

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

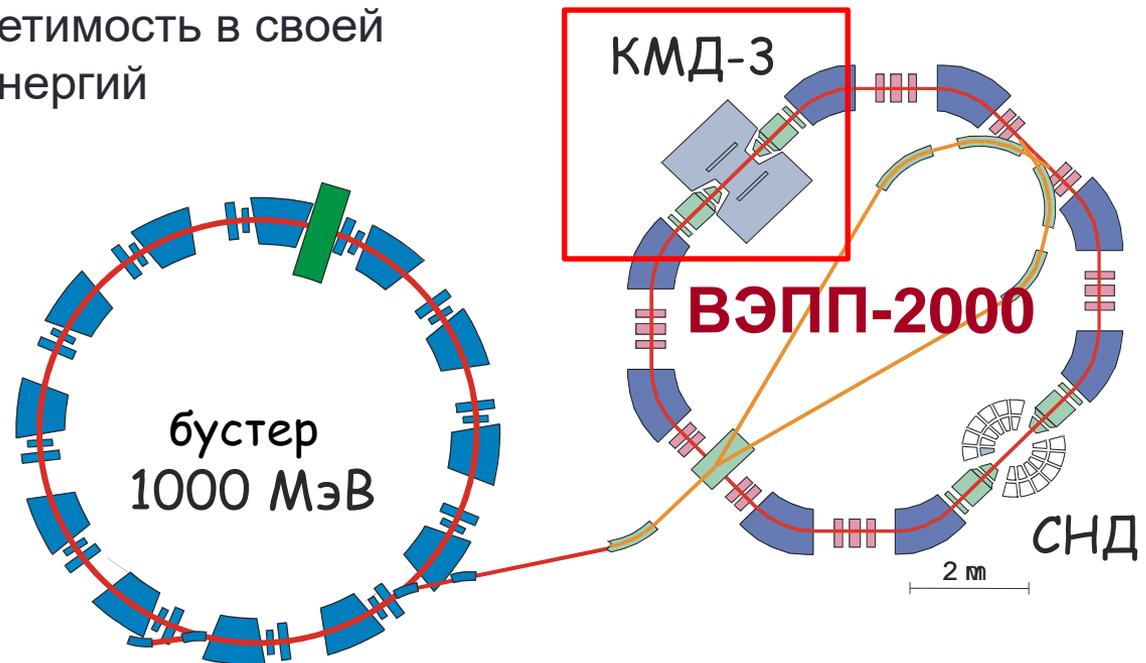
Электрон-позитронный коллайдер

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 ¹¹
Betatron tunes	4.14 / 2.14
Beta*	8.5 cm
BB parameter	0.1
Luminosity	1×10 ³² cm ⁻² s ⁻¹

