

# ДЕТЕКТОР КМД-3 НА КОЛЛАЙДЕРЕ ВЭПП-2000: РЕЗУЛЬТАТЫ И ПЛАНИРУЕМЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ

---

Иван Логашенко (ИЯФ СО РАН)

*Научная сессия Объединенного ученого  
совета по физическим наукам СО РАН*

*17.03.2025*

# Логашенко Иван Борисович

- Тематика работ
  - Экспериментальная физика элементарных частиц
  - Системы сбора и обработки данных
- Публикации
  - Всего – 229
  - Scopus – 173
  - Индекс Хирша (Scopus) – 42
- Опыт/достижения
  - Изучение процесса рождения адронов в  $e^+e^-$  аннигиляции (эксперименты КМД-2 и КМД-3)
  - Измерение аномального магнитного момента мюона (эксперименты в БНЛ и Фермилаб)
  - Участие в разработке проектов экспериментов: Mu2e (Фермилаб), Супер с-тау фабрика,...
- Преподавание
  - НГУ: зав.каф. физико-технической информатики, физики элементарных частиц
  - Организатор ежегодной школы молодых ученых по физике частиц и ускорительной технике (НЦФМ, Саров)

# Коллайдер ВЭПП-2000

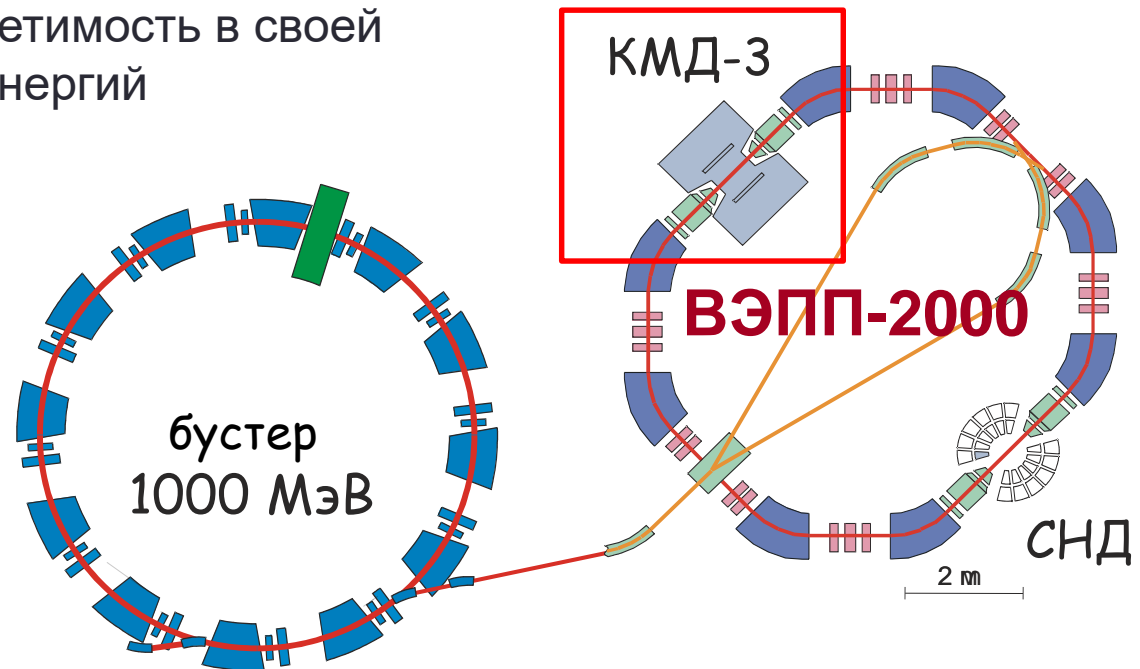
Электрон-позитронный коллайдер

Энергия в системе центра масс от 0.36 до 2.0 ГэВ

Два детектора – КМД-3 и СНД

Рекордная в мире светимость в своей области энергий

Design parameters @ 1 GeV	
Circumference	24.388 m
Beam energy	150 ÷ 1000 MeV
N of bunches	1×1
N of particles	1×10 <sup>11</sup>
Betatron tunes	4.14 / 2.14
Beta*	8.5 cm
BB parameter	0.1
Luminosity	1×10 <sup>32</sup> cm <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>

