

---

КМД-3

(Криогенный

Магнитный Детектор)



---

Логашенко И.Б.

Научная сессия ИЯФ, 31 января 2020

# План доклада



- Детектор КМД-3 и физическая программа
- Набор данных в 2019 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  $\tau$
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:

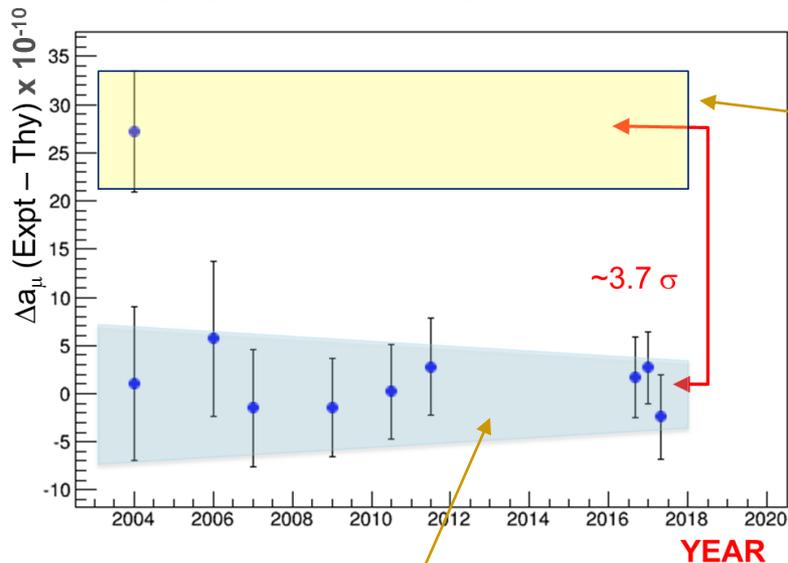
$$e^+e^- \rightarrow \eta'$$
$$e^+e^- \rightarrow \pi^0 e^+e^-$$
$$e^+e^- \rightarrow D^{0*}$$

# 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  $a_\mu$

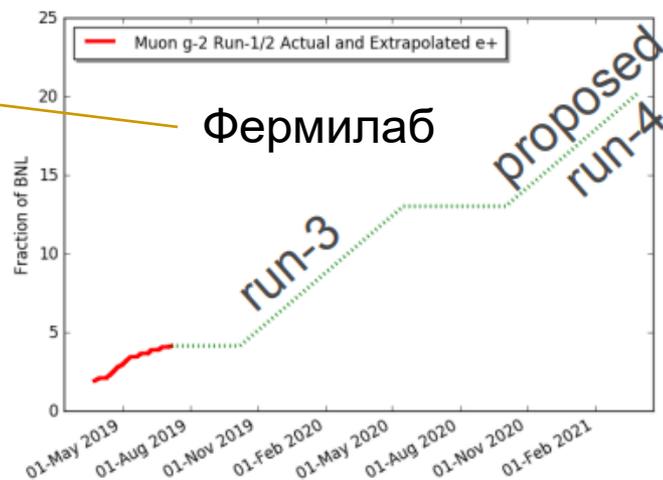
## Аномальный магнитный момент мюона



BNL E821  
Experiment

SM Theory  
Evaluations

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

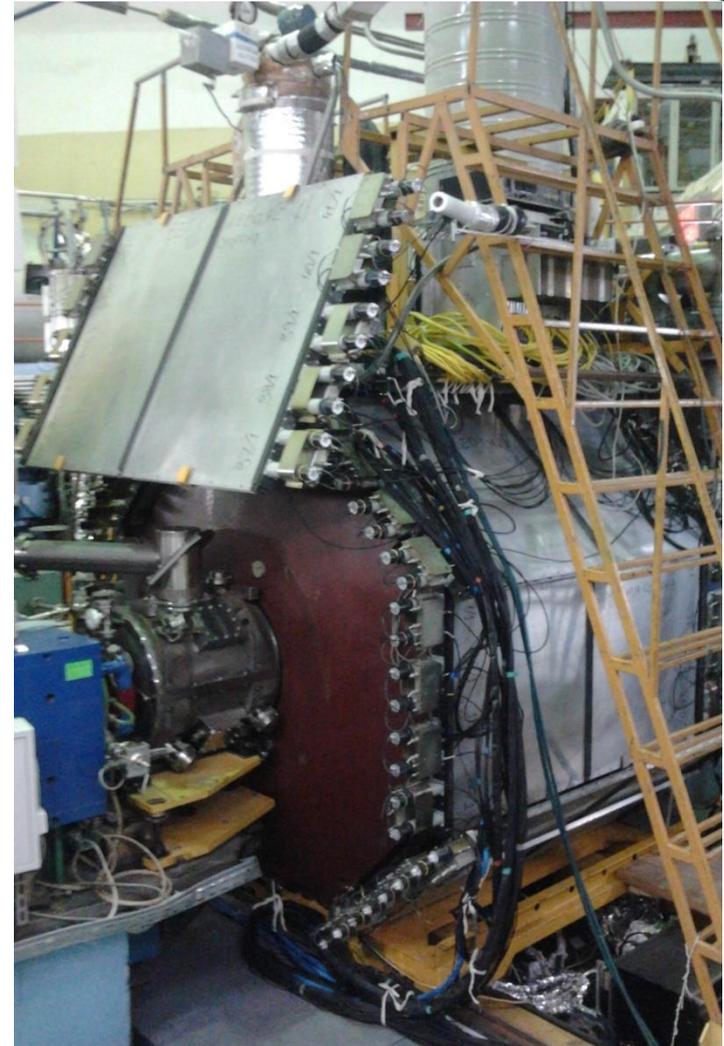
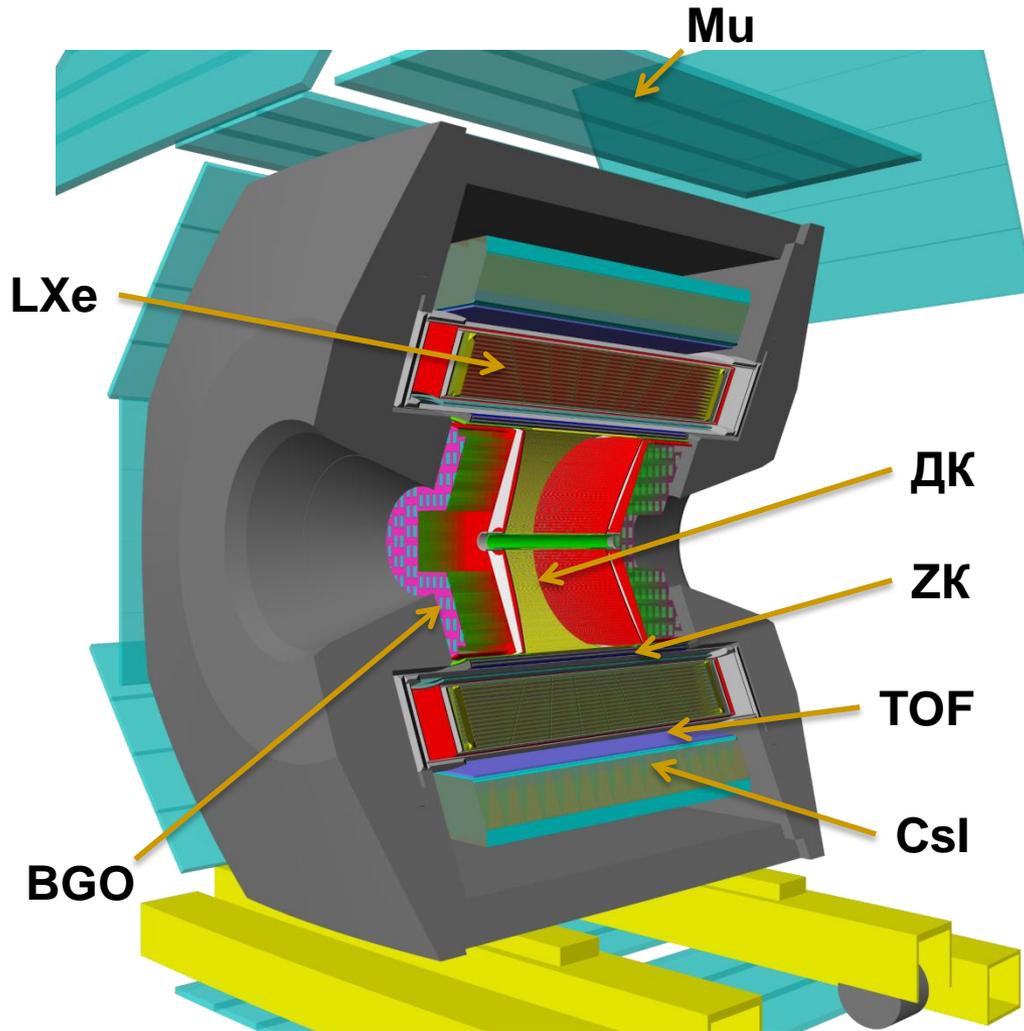


В 2018 году начал набор  
данных эксперимент в  
Фермилаб  
Уже набрано 400% БНЛ!