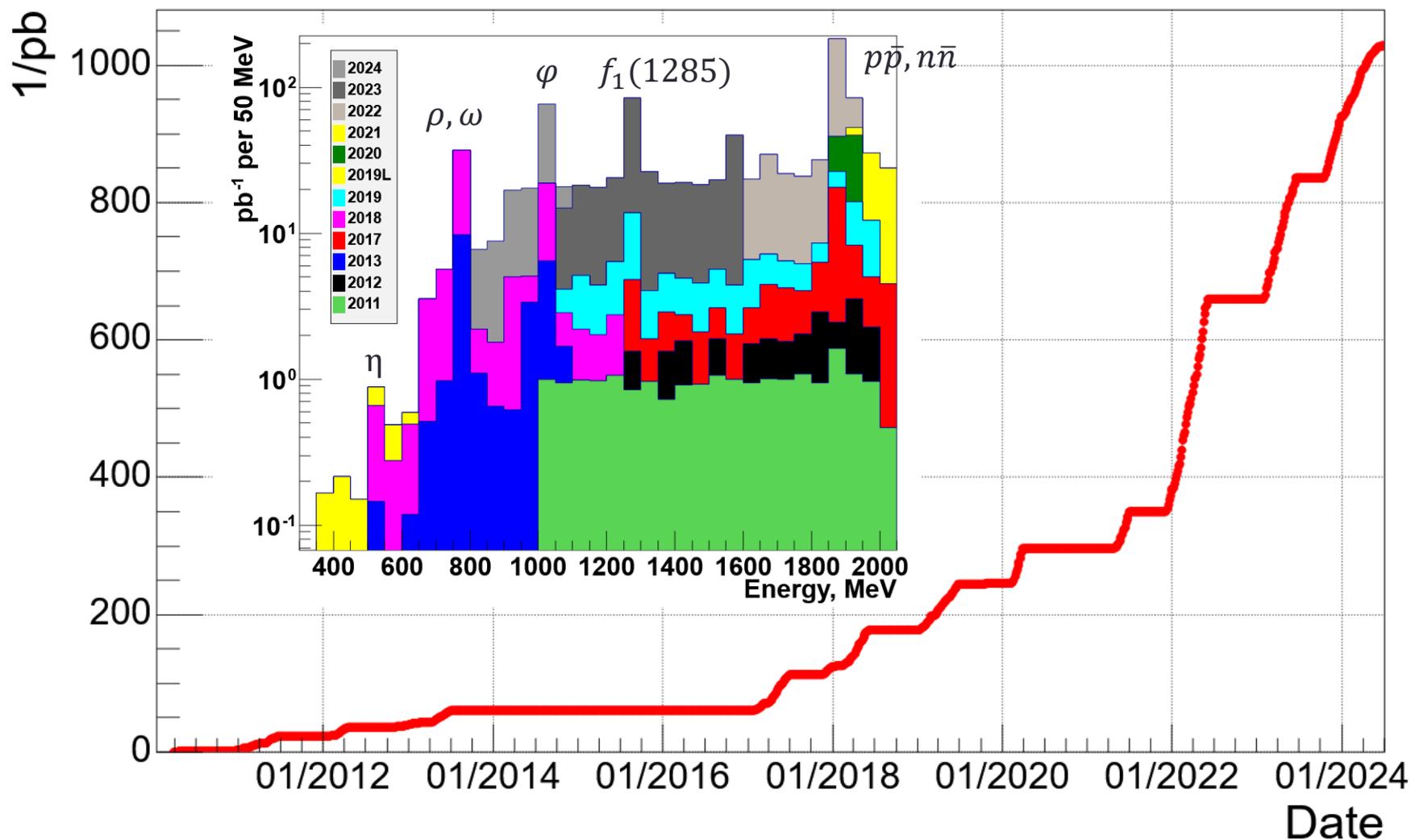


Мировой рекорд по
односгустковой
светимости

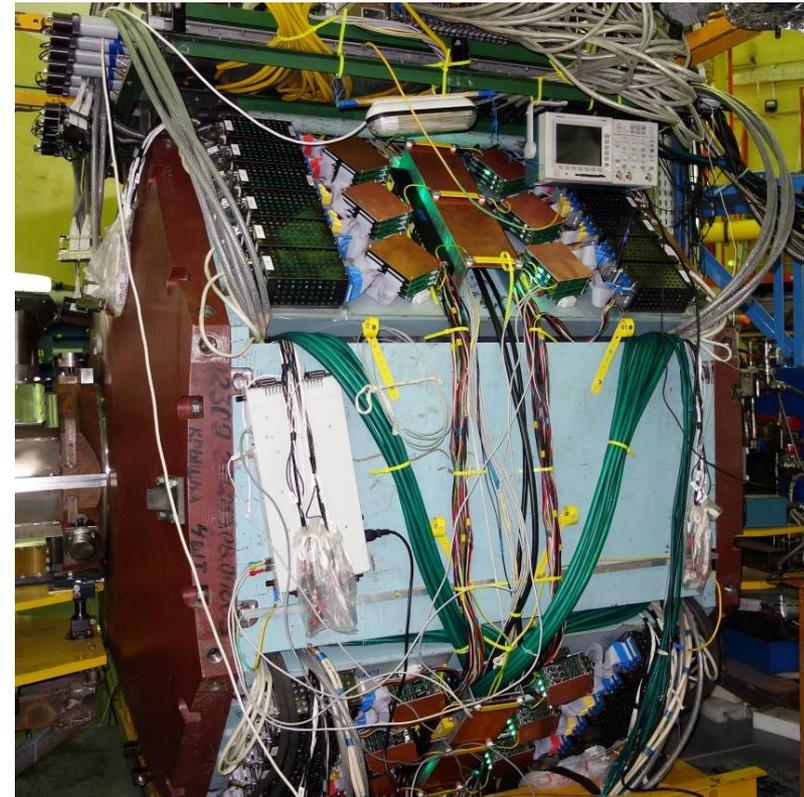
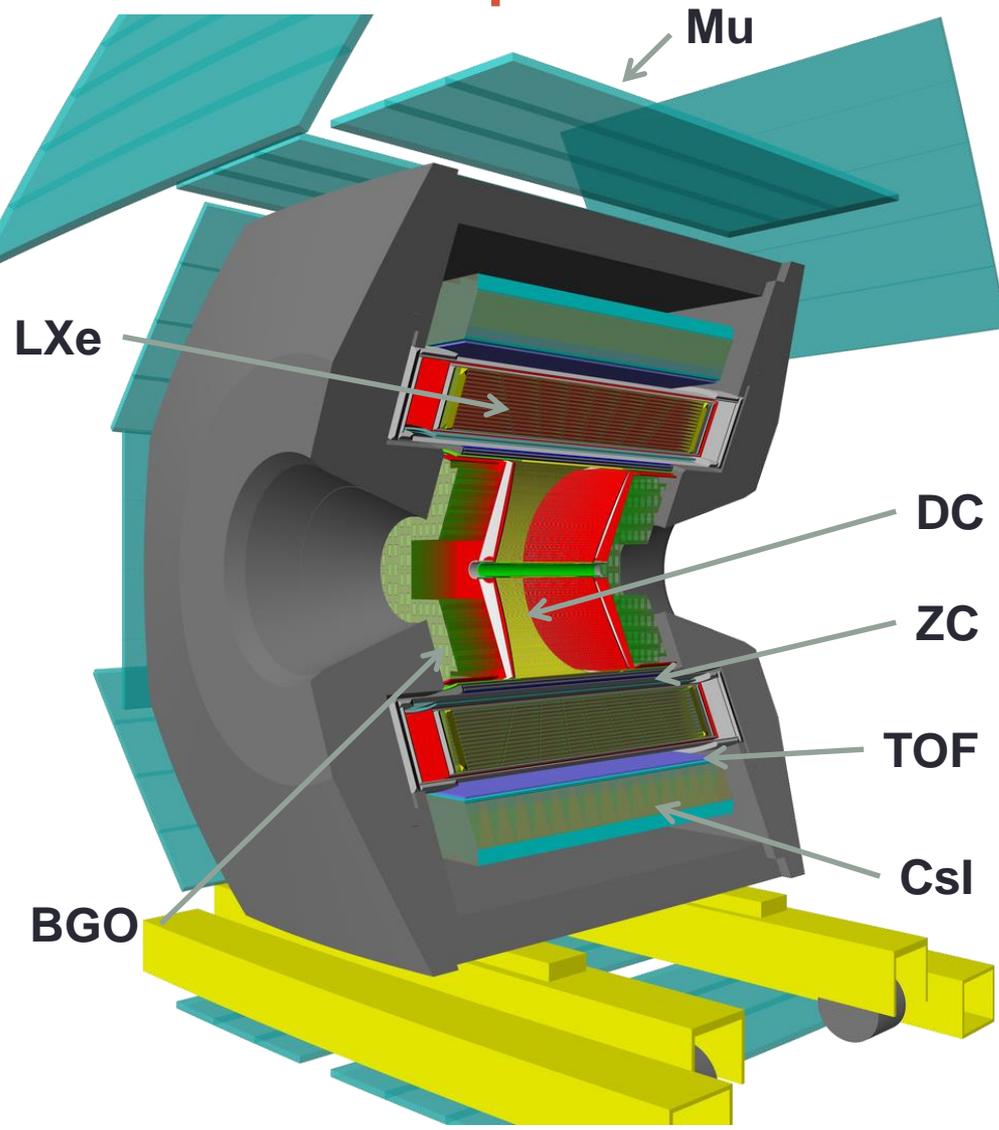
Непрерывный мониторинг энергии пучков с
помощью комптоновского рассеяния ($\sigma_{\sqrt{s}} \approx 0.1$ MeV)

Набранная статистика

Превысили 1 фб⁻¹ !

