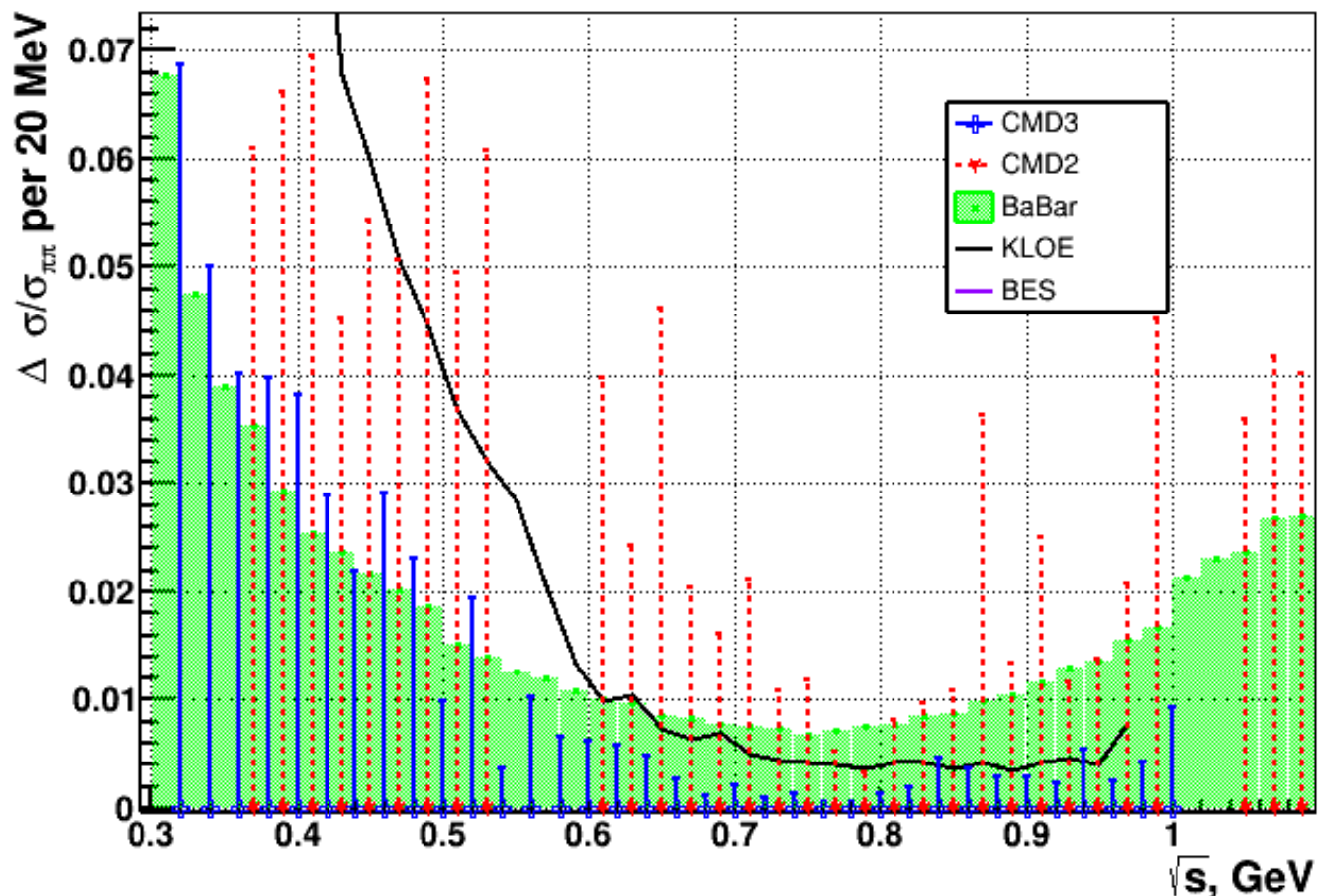
$e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$: статистика 2013

