

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
НАУКИ ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ ИМ. Г.И. БУДКЕРА
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

Результат эксперимента КЕДР по измерению масс D -мезонов

Овтин Иван Валерьевич, коллаборация КЕДР

Научная сессия Объединенного ученого совета
по физическим наукам СО РАН

Новосибирск, 2026

План доклада

- 1 Введение
- 2 Эксперимент КЕДР на e^+e^- коллайдере ВЭПП-4М
- 3 Метод измерения
- 4 Поправки к импульсу
- 5 Критерии отбора событий
- 6 Моделирование
- 7 Экспериментальные данные
- 8 Систематические ошибки
- 9 Результаты

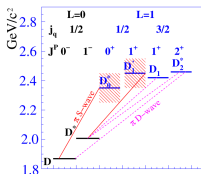
Введение: D -мезоны

Три типа очарованных мезонов:

- нейтральные D^0 и \bar{D}^0 -мезоны с кварковой структурой (cu) – $M_{D^0} = 1864.84 \pm 0.05$ МэВ
- заряженные D^\pm -мезоны со структурой (cd) – $M_{D^\pm} = 1869.5 \pm 0.4$ МэВ
- D_s^\pm -мезоны со структурой (cs) – $M_{D_s^\pm} = 1968.35 \pm 0.07$ МэВ

D -мезоны имеют орбитально-возбужденные состояния

Состояния можно классифицировать в зависимости от значений полного момента легкого кварка $\vec{j}_q = \vec{L} + \vec{s}_q$ и спина мезона $\vec{J} = \vec{j}_q + \vec{s}_Q$, где \vec{L} – орбитальный момент, \vec{s}_q – спин и \vec{s}_Q – спин тяжелого кварка



- основное состояние D -мезона – $J_{jq}^P = 0_{1/2}^-$
- D^* -мезон – векторное состояние с $J_{jq}^P = 1_{1/2}^-$
- D^{**} -состояния – относительный угловой момент L равен 1

- Изучение свойств возбужденных состояний требует дальнейшей теоретической и экспериментальной работы, и соответственно важно точное значение масс D -мезонов в основном состоянии
- точное измерение массы D^0 -мезона может помочь понять природу узкого состояния $X(3872)$, которое согласно некоторым моделям, является связанным состоянием D^0 -мезонов и D^{*0} -мезонов и имеет массу, очень близкую к сумме масс D^0 -мезонов и D^{*0} -мезонов
- Точное измерение разницы в массах D^0 и D^+ позволяет проверить теоретические модели, которые разделяют вклады от разницы масс кварков (d и u) и от электромагнитного взаимодействия

Введение: современные данные по массам D -мезонов

D^0 -мезон

- $M_{D^0} = 1864.84 \pm 0.05$ МэВ (average)

Лучшие измерения:

- 1) $M_{D^0} = 1864.845 \pm 0.025 \pm 0.057$ (CLEO-2014)*, e^+e^- at $\psi(3770)$ (580 пб^{-1}),

$D^0 \rightarrow K^- 2\pi^+ \pi^-$

- * Obtained by analyzing CLEO-c data but not authored by the CLEO Collaboration.
- 2) $M_{D^0} = 1864.841 \pm 0.048 \pm 0.063$ (BABAR-2013), e^+e^- at $\Upsilon(4S)$ (477 фб^{-1}),

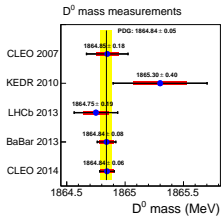
$D^*(2010)^+ \rightarrow D^0 \pi^+$, $D^0 \rightarrow K^- K^- K^+ \pi^+$

- 3) $M_{D^0} = 1864.750 \pm 0.150 \pm 0.110$ (LHCb-2013), pp at 7 TeV (1.0 фб^{-1}), полулептонные

b -адронные распады, $D^0 \rightarrow K^+ 2K^- \pi^+$

- 4) $M_{D^0} = 1864.847 \pm 0.150 \pm 0.095$ (CLEO-2007), e^+e^- at $\psi(3770)$ (281 пб^{-1}), $D^0 \rightarrow K_S^0 \phi$

- 5) $M_{D^0} = 1865.300 \pm 0.330 \pm 0.230$ (КЕДР-2010), e^+e^- at $\psi(3770)$ (0.9 пб^{-1}), $D^0 \rightarrow K^- \pi^+$



D^+ -мезон

- $M_{D^+} = 1869.5 \pm 0.4$ МэВ (average)

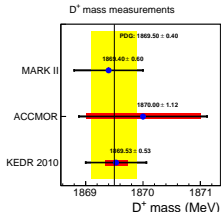
Лучшие измерения:

- 1) $M_{D^+} = 1869.53 \pm 0.49 \pm 0.20$ (КЕДР-2010), e^+e^- at $\psi(3770)$ (0.9 пб^{-1}), $D^+ \rightarrow K^- \pi^+ \pi^+$

- 2) $M_{D^+} = 1870.0 \pm 0.5 \pm 1.0$ (ACCMOR-1990), $\pi \text{ Cu } 230 \text{ GeV}$, $D^+ \rightarrow K_S \pi^+$ и $D^+ \rightarrow K^- \pi^+ \pi^+$

- 3) $M_{D^+} = 1869.4 \pm 0.6$ (LGW и Mark II), e^+e^- at $\psi(3770)$, $D^+ \rightarrow K_S \pi^+$ и

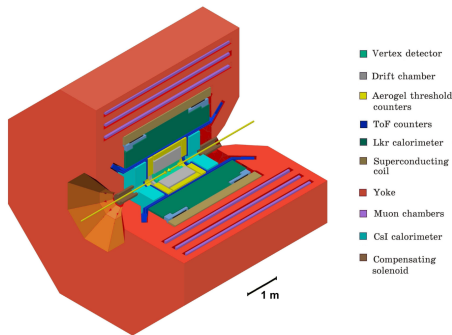
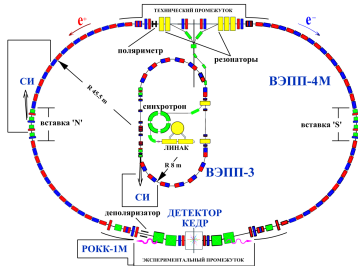
$D^+ \rightarrow K^- \pi^+ \pi^+$



- $M_{D^+} - M_{D^0} = 4.76 \pm 0.12 \pm 0.07$ МэВ (LHCb), $D^0 \rightarrow K^+ K^- \pi^+ \pi^-$ и $D^+ \rightarrow K^+ K^- \pi^+$

Эксперимент КЕДР на e^+e^- коллайдере ВЭПП-4М

- Энергия пучка $0.9 \div 5$ ГэВ
- Число сгустков 2×2
- Светимость: $2 \cdot 10^{30} \frac{1}{\text{cm}^2 \cdot \text{s}}$ при $E=1.8$ ГэВ
- Измерение энергии методом резонансной деполяризации:
 - ▶ $E < 3$ ГэВ - Тушековский поляриметр: $\Delta E/E = (5 \div 15) \times 10^{-6}$, $(10 \div 60)$ кэВ
 - ▶ $E > 3$ ГэВ - Лазерный поляриметр: $\Delta E/E = 3 \times 10^{-6}$, 30 кэВ

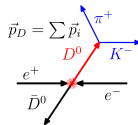


Физическая программа:

- Измерение масс элементарных частиц: J/ψ , $\Psi(2S)$, $\Psi(3770)$, τ лептона, D и Υ мезонов
- Измерение лептонных ширин Ψ и Υ мезонов
- Измерение R в области $2E=2 \div 10$ ГэВ
- Измерение сечения $\gamma\gamma \rightarrow$ адроны
- Исследование ряда других процессов

Метод измерения масс D -мезонов

- Используется процесс $e^+e^- \rightarrow \psi(3770) \rightarrow D\bar{D}$, максимум сечения при $E \sim M(\psi(3770))$
- Интеграл светимости:
 - ▶ $\int L \Delta t = 4.0 \text{ пб}^{-1}$, 2016-2017 гг.
 - ▶ $\int L \Delta t = 0.9 \text{ пб}^{-1}$, 2004 г. (KEDR2010) – переобработано для уменьшения систематических ошибок



- Один из D -мезонов реконструируется:
 - ▶ $D^0 \rightarrow K^- \pi^+$, $Br = 3.95 \pm 0.03\%$
 - ▶ $D^+ \rightarrow K^- \pi^+ \pi^+$, $Br = 9.38 \pm 0.16\%$
- Для каждого D -кандидата, прошедшего отбор, определяются переменные:

$$M_{bc} = \sqrt{\left(\frac{W}{2}\right)^2 - \left(\sum_i \vec{p}_i\right)^2}, \quad \Delta E = \sum_i \sqrt{m_i^2 + p_i^2} - E_{beam}$$

$$\Delta p = p_\pi - p_K \text{ (для } D^0\text{-мезона),}$$

$$\text{где } W = 2E_{beam}$$

Вклад импульсного разрешения сильно уменьшается ($p_D = 260 \text{ МэВ}$):

$$\sigma^2(M_D) = \frac{\sigma_W^2}{4} + \left(\frac{p_D}{M_D}\right)^2 \sigma_{p_D}^2 = \frac{\sigma_W^2}{4} + 0.02 \sigma_{p_D}^2$$

Для сигнальных событий $\Delta E \sim 0$. Требование $\langle \Delta E \rangle = 0$ дает абсолютную калибровку импульсов ($p_{true} = \alpha p$).