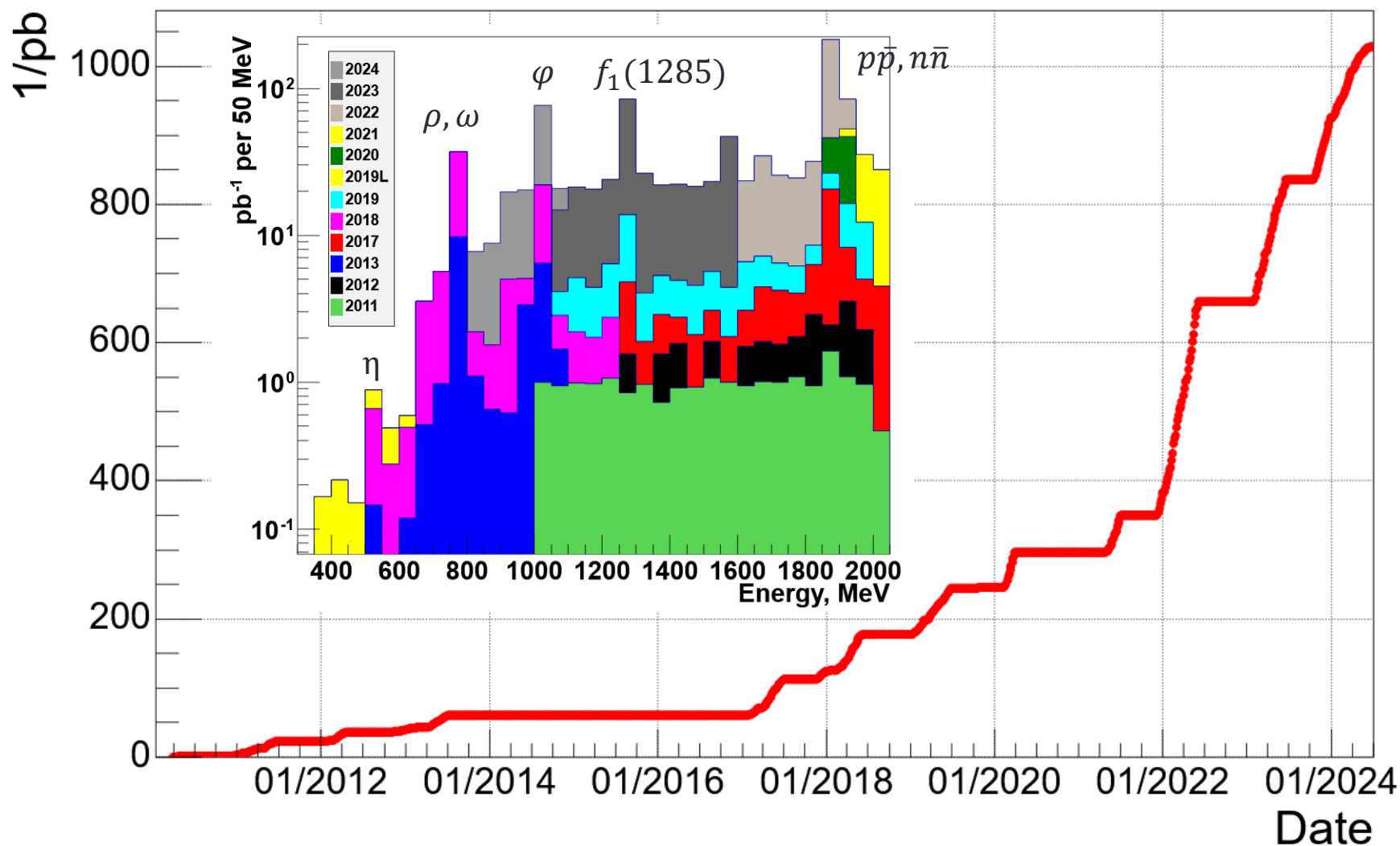


Мировой рекорд по  
односгустковой  
светимости

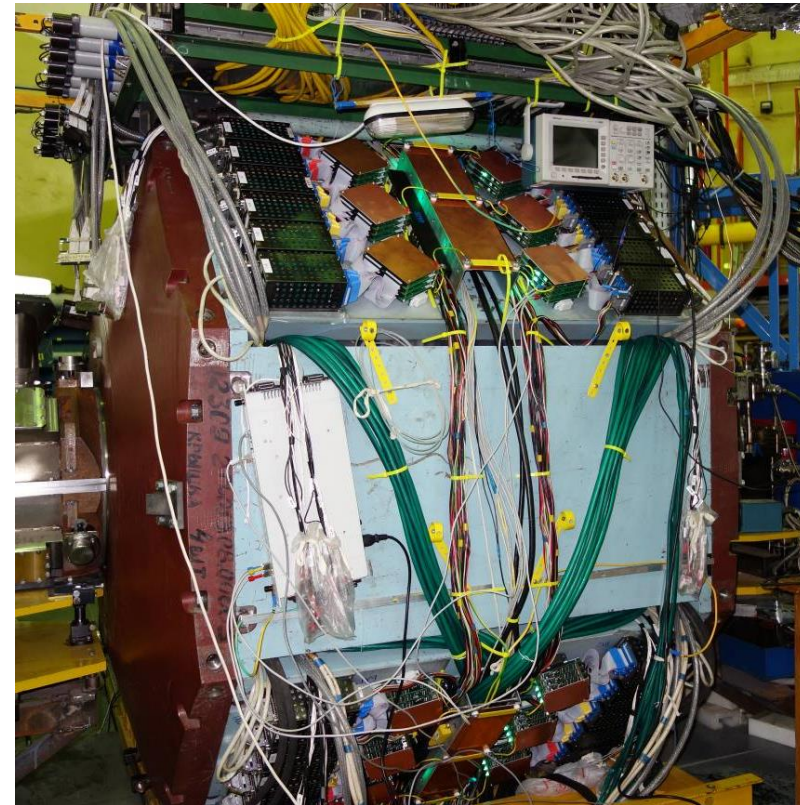