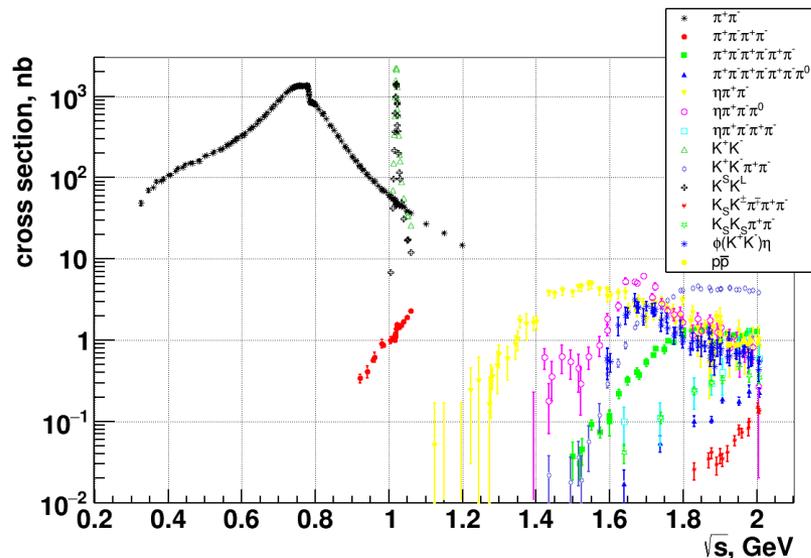


КМД-3 – универсальный детектор элементарных частиц



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

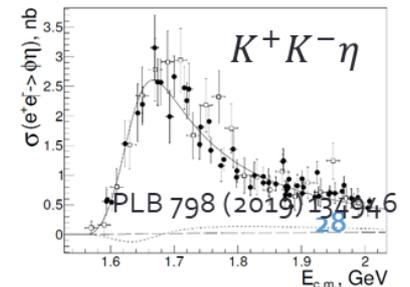
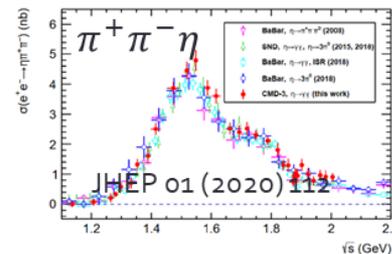
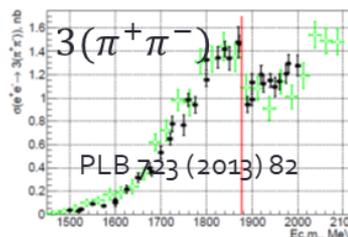
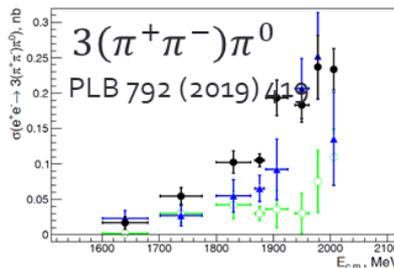
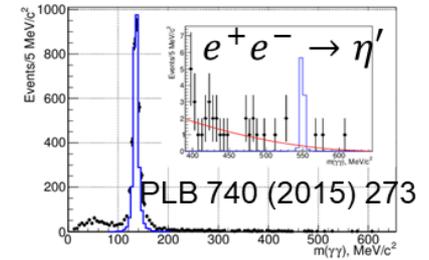
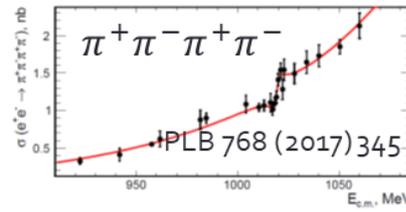
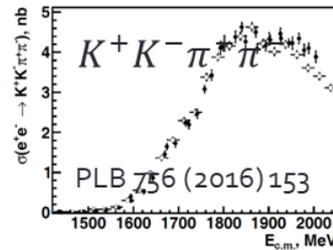
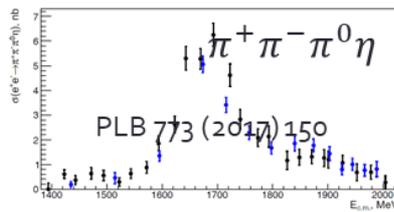
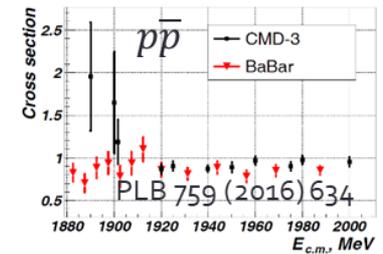
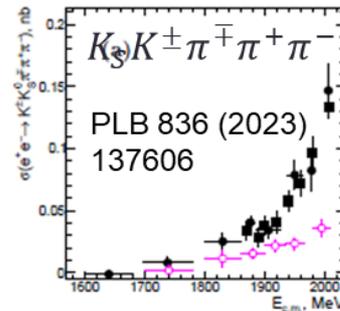