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

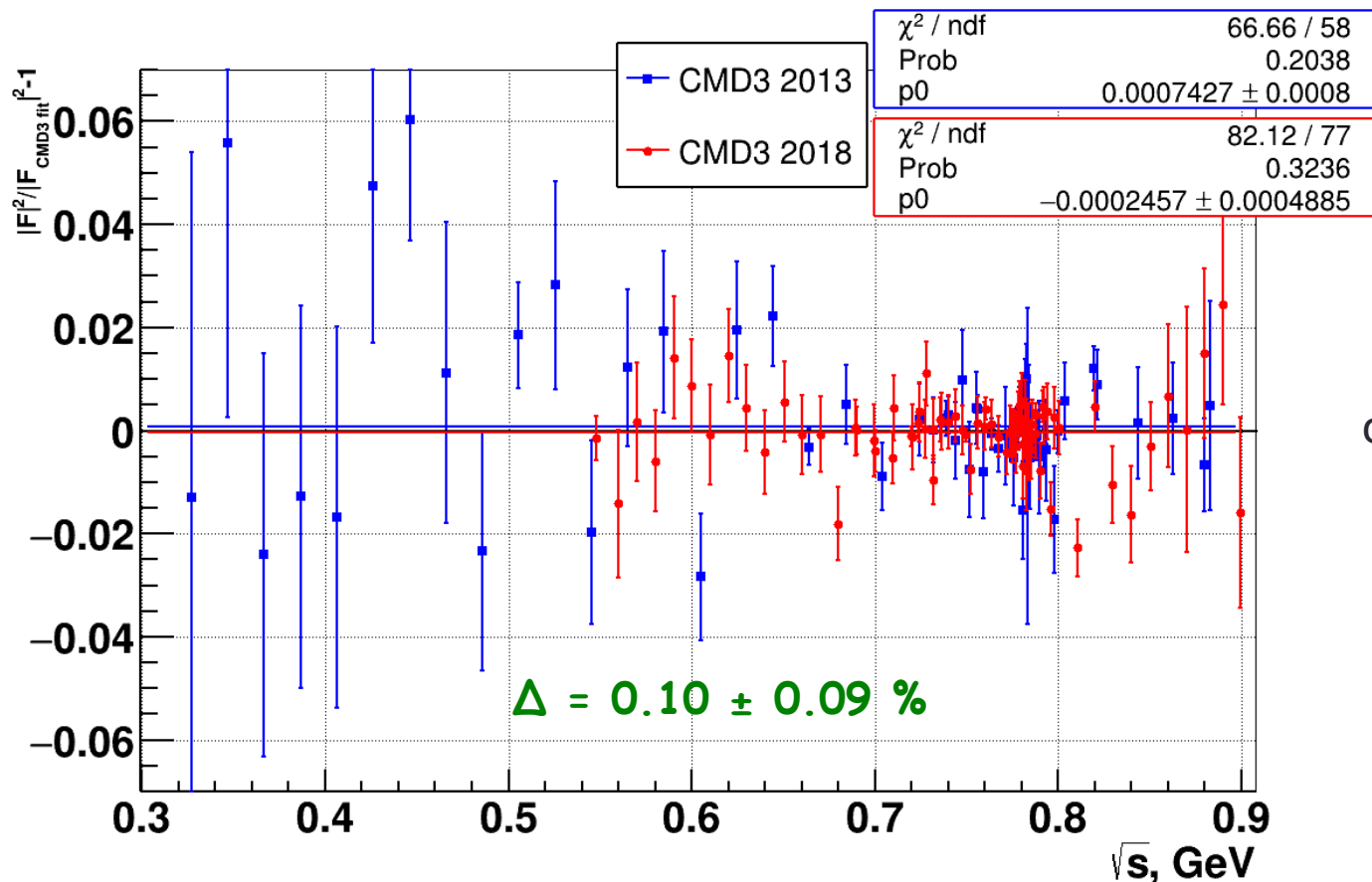


$e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$: статистика 2013+2018

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



$e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$: сравнение 2013 и 2018

