

# КМД-3 (Криогенный Магнитный Детектор)



Логашенко И.Б.

Научная сессия ИЯФ, 1 февраля 2024

F.V. Ignatov<sup>a,b,1</sup>, R.R. Akhmetshin<sup>a,b</sup>, A.N. Amirkhanov<sup>a,b</sup>, A.V. Anisenkov<sup>a,b</sup>,  
V.M. Aulchenko<sup>a,b</sup>, N.S. Bashtovoy<sup>a</sup>, D.E. Berkaev<sup>a,b</sup>, A.E. Bondar<sup>a,b</sup>, A.V. Bragin<sup>a</sup>,  
S.I. Eidelman<sup>a,b</sup>, D.A. Epifanov<sup>a,b</sup>, L.B. Epshteyn<sup>a,b,c</sup>, A.L. Erofeev<sup>a,b</sup>, G.V. Fedotov<sup>a,b</sup>,  
A.O. Gorkovenko<sup>a,c</sup>, F.J. Grancagnolo<sup>e</sup>, A.A. Grebenuk<sup>a,b</sup>, S.S. Gribanov<sup>a,b</sup>,  
D.N. Grigoriev<sup>a,b,c</sup>, V.L. Ivanov<sup>a,b</sup>, S.V. Karpov<sup>a</sup>, A.S. Kasaev<sup>a</sup>, V.F. Kazanin<sup>a,b</sup>,  
B.I. Khazin<sup>a</sup>, A.N. Kirpotin<sup>a</sup>, I.A. Koop<sup>a,b</sup>, A.A. Korobov<sup>a,b</sup>, A.N. Kozyrev<sup>a,c</sup>,  
E.A. Kozyrev<sup>a,b</sup>, P.P. Krokovny<sup>a,b</sup>, A.E. Kuzmenko<sup>a</sup>, A.S. Kuzmin<sup>a,b</sup>, I.B. Logashenko<sup>a,b</sup>,  
P.A. Lukin<sup>a,b</sup>, A.P. Lysenko<sup>a</sup>, K.Yu. Mikhailov<sup>a,b</sup>, I.V. Obraztsov<sup>a,b</sup>, V.S. Okhapkin<sup>a</sup>,  
A.V. Otboev<sup>a</sup>, E.A. Perevedentsev<sup>a,b</sup>, Yu.N. Pestov<sup>a</sup>, A.S. Popov<sup>a,b</sup>, G.P. Razuvaev<sup>a,b</sup>,  
Yu.A. Rogovsky<sup>a,b</sup>, A.A. Ruban<sup>a</sup>, N.M. Ryskulov<sup>a</sup>, A.E. Ryzhenenkov<sup>a,b</sup>,  
A.V. Semenov<sup>a,b</sup>, A.I. Senchenko<sup>a</sup>, P.Yu. Shatunov<sup>a</sup>, Yu.M. Shatunov<sup>a</sup>, V.E. Shebalin<sup>a,b</sup>,  
D.N. Shemyakin<sup>a,b</sup>, B.A. Shwartz<sup>a,b</sup>, D.B. Shwartz<sup>a,b</sup>, A.L. Sibidanov<sup>a,d</sup>, E.P. Solodov<sup>a,b</sup>,  
A.A. Talyshev<sup>a,b</sup>, V.M. Timoshenko<sup>a</sup>, V.M. Titov<sup>a</sup>, S.S. Tolmachev<sup>a,b</sup>, A.I. Vorobiov<sup>a</sup>,  
I.M. Zemlyansky<sup>a</sup>, D.S. Zhadan<sup>a</sup>, Yu.M. Zharinov<sup>a</sup>, A.S. Zubakin<sup>a</sup>, Yu.V. Yudin<sup>a,b</sup>

Коллектив ~50 человек

Лаборатории 2, 3-3, 3-13,...

# Физическая программа ВЭПП-2000



- Измерение сечений рождения во всем диапазоне энергий
- Изучение динамики (промежуточных состояний)

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

- Измерение параметров резонансов
- Адронный вклад в  $g-2$  мюона

«Флаг»:  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$

ВЭПП-2000

Изучение рождения адронов вблизи порога  $N\bar{N}$

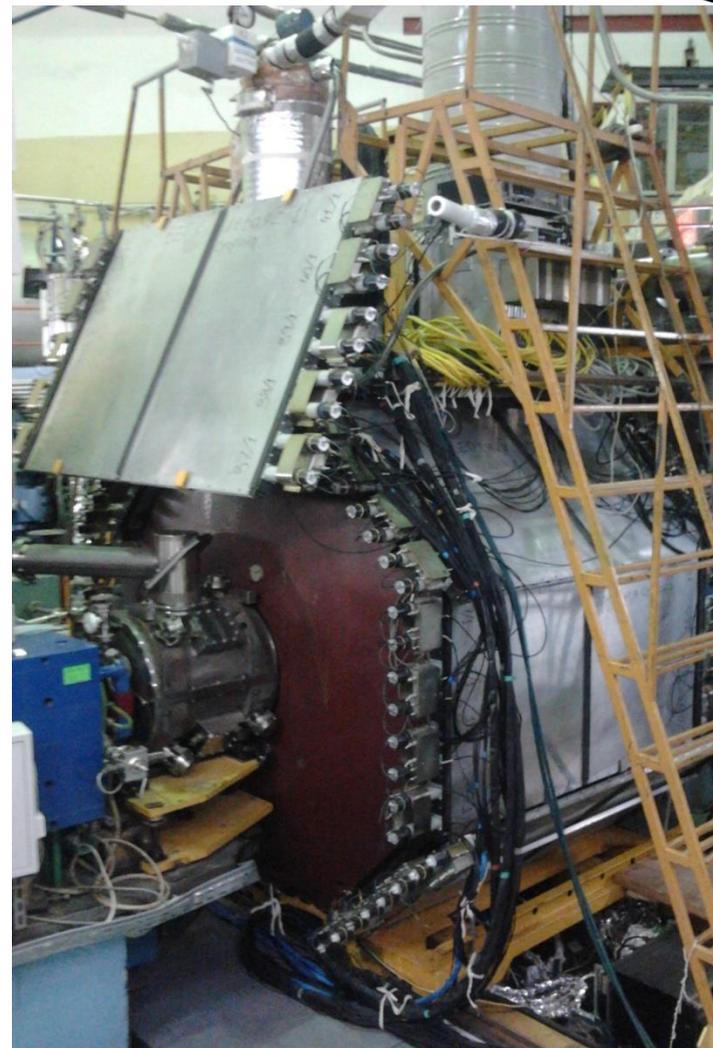
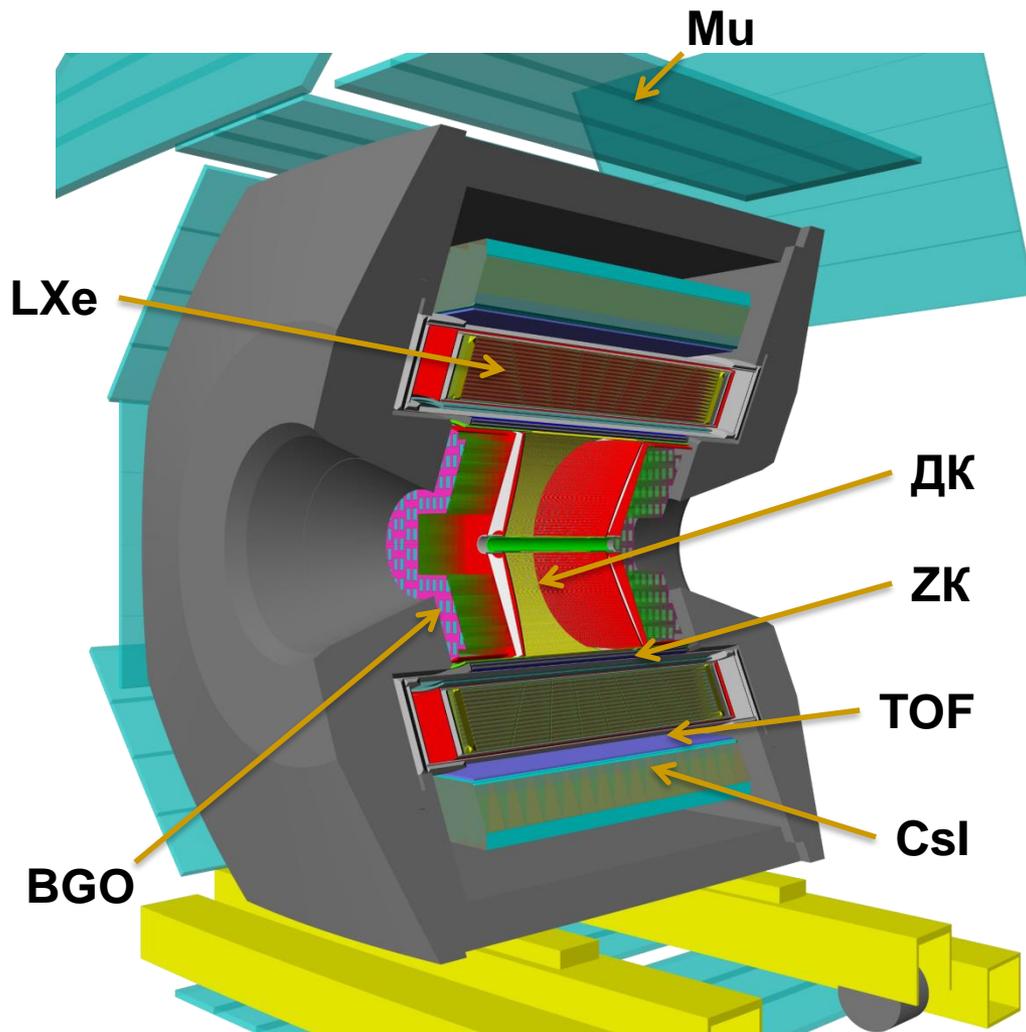
Отдельные задачи

