

Измерение элемента ККМ-матрицы $|V_{cd}|$ в эксперименте BES-III

А. Жемчугов
ОИЯИ

- Собственные состояния слабого взаимодействия \neq массовые кварковые состояния
- Матрица Кабиббо-Кобаяши-Маскава

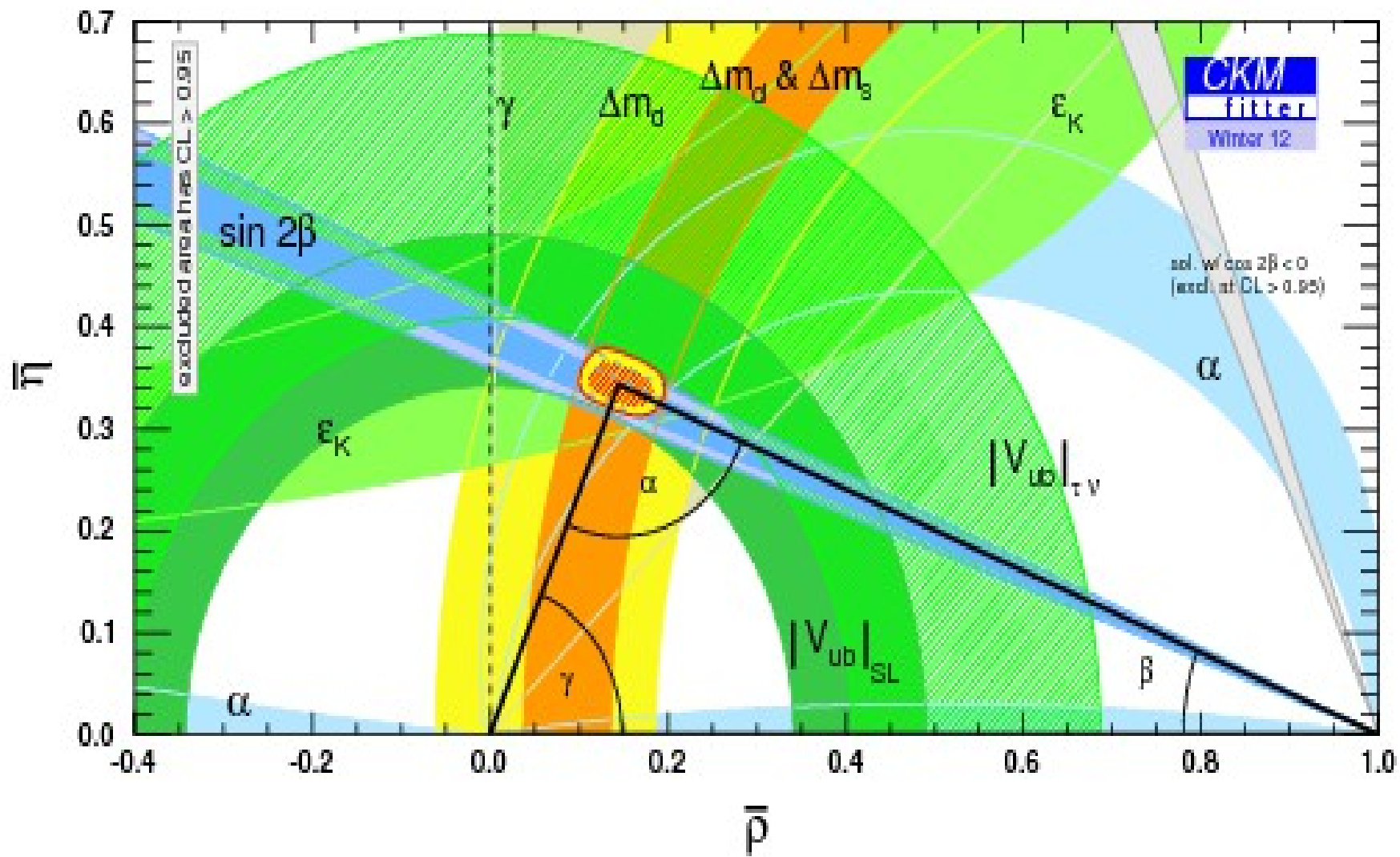
$$\begin{pmatrix} d' \\ s' \\ b' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} d \\ s \\ b \end{pmatrix}$$

- Предположение унитарности ККМ-

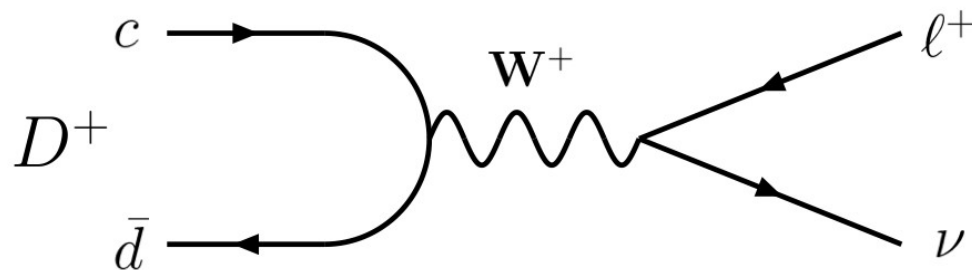
матрицы: $\sum_i V_{ij} V_{ik}^* = \delta_{jk}$

$$\sum_j V_{ij} V_{kj}^* = \delta_{ik}$$

$$\begin{pmatrix} d' \\ s' \\ b' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 - \lambda^2/2 & \lambda & A\lambda^3(\rho - i\eta) \\ -\lambda & 1 - \lambda^2/2 & A\lambda^2 \\ A\lambda^3(1 - \rho - i\eta) & A\lambda^2 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} d \\ s \\ b \end{pmatrix}$$