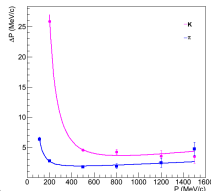
Поправки к импульсу

Точность реконструкции импульса дает непосредственный вклад в точность измерения массы D .

$$M_{bc} = \sqrt{E_{beam}^2 - \left(\sum_i \vec{p}_{true_i} \right)^2}, \quad p_{true} = \alpha(p + \Delta p_c)$$

1 Поправка к импульсу из-за потерь энергии

Моделирование (2016-2017 гг.)



Отличие измеренного импульса от первоначального из-за потери энергии в веществе может достигать нескольких МэВ.

Вводится поправка к импульсу p :

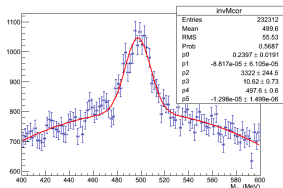
$$\Delta p_c = D/\beta^3 + \kappa p,$$

где $\beta = p/\sqrt{m^2 + p^2}$, и D , m , κ — параметры.

2 Абсолютная калибровка импульса (знание магнитного поля)

- ▶ Шкала калибруется по тем же событиям, измеряя среднее смещение величины ΔE
- ▶ Или событиям $K_S^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$ (69.20%), $M_{K_S^0} = 497.611 \pm 0.013$ МэВ

Эксперимент 2016-2017 гг.



Критерии отбора событий:

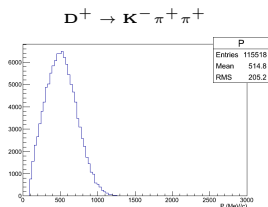
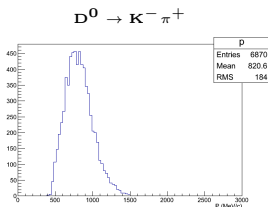
- Число треков ≥ 3 , рассматриваются пары противоположно заряженных треков;
- Ограничение на импульс: $100 < p < 1600$ МэВ;
- Число измерений в трековой системе (хитов) $N_{hits} \geq 24$;
- Точка пересечения треков на расстоянии не менее 0.5 см от места встречи пучков;
- Положение общей вершины $|z| < 13$ см

Критерии отбора событий

- Отбираются многоадронные кандидаты с ≥ 3 треками
 - рассматриваются треки-кандидаты противоположного заряда для $D^0 \rightarrow K^- \pi^+$;
 - комбинации с зарядом « $++-$ » или « $--+$ » для $D^+ \rightarrow K^- \pi^+ \pi^+$;
- Условия отбора треков:
 - Ограничение на поперечный импульс: $100 < p_t < 2000$ МэВ;
 - Число измерений в трековой системе (хитов) $N_{hits} \geq 24$;
 - Положение общей вершины $|z| < 12$ см, $r < 0.5$ см
 - Энергия привязанного к треку кластера в калориметре $E < 1000$ МэВ
 - Сумма хитов во втором и третьем слое мюонных камер ≤ 1
- Кинематическая подгонка с условием $\Delta E = 0$.
 - Минимизируется функция:

$$\chi^2 = \sum_i \frac{(p'_i - p_i)^2}{\sigma_{p_i}^2}$$

- Для дальнейшего анализа отбираются события:
 - $1700 < M_{bc} < 1900$ МэВ
 - $|\Delta E| < 300$ МэВ



- Небинированная функция правдоподобия (unbinned maximum likelihood fit) используется:

$$-2 \log \mathcal{L}(\epsilon) = -2 \sum_{i=0}^N \log \mathcal{P}(v_i|\epsilon) + 2N \log \int \mathcal{P}(v|\epsilon) dv,$$

где $v = (M_{bc}, \Delta E, \Delta|p|)$ - переменная характеризующая одно событие; $\mathcal{P}(v|\epsilon)$ - плотность распределения событий (PDF), зависящая от фит параметров $\epsilon = (M_D, \langle \Delta E \rangle, b_{uds}, b_{DD})$:

$$\mathcal{P}(v|\epsilon) = \mathcal{P}_{sig}(v|M_D, \langle \Delta E \rangle) + b_{uds} \mathcal{P}_{uds}(v) + b_{DD} \mathcal{P}_{DD}(v).$$