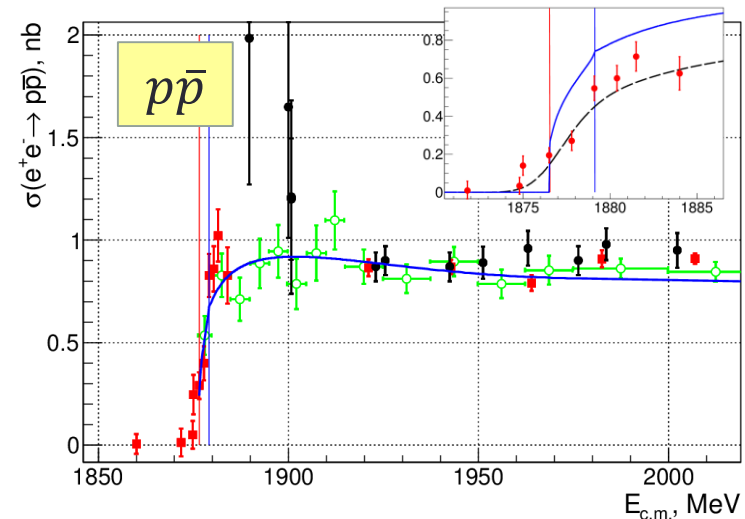
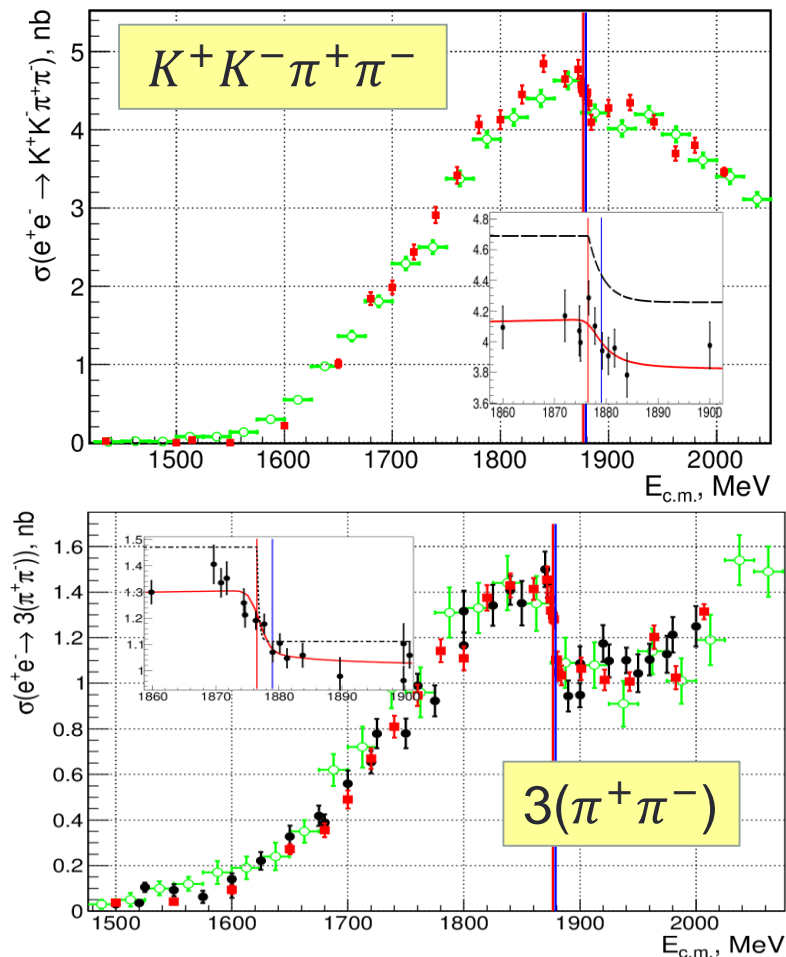


Текущая оценка
систематической
ошибки –
0.6-0.9%

Результаты измерения сечения $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$ по данным 2013 и 2018 гг. хорошо согласуются (0.1%!)