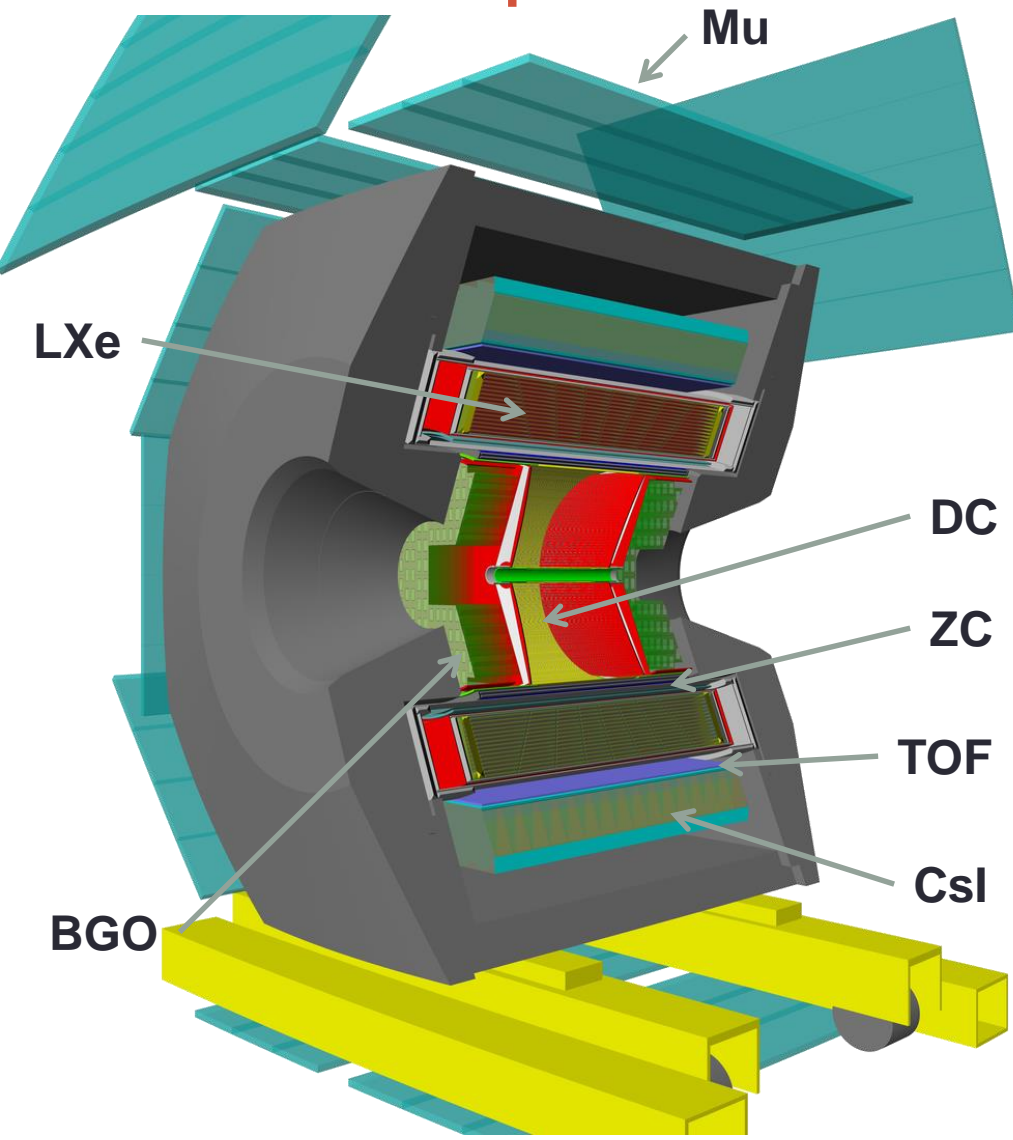
Непрерывный мониторинг энергии пучков с помощью комптоновского рассеяния ( $\sigma_{\sqrt{s}} \approx 0.1$  MeV)