- Форма распределения сигнальных событий и фоновых событий ($\mathcal{P}_{sig}, \mathcal{P}_{uds}, \mathcal{P}_{DD}$) извлекается из моделирования методом Монте-Карло.
- При подгонке экспериментальных данных 4 свободных параметра: M_D , $\langle \Delta E \rangle$, уровни DD и uds фона

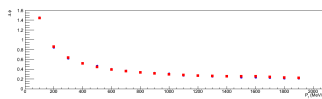
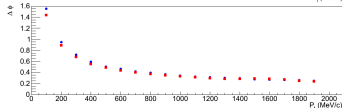
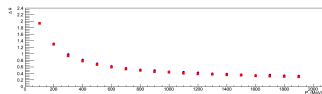
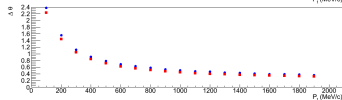
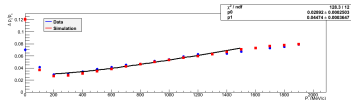
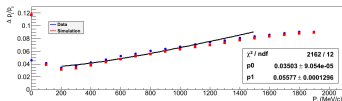
Моделирование: импульсное и угловое разрешение

2016-2017 гг. Космические мюоны

2004 гг.

$$\sigma_p^2/p^2 = 3.5\%^2 + (5.5\% \times p[\text{GeV}])^2$$

$$\sigma_p^2/p^2 = 2.9\%^2 + (4.5\% \times p[\text{GeV}])^2$$



$\text{kdcscalsysterraz}(5.5, 0.8)$

$\text{kdcscalsysterraz}(5.0, 0.0)$

Заданная в моделировании систематическая ошибка $\chi(t)$ в аксиальных и стерео слоях умножается на калибровочные скейл-факторы

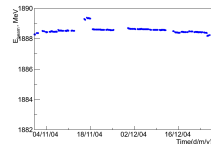
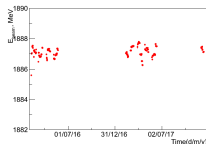
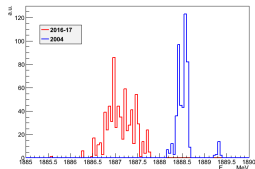
$$\frac{\sigma_p(2004)}{\sigma_p(2016-17)} \sim 20\% \text{ при импульсе } 800 \text{ МэВ/с.}$$

Условия отбора:

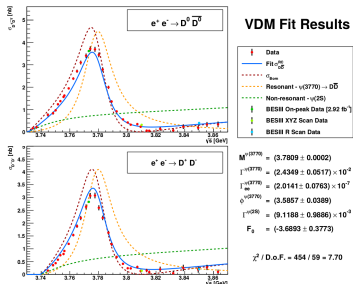
- Восстанавливаются как пучковые события;
- Рассматриваются треки с $P_t > 50$ МэВ
- Число измерений в трековой системе (хитов) $N_{hits} > 23$
- Рассматриваются треки с качеством восстановления трека $\chi^2 < 50$ в ДК
- Сумма хитов в мюонной камере во втором и третьем слое больше 1
- Положение общей вершины $|z| < 15$ см, $r < 6.0$ см
- Рассматриваются треки лежащие в диапазоне полярного угла от 57° до 122°

Моделирование: учет поправок на излучение

Энергия пучка



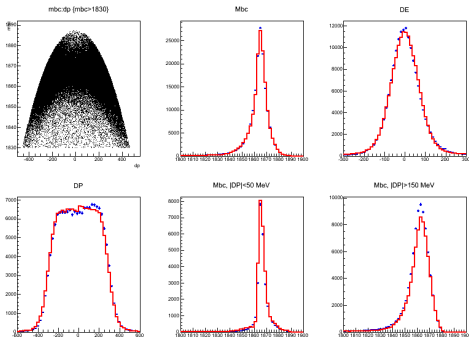
Results with Coulomb interactions



- Учитывается излучение в начальном состоянии (ISR, пакет **RADCOR**)
 - Наиболее точные параметры для $\psi(3770)$ для вычисления борновского сечения $D^+ D^-$ и $D^0 \bar{D}^0$ получены BESIII ([Measurement of \$DD\bar{D}\$ Decays from the \$\psi\(3770\)\$ Resonance, Dissertation, Andy Jarod Julin, 2017](#))
 - Для правильного учета положения на склоне сечения распределение по энергии разбивалось на 10 бинов и для каждой точки по энергии (с соответствующим энергитическим разбросом: $\sigma_W(2004)=1.15$ MeV, $\sigma_W(2016)=1.59$ MeV)) производилось моделирование, с вкладом пропорциональным интегральной светимости
- Учитывается излучение в конечном состоянии (FSR, пакет **PHOTOS**)