# Состояние детектора КМД-3

# Детектор КМД-3



# Состояние детектора в 2019



- 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, частичная замена HV
- Криогенная и магнитная системы: поддерживается рабочее поле 13 кГс, улучшен вакуум
- Система сбора данных: в рабочем состоянии

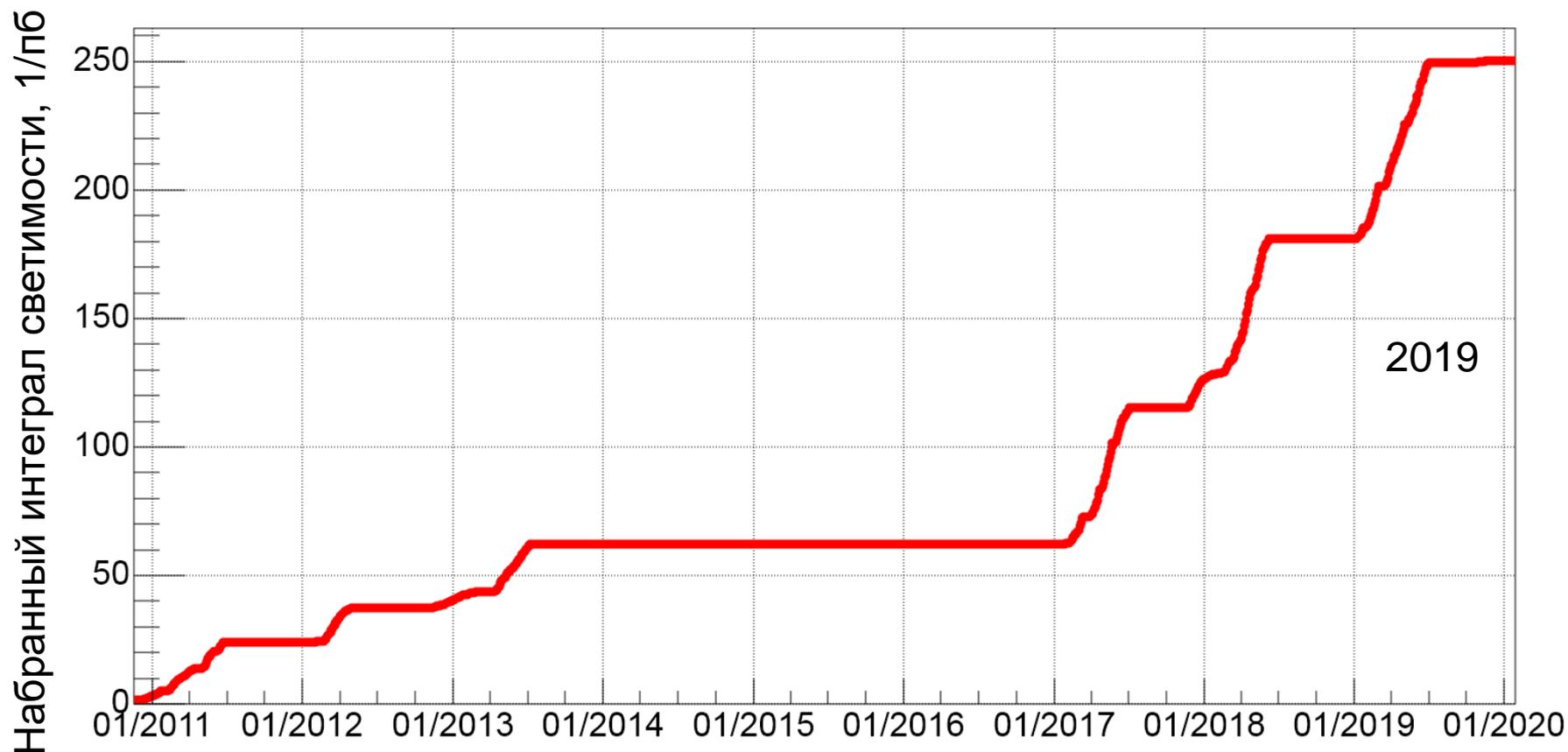
**2019 год – в нулевом приближении, спокойный набор статистики**

Наблюдались трудности при работе на высокой энергии (наводки), проблема пока не решена

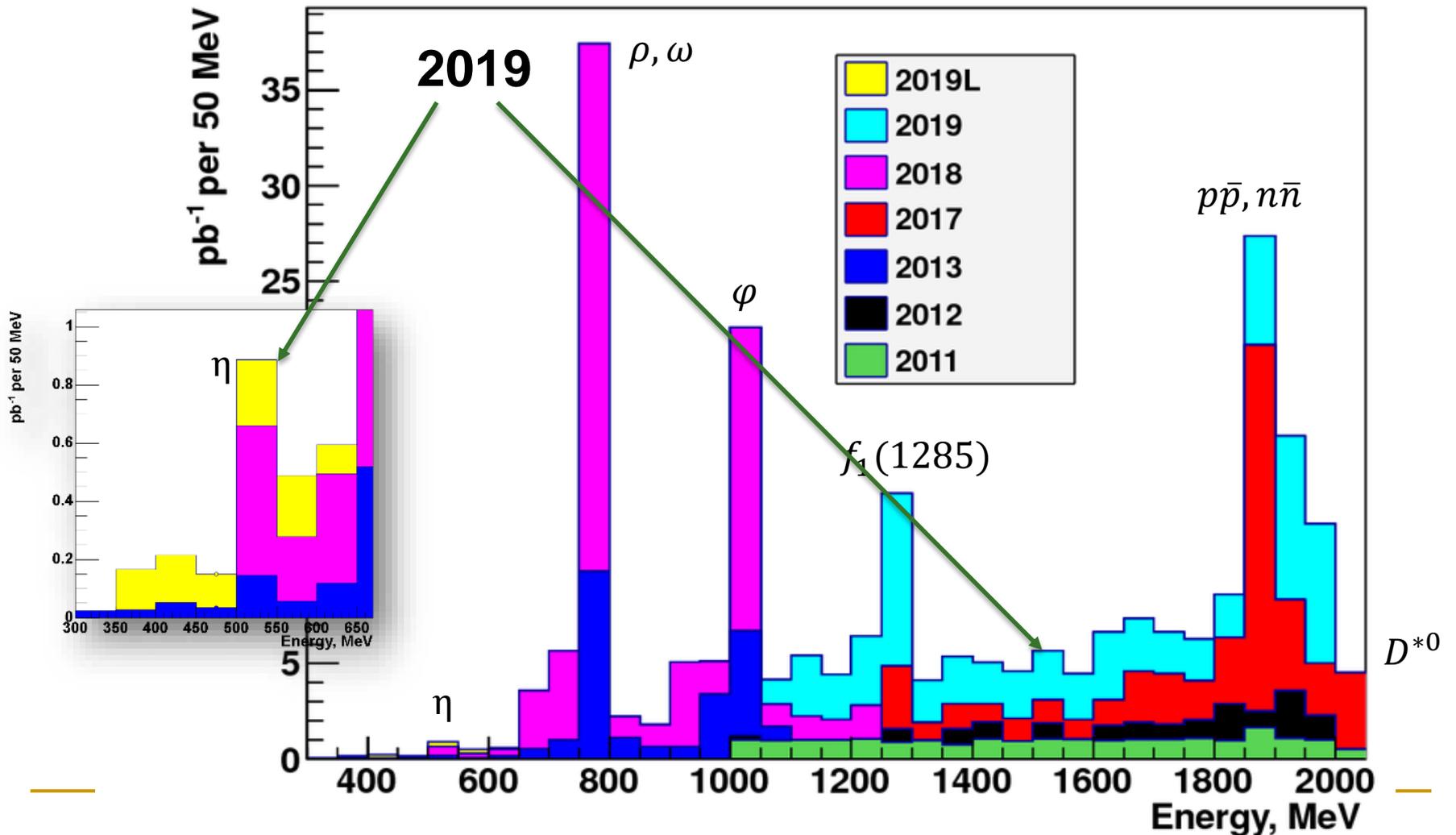


# Набор данных в 2019

# История набора статистики



# Распределение интеграла по энергии





# 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

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

- 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

$$e^+e^- \rightarrow 3(\pi^+\pi^-), K_S K_S \pi^+\pi^-, K_S K^\pm \pi^\mp \pi^-$$