# Набранная статистика

Превысили 1 фб<sup>-1</sup> !

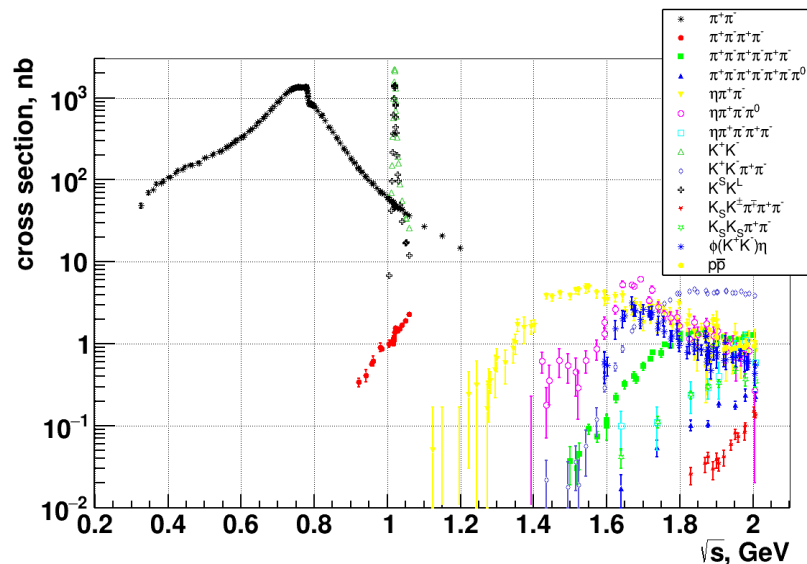


# КМД-3 – универсальный детектор элементарных частиц



# Цель экспериментов – изучение ЭКСКЛЮЗИВНЫХ каналов $e^+e^- \rightarrow$ адроны

- Спектроскопия – изучение легких мезонов/барионов
- Динамика – изучение процесса адронизации