Моделирование - сигнал (D^0 - мезон)

- Монте-Карло генератор, **все распады запрещены** в таблице распадов JETSET **кроме** $D^0 \rightarrow K^- \pi^+$, 125000 распадов $e^+e^- \rightarrow \psi(3770) \rightarrow D\bar{D}$.
- заложенная в моделирование масса D^0 - 1864.84 МэВ



$$P_{sig}(M_{bc}, \Delta E, \Delta p) = |1 + k_1 \Delta p^2| \times \left(\exp\left(-\frac{(\Delta E - \langle \Delta E \rangle)^2}{2\sigma_1^2 \Delta E}\right) \times \frac{\exp\left(-\frac{(M_{bc} - \langle M_{bc} \rangle - \text{cor}_1 \times (\Delta E - \langle \Delta E \rangle))^2}{2\sigma_1^2 M_{bc}}\right)}{(\sigma_1 M_{bc} + \sigma_r M_{bc})} \right) + |k_2| \exp\left(-\frac{(\Delta E - \langle \Delta E \rangle)^2}{2\sigma_2^2 \Delta E}\right) \times \frac{\exp\left(-\frac{(M_{bc} - \langle M_{bc} \rangle - \text{cor}_2 \times (\Delta E - \langle \Delta E \rangle) - M_{bc} \text{ch}_1 f_1)^2}{2\sigma_2^2 M_{bc}}\right)}{\sigma_2 M_{bc}} + |k_3| P_{back}(M_{bc}, \Delta E, \Delta p, \text{dback_par})$$

$$\Delta M_{bc} = M_{bc} - \langle M_{bc} \rangle - \text{cor}_1 \times (\Delta E - \langle \Delta E \rangle)$$

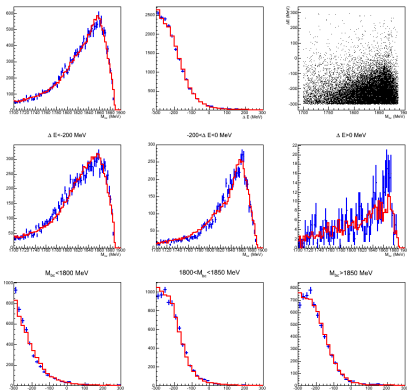
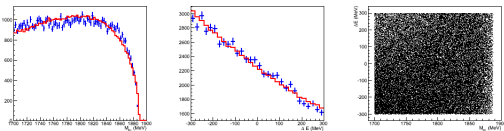
$$\Delta M_{bc} < 0 : \sigma_1 M_{bc} = \sigma_1 M_{bc} = \sqrt{\sigma_{01}^2 M_{bc} + (\Delta p \times \sigma_3 M_{bc})^2 + (\Delta p^2 \times \sigma_4 M_{bc})^2}$$

$$\Delta M_{bc} > 0 : \sigma_1 M_{bc} = \sigma_r M_{bc} = \sqrt{\sigma_{0r}^2 M_{bc} + (\Delta p \times \sigma_3 M_{bc})^2 + (\Delta p^2 \times \sigma_4 M_{bc})^2}$$

Моделирование - фон (D^0 - мезон)

- Комбинаторный фон от событий континуума ($e^+e^- \rightarrow q\bar{q}, q = u, d, s$)
 Монте-Карло генератор (Т. Sjostrand, JETSET 7.4),
 600000 распадов.

- Монте-Карло генератор, фон от распадов $e^+e^- \rightarrow \psi(3770) \rightarrow D\bar{D}, D^0 \rightarrow K^-\pi^+$ запрещен в таблице распадов JETSET, 600000 распадов.



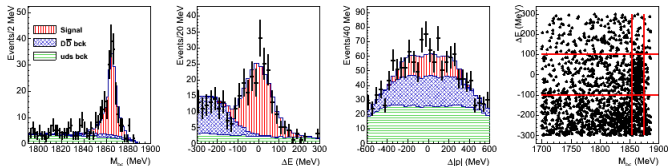
$$\mathcal{P}_{uds}(M_{bc}, \Delta E, \Delta |p|) = \exp\left(k_1 \left(\frac{M_{bc}^2}{E_{beam}^2} - 1\right) - k_2 \Delta E\right) \times (1 + k_3 \Delta |p|^2)$$