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

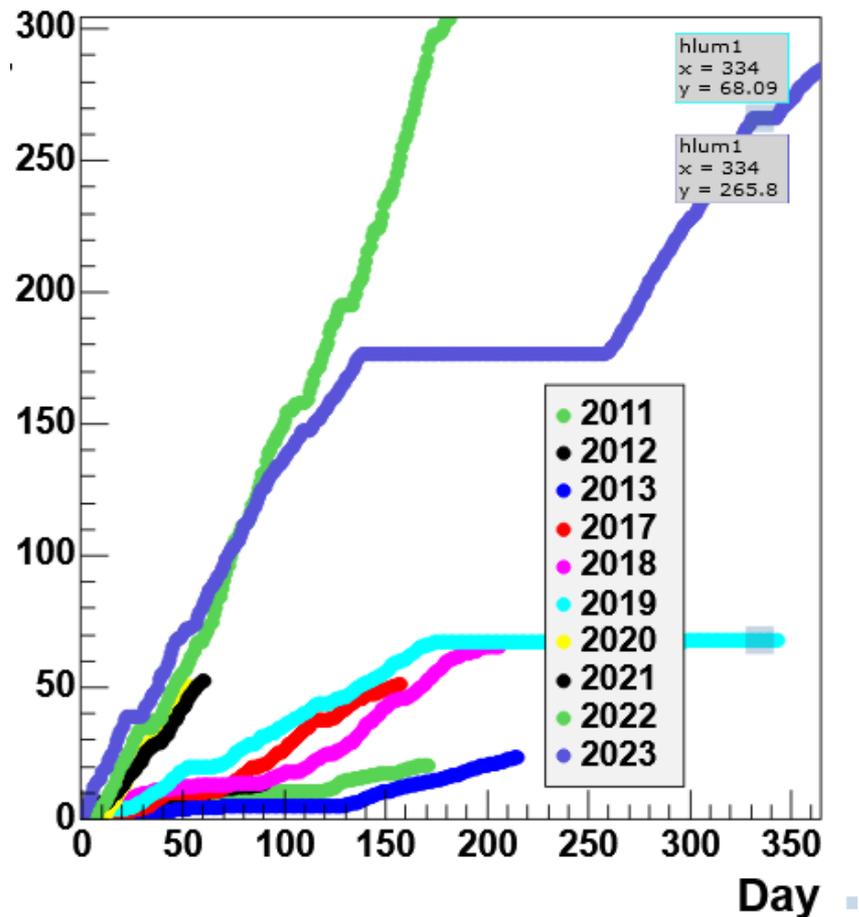
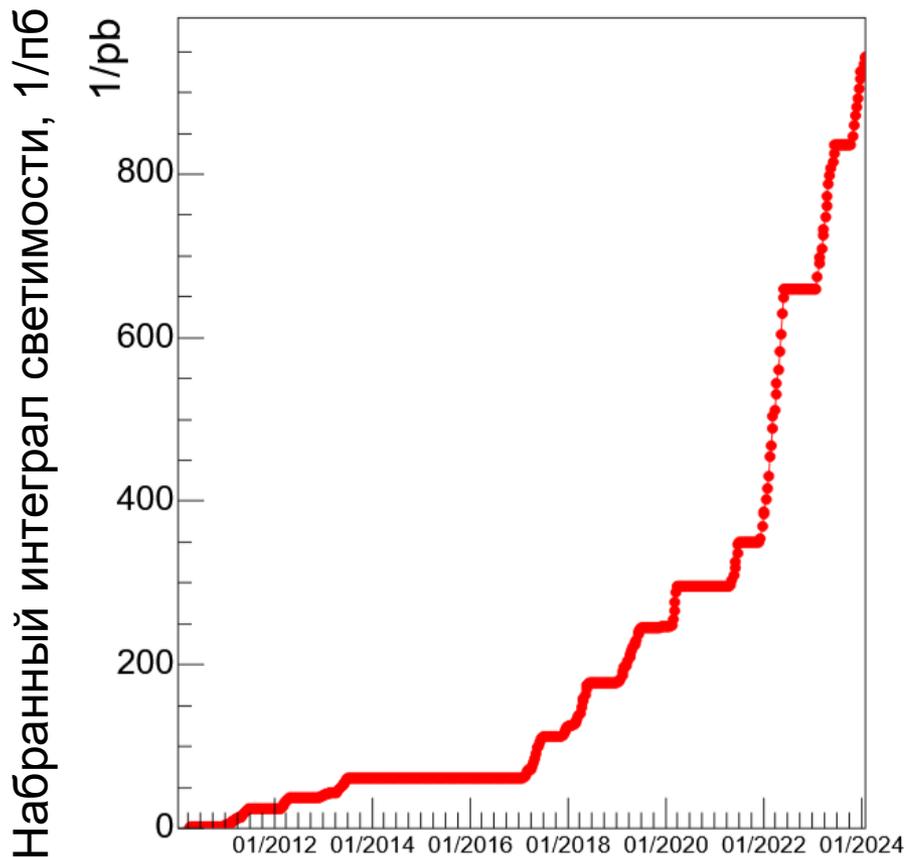
Порог  $K\bar{K}$ ?

- Электромагнитные формфакторы нуклонов
  - Поведение адронных сечений на пороге
- «Переключка» с физикой XYZ