- Только фотоны

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

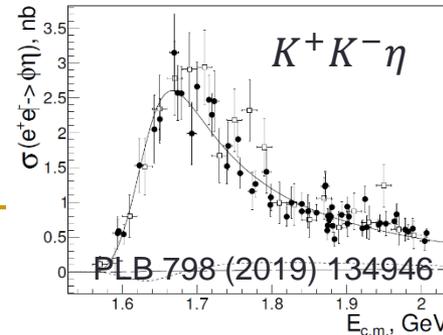
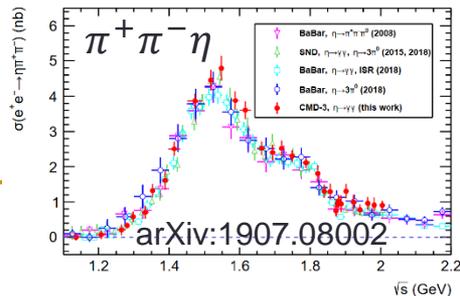
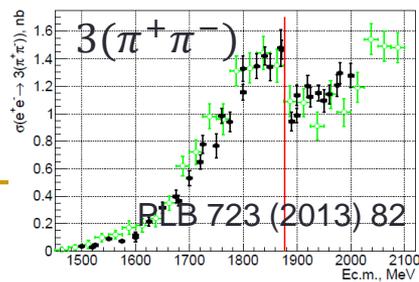
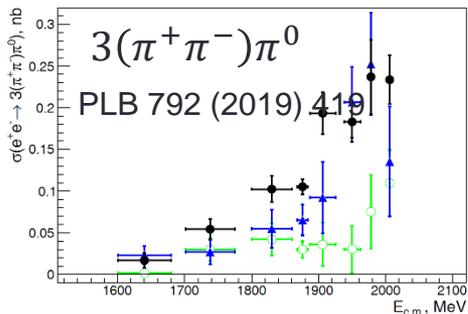
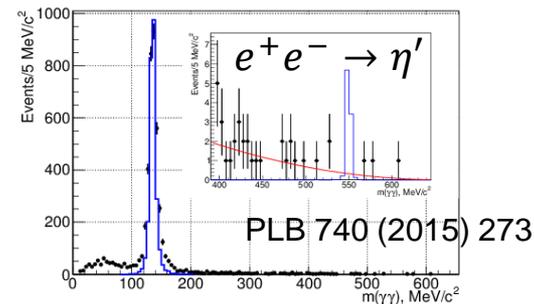
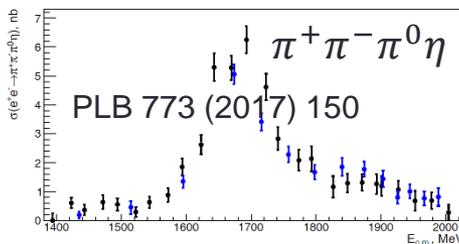
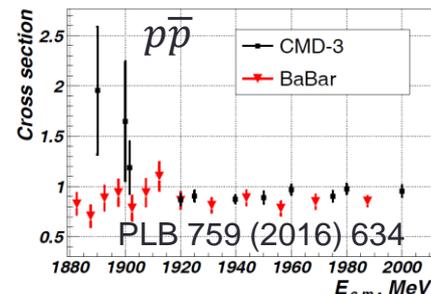
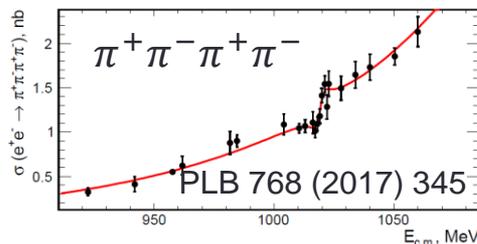
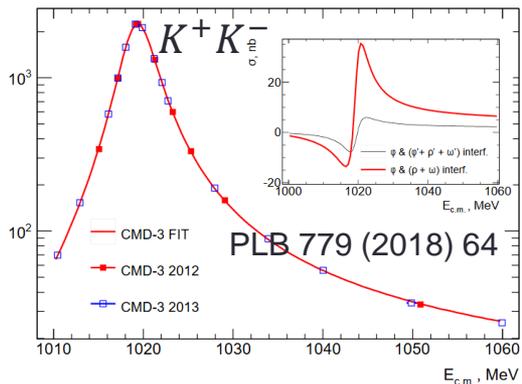
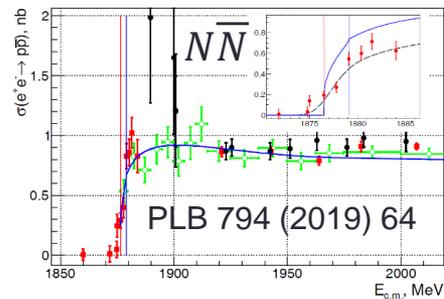
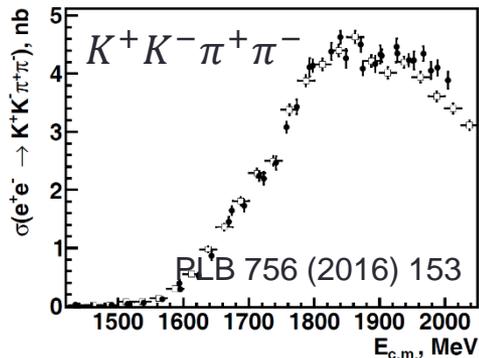
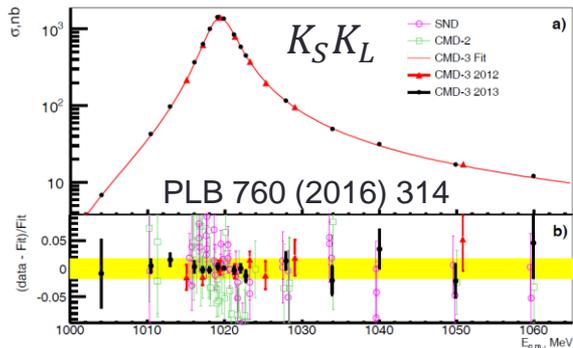
- Другие конечные состояния

$$e^+e^- \rightarrow n\bar{n}, \pi^0 e^+ e^-, \eta e^+ e^-, 3(\pi^+\pi^-)\pi^0$$

- Редкие распады

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

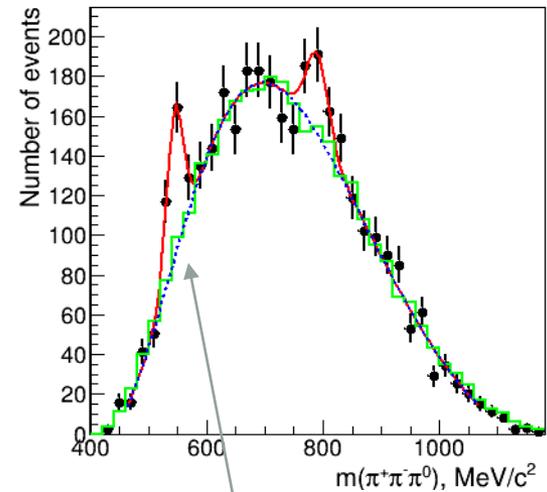
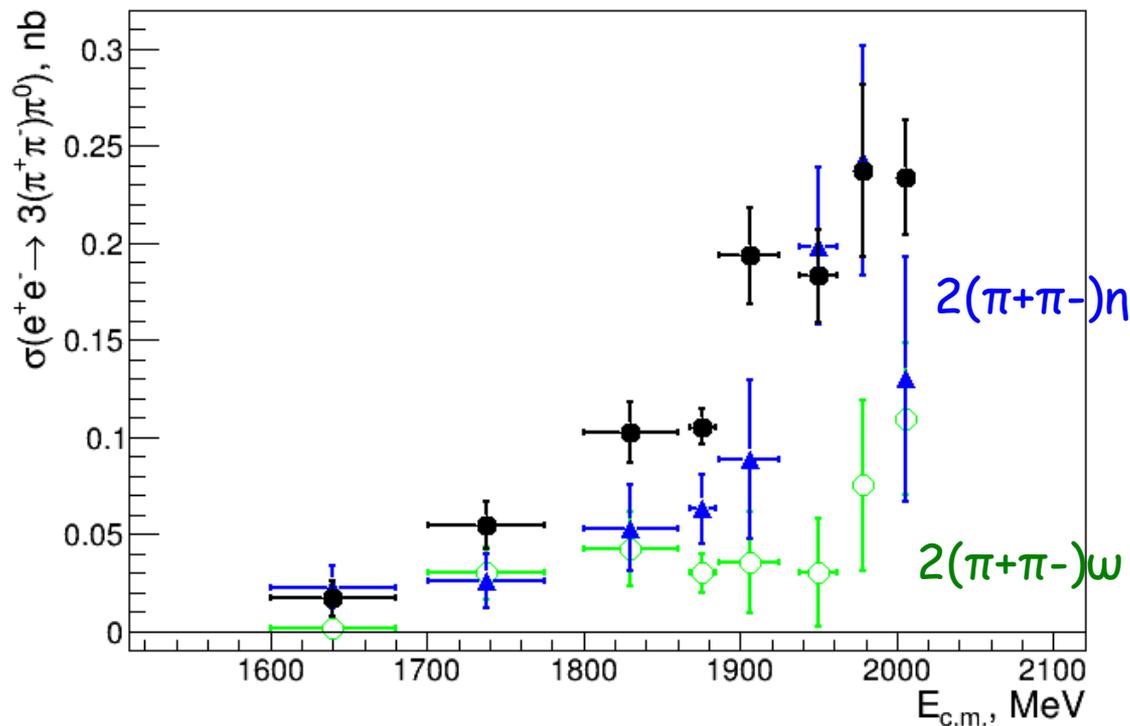
# CMD-3 published results