$$\begin{aligned} \mathcal{P}_{d\bar{b}ck}(M_{bc}, \Delta E, \Delta |p|) = & \left(\exp\left(k_1 \left(\frac{M_{bc}^2}{E_{beam}^2} - 1\right) - k_2 \Delta E\right) \right. \\ & + |k_3| \exp\left(-\frac{(M_{bc} - (M_{bc0}))^2}{2\sigma_0^2 M_{bc}} - \frac{(\Delta E - \langle \Delta E_0 \rangle)^2}{2\sigma_0^2 \Delta E}\right) \\ & + |k_4| \exp\left(-\frac{(M_{bc} - (M_{bc1}) - M_{bcshift})^2}{2\sigma_1^2 M_{bc}} - \frac{(\Delta E - \langle \Delta E_1 \rangle)^2}{2\sigma_1^2 \Delta E}\right) \\ & \left. + |k_5| \exp\left(-\frac{(M_{bc} - (M_{bc1}) + M_{bcshift})^2}{2\sigma_2^2 M_{bc}} - \frac{(\Delta E + \langle \Delta E_1 \rangle)^2}{2\sigma_2^2 \Delta E}\right) \right) \times |1 + k_6 \Delta p^2| \end{aligned}$$

Экспериментальные данные (D^0 -мезон)

2016-2017 г.

- Используется система АЧС для π/K -идентификации
 - В режиме «Толстый счетчик», $P > 450$ MeV/c & $P < 1500$ MeV/c, порог 0.5 ф.э.



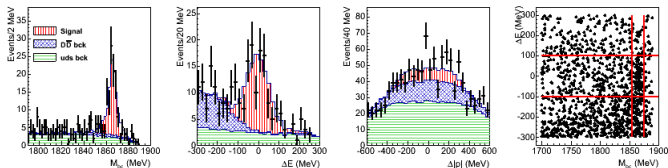
N_{sig}	217.08 ± 17.18
N_{uds}	841.80 ± 66.63
N_{DD}	470.12 ± 37.21

$$M_{D^0} = 1864.910 \pm 0.294$$

2004 г.

- $\Delta E = (E_{K-\pi^+} + E_{K+\pi^-})/2 - E_{beam}$, где

$$E_{K-\pi^+} = \sqrt{(M_K^2 + p_-^2)} + \sqrt{(M_\pi^2 + p_+^2)}, E_{K+\pi^-} = \sqrt{(M_K^2 + p_+^2)} + \sqrt{(M_\pi^2 + p_-^2)}.$$



N_{sig}	118.85 ± 12.64
N_{uds}	840.02 ± 89.35
N_{DD}	290.13 ± 30.86

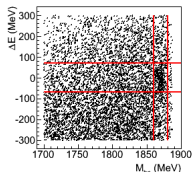
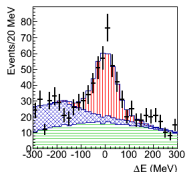
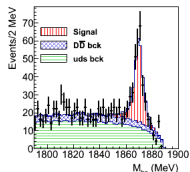
$$M_{D^0} = 1865.305 \pm 0.300$$

Экспериментальные данные (D^+ -мезон)

2016-2017 г.

- Используется для π/K -идентификации:

- ▶ TOF: $P < 600$ MeV/c, $\Delta TOF = T_{TOF} - T_{K(PK)} > -0.8$
- ▶ dE/dx , $P < 600$ MeV/c, $\text{Prob}(K) > 0.50$
- ▶ АЧС: $P > 450$ MeV/c & $P < 1500$ MeV/c, в режиме «Толстый счетчик», порог 0.5 ф.э.

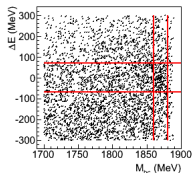
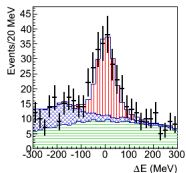
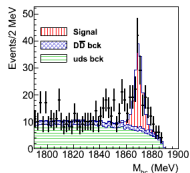


N_{sig}	349.98 ± 29.04
N_{uds}	4653.36 ± 386.11
N_{DD}	1624.65 ± 134.80

$$M_{D^+} = 1869.603 \pm 0.357$$

2004 г.