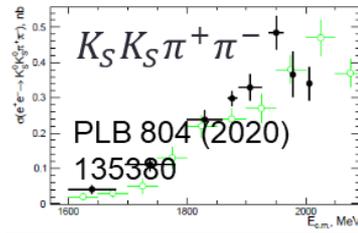
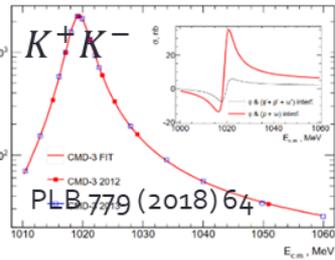
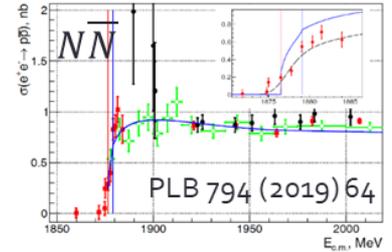
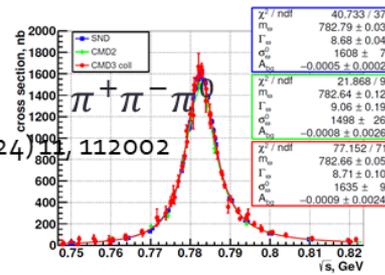
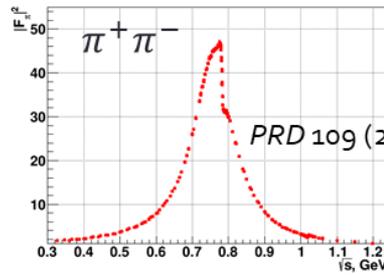
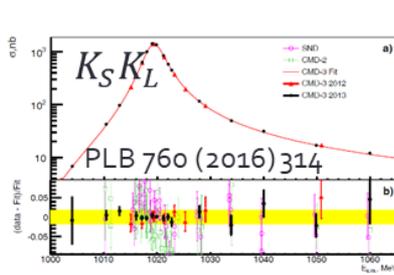
- Спектроскопия – изучение легких мезонов/барионов
- Динамика – изучение процесса адронизации



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 + γ '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 + γ '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 + γ '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