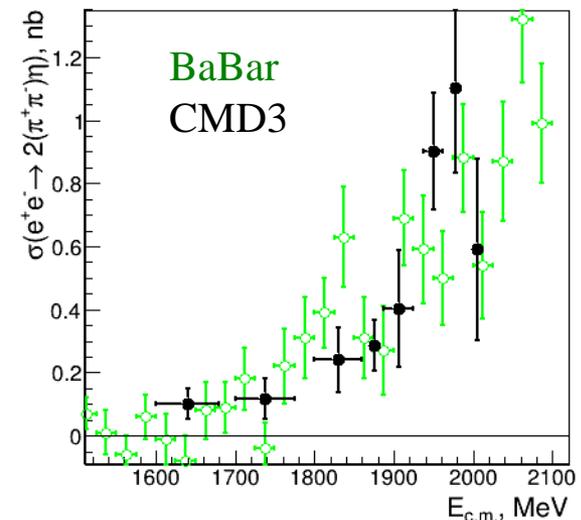
$$e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-\pi^0$$

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

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

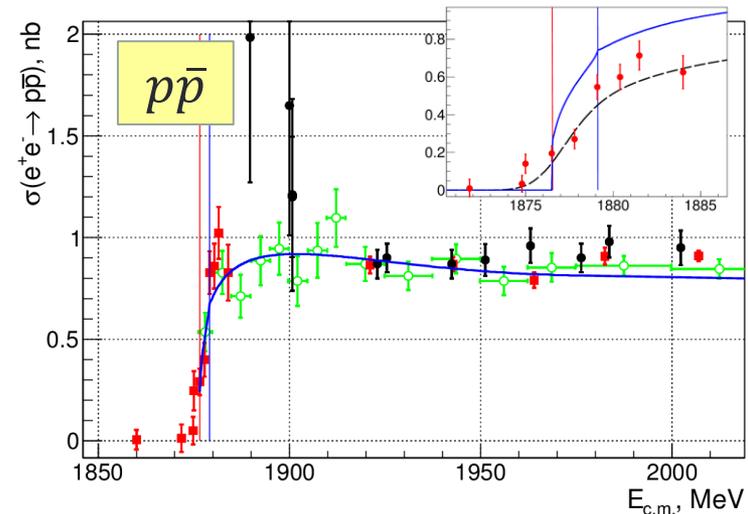
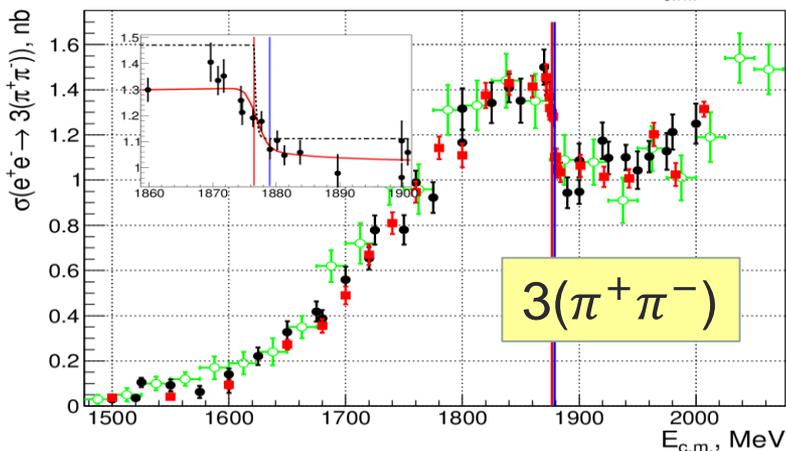
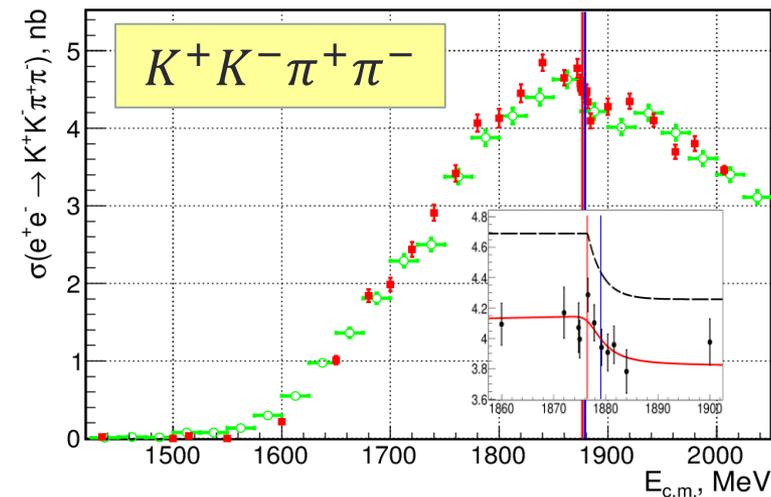


$2(\pi^+\pi^-\eta)$



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

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



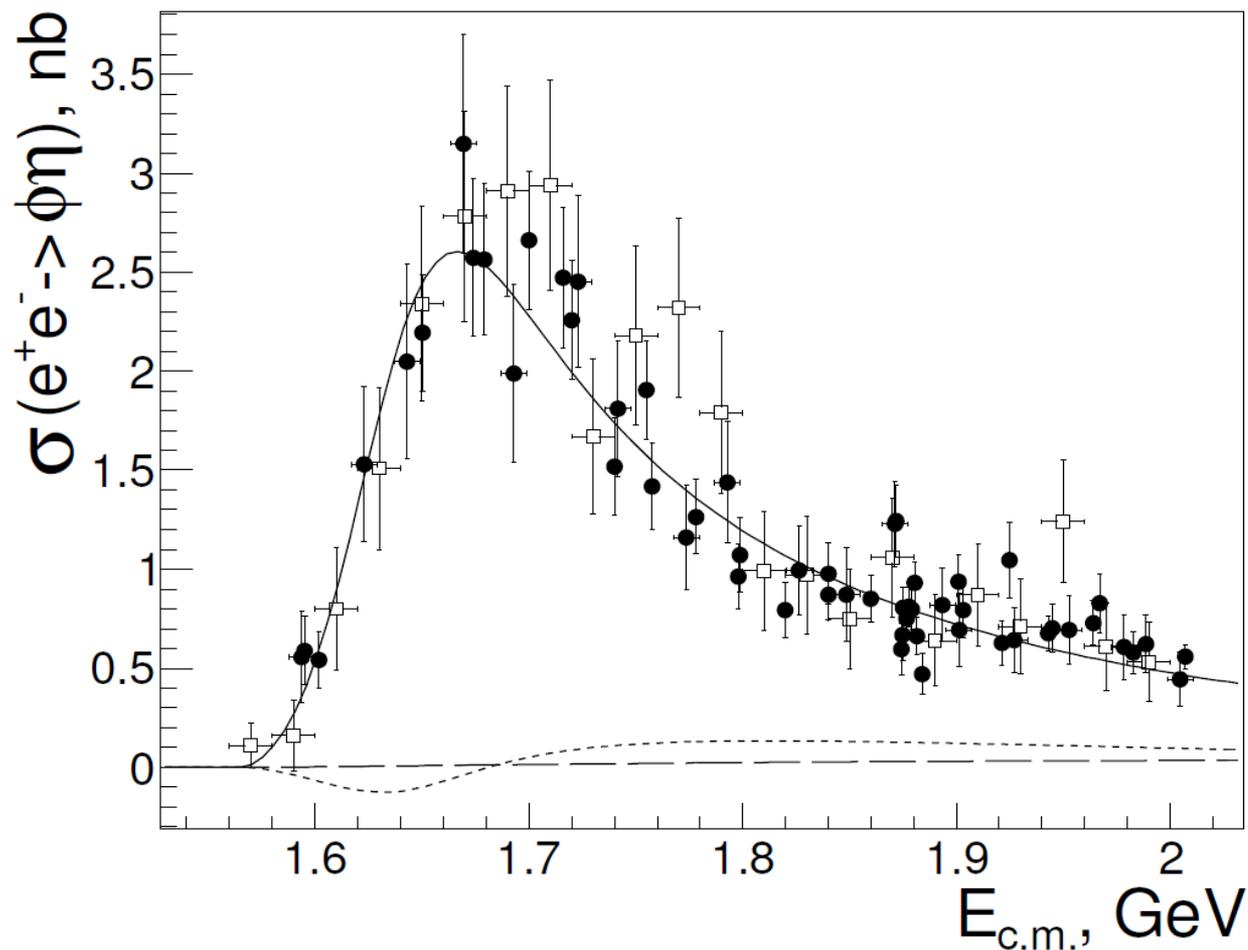
PLB 794 (2019) 64

Резкое изменение сечений на пороге  $N\bar{N}$

Открытые вопросы:

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

$$e^+e^- \rightarrow K^+K^-\eta$$



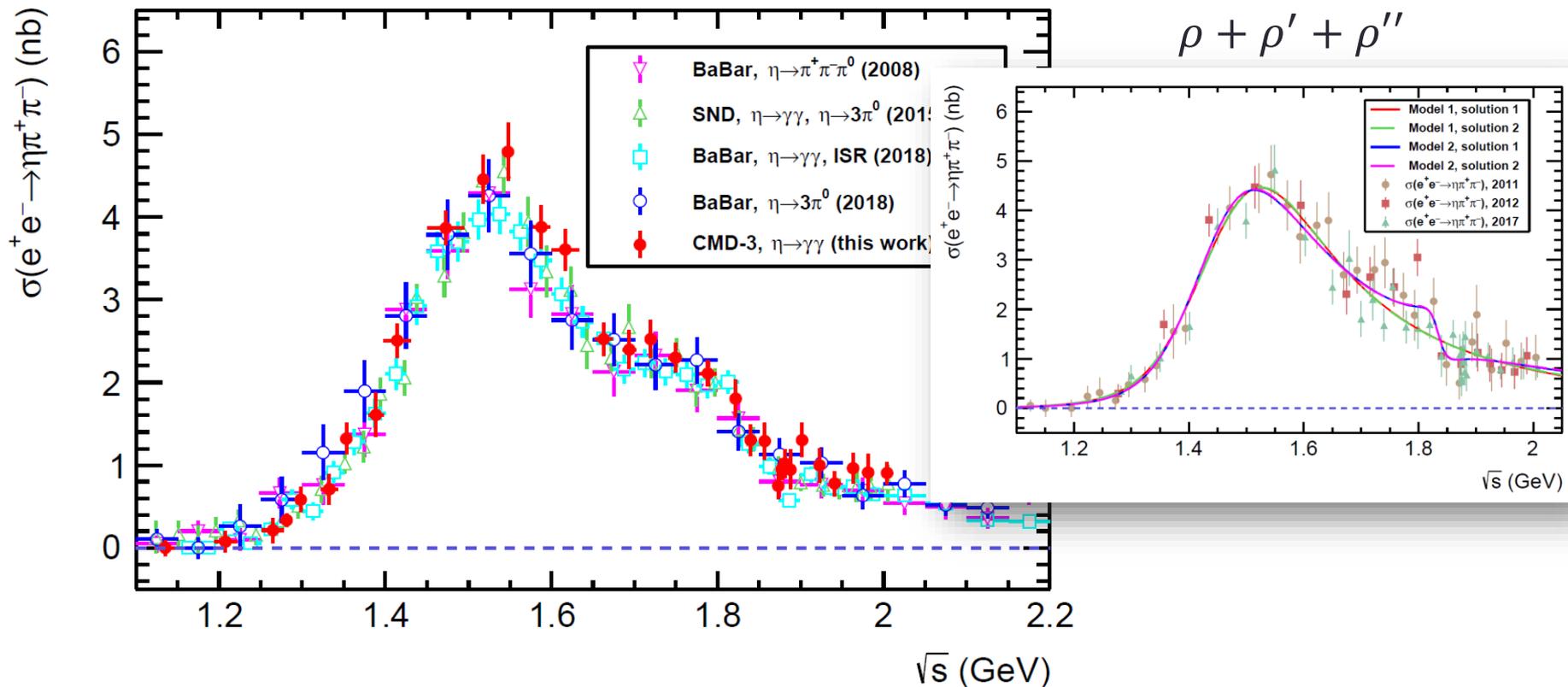
Данные 2011, 2012,  
2017

Сечение измерено с  
наилучшей  
точностью

Наблюдается только  
канал  $\phi\eta$

PLB 798 (2019) 134946

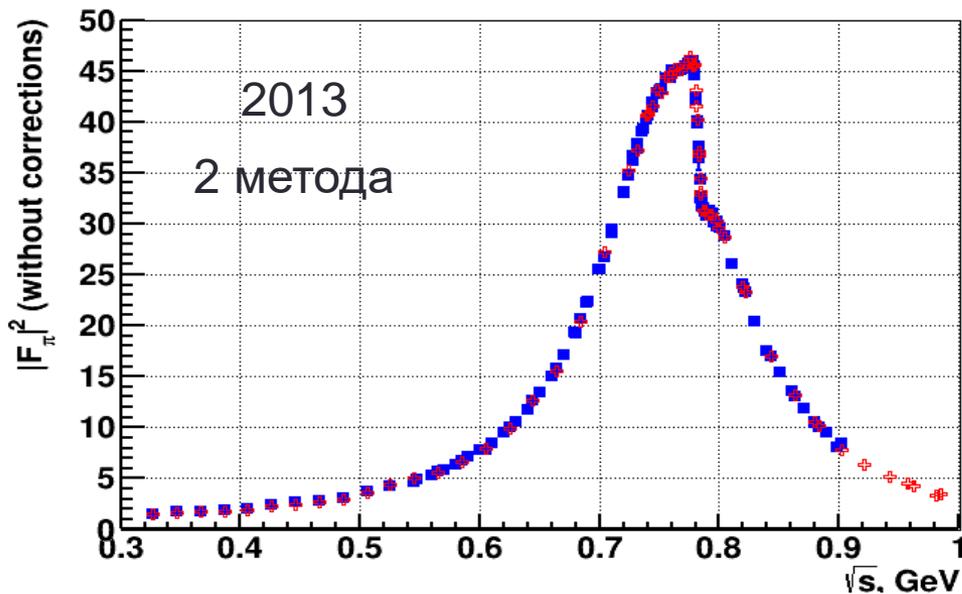
$$e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\eta \quad (\eta \rightarrow \gamma\gamma)$$