- Используется dE/dx и TOF для π/K -идентификации



N_{sig}	178.75 ± 19.65
N_{uds}	2752.27 ± 302.65
N_{DD}	633.98 ± 69.716

$$M_{D^+} = 1869.472 \pm 0.488$$

Систематические ошибки

D^0 -мезон

	kedr2004	kedr2016
Абсолютная калибровка импульса	0.005	0.005
Ионизационные потери в веществе	0.010	0.005
Импульсное разрешение	0.022	0.010
Неопределенность энергии мезона	0.020	0.011
Форма распределения сигнала	0.018	0.025
Форма распределения фона континуума	0.030	0.033
Форма распределения фона $D\bar{D}$	0.018	0.023
Идентификация	–	0.004
Калибровка энергии пучков	0.007	0.005
Итого	0.051	0.051

D^+ -мезон

	kedr2004	kedr2016
Абсолютная калибровка импульса	0.005	0.014
Ионизационные потери в веществе	0.032	0.028
Импульсное разрешение	0.079	0.031
Неопределенность энергии мезона	0.018	0.023
Форма распределения сигнала	0.059	0.066
Форма распределения фона континуума	0.075	0.065
Форма распределения фона $D\bar{D}$	0.041	0.040
Идентификация	0.009	0.009
Калибровка энергии пучков	0.005	0.003
Итого	0.136	0.113

Процедура усреднения результатов (KEDR 2025)

Наборы данных, использованные в данной работе, рассматриваются как практически независимые эксперименты, имеющие независимые статистические ошибки, но частично скоррелированные систематические ошибки.

$$\begin{aligned}\langle M \rangle &= \sum \omega_i \cdot M_i, \\ \sigma_{stat}^2 &= \sum \omega_i^2 \cdot \sigma_{stat,i}^2, \\ \sigma_{syst}^2 &= \sum \omega_i^2 \cdot (\sigma_{syst,i}^2 - \sigma_{syst,0}^2) + \sigma_{syst,0}^2, \\ \omega_i &\simeq 1/(\sigma_{stat,i}^2 + \sigma_{syst,i}^2 - \sigma_{syst,0}^2),\end{aligned}$$

где M_i - усредняемая величина, полученная при разных экспериментах, ω_i - вес, который включает статистическую ошибку и некоррелированную часть систематической неопределенности измеренной величины, $\sigma_{syst,0}$ - коррелированная часть систематической погрешности.

Систематическая ошибка, связанная с неопределенностью формы сигнала и фона, рассматривается как коррелированная часть.

V.V. Anashin et al. (KEDR Collaboration), Final analysis of KEDR data on J/ψ and $\psi(2S)$ masses, Physics Letters B 749 (2015) 50–56

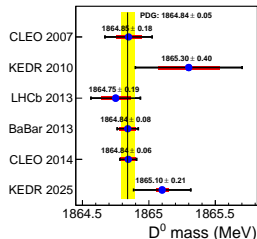
Результаты: Измерение масс D^0 и D^+ мезонов

- Результаты на данных 2004 гг. (0.9 пб^{-1}):
 - ▶ $M_{D^0} = 1865.305 \pm 0.300 \pm 0.051 \text{ МэВ}$
 - ▶ $M_{D^+} = 1869.472 \pm 0.488 \pm 0.136 \text{ МэВ}$
- Результаты на данных 2016-2017 гг. (4.0 пб^{-1}):
 - ▶ $M_{D^0} = 1864.910 \pm 0.294 \pm 0.051 \text{ МэВ}$
 - ▶ $M_{D^+} = 1869.603 \pm 0.357 \pm 0.113 \text{ МэВ}$
- Объединение результатов - KEDR 2025 (должен заменить KEDR 2010):
 - ▶ $M_{D^0} = 1865.100 \pm 0.210 \pm 0.046 \text{ МэВ}$
 - ▶ $M_{D^+} = 1869.560 \pm 0.288 \pm 0.109 \text{ МэВ}$
 - ▶ Разница масс: $M_{D^+} - M_{D^0} = 4.46 \pm 0.36 \pm 0.12 \text{ МэВ}$
- Масса D^0 согласуется с более точными измерениями, полученными другим методом.
- Измерение массы D^+ является наиболее точным прямым измерением.

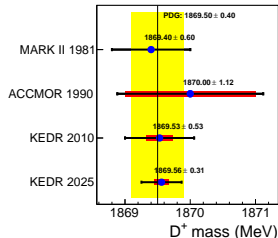
Публикации:

1. New measurement of D^0 and D^+ meson masses with the KEDR detector / V. V. Anashin, [et al.]. // Journal of High Energy Physics. – 2025. – Vol. 2025, nr. 1. – URL: [https://doi.org/10.1007/JHEP11\(2025\)001](https://doi.org/10.1007/JHEP11(2025)001).
2. Измерение масс нейтрального и заряженного D-мезонов с детектором КЕДР / В. В. Анашин и др. (Коллаборация КЕДР), // Физика элементарных частиц и атомного ядра (ЭЧАЯ), 2025, Т. 56, вып. 3. С. 1336–1347, <https://pepan.jinr.ru/index.php/PePan/article/view/1859/1046>