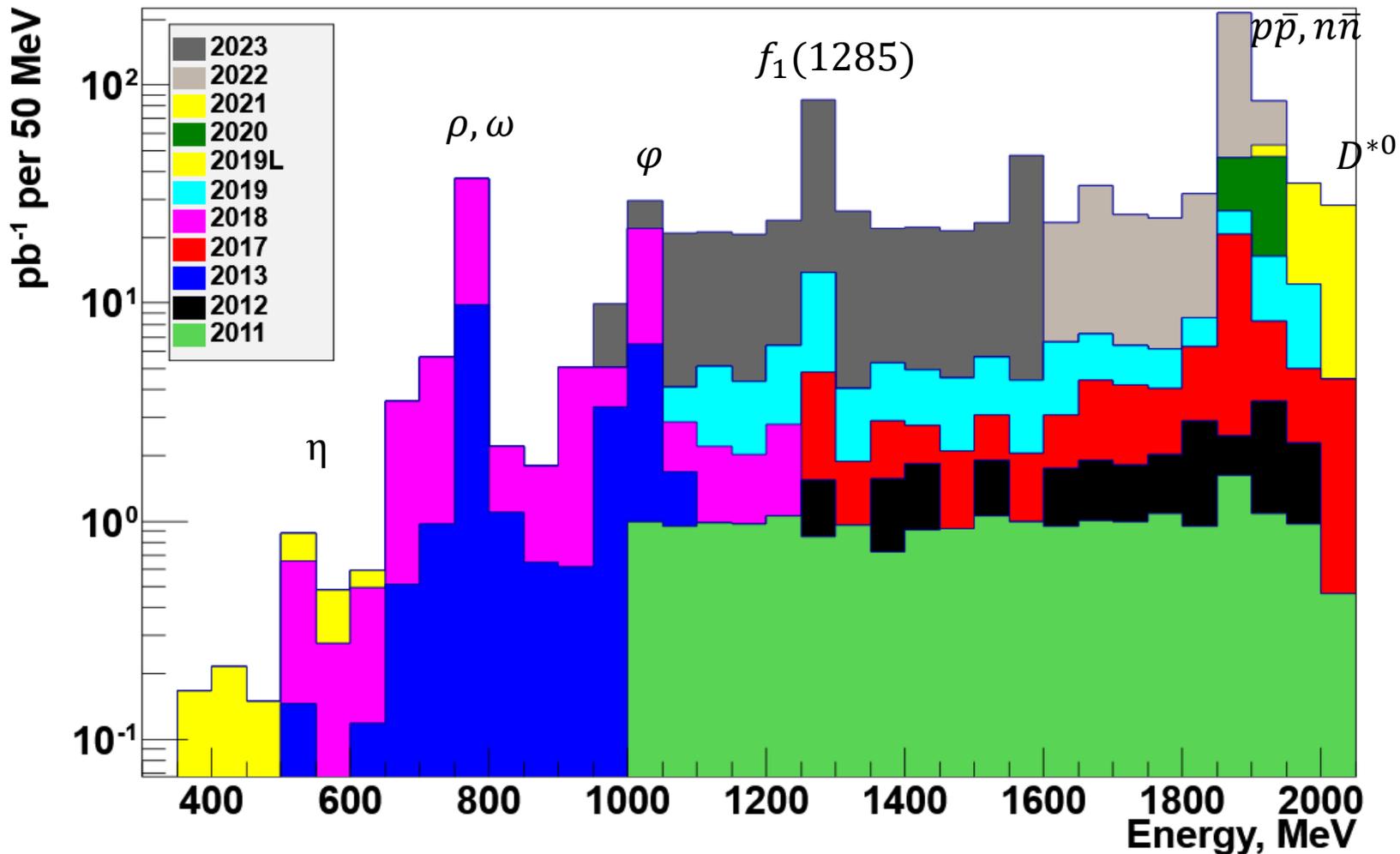
# Детектор КМД-3



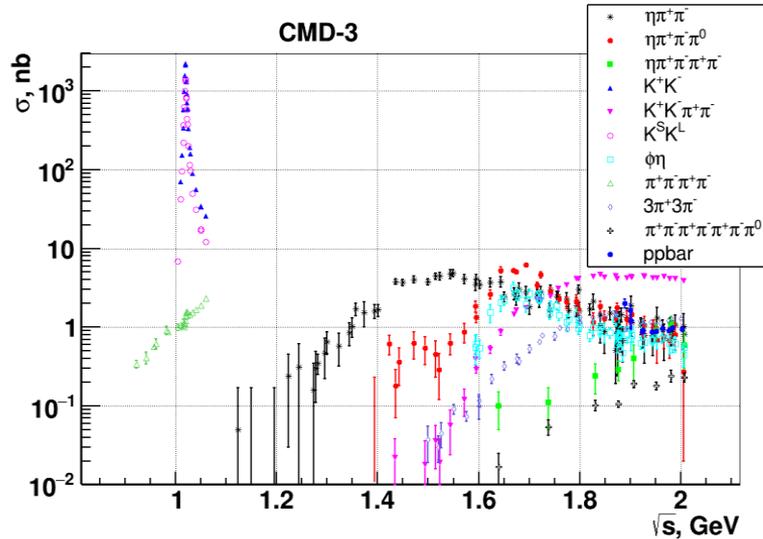
# История набора статистики



# История набора статистики



# Анализ данных

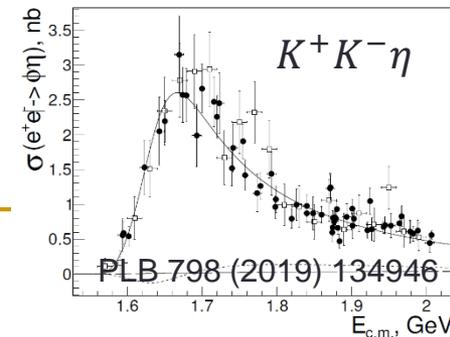
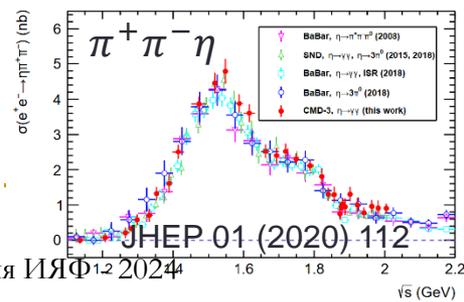
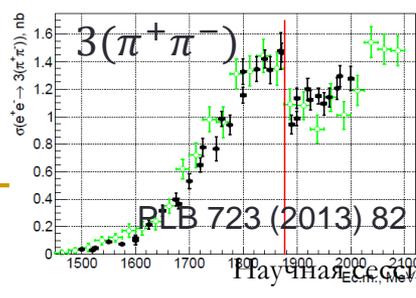
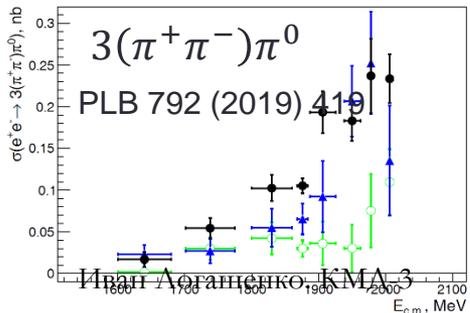
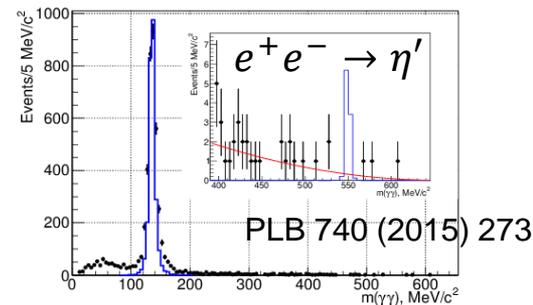
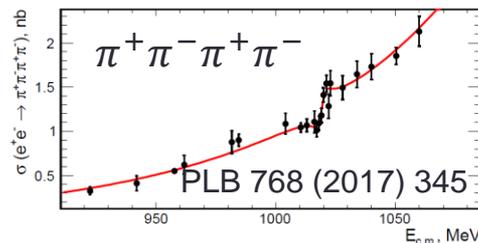
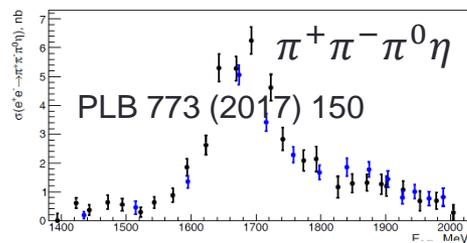
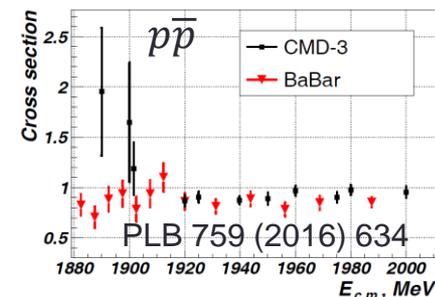
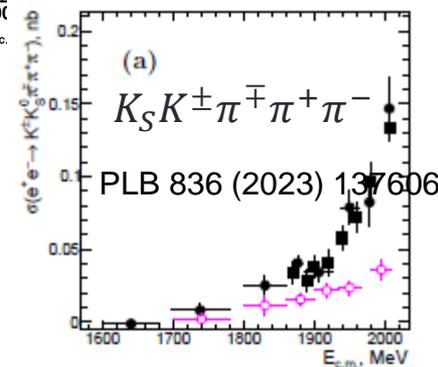
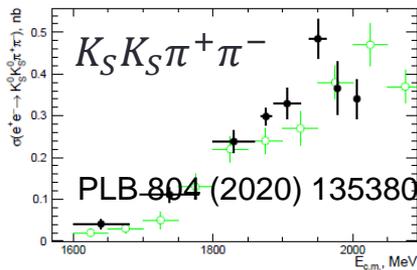
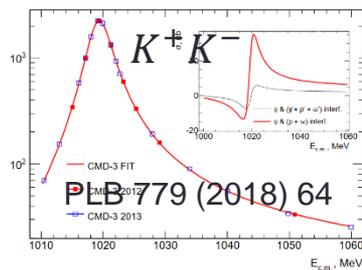
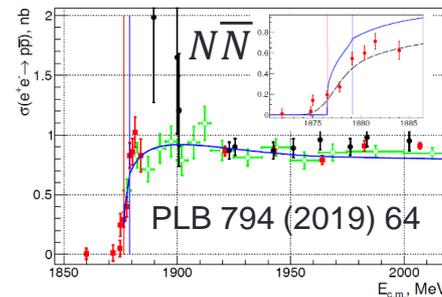
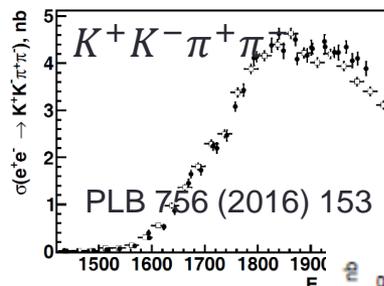
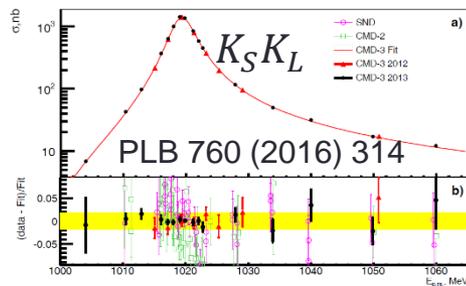


Ведется независимый анализ данных для каждого конечного состояния (десятки)

Скорость получения результатов определяется количеством людей, занимающихся анализом

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

# CMD-3 published results



# Текущий статус анализа данных



- Ведется анализ ~15 конечных состояний
- Близко к публикации  
~3 анализов
- Задержка на калибровку составляет  
~6 месяцев

<u>А.Е. Рыжененков</u>	Измерение светимости по $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$ , $e^+e^- \rightarrow \gamma\gamma$
<u>А.С. Зубакин</u>	Анализ процесса $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$ (выше 1 ГэВ)
<u>С.С. Толмачев</u>	Анализ процесса $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ , $\pi^+\pi^-\gamma$
<u>А.А. Коробов</u>	Анализ процесса $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^+\pi^-$
<u>С.С. Грибанов</u>	Анализ процессов $e^+e^- \rightarrow 5\pi$ , $\pi^+\pi^-\eta$
<u>Е.П. Солодов</u>	Анализ процесса $e^+e^- \rightarrow 3(\pi^+\pi^-)$
<u>В.Л. Иванов</u>	Анализ процесса $e^+e^- \rightarrow K^+K^-$ , $K^+K^-\omega$
<u>Н.А. Петров</u>	Анализ процесса $e^+e^- \rightarrow K_S^0 K_L^0$
<u>А.А. Усков</u>	Анализ процесса $e^+e^- \rightarrow K_S^0 K^+$
<u>А.Л. Ерофеев</u>	Анализ процесса $e^+e^- \rightarrow K^+K^-\pi^0$
<u>А.В. Семенов</u>	Анализ процесса $e^+e^- \rightarrow K_S^0 K_L^0 \pi^0$
<u>А.Н. Амирханов</u>	Анализ процесса $e^+e^- \rightarrow n\bar{n}$
<u>В.Ф. Казанин</u>	Конверсионные распады
<u>Р.Е. Герасимов</u>	Поиск $e^+e^- \rightarrow D^{*0}$

Предварительная программа рабочего совещания по обработке данных КМД-3, 8-9 февраля 2024

# Основной результат 2023: $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$



arXiv:2309.12910

arXiv:2302.08834

Measurement of the pion formfactor with CMD-3 detector and its implication to the hadronic contribution to muon ( $g-2$ )

F.V. Ignatov,<sup>1,2</sup> R.R. Akhmetshin,<sup>1,2</sup> A.N. Amirkhanov,<sup>1,2</sup> A.V. Anisenkov,<sup>1,2</sup> V.M. Aulchenko,<sup>1,2</sup> N.S. Bashtovoy,<sup>1</sup> D.E. Berkaev,<sup>1,2</sup> A.E. Bondar,<sup>1,2</sup> A.V. Bragin,<sup>1</sup> S.I. Eidelman,<sup>1,2</sup> D.A. Epifanov,<sup>1,2</sup> L.B. Epshteyn,<sup>1,2,3</sup> A.L. Erofeev,<sup>1,2</sup> G.V. Fedotovych,<sup>1,2</sup> A.O. Gorkovenko,<sup>1,3</sup> F.J. Grancagnolo,<sup>4</sup> A.A. Grebenuk,<sup>1,2</sup> S.S. Griбанov,<sup>1,2</sup> D.N. Grigoriev,<sup>1,2,3</sup> V.L. Ivanov,<sup>1,2</sup> S.V. Karpov,<sup>1</sup> A.S. Kasaev,<sup>1</sup> V.F. Kazanin,<sup>1,2</sup> B.I. Khazin,<sup>1</sup> A.N. Kirpotin,<sup>1</sup> I.A. Koop,<sup>1,2</sup> A.A. Korobov,<sup>1,2</sup> A.N. Kozyrev,<sup>1,2,3</sup> E.A. Kozyrev,<sup>1,2</sup> P.P. Krokovny,<sup>1,2</sup> A.E. Kuzmenko,<sup>1</sup> A.S. Kuzmin,<sup>1,2</sup> I.B. Logashenko,<sup>1,2</sup> P.A. Lukin,<sup>1,2</sup> A.P. Lysenko,<sup>1</sup> K.Yu. Mikhailov,<sup>1,2</sup> I.V. Obraztsov,<sup>1,2</sup> V.S. Okhapkin,<sup>1</sup> A.V. Otboev,<sup>1</sup> E.A. Perevedentsev,<sup>1,2</sup> Yu.N. Pestov,<sup>1</sup> A.S. Popov,<sup>1,2</sup> G.P. Razuvaev,<sup>1,2</sup> Yu.A. Rogovsky,<sup>1,2</sup> A.A. Ruban,<sup>1</sup> N.M. Ryskulov,<sup>1</sup> A.E. Ryzhenenkov,<sup>1,2</sup> A.V. Semenov,<sup>1,2</sup> A.I. Senchenko,<sup>1</sup> P.Yu. Shatunov,<sup>1</sup> Yu.M. Shatunov,<sup>1</sup> V.E. Shebalin,<sup>1,2</sup> D.N. Shemyakin,<sup>1,2</sup> B.A. Schwartz,<sup>1,2</sup> D.B. Schwartz,<sup>1,2</sup> A.L. Sibidanov,<sup>5</sup> E.P. Solodov,<sup>1,2</sup> A.A. Talyshv,<sup>1,2</sup> M.V. Timoshenko,<sup>1</sup> V.M. Titov,<sup>1</sup> S.S. Tolmachev,<sup>1,2</sup> A.I. Vorobiov,<sup>1</sup> Yu.V. Yudin,<sup>1,2</sup> I.M. Zemlyansky,<sup>1</sup> D.S. Zhadan,<sup>1</sup> Yu.M. Zharinov,<sup>1</sup> and A.S. Zubakin<sup>1</sup>  
(CMD-3 Collaboration)

<sup>1</sup>Budker Institute of Nuclear Physics, SB RAS, Novosibirsk, 630090, Russia

<sup>2</sup>Novosibirsk State University, Novosibirsk, 630090, Russia

<sup>3</sup>Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, 630092, Russia

<sup>4</sup>Instituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sezione di Lecce, Lecce, Italy

<sup>5</sup>University of Victoria, Victoria, BC, Canada V8W 3P6

(Dated: September 25, 2023)

The cross section of the process  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$  has been measured in the center of mass energy range from 0.32 to 1.2 GeV with the CMD-3 detector at the electron-positron collider VEPP-2000. The measurement is based on an integrated luminosity of about 88 pb<sup>-1</sup> out of which 62 pb<sup>-1</sup> constitutes a full dataset collected by CMD-3 at center-of-mass energies below 1 GeV. In the dominant region near  $\rho$ -resonance a systematic uncertainty of 0.7% has been reached. The impact of presented results on the evaluation of the hadronic contribution to the anomalous magnetic moment of muon is discussed.