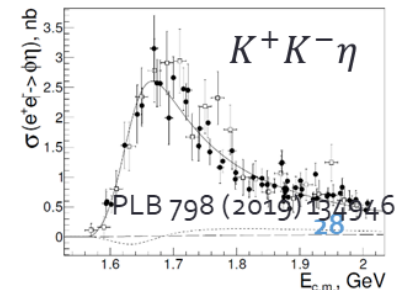
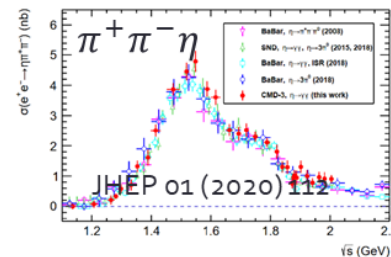
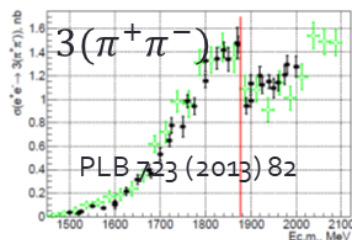
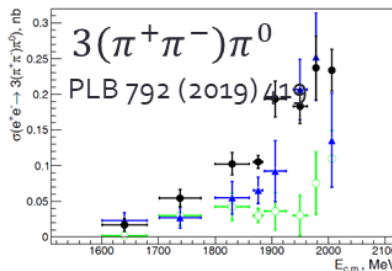
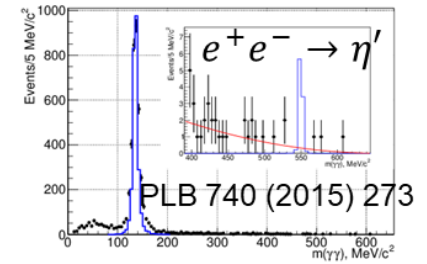
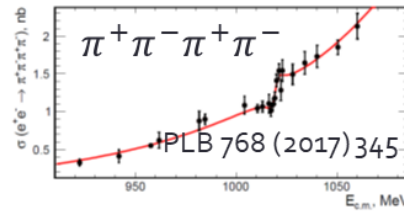
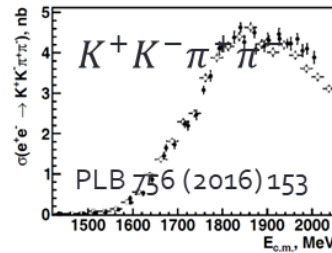
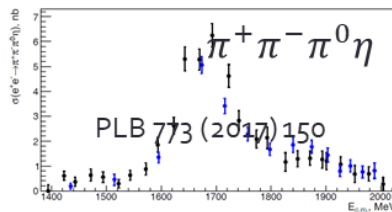
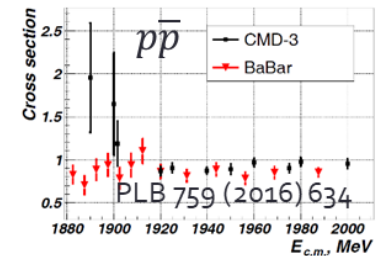
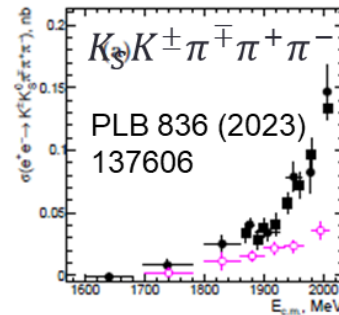
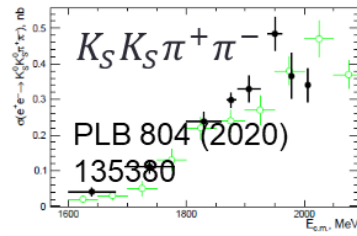
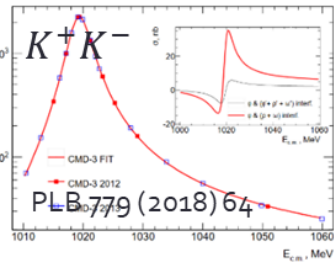
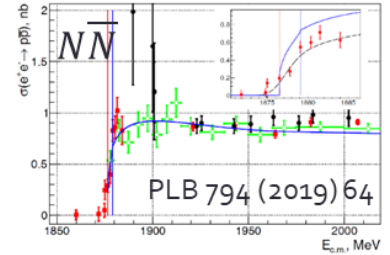
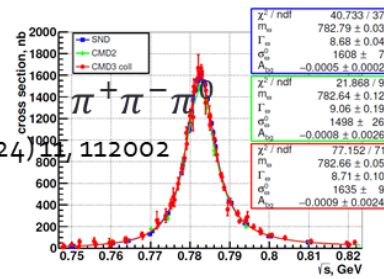
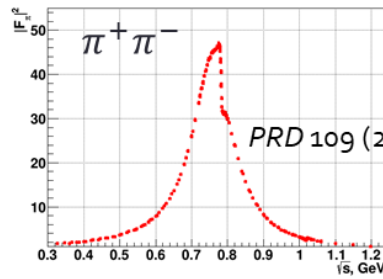
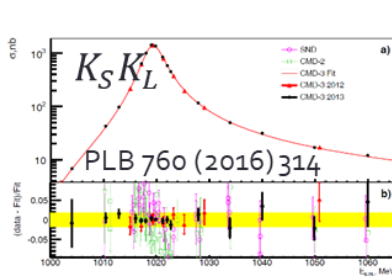