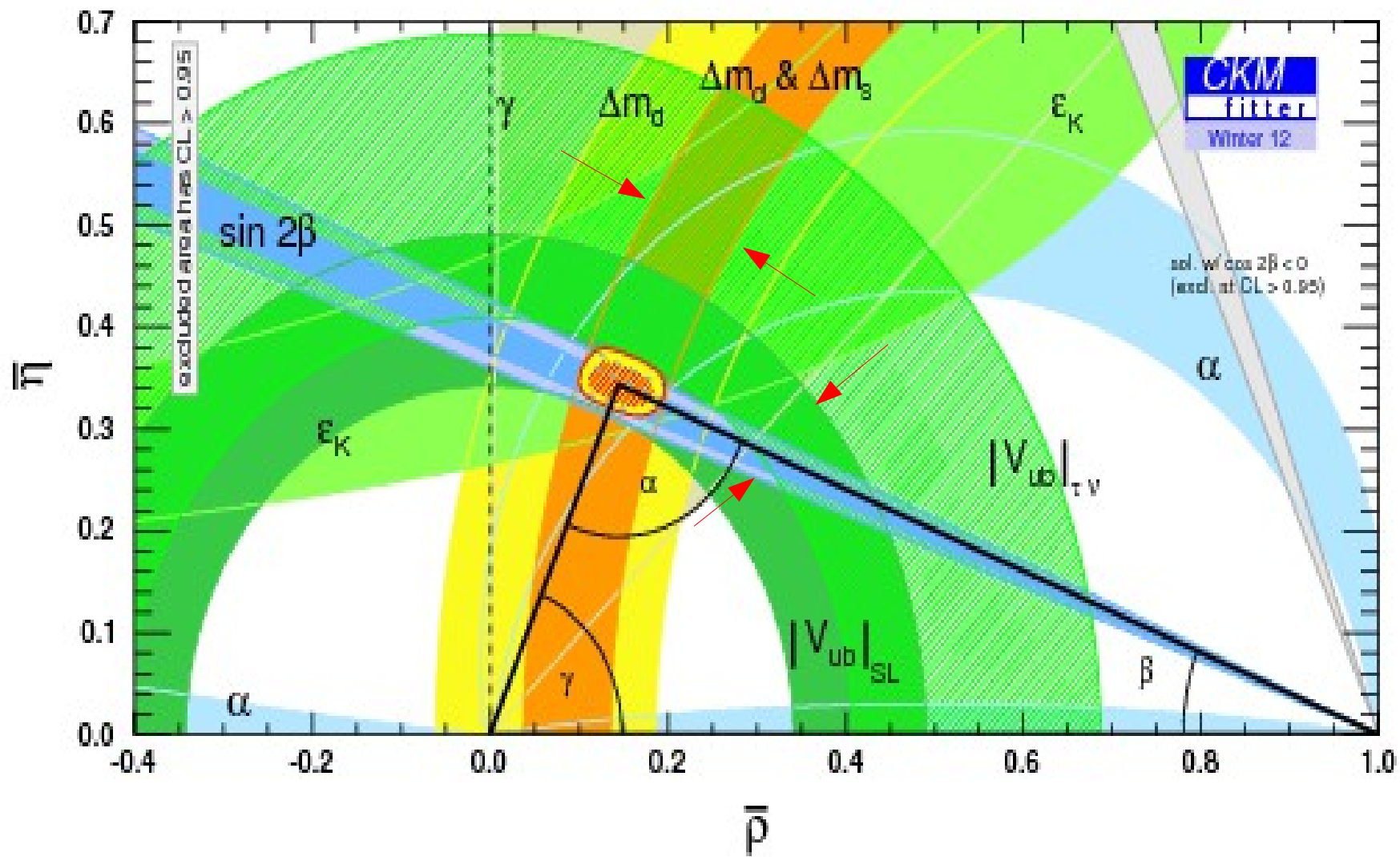
Лептонные распады D-мезонов



$$\Gamma(D^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu) = f_D^2 |V_{cd}|^2 \frac{G_F^2}{8\pi} m_D m_\mu^2 \left(1 - \frac{m_\mu^2}{m_D^2}\right)^2$$

Измерение относительной вероятности лептонного распада D - мезона:

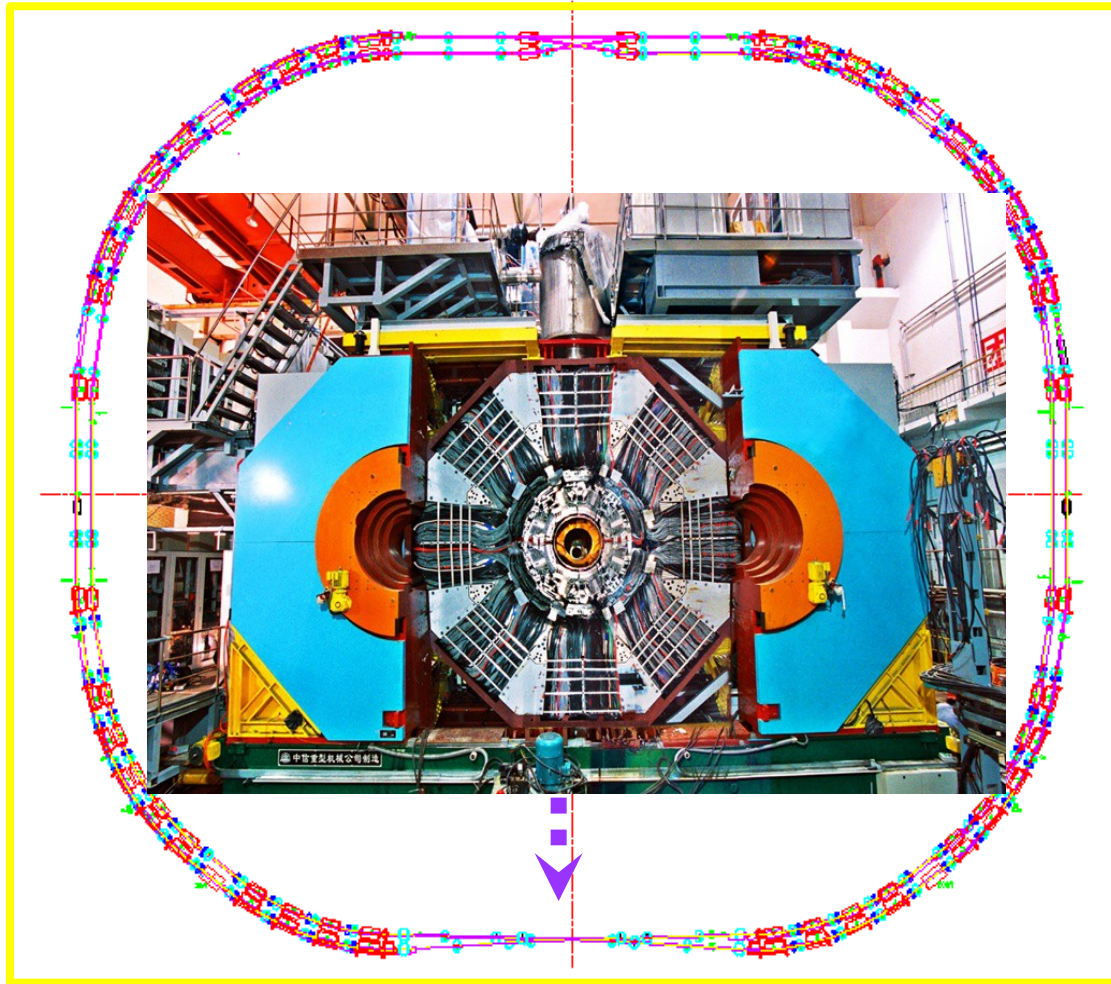
- измерение $f_D \rightarrow$ проверка LQCD, уточнение расчета f_B
- измерение $|V_{cd}| \rightarrow$ проверка унитарности ККМ-матрицы



Эксперимент BES-III

Эксперимент BES-III

Германия, Италия, Китай, Нидерланды,
ОИЯИ, Пакистан, Россия, США, Турция,
Швеция, Южная Корея, Япония



Месторасположение:
ИФВЭ АН КНР, г.Пекин,
КНР

Энергия пучка BEPC-II:
1.0-2.3 ГэВ

Проектная светимость
 $1 \times 10^{33}/\text{cm}^2/\text{s}$ @ $\psi(3770)$

Достигнутая светимость:
 $0.65 \times 10^{33}/\text{cm}^2/\text{s}$

Этапы проекта:

2004 - Начало модернизации
BEPC

2006 - 2007 Сборка и запуск
установки BESIII

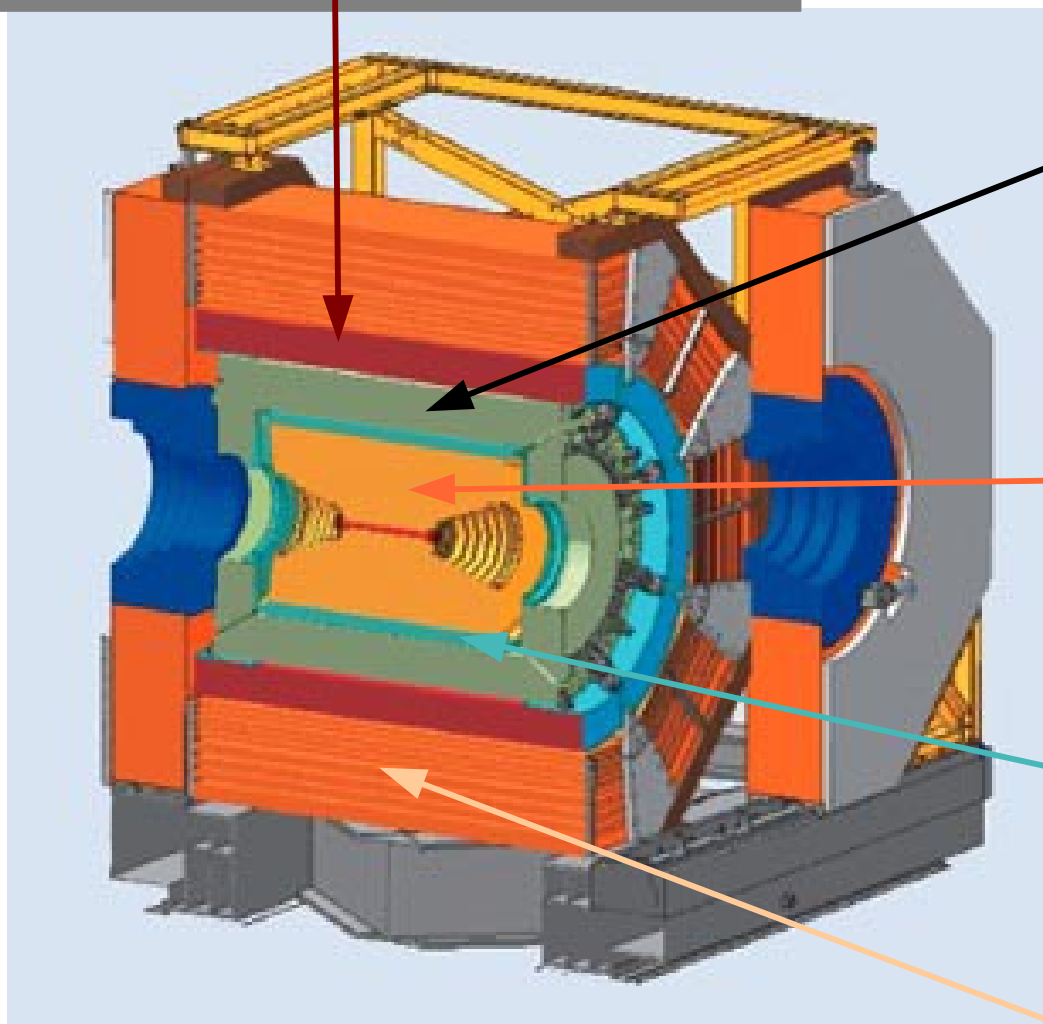
2008 - начало работы BEPC-II

2009 - начало набора
статистики

Установка BES-III

NIM A614, 345 (2010)

Сверхпроводящий магнит: 1 Тл



EMC: кристаллы CsI

- Энергетическое разрешение: **2.5%@1GeV**
- Координатное разрешение: **6mm**

MDC:

- Координатное разрешение: $\sigma_{xy} = 120\mu\text{m}$
- Импульсное разрешение: **0.5% @ 1GeV**
- Разрешение **dE/dx: 6%**

TOF (два слоя сцинтилляторов):

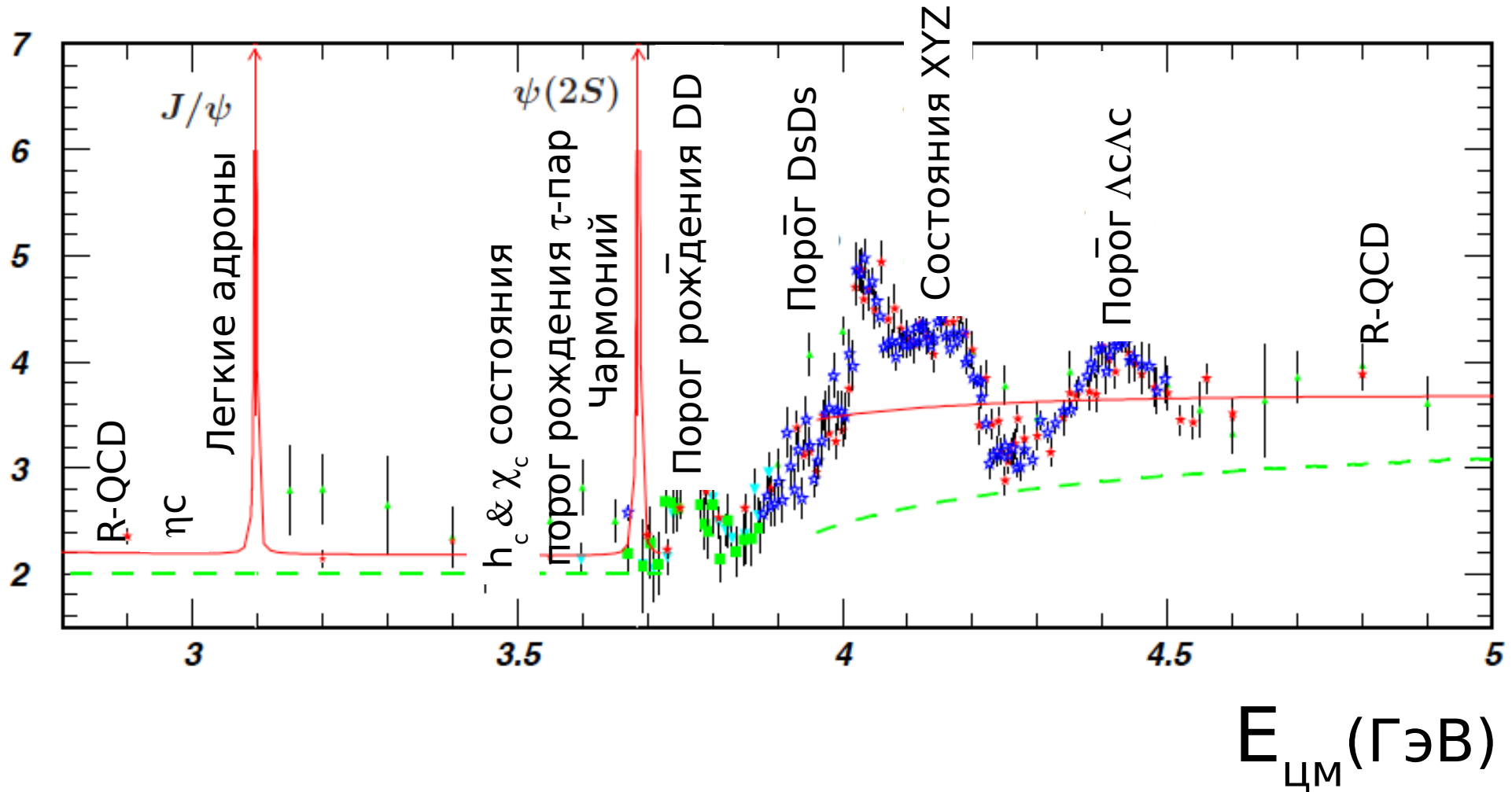
- Временное разрешение: **100ps** (центр)
110ps (торцы)

Muon ID:

- 9 слоев RPC (8 в торцах) внутри ярма магнита

Цель эксперимента: прецизионные измерения в области $\sqrt{s} = 2.0 - 4.6$ GeV

R

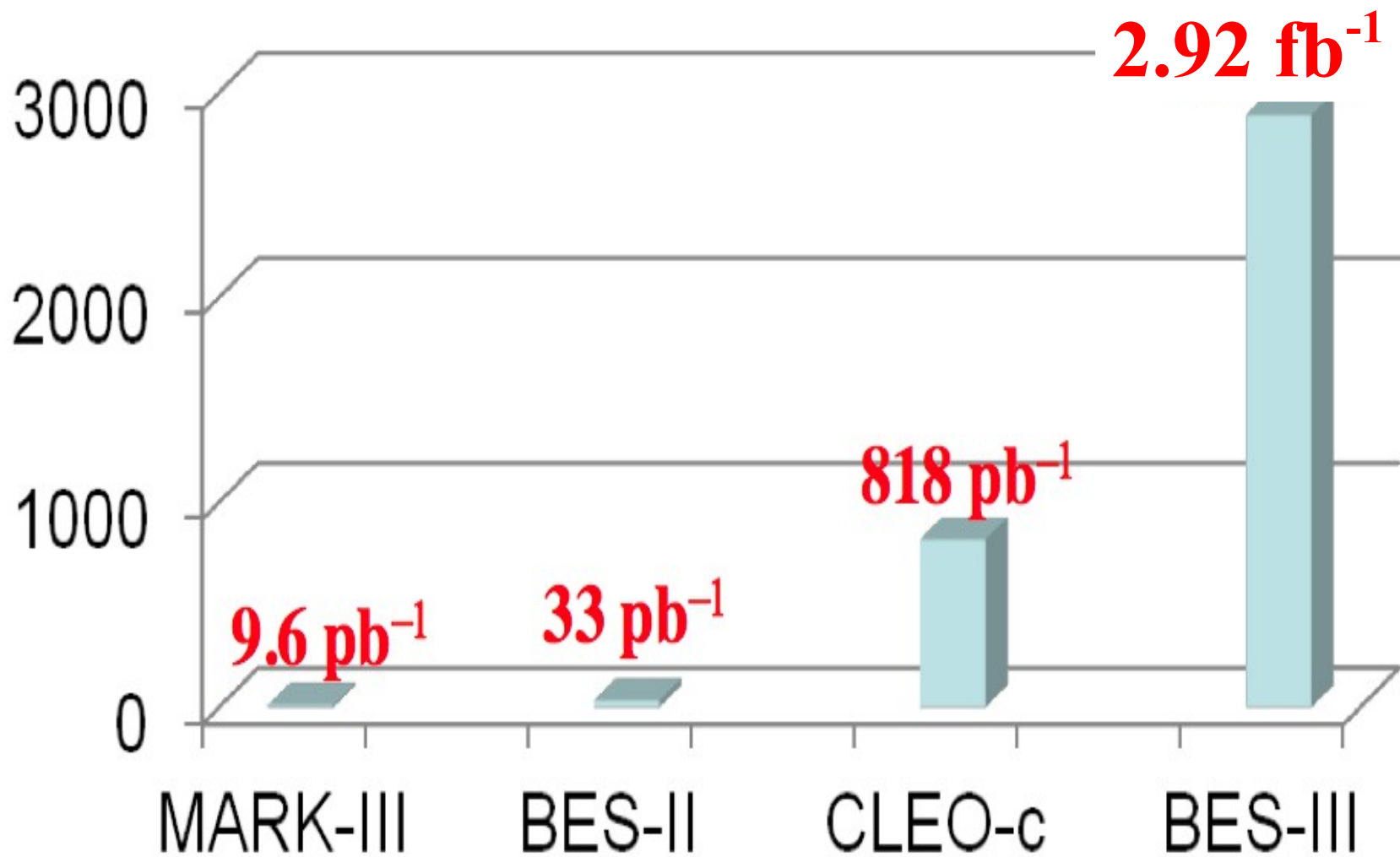


Данные за 4 года работы ускорителя

J/ψ	1,2 x10 ⁹ событий	наибольшая в мире статистика
ψ'	0.6 x10 ⁹ событий	наибольшая в мире статистика
ψ(3770)	2,92 fb ⁻¹	в 3 раза больше общемировой статистики
D_s\bar{D}_s @ 4.01 ГэВ	~0,5 fb ⁻¹	единственные в мире данные
Υ (4260)	~0,5 fb ⁻¹	единственные в мире данные
Υ (4360)	~0,5 fb ⁻¹	единственные в мире данные
Скан на пороге τ	24 pb ⁻¹	

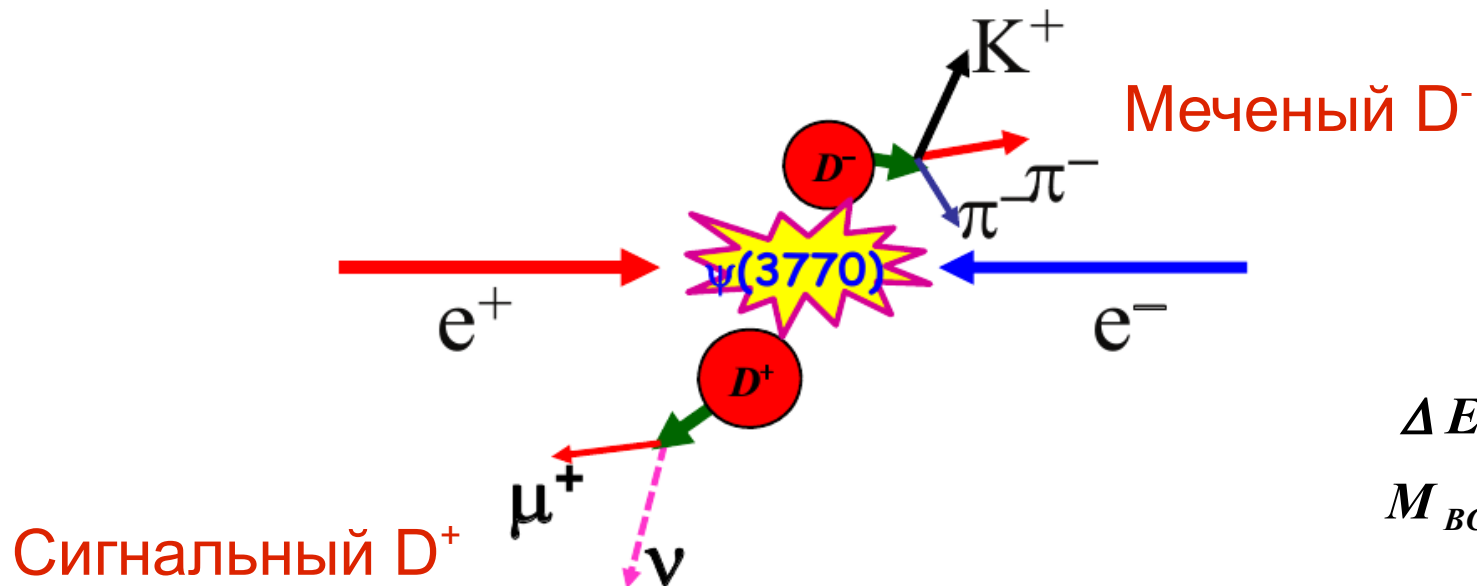
Более 40 публикаций на основе полученных данных

Лептонные распады $D^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$



Преимущества изучения очарованных частиц вблизи порога

- В области резонанса $\psi(3770)$ в основном образуются пары очарованных мезонов $D^+ D^-$ или $D^0 D^0$
- Около 15% распадов D мезонов реконструируются полностью
- Мечение одного из D-мезонов по адронным распадам дает возможность изучать лептонные и полулептонные распады второго D-мезона в бесфоновых условиях. Нейтрино восстанавливается по недостающей энергии и импульсу.