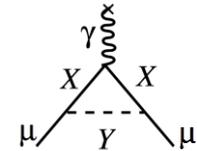


Аномальный магнитный момент

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

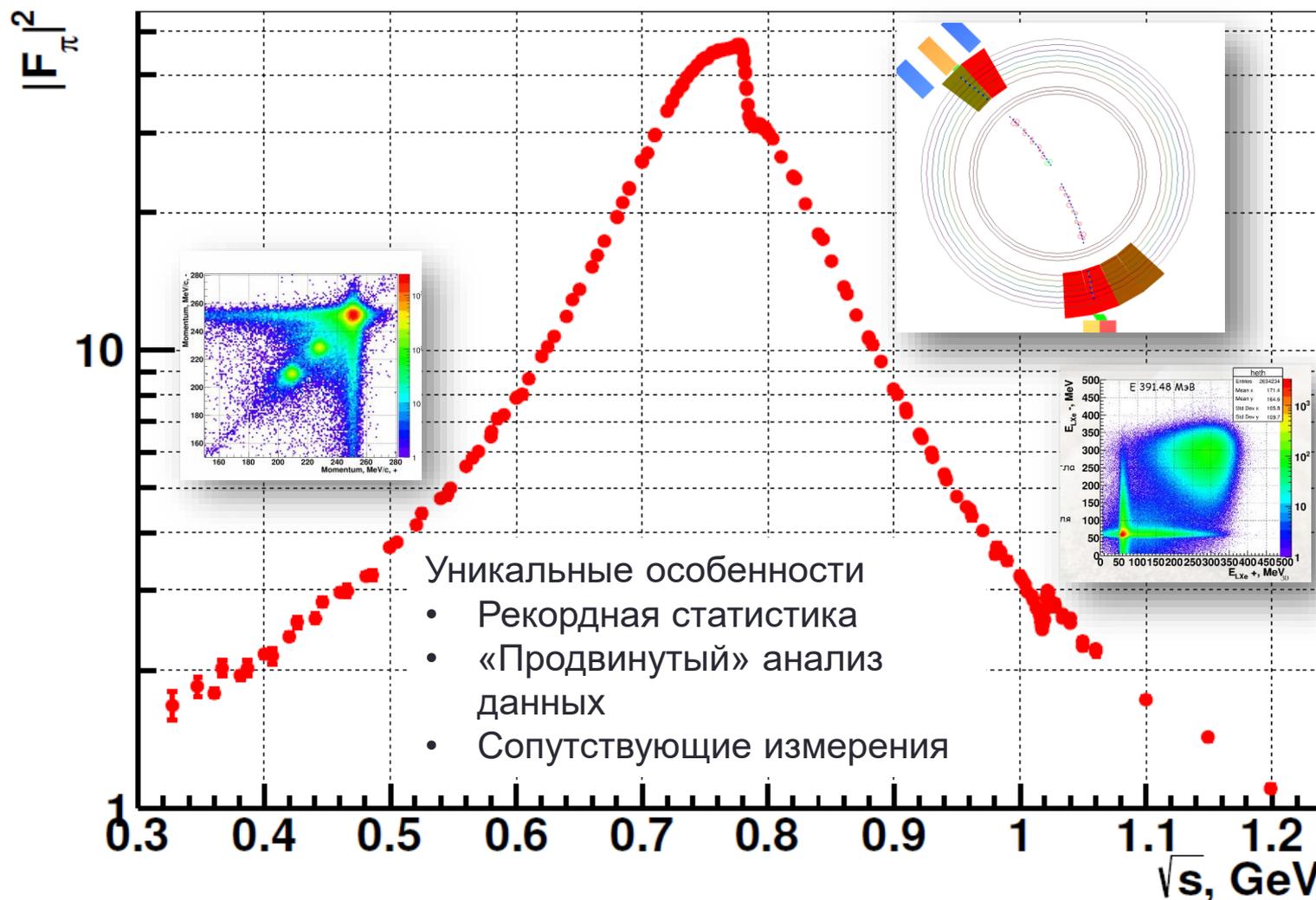
3/4 вклада – процесс $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$



Важнейший результат КМД-3!