Направлено в PRL

Measurement of the  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$  cross section from threshold to 1.2 GeV with the CMD-3 detector

F.V. Ignatov<sup>a,b,1</sup>, R.R. Akhmetshin<sup>a,b</sup>, A.N. Amirkhanov<sup>a,b</sup>, A.V. Anisenkov<sup>a,b</sup>, V.M. Aulchenko<sup>a,b</sup>, N.S. Bashtovoy<sup>a</sup>, D.E. Berkaev<sup>a,b</sup>, A.E. Bondar<sup>a,b</sup>, A.V. Bragin<sup>a</sup>, S.I. Eidelman<sup>a,b</sup>, D.A. Epifanov<sup>a,b</sup>, L.B. Epshteyn<sup>a,b,c</sup>, A.L. Erofeev<sup>a,b</sup>, G.V. Fedotovych<sup>a,b</sup>, A.O. Gorkovenko<sup>a,c</sup>, F.J. Grancagnolo<sup>e</sup>, A.A. Grebenuk<sup>a,b</sup>, S.S. Griбанov<sup>a,b</sup>, D.N. Grigoriev<sup>a,b,c</sup>, V.L. Ivanov<sup>a,b</sup>, S.V. Karpov<sup>a</sup>, A.S. Kasaev<sup>a</sup>, V.F. Kazanin<sup>a,b</sup>, B.I. Khazin<sup>a</sup>, A.N. Kirpotin<sup>a</sup>, I.A. Koop<sup>a,b</sup>, A.A. Korobov<sup>a,b</sup>, A.N. Kozyrev<sup>a,c</sup>, E.A. Kozyrev<sup>a,b</sup>, P.P. Krokovny<sup>a,b</sup>, A.E. Kuzmenko<sup>a</sup>, A.S. Kuzmin<sup>a,b</sup>, I.B. Logashenko<sup>a,b</sup>, P.A. Lukin<sup>a,b</sup>, A.P. Lysenko<sup>a</sup>, K.Yu. Mikhailov<sup>a,b</sup>, I.V. Obraztsov<sup>a,b</sup>, V.S. Okhapkin<sup>a</sup>, A.V. Otboev<sup>a</sup>, E.A. Perevedentsev<sup>a,b</sup>, Yu.N. Pestov<sup>a</sup>, A.S. Popov<sup>a,b</sup>, G.P. Razuvaev<sup>a,b</sup>, Yu.A. Rogovsky<sup>a,b</sup>, A.A. Ruban<sup>a</sup>, N.M. Ryskulov<sup>a</sup>, A.E. Ryzhenenkov<sup>a,b</sup>, A.V. Semenov<sup>a,b</sup>, A.I. Senchenko<sup>a</sup>, P.Yu. Shatunov<sup>a</sup>, Yu.M. Shatunov<sup>a</sup>, V.E. Shebalin<sup>a,b</sup>, D.N. Shemyakin<sup>a,b</sup>, B.A. Schwartz<sup>a,b</sup>, D.B. Schwartz<sup>a,b</sup>, A.L. Sibidanov<sup>a,d</sup>, E.P. Solodov<sup>a,b</sup>, A.A. Talyshv<sup>a,b</sup>, M.V. Timoshenko<sup>a</sup>, V.M. Titov<sup>a</sup>, S.S. Tolmachev<sup>a,b</sup>, A.I. Vorobiov<sup>a</sup>, I.M. Zemlyansky<sup>a</sup>, D.S. Zhadan<sup>a</sup>, Yu.M. Zharinov<sup>a</sup>, A.S. Zubakin<sup>a</sup>, Yu.V. Yudin<sup>a,b</sup>

<sup>a</sup>Budker Institute of Nuclear Physics, SB RAS, Novosibirsk, 630090, Russia

<sup>b</sup>Novosibirsk State University, Novosibirsk, 630090, Russia

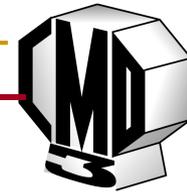
<sup>c</sup>Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, 630092, Russia

<sup>d</sup>University of Victoria, Victoria, BC, Canada V8W 3P6

<sup>e</sup>Instituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sezione di Lecce, Lecce, Italy

Направлено в PRD

# Основной результат 2023: $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$



Данные 2013, 2018, 2020

arXiv:2302.08834

0.32-1.2 GeV

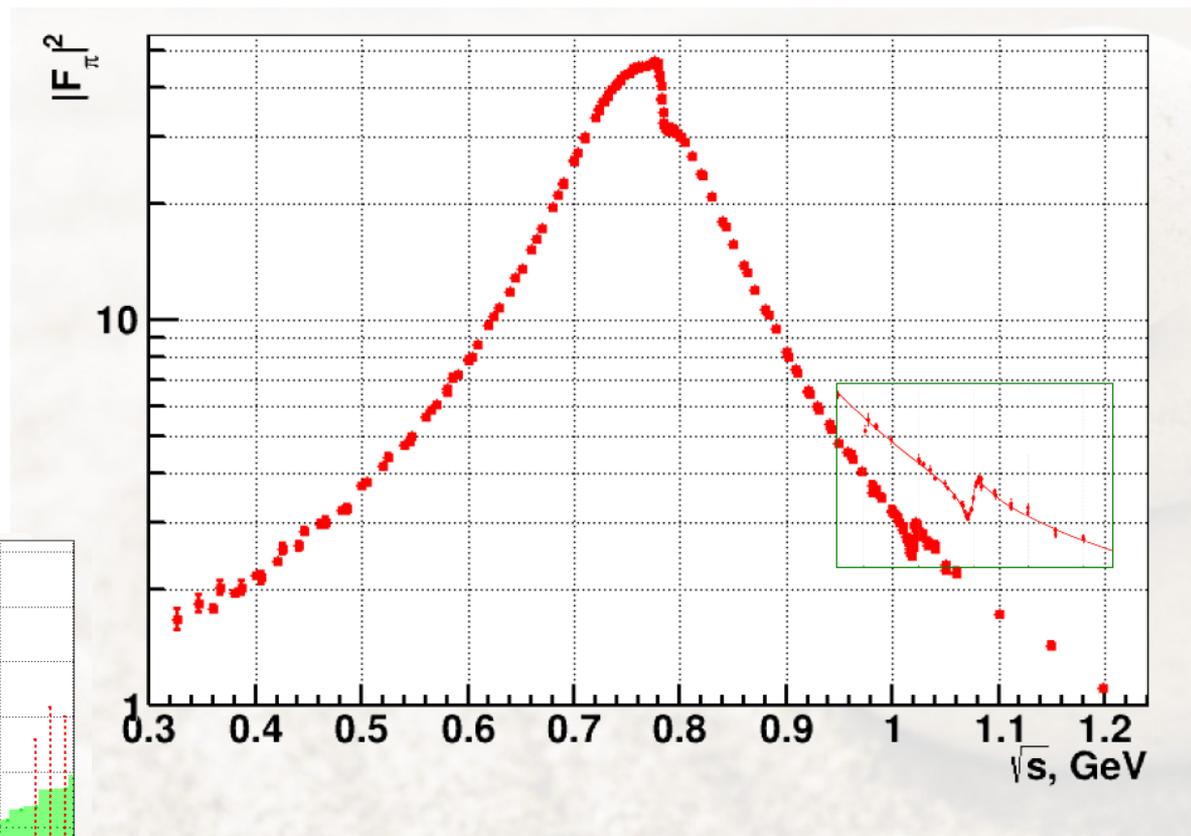
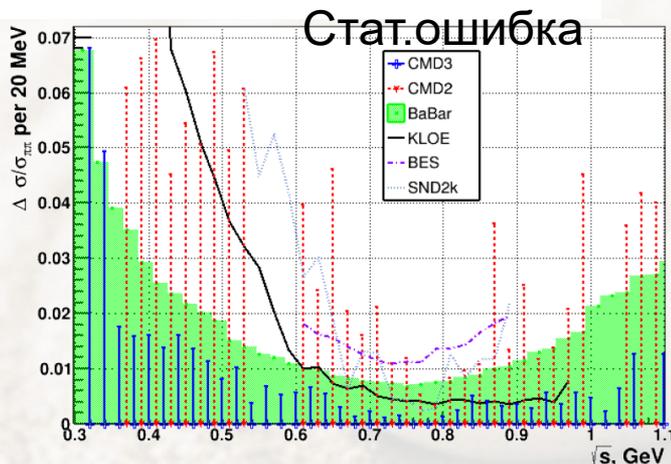
62 1/pb ниже 1 GeV

25 1/pb выше 1 GeV

$34 \times 10^6 \pi^+\pi^-$

$44 \times 10^6 e^+e^-$

$3.7 \times 10^6 \mu^+\mu^-$



0.8% (low) - 0.7% ( $\rho$ ) - 1.6% ( $\varphi$ )  
 1.1% (low) - 0.9% ( $\rho$ ) - 2.0% ( $\varphi$ ) (RHO2013)