$e^+e^- \rightarrow hadrons$ на пороге $N\bar{N}$

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



arXiv:1808.00145

Subm. to PRD

Модель Мильштейна-Сальникова

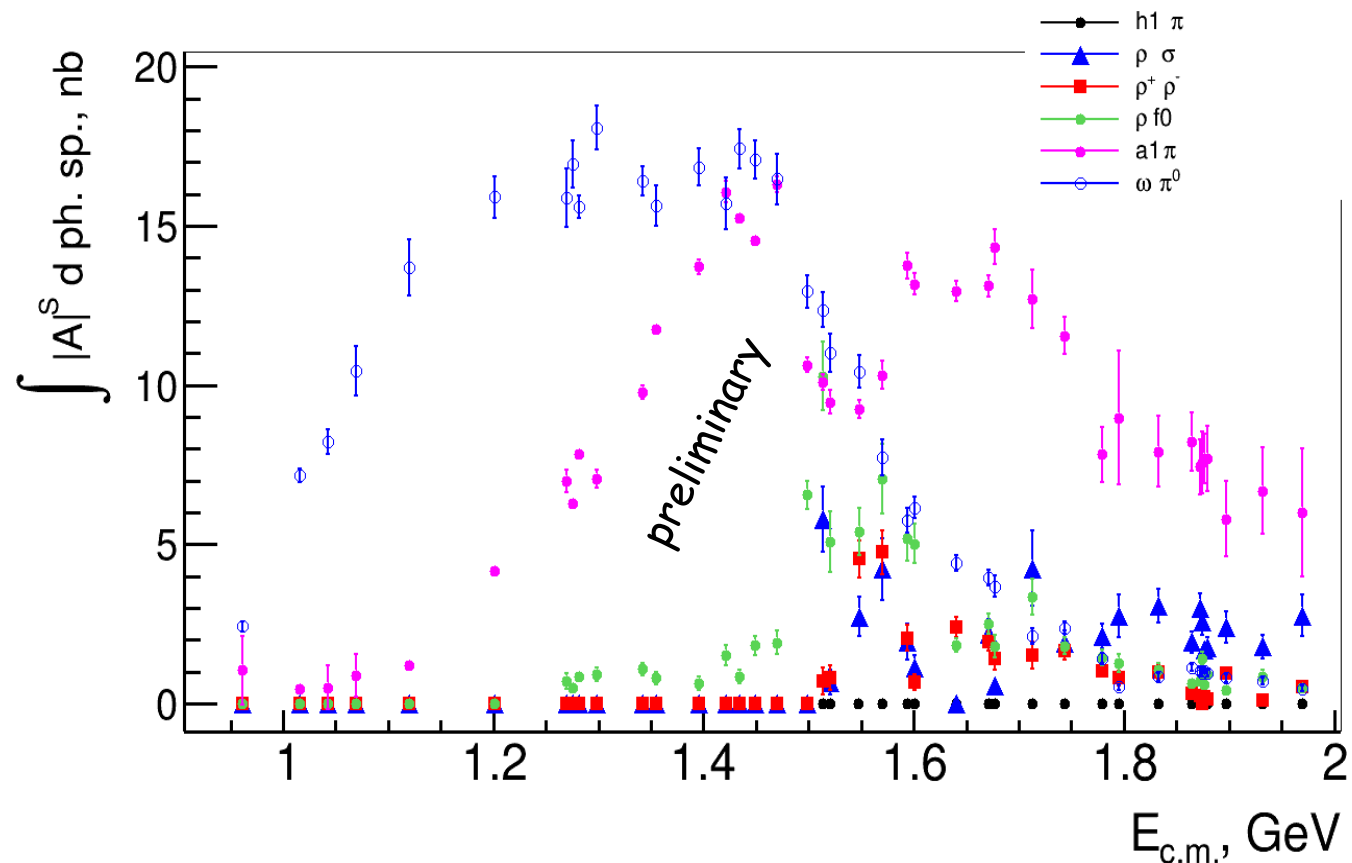
Открытые вопросы:

- почему скачок в $K^+K^-\pi^+\pi^-$ большой?
- почему не видно скачка в $\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-$?