$$\Delta E = E_D - E_{beam}$$
$$M_{BC} = \sqrt{E_{beam}^2 - p_D^2}$$

Мечение $D^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$

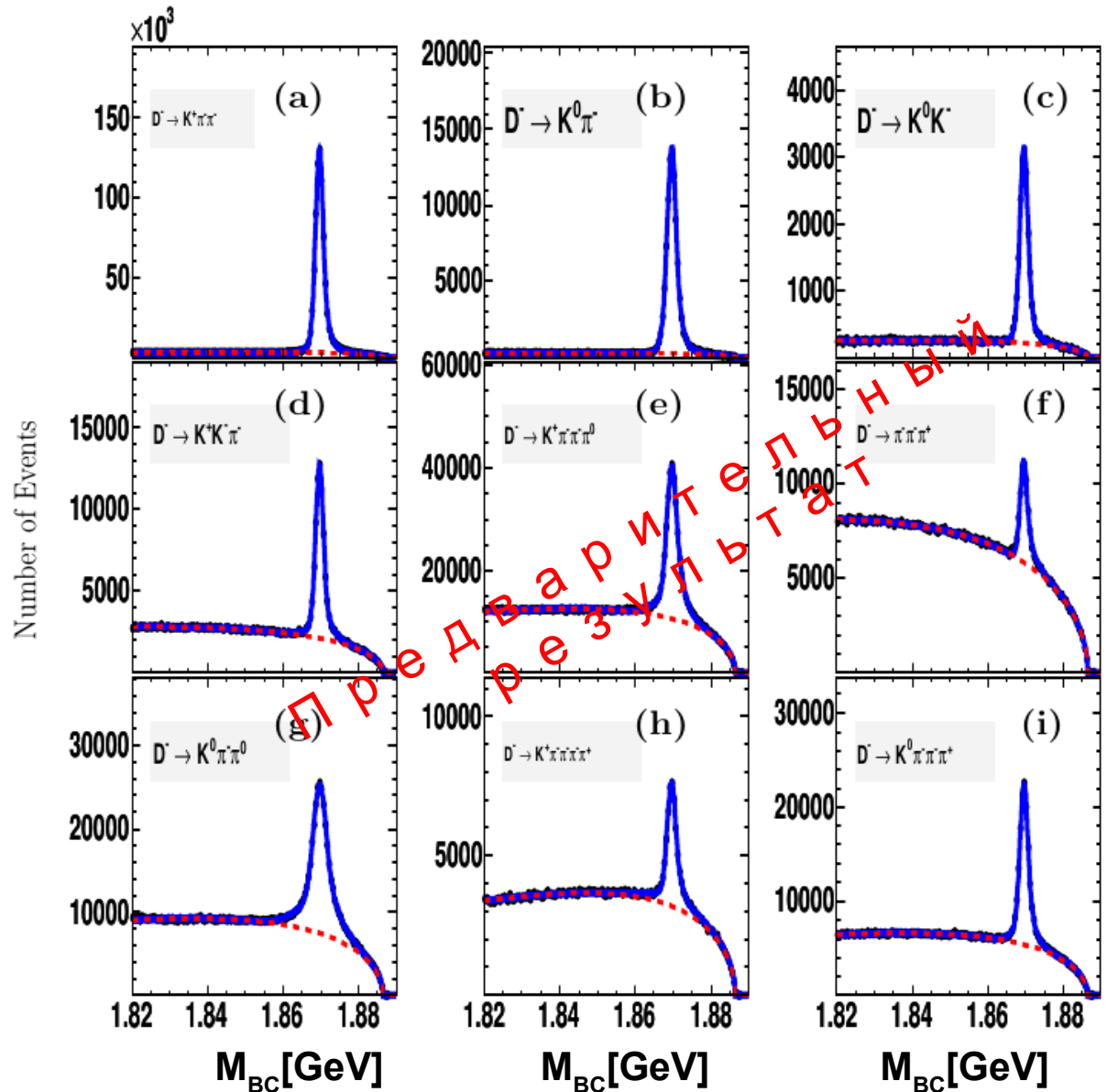
(предварительный результат BES-III)

Девять мод мечения D^-

- a) $K^+ \pi^- \pi^-$
- b) $K^0 \pi^-$
- c) $K^0 K^-$
- d) $K^+ K^- \pi^-$
- e) $K^+ \pi^- \pi^- \pi^0$
- f) $\pi^+ \pi^- \pi^-$
- g) $K^0 \pi^- \pi^0$
- h) $K^+ \pi^- \pi^- \pi^- \pi^+$
- i) $K^0 \pi^- \pi^- \pi^+$

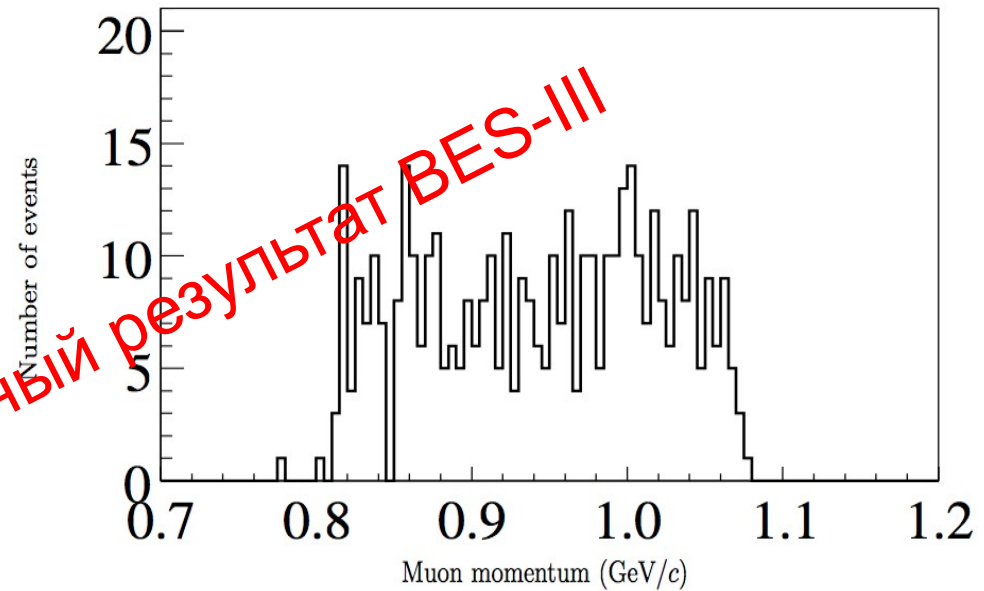
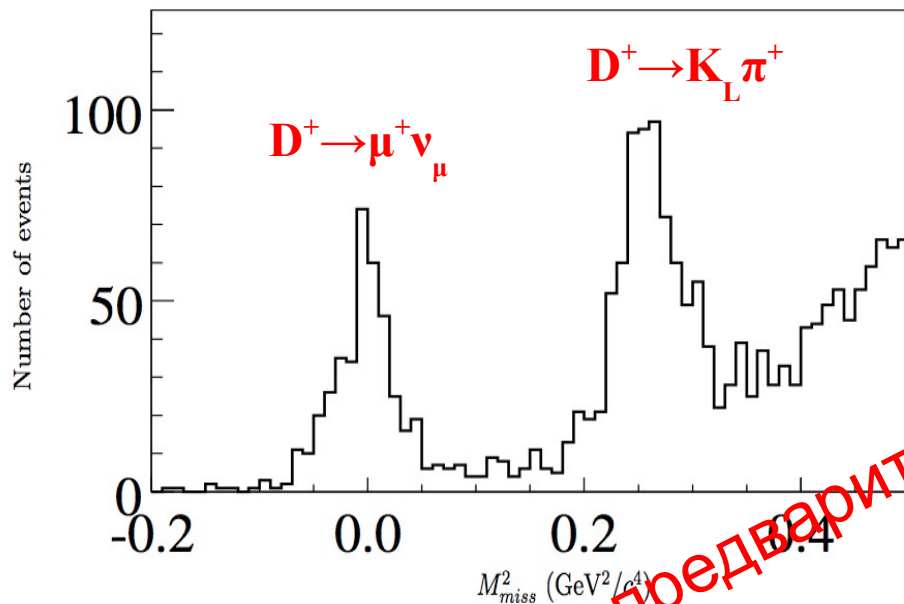
$$N_{D^-}^{tag} = (1.566 \pm 0.002) \times 10^6$$

в 2.92 фбн^{-1}



Отбор сигнала

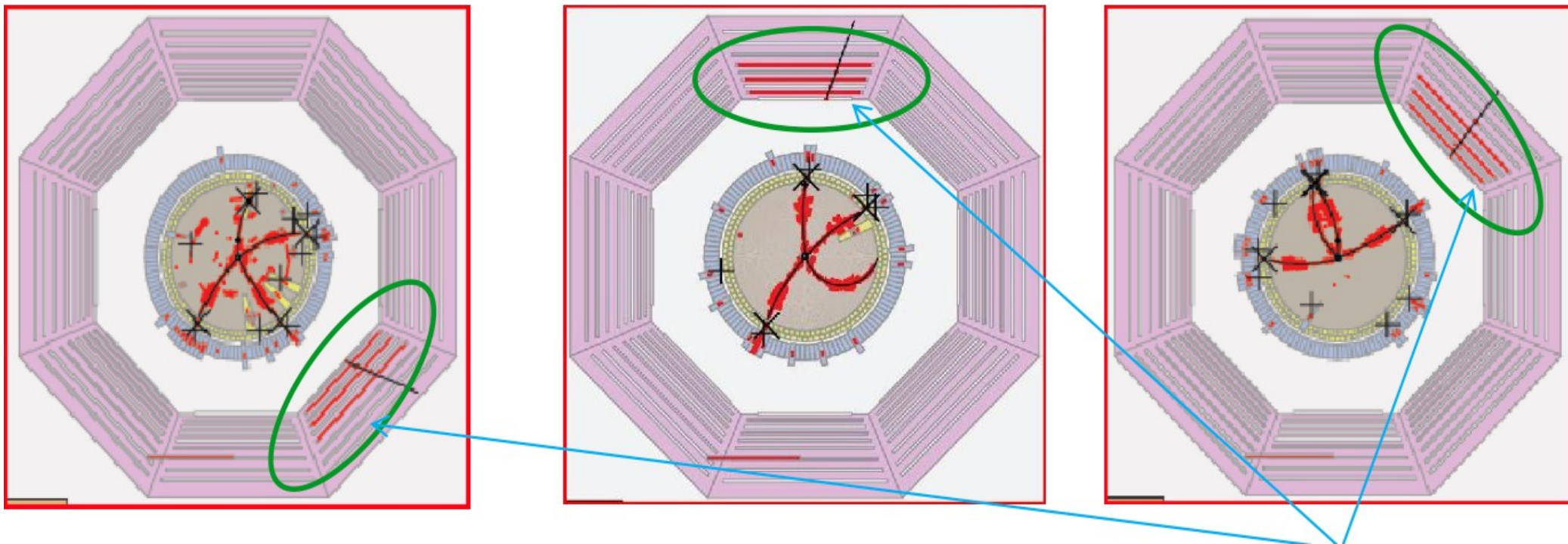
- Только один трек на сигнальной стороне, с соответствующим зарядом
- Идентификация мюона в детекторе
- Нет дополнительных фотонов
- Отбор по недостающей массе $M_{\text{miss}}^2 = \left(E_{\text{Beam}} - E_{\mu}\right)^2 - \left(-\vec{p}_{\text{tag}} - \vec{p}_{\mu}\right)^2 \approx 0$