## Каналы, анализ которых ведется на КМД-3

Signature	Final states (preliminary, published)
2 charged	$\pi^+\pi^-, K^+K^-, K_S K_L, p\bar{p}$
2 charged + $\gamma$ 's	$\pi^+\pi^-\gamma, \pi^+\pi^-\pi^0, \pi^+\pi^-\eta, K^+K^-\pi^0, K^+K^-\eta, K_S K_L \pi^0, K_S K_L \eta, \pi^+\pi^-\pi^0\eta, \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0, \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0\pi^0, \pi^+\pi^-\pi^0\pi^0\pi^0$
4 charged	$\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-, K^+K^-\pi^+\pi^-, K_S K^\pm \pi^\mp$
4 charged + $\gamma$ 's	$\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-\pi^0, \pi^+\pi^-\eta, \pi^+\pi^-\omega, \pi^+\pi^-\pi^+\pi^-\pi^0\pi^0, K^+K^-\eta, K^+K^-\omega$
6 charged	$\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-, K_S K^\pm \pi^\mp \pi^\pm \pi^\mp, K_S K_S \pi^+\pi^-$
6 charged + $\gamma$ 's	$3(\pi^+\pi^-)\pi^0$
Neutral	$\pi^0\gamma, \eta\gamma, \pi^0\pi^0\gamma, \pi^0\eta\gamma, \pi^0\pi^0\pi^0\gamma, \pi^0\pi^0\eta\gamma$
Other	$n\bar{n}, \pi^0 e^+ e^-, \eta e^+ e^-$
Rare decays	$\eta', D^*(2007)^0$



# Опубликованные результаты

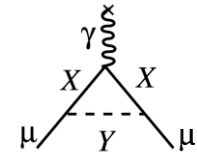


# Аномальный магнитный момент

Из-за радиационных поправок (взаимодействия частицы с флуктуациями полей в вакууме) возникает **аномальный магнитный момент  $a$**

$$\vec{\mu}_S = g \frac{e}{2m} \vec{S}$$

$$a = (g - 2)/2$$



$$a_e \approx a_\mu \approx \frac{\alpha}{2\pi} \approx 10^{-3}$$

(доминирует вклад КЭД)

**Идея эксперимента:** измерение  $a$  позволяет «увидеть» вклад всех полей, существующих в вакууме (в природе), даже тех, про которые мы не знаем

Fermilab 2023

$$g_\mu(\text{exp}) = 0.001\,165\,920\,59(22)$$

Рассчитаны теоретически с высокой точностью

$$a_\mu(\text{New Physics}) = a_\mu(\text{exp}) - a_\mu(\text{QED}) - a_\mu(\text{strong}) - a_\mu(\text{weak})$$