Систематическая ошибка

# Аномальный магнитный момент мюона

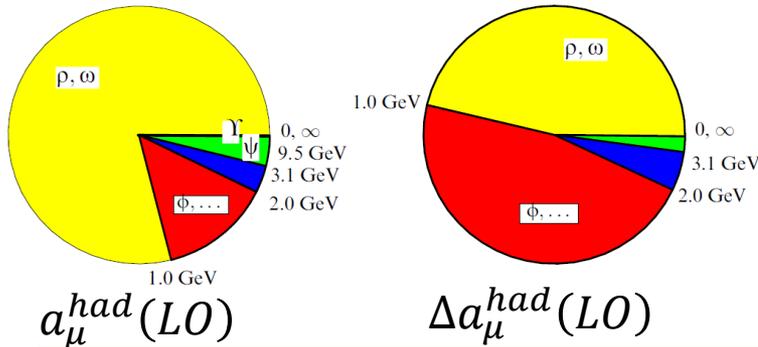
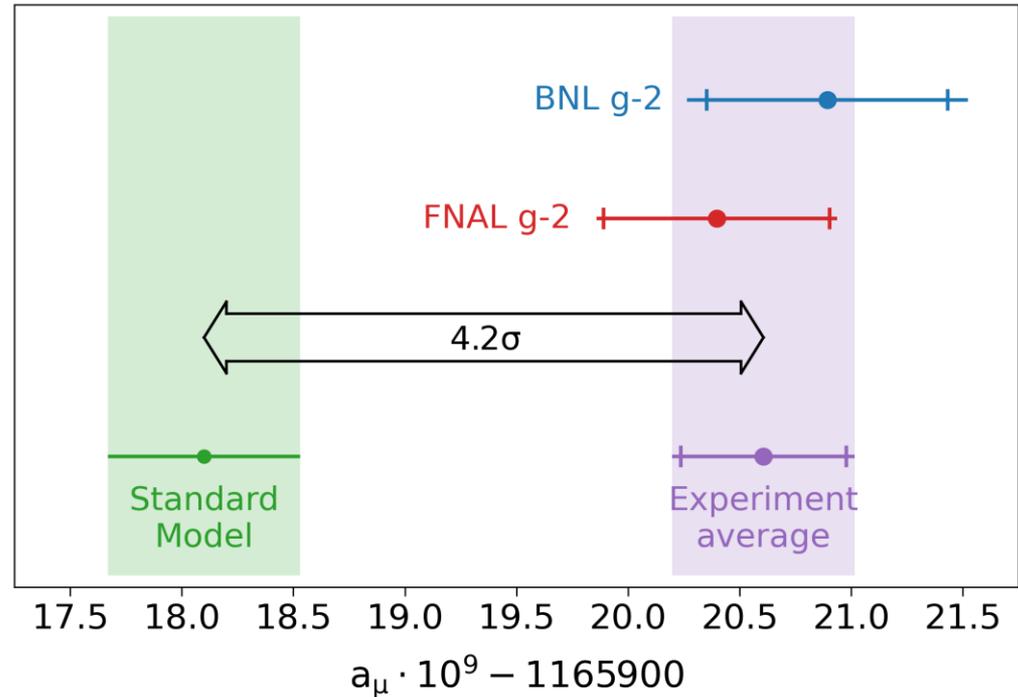


На начало 2023 года

$$a_\mu = a_\mu^{QED} + a_\mu^{Had} + a_\mu^{Weak}$$

$$a_\mu^{had}(LO) = \frac{\alpha^2}{3\pi^2} \int_{4m_\pi^2}^{\infty} \frac{ds}{s} R(s) K_\mu(s)$$

$$R(s) = \frac{\sigma^0(e^+e^- \rightarrow \gamma \rightarrow hadrons)}{4\pi\alpha^2/3s}$$

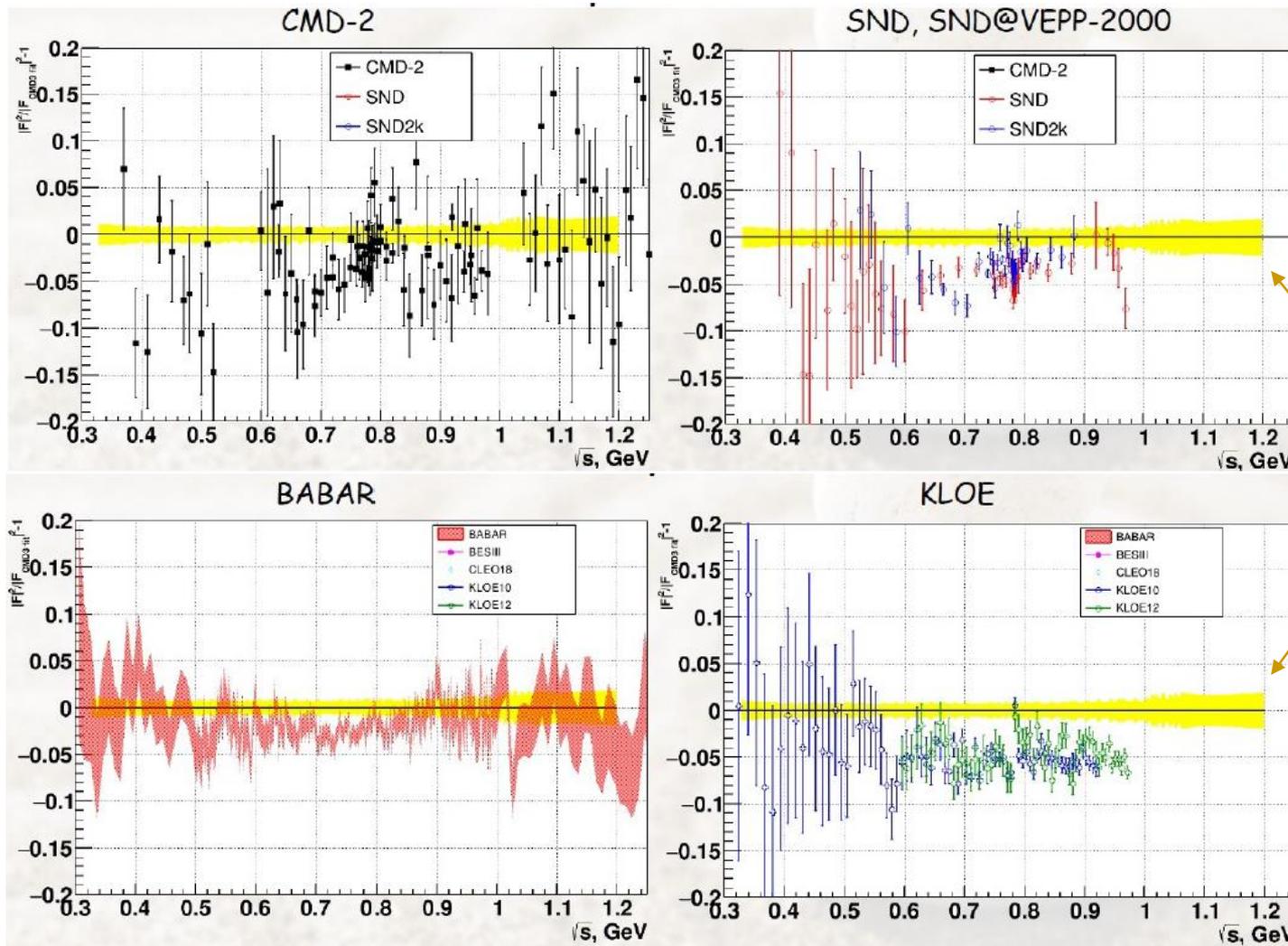


Основной вклад вносит  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$  (>70%),  
80% из которого набирается в области 0.6-1.0 ГэВ

# Сравнение с другими измерениями



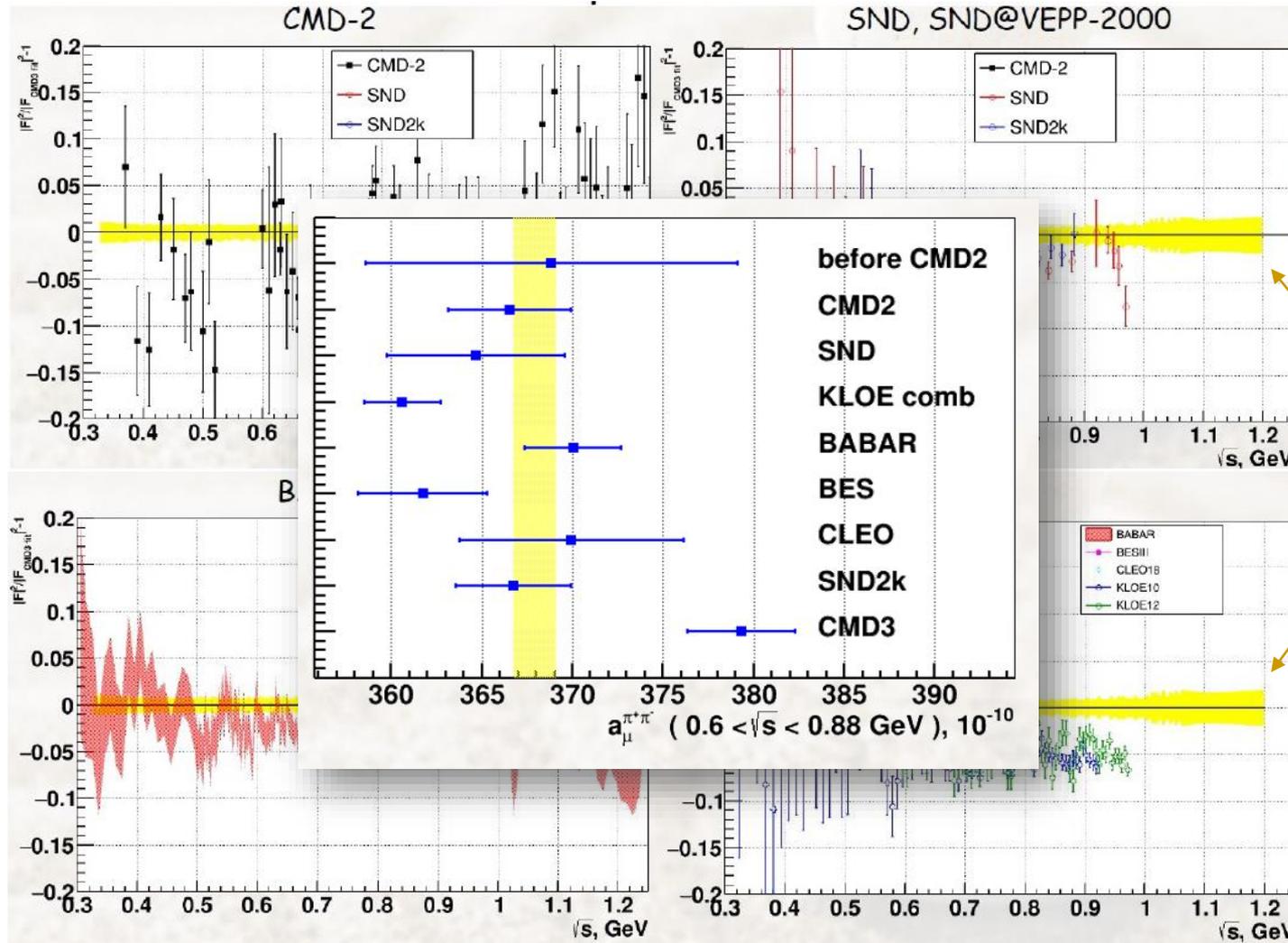
Все измерения сделаны с сист.точностью <1%