предварительный результат BES-III

Отобрано 425 кандидатов

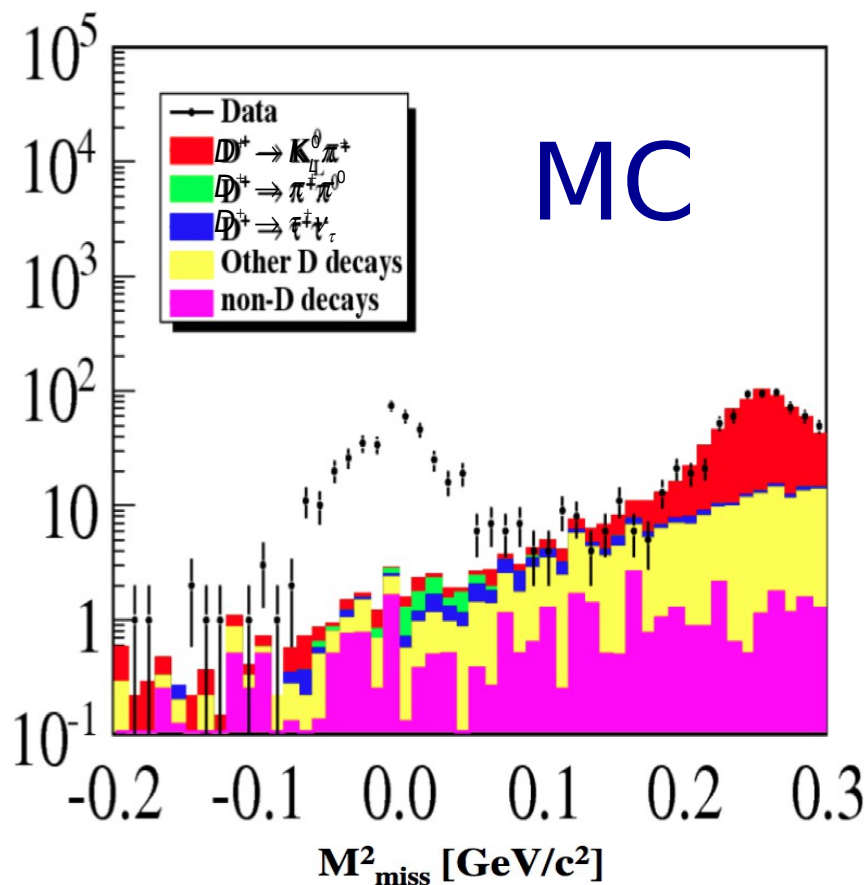
Пример событий



сигнал в идентификаторе
МЮОНОВ

Оценка вклада фоновых процессов

Предварительный результат BES-III



Моделирование: 47.7 ± 2.6
 Оценка из эксп. данных: 48.9 ± 4.8

Numbers of background events from $D\bar{D}$ decays			
Source	N_{bkg}^{MC}	Scale factor f	$N_{bkg}^{data} = \frac{N_{bkg}^{MC}}{f} \times \frac{\eta^{data}}{\eta^{MC}}$
$D^+ \rightarrow K_L^0 \pi^+$	111	10.8	$7.9 \pm 0.8 \pm 0.3$
$D^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$	53	10.8	$3.8 \pm 0.5 \pm 0.3$
$D^+ \rightarrow \tau^+ \nu_\tau$	96	10.8	$6.9 \pm 0.7 \pm 0.3$
Other D decays	250	10.8	$17.9 \pm 1.1 \pm 0.5$
Sum	510	10.8	$36.4 \pm 1.6 \pm 0.7$
Numbers of background events from $non - D\bar{D}$ decays			
Source	N_{bkg}^{MC}	Scale factor f	$N_{bkg}^{data} = \frac{N_{bkg}^{MC}}{f} \times \frac{\eta^{data}}{\eta^{MC}}$
$e^+ e^- \rightarrow (\gamma)\psi(3686)$	2	6.3	$0.2 \pm 0.2 \pm 0.0$
$e^+ e^- \rightarrow (\gamma)J/\psi$	0	5.7	$0.0 \pm 0.0 \pm 0.0$
$e^+ e^- \rightarrow \text{Light Hadron}$	33	3.1	$8.2 \pm 1.4 \pm 0.3$
$e^+ e^- \rightarrow \tau^+ \tau^-$	15	6.0	$1.9 \pm 0.5 \pm 0.4$
$\psi(3770) \rightarrow non - D\bar{D}$	7	5.8	$0.9 \pm 0.4 \pm 0.9$
Sum			$11.3 \pm 1.6 \pm 1.0$
<i>Total (D decay and non - D decay)</i>			$47.7 \pm 2.3 \pm 1.3$

Event type	Number
$N(D^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu)^{\text{candidate}}$	425
N_b	$47.7 \pm 2.3 \pm 1.3$
$N(D^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu)$	$377.3 \pm 20.6 \pm 2.6$

Относительная вероятность распада $D^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$
(предварительный результат BES-III)

$$N(D^+ \rightarrow \mu^+ \nu) = 377.3 \pm 20.6$$

$$B(D^+ \rightarrow \mu^+ \nu) = (0.0374 \pm 0.0021 \pm 0.0006)\%$$

- Хорошее согласие с результатами CLEO-c
- Точность измерения все еще ограничена доступной статистикой событий

Определение $|V_{cd}|$

$$\Gamma(D^+ \rightarrow \mu^+ \pi^0) = f_D^2 |V_{cd}|^2 \frac{G_F^2}{8\pi} m_D m_\pi^2 \left(1 - \frac{m_\pi^2}{m_D^2}\right)^2$$