Для расчета требуется измерение  $\sigma(e^+e^- \rightarrow \text{hadrons})$

90% вклада – область энергий ВЭПП-2000

3/4 вклада – процесс  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$

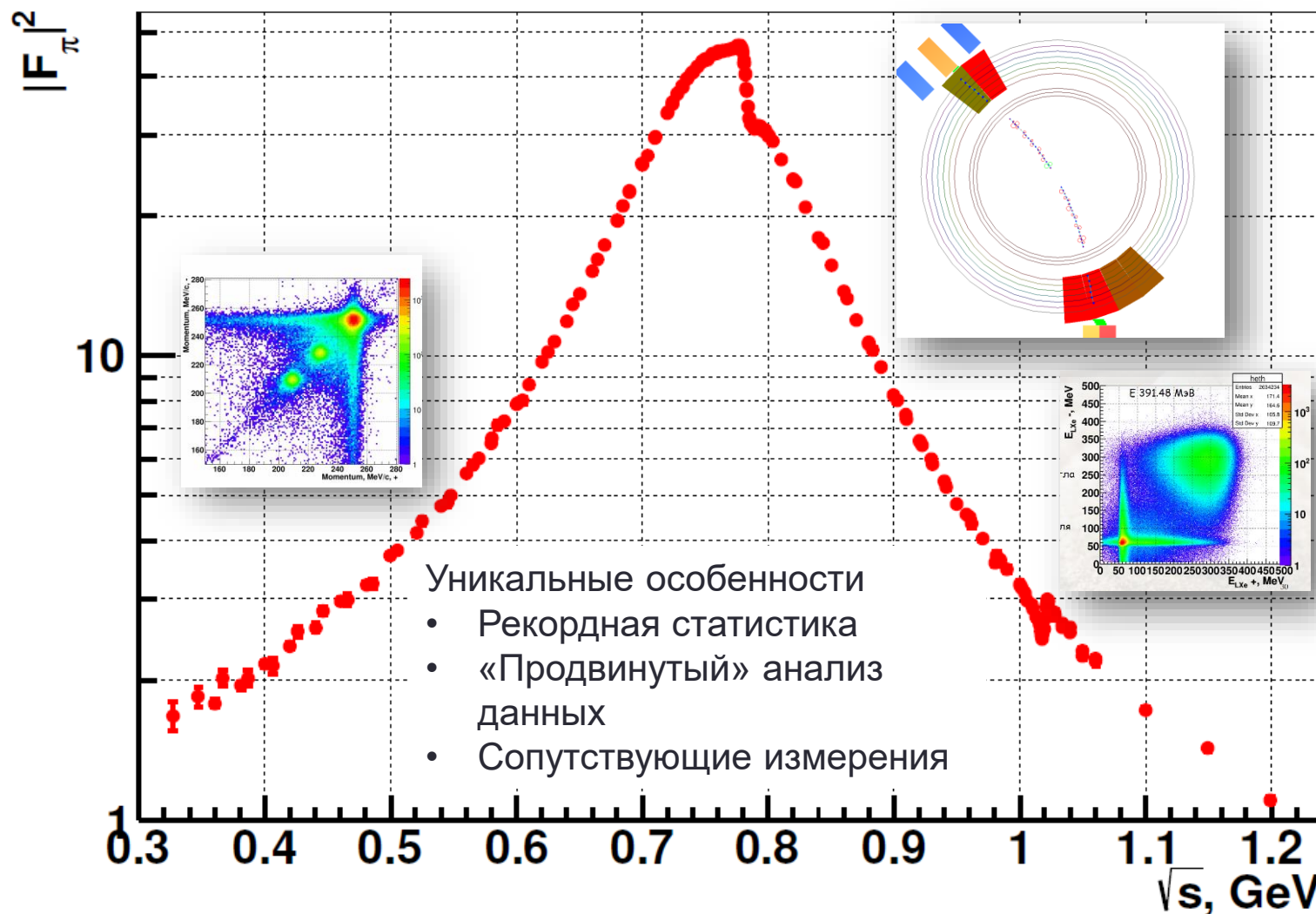




Важнейший результат КМД-3!