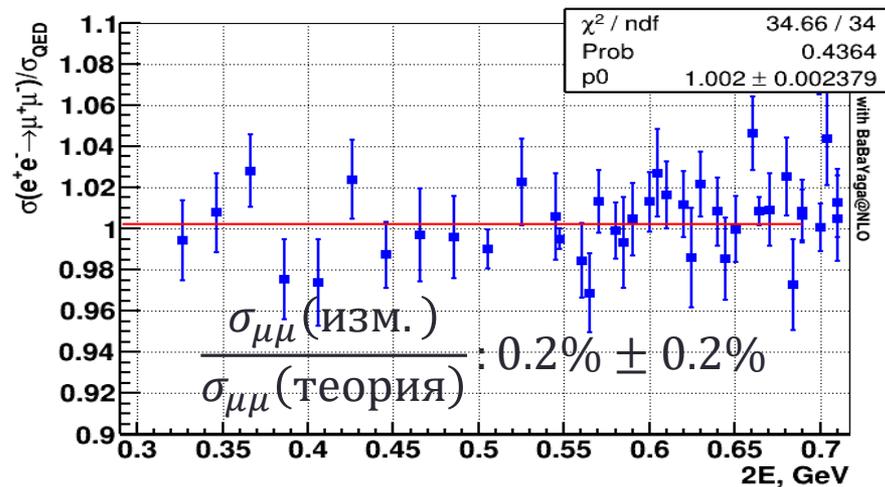
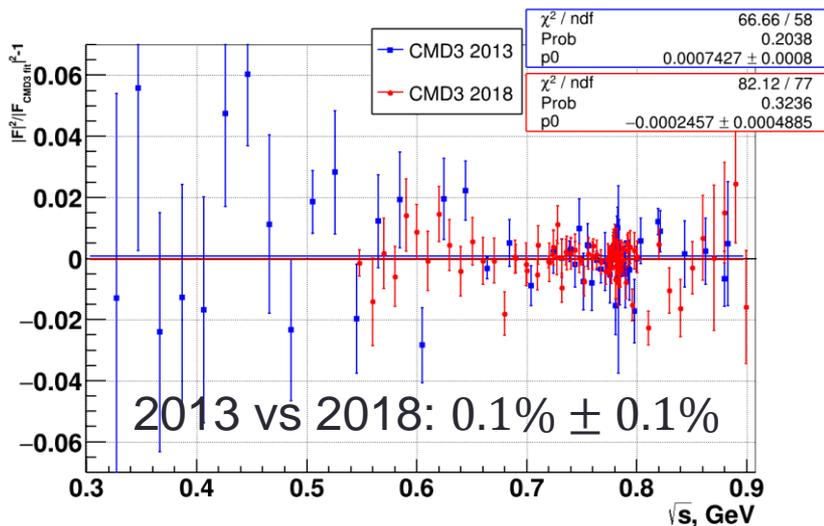
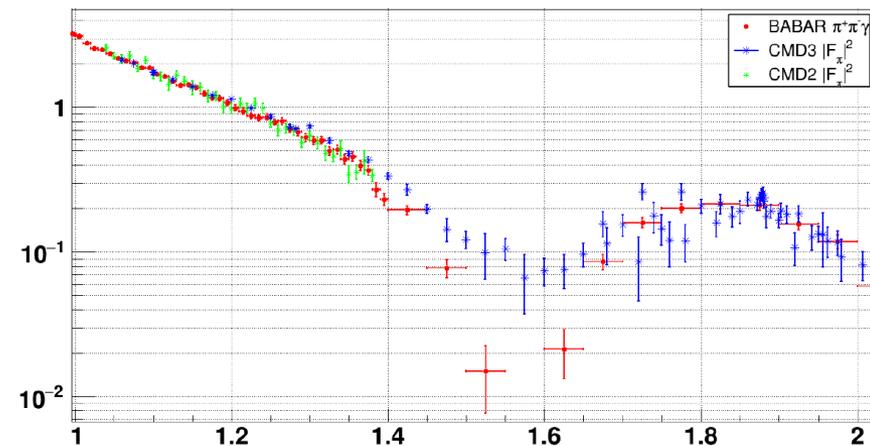
Данные 2011, 2012, 2017

arXiv:1907.08002

# $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$ : предварительные результаты

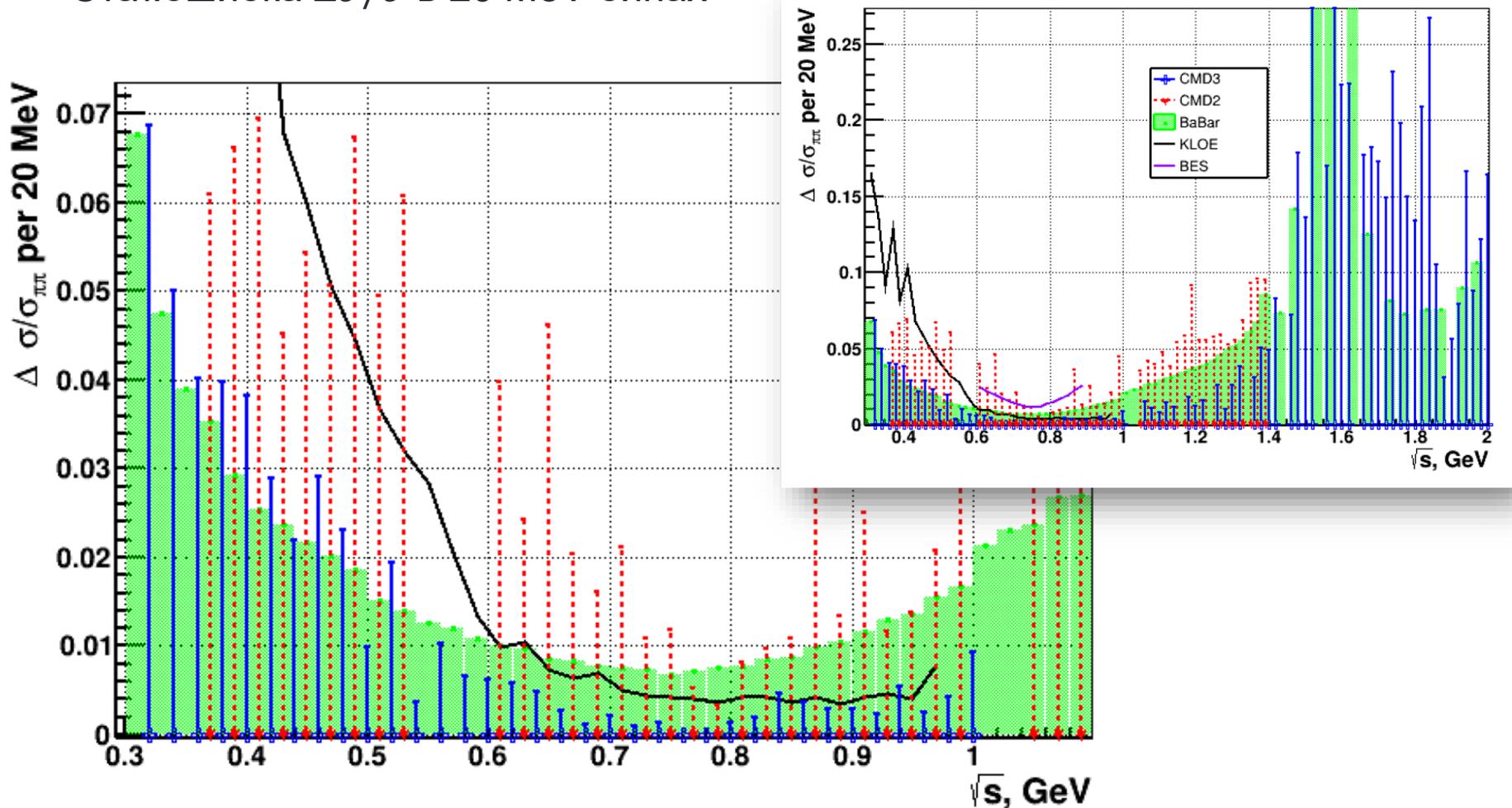


Первый результат выше 1 ГэВ  
Данные 2017 и 2019



# $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$ : статистика 2013+2018+2017+2019

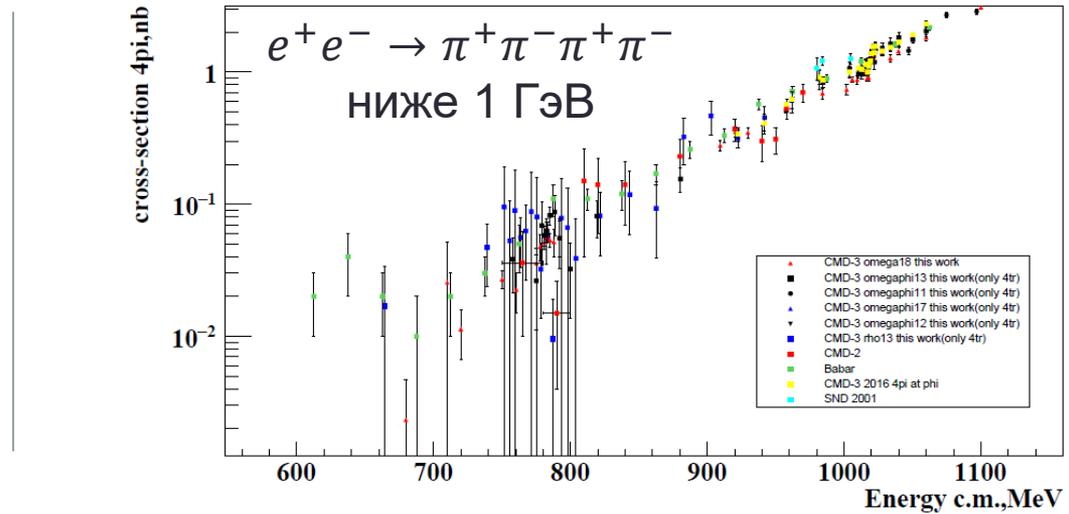
Стат.ошибка  $\Delta\sigma/\sigma$  в 20 MeV бинах