# Сравнение с другими измерениями



Все измерения сделаны с сист.точностью <1%

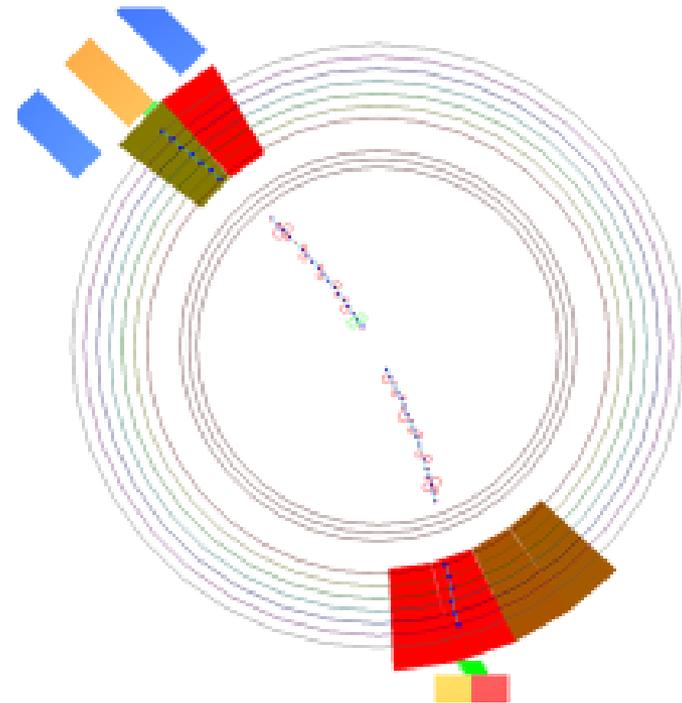


CMD-3

# Особенности измерения КМД-3



- World-largest statistics
  - 34 000 000  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$
  - 3 700 000  $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$
  - 44 000 000  $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$
- Many built-in cross checks
  - 3 methods for final states identification
  - 2 methods for angle measurement
  - Measurement of  $\sigma(e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-)$
  - Measurement of charge asymmetry
- Very detailed study of potential systematics



Example of  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$  event

# Три метода разделения



Separation (counting) of  $e^+e^-$ ,  $\mu^+\mu^-$ ,  $\pi^+\pi^-$  events is based on

- momenta** of two particles
- or **energy deposition** in LXe calorimeter

$$-\ln L = - \sum_{bins} n_i \ln \left[ \sum_{a=ee,\mu\mu,\pi\pi,bg} N_a f_a(X^+, X^-) \right] + \sum_a N_a$$

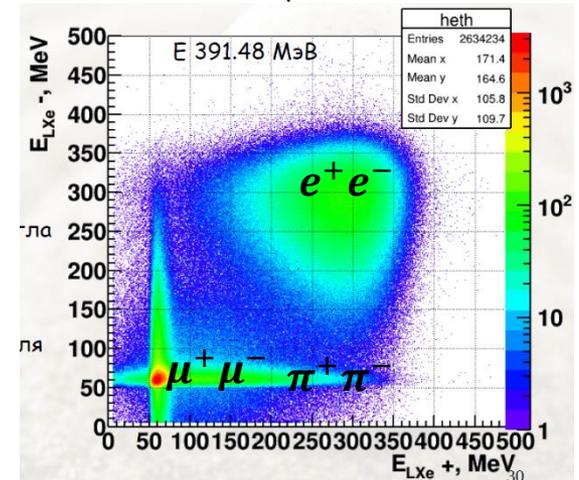
$$X = P \text{ or } E$$

$\pm$  sign reflects energy deposition and momentum of particle with corresponding charge

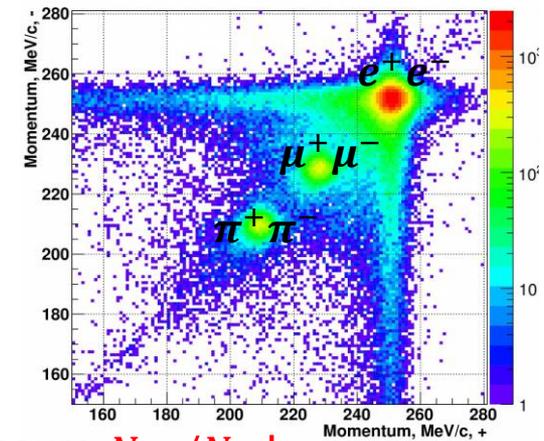
Independent check by **angular distribution**

**Unique feature of CMD-3: three independent methods to measure  $N_{\pi\pi}/N_{ee}$ !**

$E^- \text{ vs } E^+ @ \sqrt{s} = 0.78 \text{ GeV}$



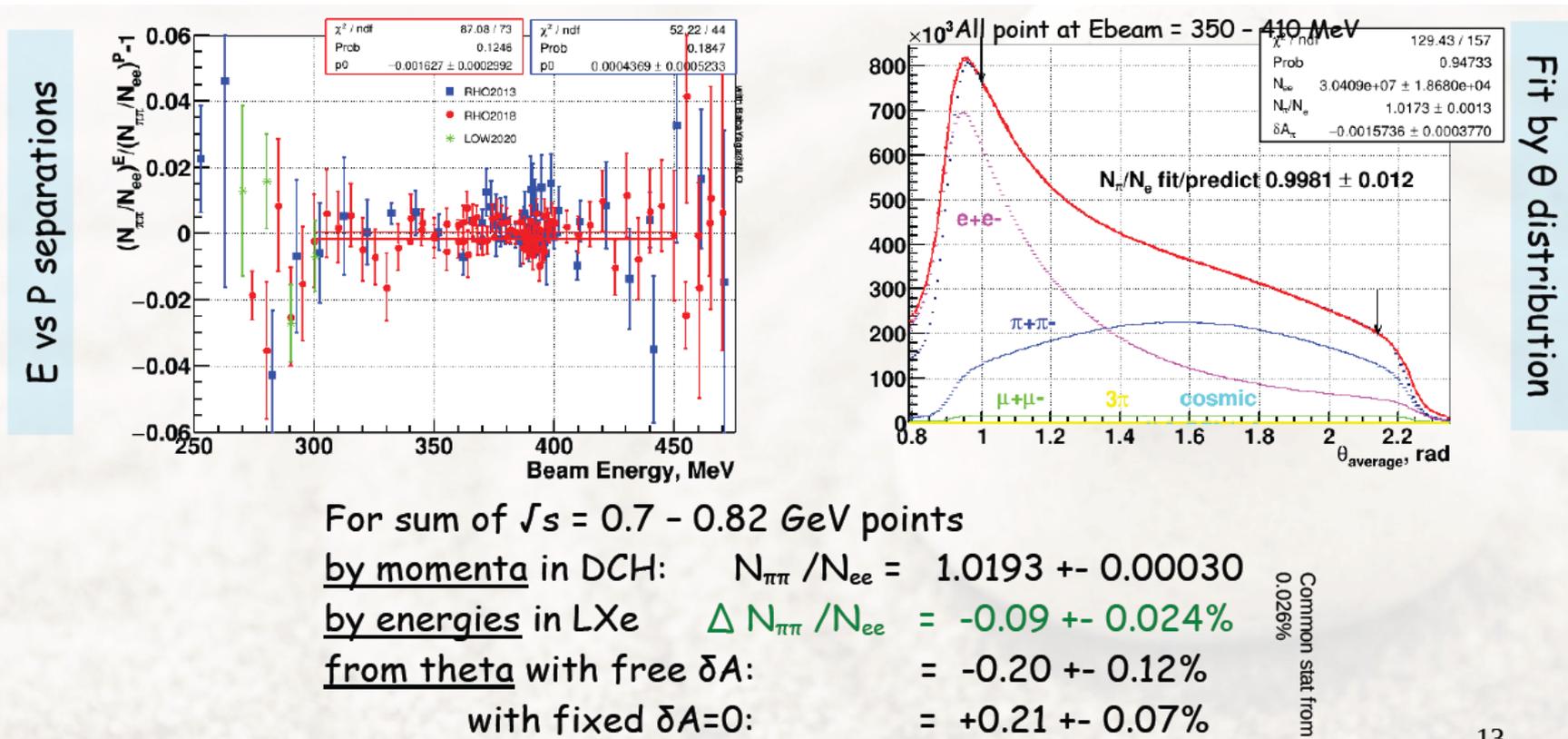
$P^- \text{ vs } P^+ @ \sqrt{s} = 0.5 \text{ GeV}$