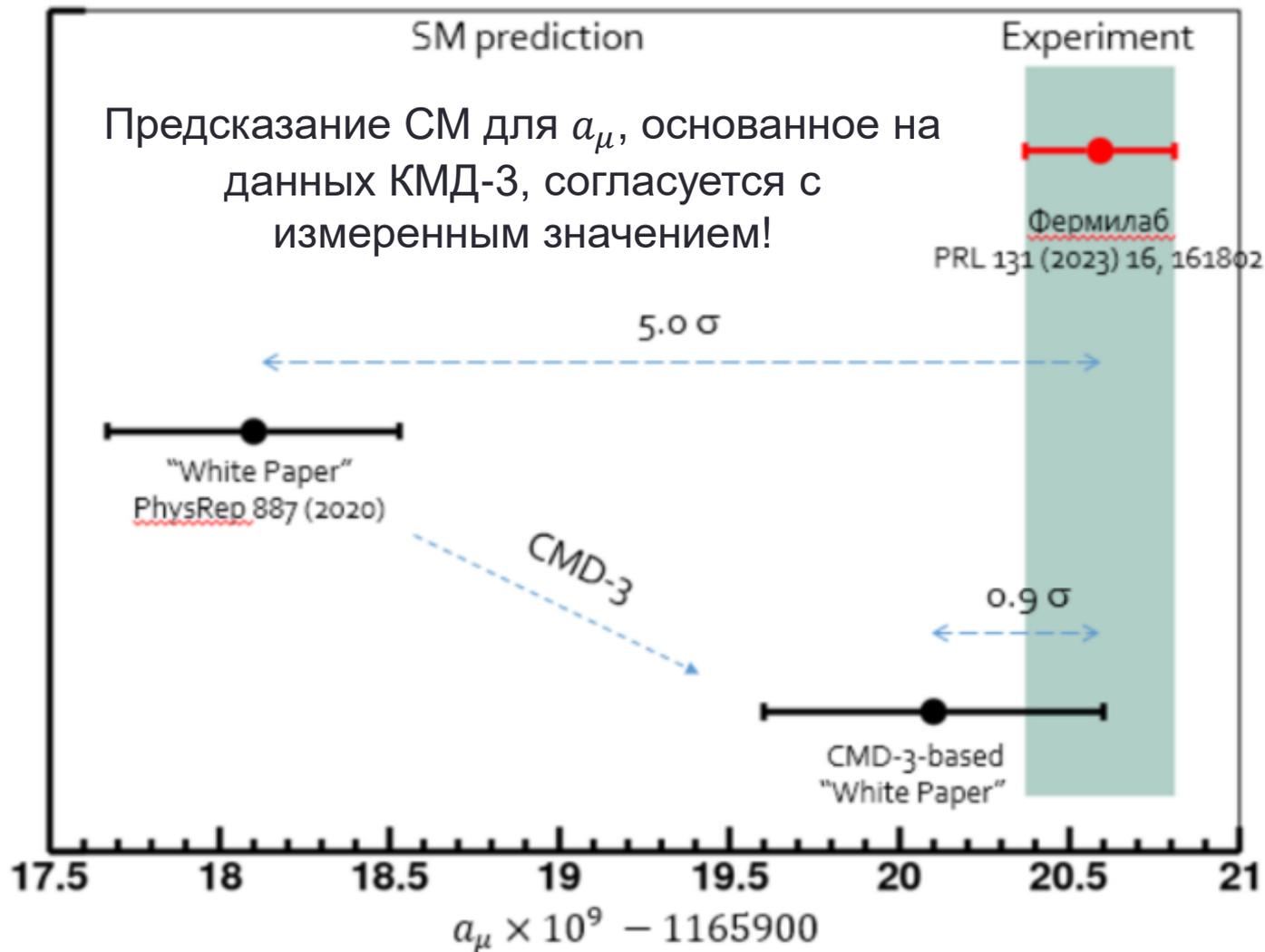
209 точки по энергии

Данные сезонов 2013, 2018, 2020



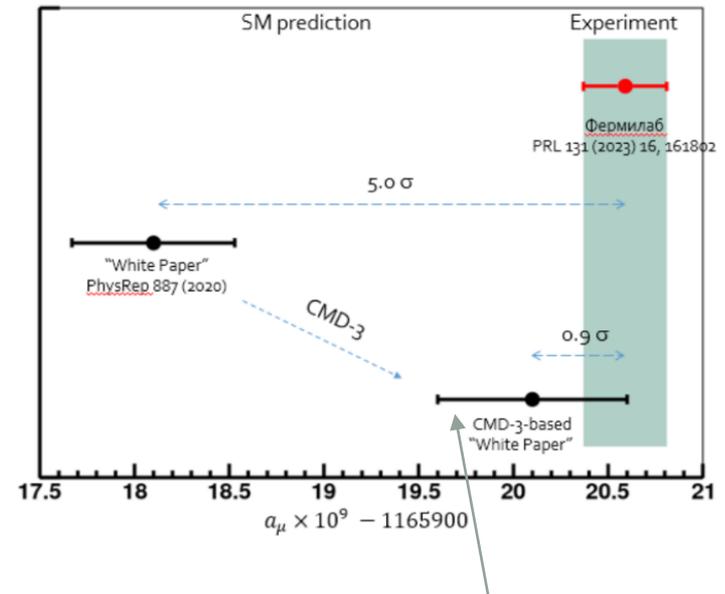
Набор и анализ данных занял ~10 лет!

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



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 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