Динамика $e^+e^- \rightarrow 4\pi$

Изучение динамики (промежуточных состояний) процессов
 $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$ и $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^+\pi^-$

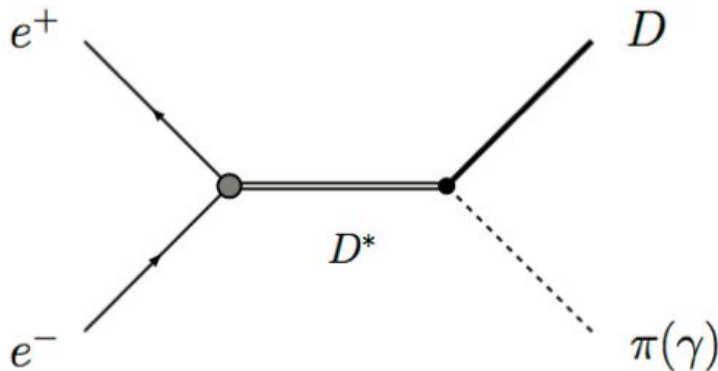
- $\omega[1^{--}]\pi^0[0^{-+}]$
- $a_1(1200)[1^+]\pi[0^-]$
- $\rho[1^{--}]f_0/\sigma[0^{++}]$
- $\rho f_2(1270)[2^{++}]$
- $\rho^+\rho^-$
- $a_2(1320)[2^{++}]\pi$
- $h_1(1170)[1^{+-}]\pi^0$
- $\pi'(1300)(0^{-+})\pi$



Поиск редкого распада: $e^+ e^- \rightarrow D^{*0}$

Talk by Alexey Petrov (WSU) at ICHEP'16 and JHEP 1511 (2015) 142

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



Estimated sensitivity:

$$\mathcal{B}_{D^* \rightarrow e^+e^-} \geq \frac{4 \times 10^{-10}}{\varepsilon \int L dt [pb^{-1}]} \times \frac{\sigma_{2E}}{\Gamma_{D^*} [60 keV]}$$

Standard Model:

$$\mathcal{B}_{D^* \rightarrow e^+e^-} \approx (0.1 \div 7) \times 10^{-19}$$

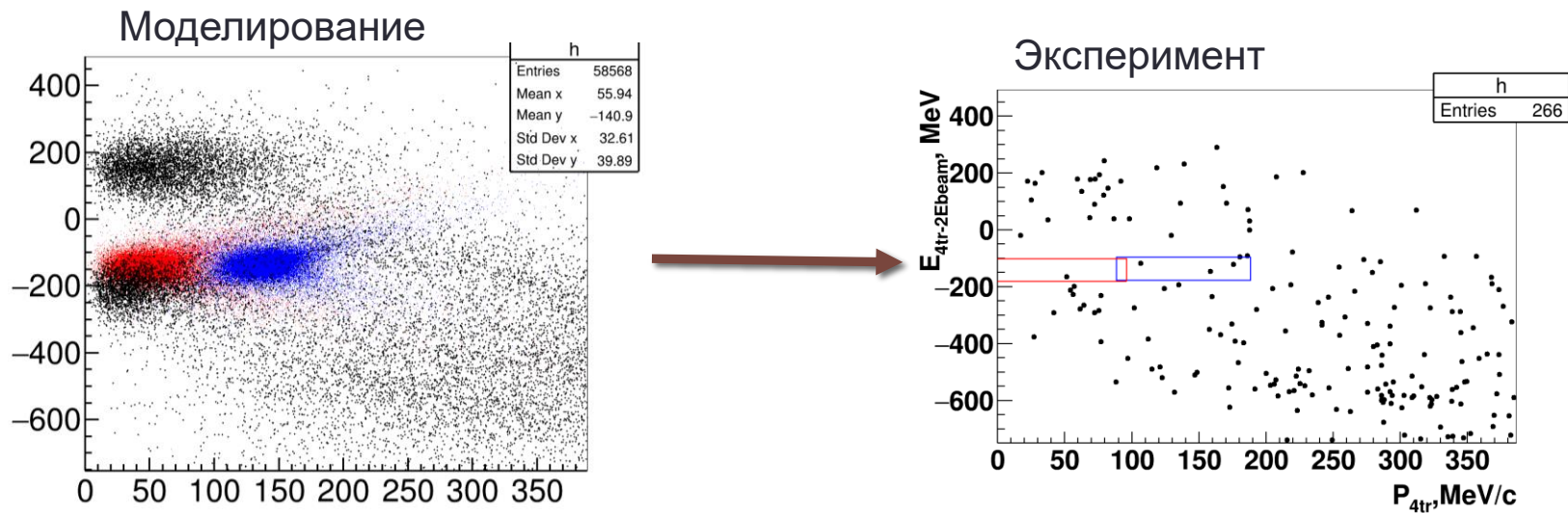
Example of New Physics contribution:

$$\mathcal{B}_{D^* \rightarrow e^+e^-}^{Z'} < 2.5 \times 10^{-11}$$

In 2017 CMD-3 collected $4 pb^{-1}$ at 2007 MeV with $\sigma_{2E} \approx 2 MeV$

Поиск редкого распада: $e^+e^- \rightarrow D^{*0}$

Поиск в канале $e^+e^- \rightarrow D^{*0} \rightarrow D^0\pi^0(\gamma) \rightarrow K^-\pi^+\pi^-\pi^+ + \pi^0(\gamma)$ (~8%)



$$D^{*0} \rightarrow D^0\gamma: \quad B(D^{*0} \rightarrow e^+e^-) < 5.2 \cdot 10^{-6}$$

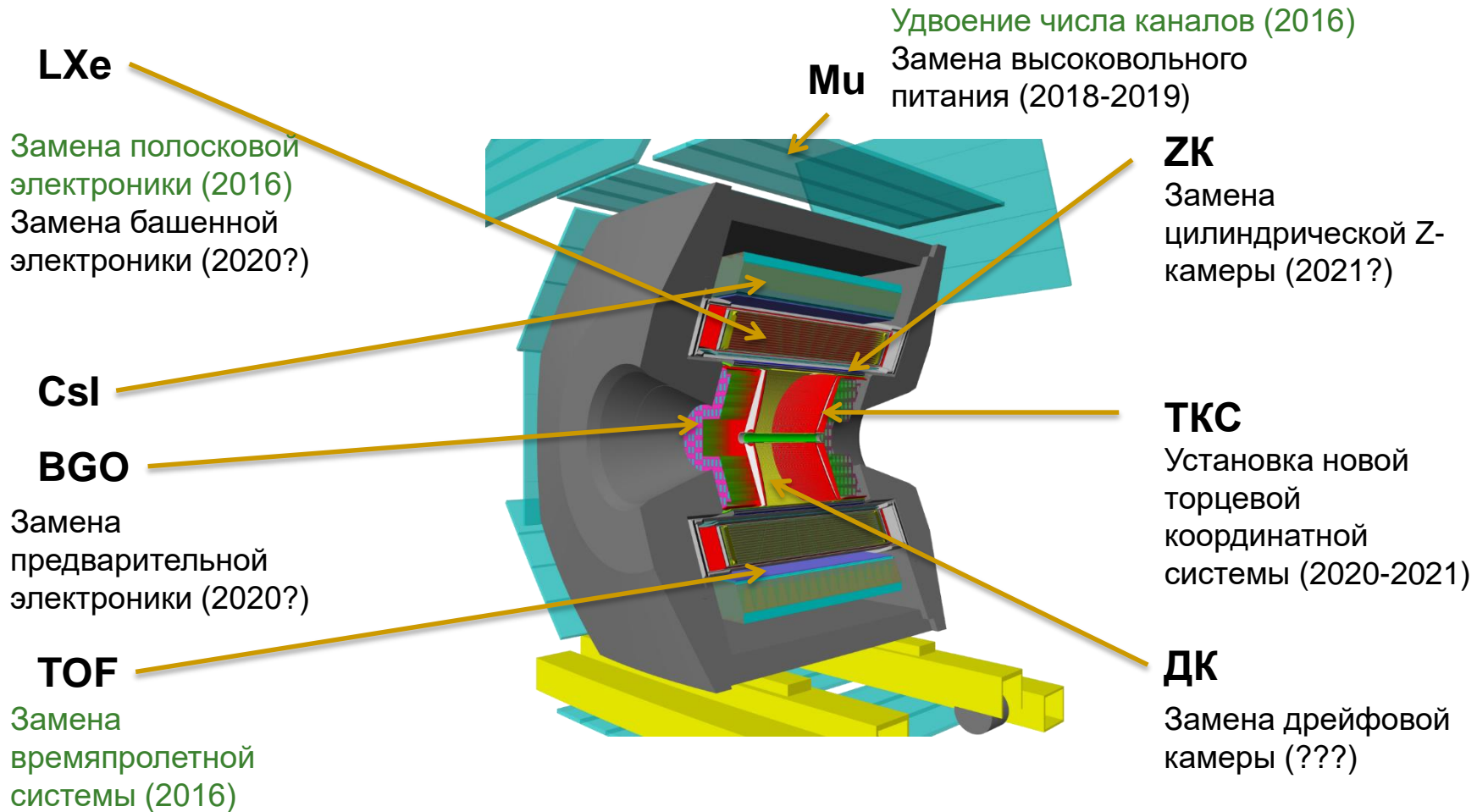
$$D^{*0} \rightarrow D^0\pi^0: \quad B(D^{*0} \rightarrow e^+e^-) < 1.7 \cdot 10^{-6}$$