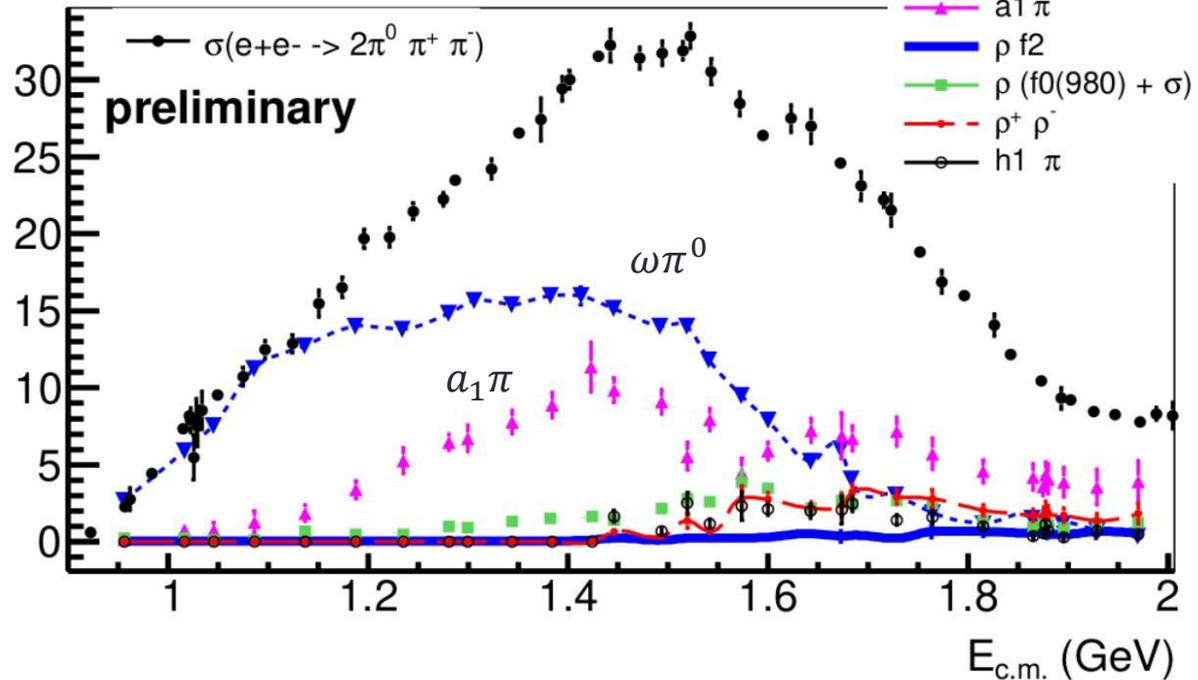
$$e^+e^- \rightarrow 4\pi$$

Изучение динамики  
 $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$  и  
 $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^+\pi^-$

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

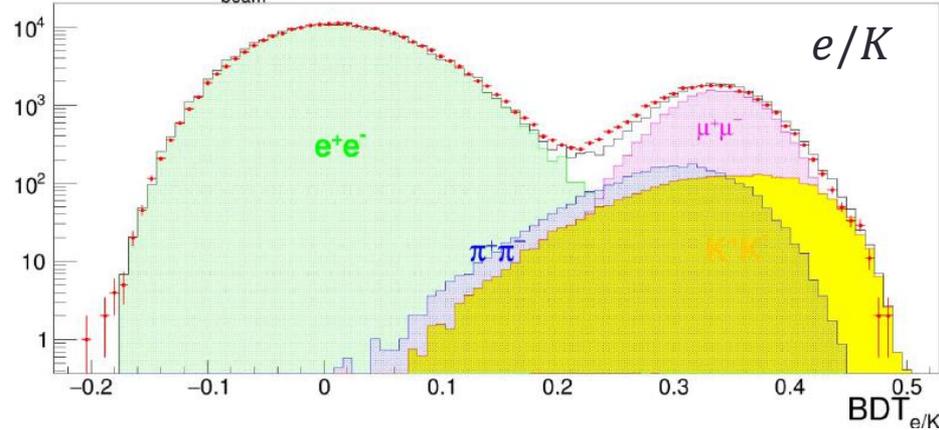


cross section (nb)

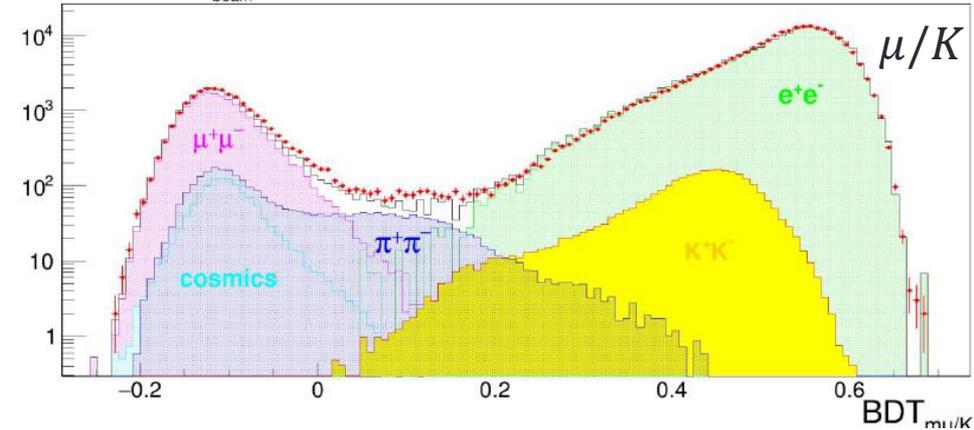


# Идентификация частиц в LXe

HIGH 2019,  $E_{\text{beam}} = 750 \text{ MeV}$



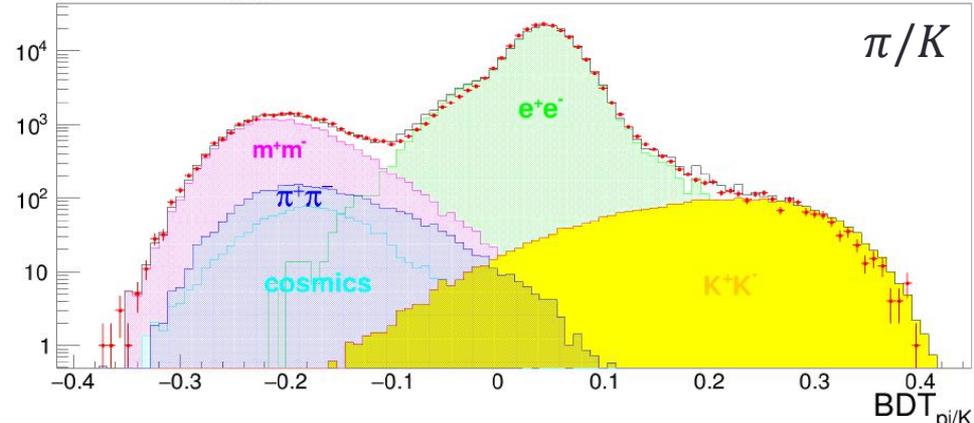
HIGH 2019,  $E_{\text{beam}} = 750 \text{ MeV}$



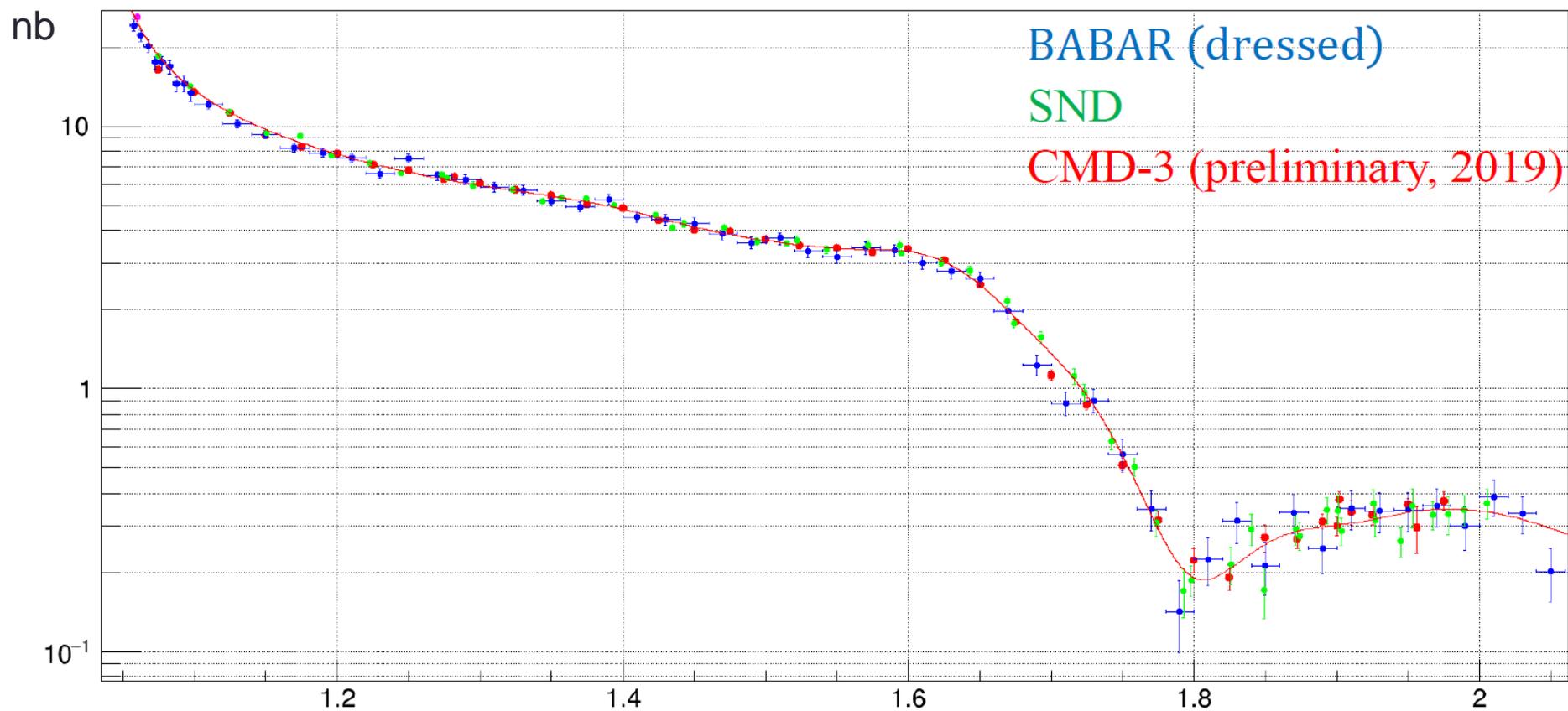
LXe калориметр измеряет профиль энергосвечения, который можно использовать для идентификации частиц.