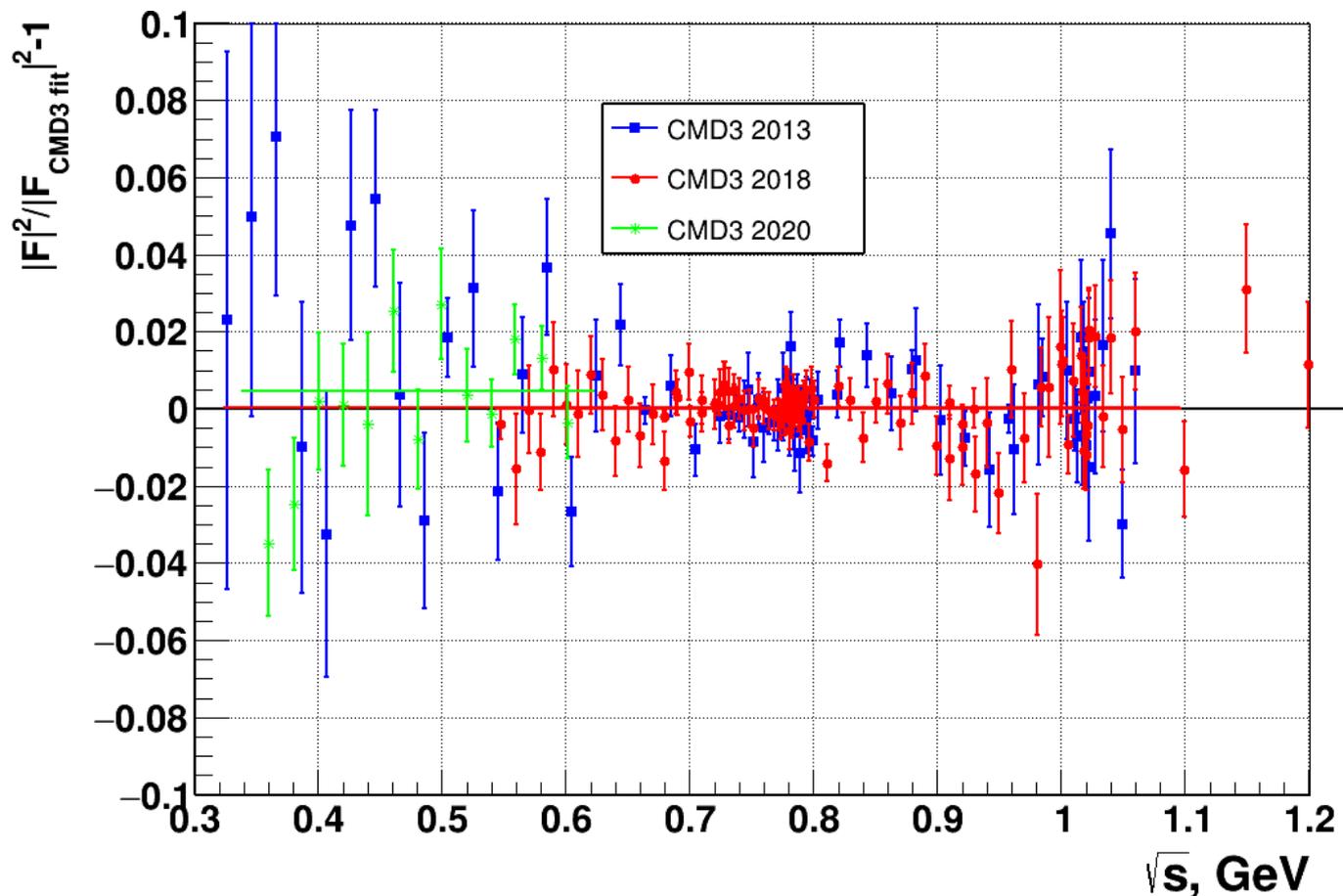
# Сравнение методов



Согласие на уровне 0.1%-0.2%



# Сравнение сезонов

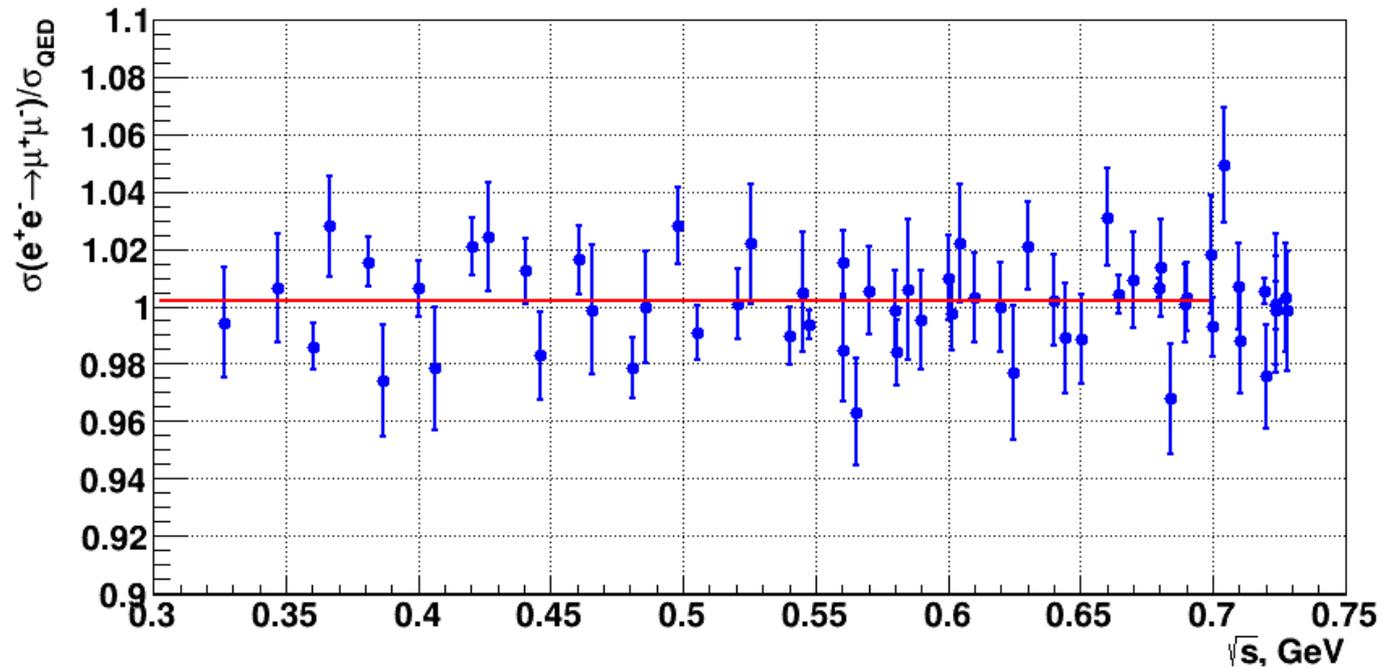


Результаты по сезонам 2013, 2018 и 2020 согласуются на уровне 0.1%

# Сравнение $\sigma(e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-)$

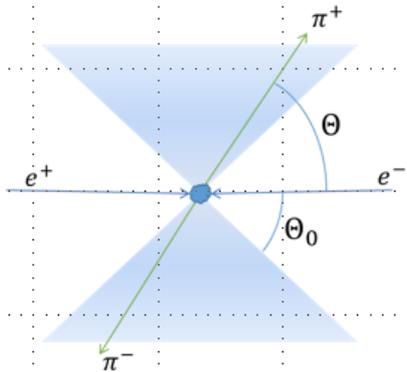


$$\sigma(e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-)_{CMD3} / \sigma(e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-)_{QED}$$



$+0.17 \pm 0.16 \%$

# Зависимость от телесного угла

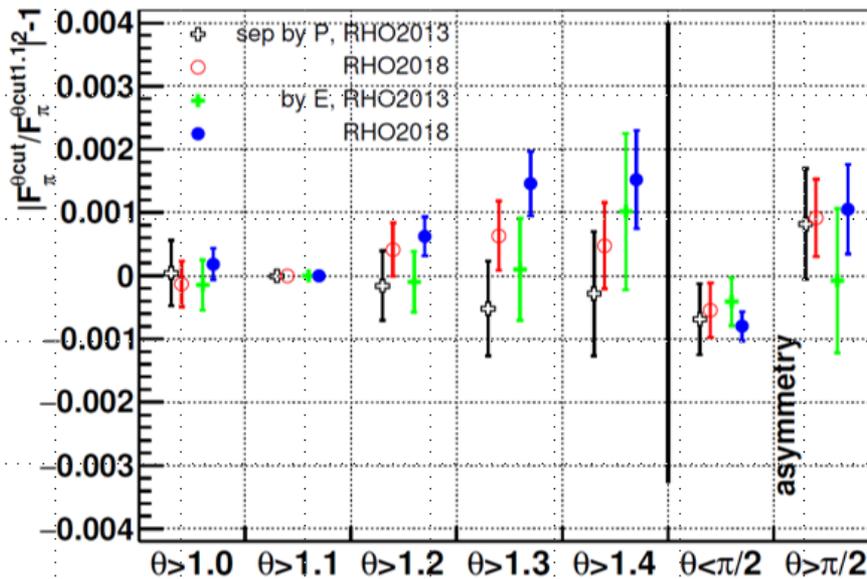


We need to precisely know the fiducial volume ( $\theta_0$  cut).

$$|F_\pi|^2 = \left( \frac{N_{\pi\pi}}{N_{ee}} - \Delta_{bg} \right) \cdot \frac{\sigma_{ee}^0 \cdot (1 + \delta_{ee}) \cdot \varepsilon_{ee}}{\sigma_{\pi\pi}^0 \cdot (1 + \delta_{\pi\pi}) \cdot \varepsilon_{\pi\pi}}$$

$\theta$  angle is measured by drift chamber via charge division

Two detector systems with strips readout, LXe calorimeter and Z-chamber, are used for precise calibration and monitoring of DC



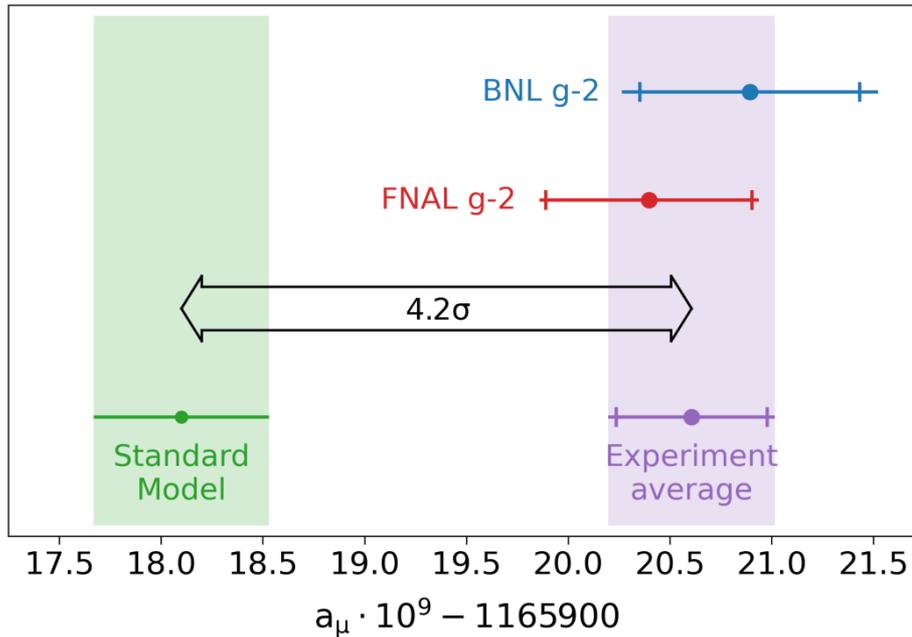
Dependence of result on  $\theta_0$  cut

Factor 10 smaller compared to CMD-2, SND2k!