Первое измерение. Важно для оценки возможности поиска этого распада на BEPC-2 и Супер С-тау фабрике.

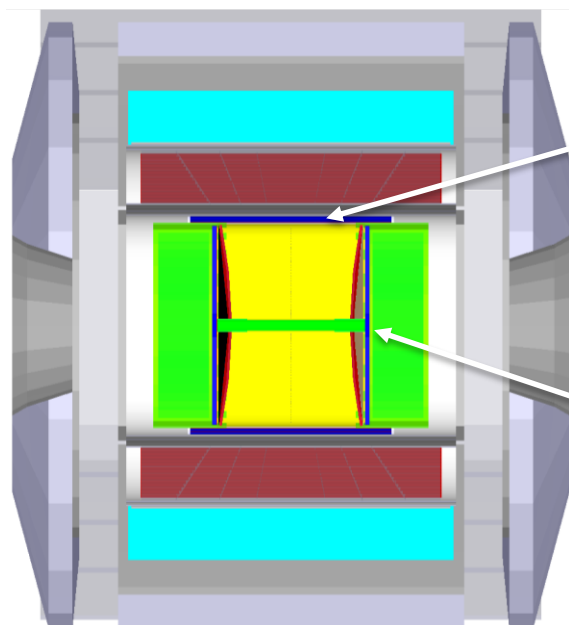


Планы и перспективы

Планы модернизации детектора

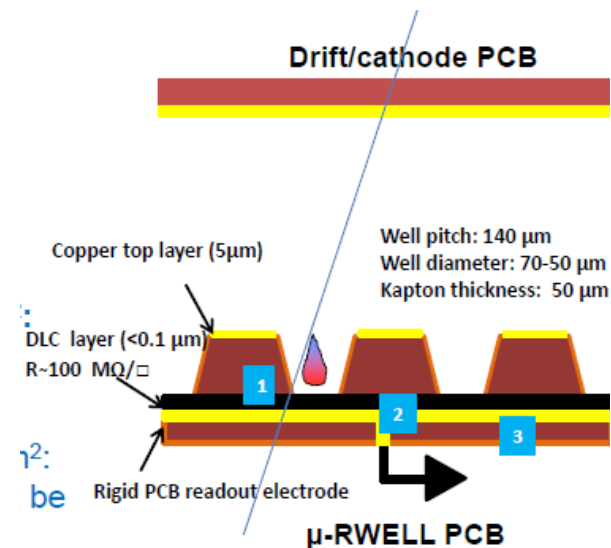


Z-камера и торцевая координатная системы



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 2018 – работа с прототипом, заказ полноразмерного прототипа

Заключение



- В 2018 году набрали рекордный объем данных ниже фи-мезона

Детектор находится в хорошем состоянии

- Продолжается анализ ранее набранных данных

«В кармане» около 60 пб^{-1} данных (2011-2013) и 130 пб^{-1} данных (2017-2019) в области энергий 0.32-2 ГэВ

- Продолжаем развивать детектор

Наиболее активная работа идет над торцевой координатной системой

Цель – 1 фб^{-1} , набрали 20%