$$\tau_{D^+} = (1040 \pm 7) \text{ fs},$$

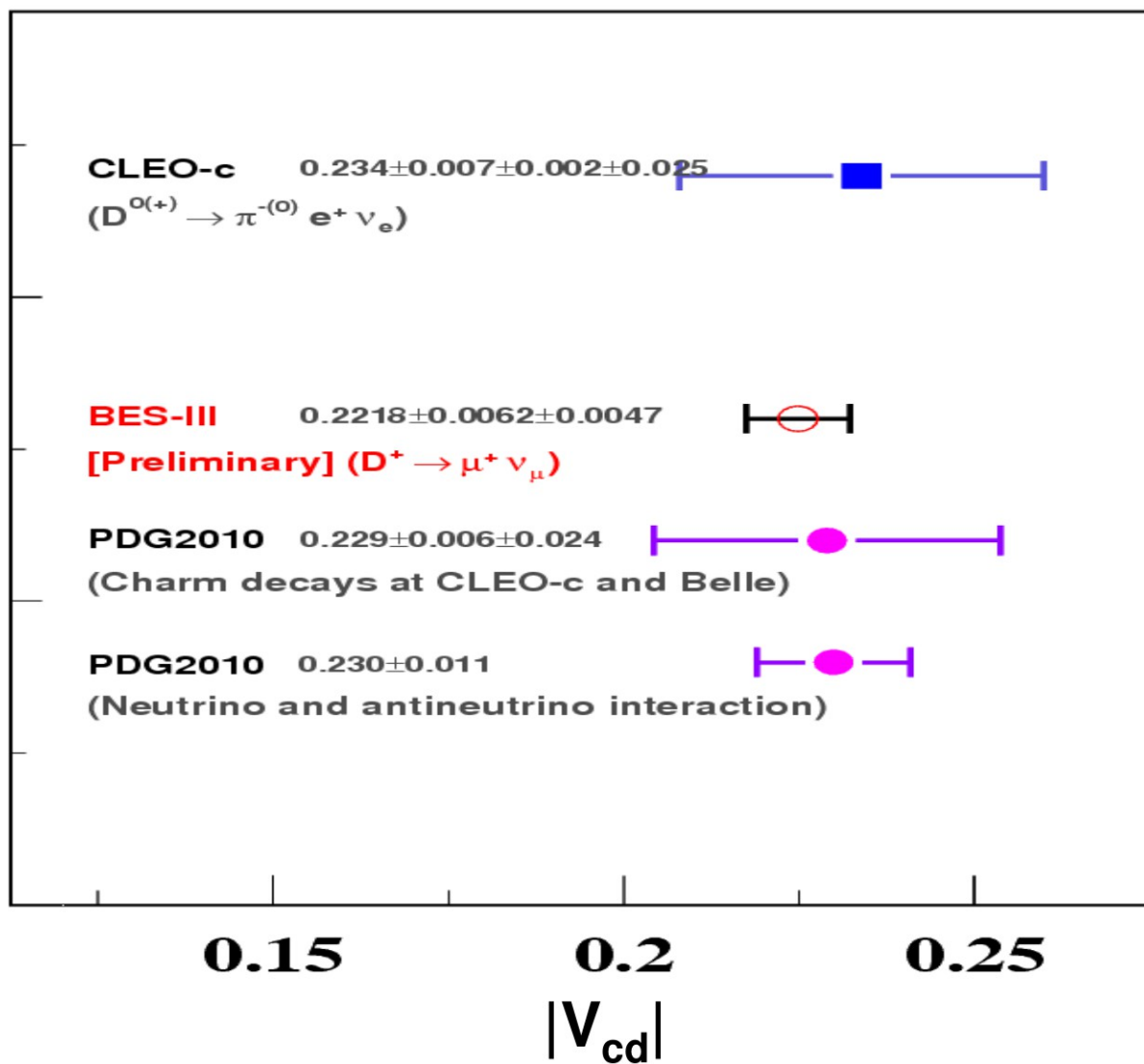
$$M_{D^+} = (1896.60 \pm 0.16) \text{ MeV}$$

$$M_{\mu^+} = (105.658 \pm 0.000) \text{ MeV}$$

$$f_{D^+} = 207 \pm 4 \text{ MeV (from LQCD)}$$

$$|V_{cd}| = (0.222 \pm 0.006 \pm 0.005)$$

Предварительный результат BES-III



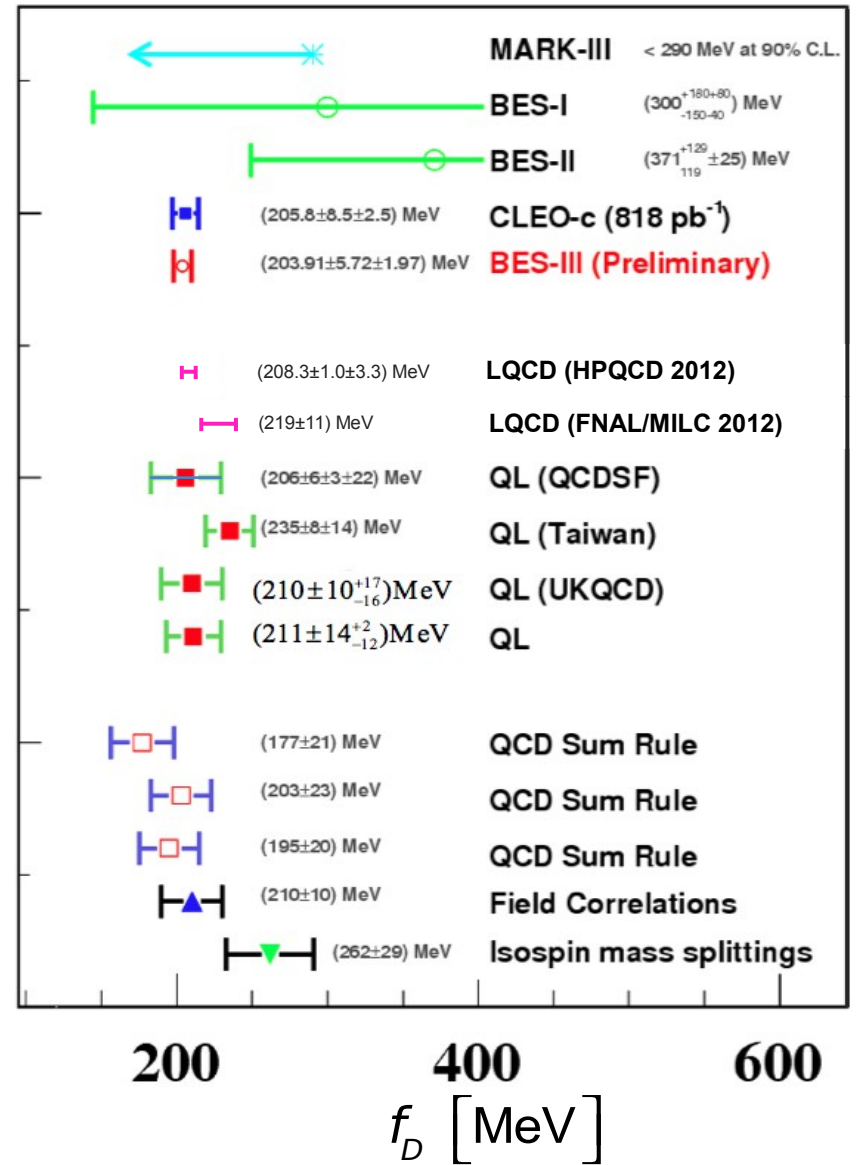
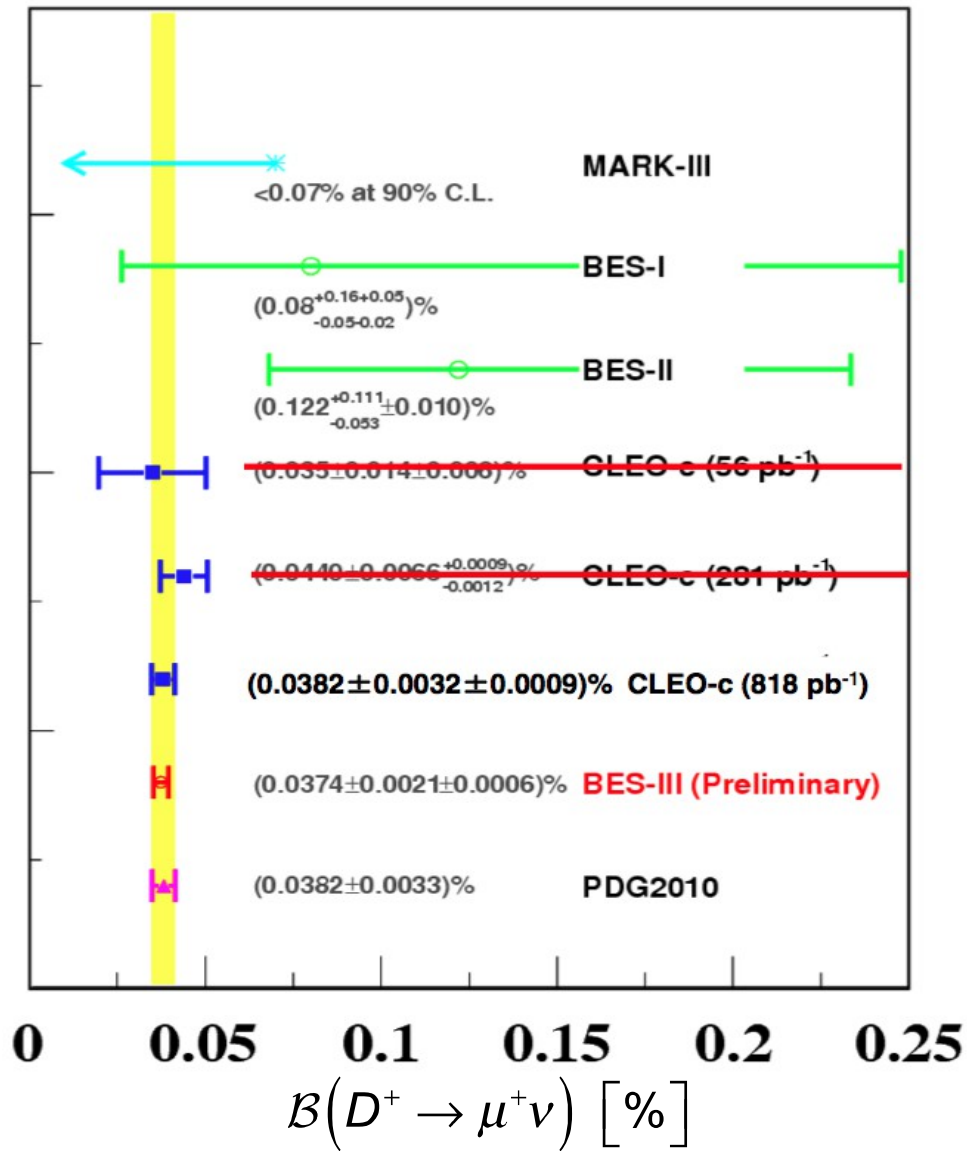
Определение f_D