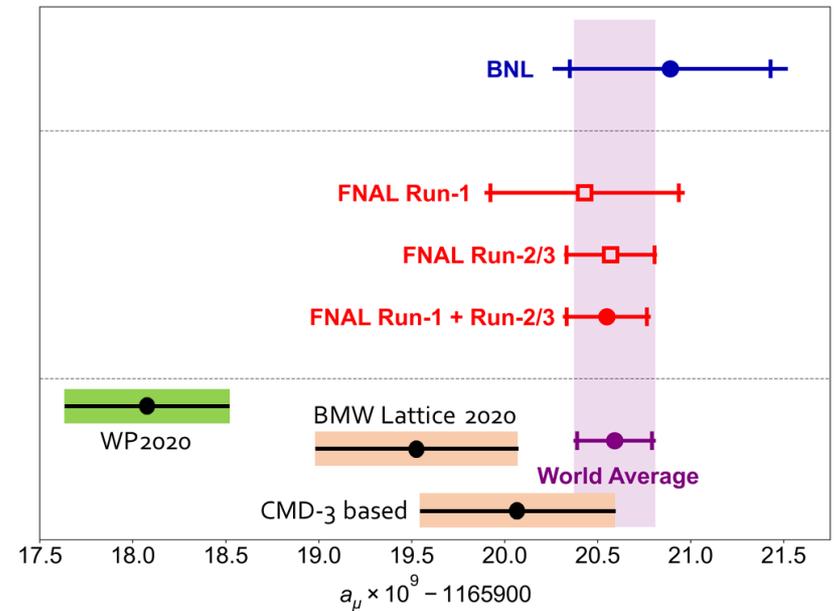
# $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$ : вклад в $a_\mu^{had}(LO)$



Начало 2023 года



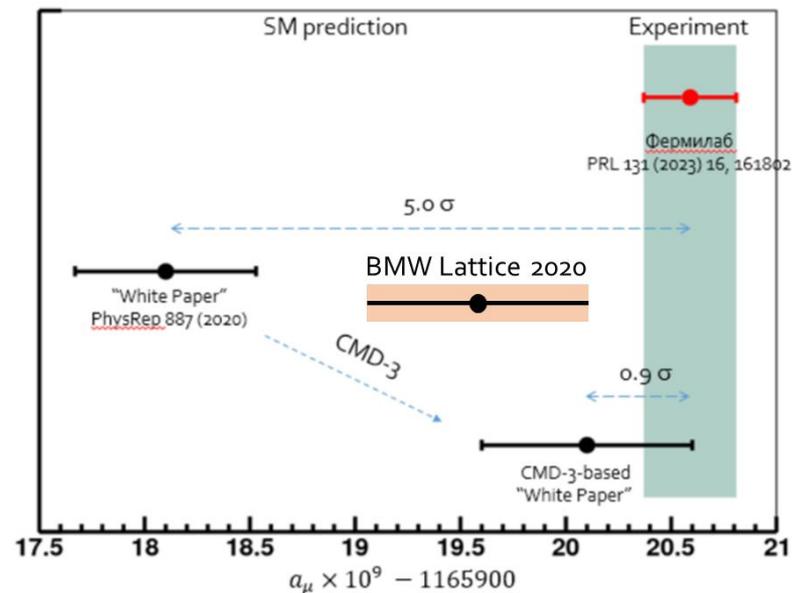
Конец 2023 года





# $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$ : статус сегодня

- Измерение  $\sigma(e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-)$  оказалось более сложной задачей, чем ожидалось
- Есть несколько измерений  $\sigma(e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-)$ , которые не согласуются между собой
- Ведется большая работа в мире по уточнению измерений (CMD-3, SND2K, BABAR, KLOE, BELLE-II, специализированный эксперимент в ЦЕРН MuONE). Вопрос расхождения результатов будет разрешен.
- Эксперимент по измерению  $(g - 2)_\mu$  улучшил точность в 2.5 ( $\rightarrow$ 4) раза.
- **Новый «флаг»: измерить  $\sigma(e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-)$  с точностью  $\sim 0.2\%$**



Уникальная возможность для ВЭПП-2000 или ВЭПП-6

# Возможные глобальные планы



- Набор данных в текущей конфигурации
  - Завершить сканирование выше 1 ГэВ –2023
  - Ниже 1 ГэВ,  $\rho, \omega$ –2024
  - Добрать недобранное (самые низкие энергии, или С-четные резонансы, или GE/GM,...) –до лета 2025-2026
- Останавливаемся летом 2025-2026

или/и

- Модернизация КМД-3 и СНД
- Начинаем набор данных в 2028-2029
- Характеристики ВЭПП-2000 такие же (светимость в первом приближении не возрастет)

- Создается «ВЭПП-6», который работает в области энергий ВЭПП-2000
- Новый детектор с большим телесным углом
- Начинаем набор данных в ~2030 году



# $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$ : ИСТОЧНИКИ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ ОШИБОК

	Систематические ошибки КМД-3	Планы КМД-3	Надо
* Radiative corrections	0.2% ( $2\pi$ ) $\oplus$ 0.2% ( $F\pi$ ) $\oplus$ 0.1% ( $e^+e^-$ )	0.1%	0.1%
* $e/\mu/\pi$ separation	0.5 (low) - 0.2 ( $\rho$ ) - 0.6 ( $\varphi$ ) %	0.2%	0.1%
* Fiducial volume	0.5% / 0.8% (RHO2013)	0.2%	0.1%
* Correlated inefficiency	0.1 ( $\rho$ ) - 0.15% (>1 ГэВ)	0.1%	
* Trigger	0.05 ( $\rho$ ) - 0.3% (>1 ГэВ)		
* Beam Energy (by Compton $\sigma_E < 50$ keV)	0.1% (out of resonances), 0.5% (at $\omega$ , $\varphi$ -peaks)	0.2%	0.1%
* Bremsstrahlung loss	0.05 %		
* Pion specific loss	0.2% nuclear interaction 0.2%(low) - 0.1% ( $\rho$ ) pion decay		0.1%
<small>КМД-3 <math>e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-</math> analysis</small>			
0.8% (low) - 0.7% ( $\rho$ ) - 1.6% ( $\varphi$ ) 1.1% (low) - 0.9% ( $\rho$ ) - 2.0% ( $\varphi$ ) (RHO2013)			

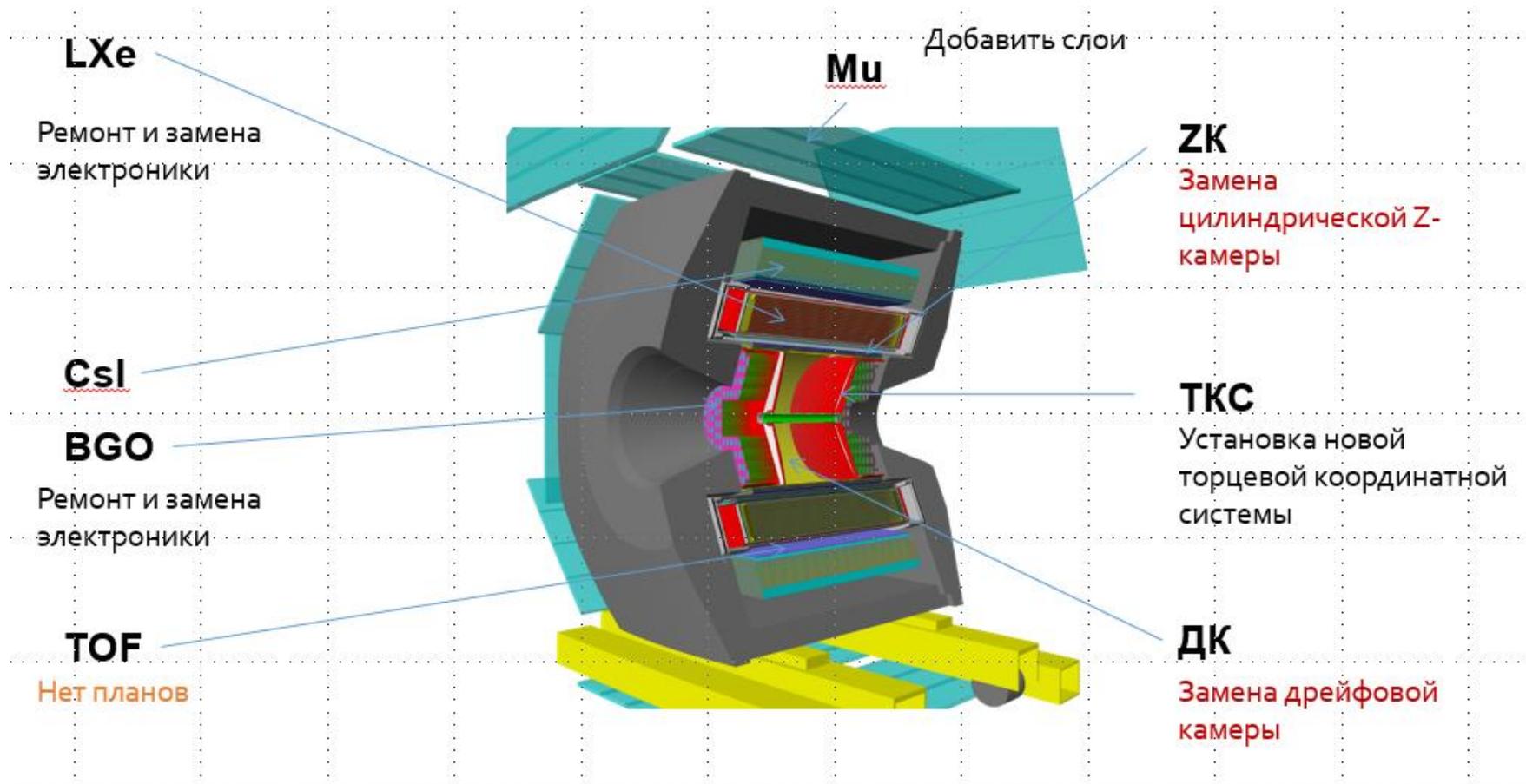
Ключевые требуемые улучшения:

- Идентификация (разделение)
- Телесный угол
- Ядерные взаимодействия (вакуумная труба)

и параллельное развитие расчетов радиационных поправок...

Статистика КМД-3: ~0.08%, 7 месяцев

# Возможная модернизация КМД-3





# Модернизация ДК КМД-3

## Что не так в ДК КМД-3

- Систематика в измерении Z-координаты методом деления заряда (термоуходы пьедесталов, коэффициентов усиления, входных сопротивлений, чувствительность к наводкам)
- ~10 Ячеек не работают (дефекты или старения пластика), создают перекося поля
- Высокая вероятность пробоя пинов из-за старения пластика
- Низкие амплитуды на внутренних слоях вследствие старения проволок

## Пути улучшения

- Измерения Z на внутренних слоях (стриповая структура на внутренней обечайке а-ля СНД)
- Новая электроника с размещением первых каскадов на фланцах
- Улучшения на основе опыта работы (высокое,...)
- Использование стерео-слоев

## Проекты:

КМД-3+

Сtereo-слои

а-ля-MEG-II

Пока нет уверенности, что в размере КМД-3 можно достичь существенного улучшения разрешения

# Заключение



- На КМД-3 продолжается третье сканирование всей области энергий. В области энергий выше 1 ГэВ данные набраны, планы – ниже 1 ГэВ.
- Идет анализ данных. Готовы привлечь к анализу данных всех желающих!
- В 2023 закончен анализ данных во флагманском канале  $e^+ e^- \rightarrow \pi^+ \pi^-$ . Результаты оказались неожиданными и активно обсуждаются в мире.
- Измерение адронных сечений, и, в первую очередь, измерение сечения  $e^+ e^- \rightarrow \pi^+ \pi^-$  в области ниже 1 ГэВ с рекордной в мире точностью, остается очень актуальной задачей
- Прорабатываются варианты модернизации детектора