209 точки по энергии

Данные сезонов 2013, 2018, 2020

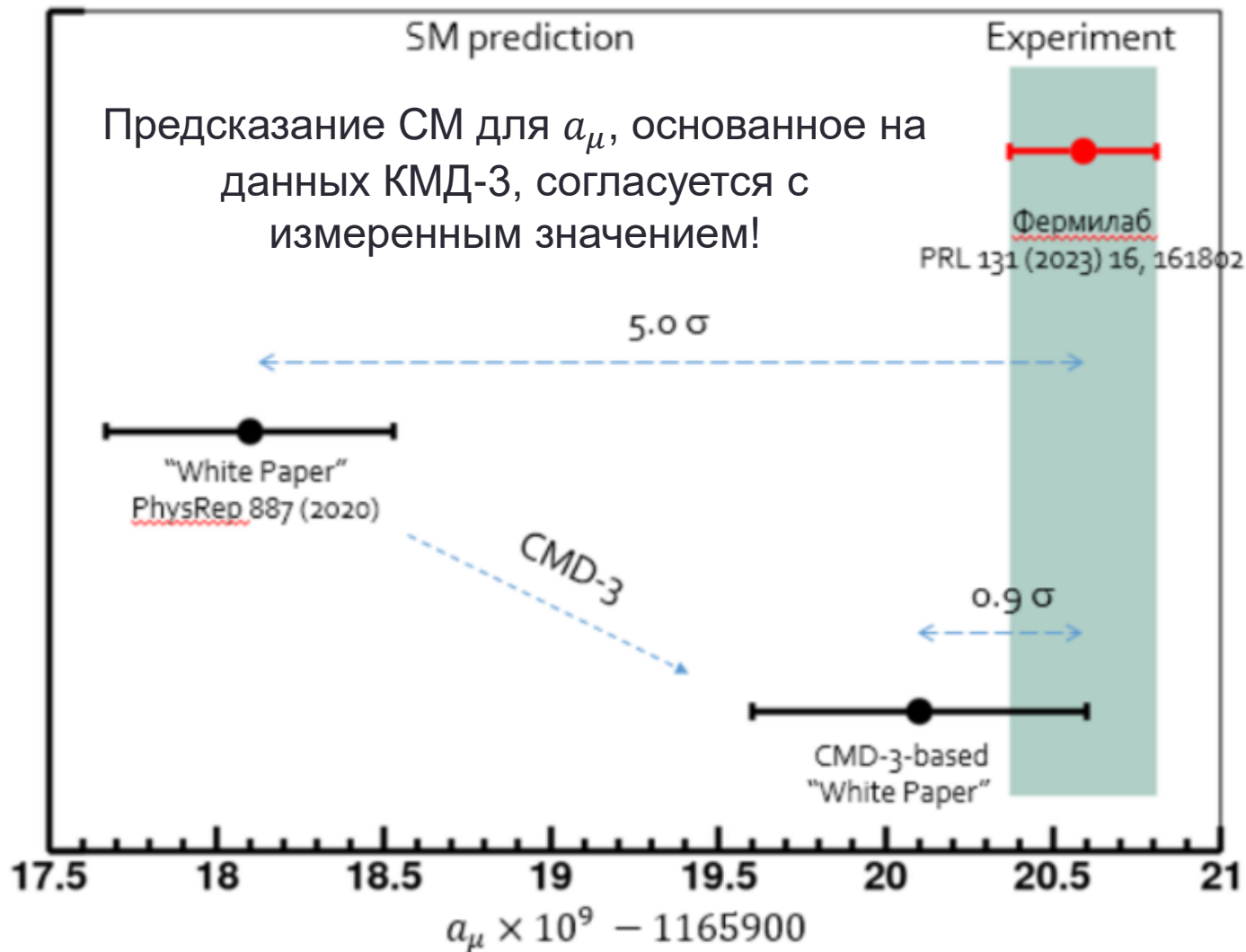


Уникальные особенности

- Рекордная статистика
- «Продвинутый» анализ данных
- Сопутствующие измерения

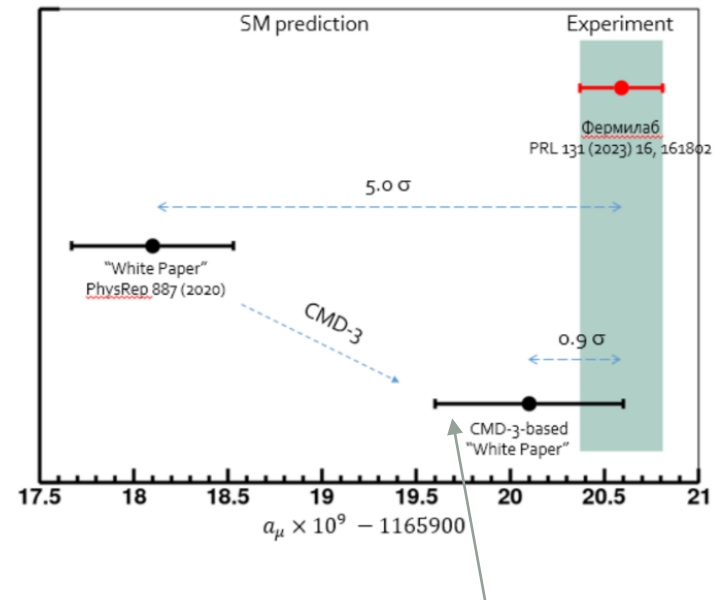
Набор и анализ данных занял ~10 лет!

$$e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^- \text{ И } a_\mu$$



# Планы

- Разница КМД-3 и предыдущих экспериментов
  - Источник разницы неизвестен
  - Ведутся активные исследования несколькими группами в мире: Снд (ИЯФ), Belle-II (Япония), BES-III (Китай), BABAR (США)
  - Решеточные вычисления подтверждают результат КМД-3
- Дальнейшие планы
  - Ключевая задача - улучшение точности измерения сечений в 3-4 раза
  - ВЭПП-2000 остается лучшим местом в мире для проведения подобных измерений
  - Планируется модернизация детекторов и проведение нового цикла экспериментов на ВЭПП-2000



**Необходимо уменьшить!**  
 Значимость теста СМ определяется суммарной ошибкой эксперимента и расчета

# Заключение

- ВЭПП-2000 и детекторы КМД-3 и СНД продолжают набор статистики в области энергий  $0.32 \leq \sqrt{s} \leq 2.0$  ГэВ. Набрано более  $1 \text{ фб}^{-1}$  на детектор – самый большой объем статистики в мире в этой области энергий.
- Опубликован ряд результатов по измерению адронных сечений с наилучшей в мире точностью. Продолжается измерение эксклюзивных сечений и динамики рождения адронов.
- ВЭПП-2000 предоставляет уникальные возможности по измерению поведения адронных сечений на пороге рождения пары  $N\bar{N}$ .
- Результат КМД-3 по измерению сечения  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$  привел к пересмотру устоявшегося мнения о наличии противоречия между измеренной величиной аномального магнитного момента мюона и предсказанием Стандартной модели