В 2019 году завершена работа по созданию классификаторов (потребовала улучшения моделирования, расчета полей в калориметре и т.п.)

HIGH 2019,  $E_{\text{beam}} = 750 \text{ MeV}$



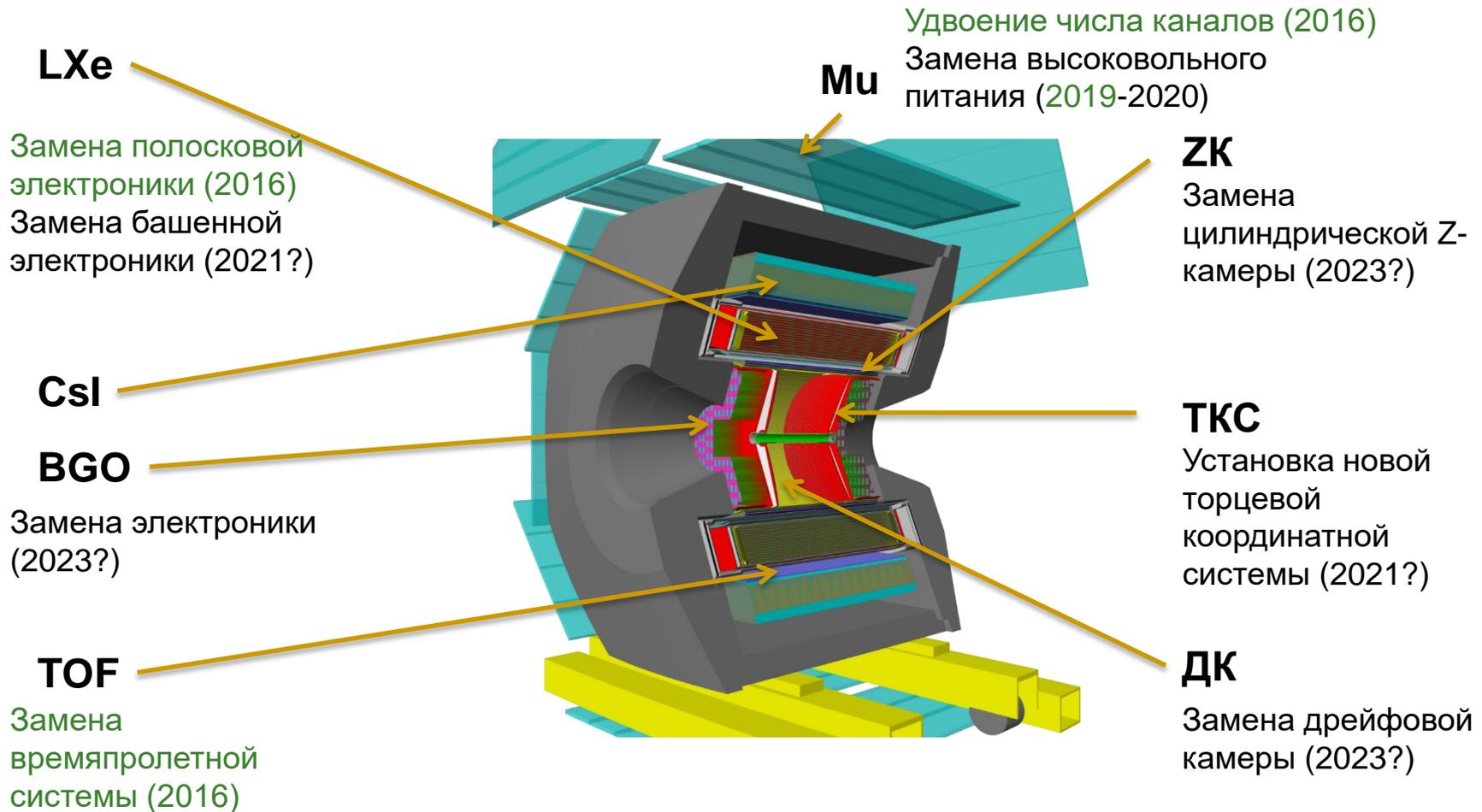
$$e^+e^- \rightarrow K^+K^-$$



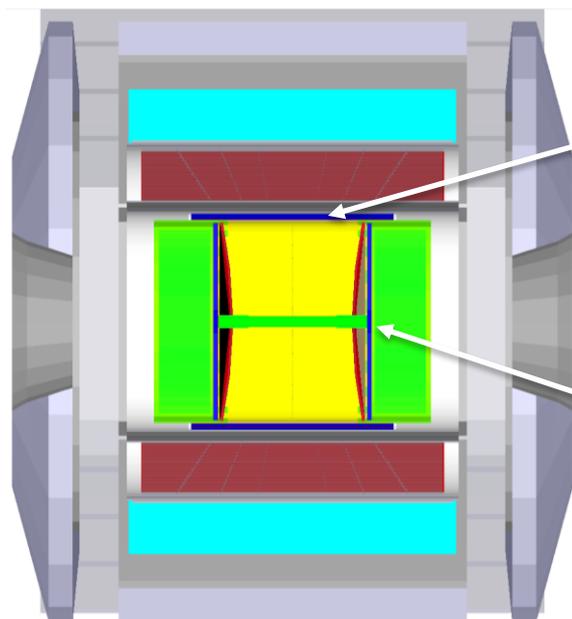


# Планы и перспективы

# Планы модернизации детектора

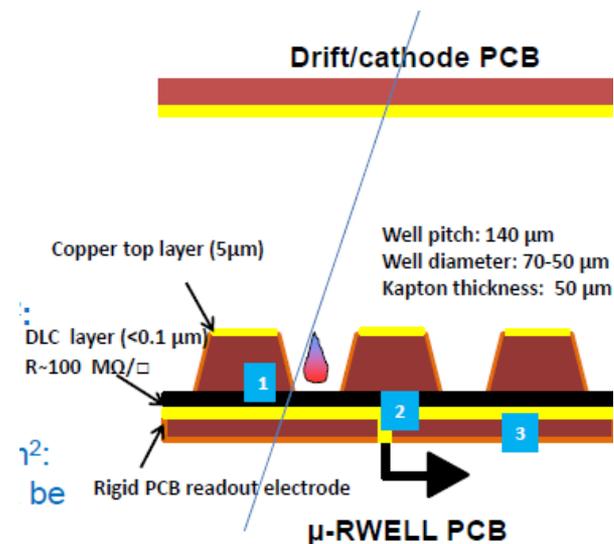


# Торцевая координатная система



Цилиндрическая  
Z-камера

Торцевые  
координатные  
диски



G. Bencivenni et al., 2015\_JINST\_10\_P02008

Ведется разработка новой торцевой координатной системы на основе micro-RWELL технологии (Л.И.Шехтман, Г.В.Федотович)

В 2019 – в ЦЕРН изготовлены полноразмерные диски

В 2020 – создание полноразмерного прототипа и работа с ним

# Заключение



- В 2019 году набрали рекордный объем данных выше 1 ГэВ и в области самых низких энергий

Детектор находится в хорошем состоянии

- Продолжается анализ ранее набранных данных

«В кармане» около  $250 \text{ пб}^{-1}$  данных

- Продолжаем развивать детектор

Идет активная работа по созданию торцевой координатной системы, оптимистичный план – установить ее в 2021 году

**Цель –  $1 \text{ фб}^{-1}$ , набрали 25%**