$$\Gamma(D^+ \rightarrow \mu^+ \pi^0) = f_D^2 |V_{cd}|^2 \frac{G_F^2}{8\pi} m_D m_\pi^2 \left(1 - \frac{m_\pi^2}{m_D^2}\right)^2$$

- Используя значение $|V_{cd}|$, полученное в предположении унитарности, можно получить:

$$f_{D^+} = \left(203.9 \pm 5.7 \pm 2.0\right) \text{ MeV}$$

Предварительный результат BES-III



Заключение

- В эксперименте BES-3 выполнено наиболее точное измерение относительной вероятности распада $D^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$

$$\mathcal{B}(D^+ \rightarrow \mu^+ \nu) = (0.0374 \pm 0.0021 \pm 0.0006)\%$$

- Наиболее точное измерение

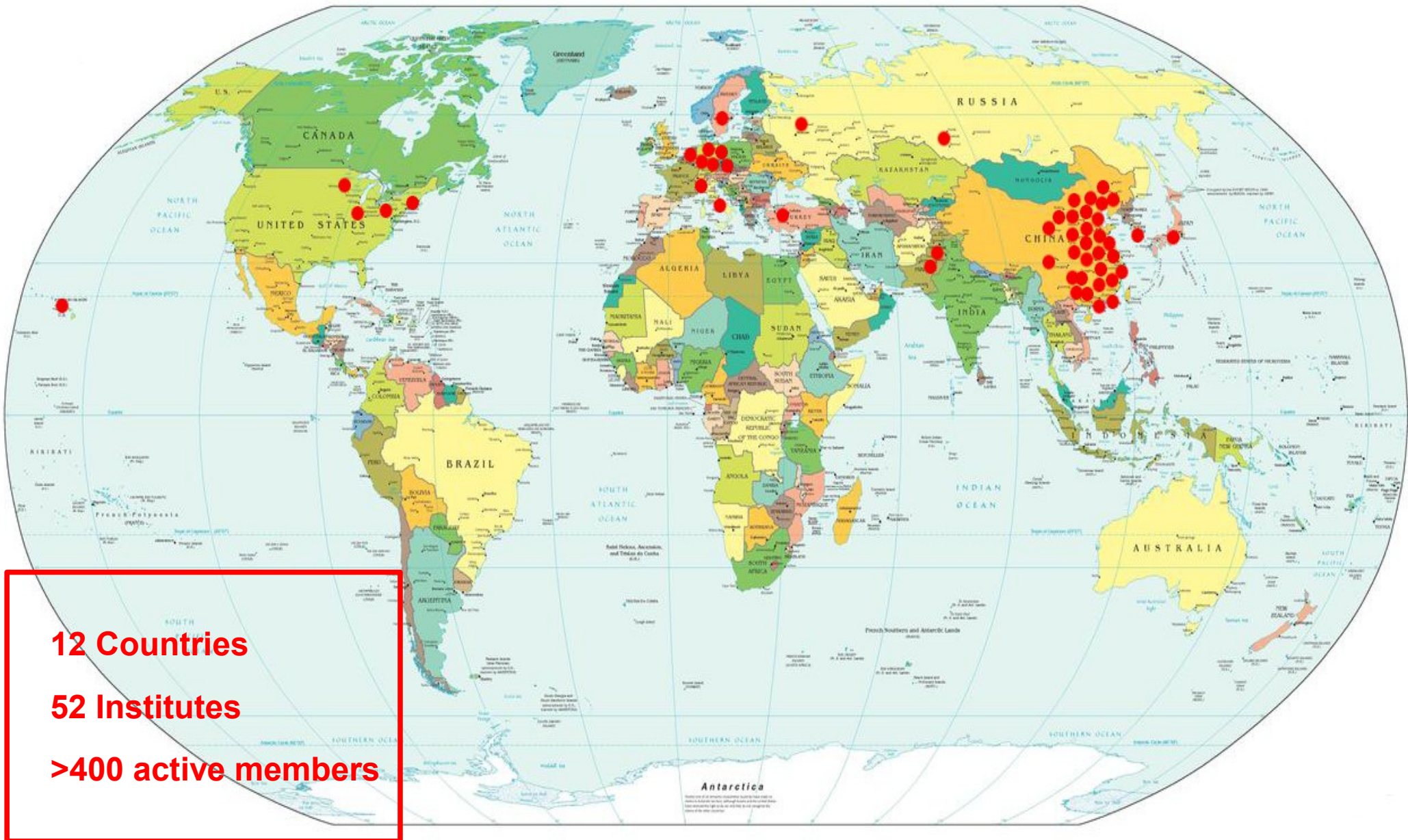
$$|V_{cd}| = 0.222 \pm 0.006 \pm 0.005$$

- Наиболее точное измерение

$$f_{D^+} = (203.9 \pm 5.7 \pm 2.0) \text{ MeV}$$

- Результаты предварительные

The BES-III Collaboration



Программа исследований BES-III

Физика легких адронов

- мезонная & барионная спектроскопия
- поиск экзотических состояний
- двухфотонные процессы

Изучение очарованных частиц

- полулептонные формфакторы
- константы распада f_D & f_{D_s}
- матрица СКМ: V_{cd} , V_{cs}
- D^0 - \bar{D}^0 смешивание и CP -нарушение

Изучение чармония

- спектроскопия
- переходы и распады

Прецизионные измерения масс

- измерение массы τ -лептона
- массы D^0 , D^+ & D_s

Проверки КХД & τ -лептоны

- измерение R -отношения
- распады τ -лептона
- p & n формфакторы

Изучение состояний XYZ

- $Y(4260)$, $Y(4360)$
- поиск новых состояний

Оценка погрешностей

Source	Systematic uncertainty [%]
Number of D^- tags ($N_{D_{tag}^-}$)	0.6
Muon tracking	0.5
μ selection	0.3
$E_{\gamma_{max}}$ cut	0.7
Muon momentum cut	0.1
M_{miss}^2 cut	0.5
Background estimation	0.7
Monte Carlo statistics	0.2
Radiative correction	1.0
Total	1.7