D^0 mass measurements



D^+ mass measurements

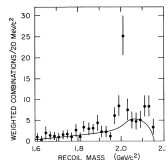
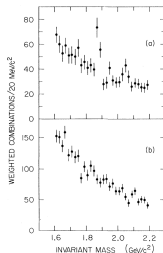
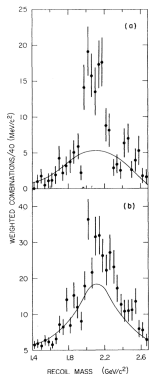
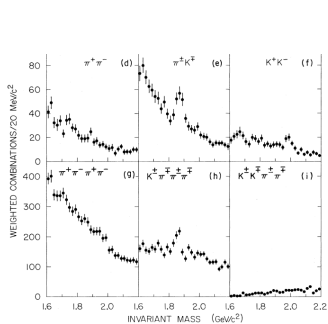


Спасибо за внимание!

Дополнительные слайды

Открытие D^0 и D^+ мезонов

1976 г. на детекторе Mark I в SLAC (США) исследовались многоадронные конечные состояния, произведенные в e^+e^- аннигиляции на коллайдере SPEAR при $E_{с.ц.м}$ от 3.90 до 4.60 ГэВ



Новое узкое заряженное состояния с массой $1876 \pm 15 \text{ МэВ}/c^2$, которое распадается в канал $K^\mp \pi^\pm \pi^\pm$, но не в канал $K^\mp \pi^+ \pi^-$

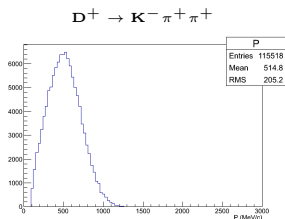
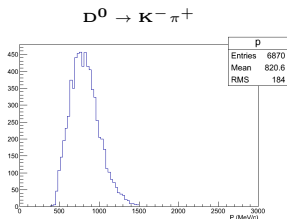
Пики в спектрах инвариантных масс распадов $K^\pm \pi^\mp$ и $K^\pm \pi^\mp \pi^\pm \pi^\mp$, которые связали с распадом нейтрального состояния с массой $1865 \pm 15 \text{ МэВ}/c^2$ и шириной менее $40 \text{ МэВ}/c^2$

Состояния, обладающие новым квантовым числом «очарование»

Каналы распадов D^+ и D^0 -мезонов

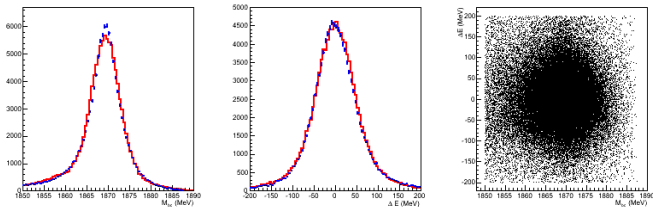
Процесс $e^+e^- \rightarrow D\bar{D}$

	Конечное состояние	Вероятность распада
$D^0 \rightarrow$	$K^-\pi^+$	$3.95 \pm 0.03\%$
	$K_s\pi^+\pi^-$	$2.80 \pm 0.18\%$
	$K^-\pi^+\pi^+\pi^-$	$8.23 \pm 0.14\%$
	$K^-\pi^+\pi^0$	$14.4 \pm 0.5\%$
	$K_s\pi^+\pi^-\pi^0$	$5.2 \pm 0.6\%$
$D^+ \rightarrow$	$K^-\pi^+\pi^+$	$9.38 \pm 0.16\%$
	$K_s\pi^+$	$1.56 \pm 0.03\%$
	$K^s\pi^+\pi^+\pi^-$	$3.10 \pm 0.09\%$
	$K^s\pi^+\pi^0$	$7.36 \pm 0.21\%$



Моделирование - сигнал (D^+ - мезон)

- Монте-Карло генератор, **все распады запрещены** в таблице распадов JETSET **кроме** $D^+ \rightarrow K^- \pi^+ \pi^+$, 600000 распадов $e^+ e^- \rightarrow \psi(3770) \rightarrow D \bar{D}$.
- заложенная в моделирование масса D^+ - 1869.50 МэВ



$$\begin{aligned}
 \mathcal{P}_{sig}(M_{bc}, \Delta E) = & \left(k_1 \left(\exp \left(\frac{-(\Delta E - \langle \Delta E \rangle)^2}{2\sigma_{1\Delta E}^2} \right) \times \frac{\exp \left(\frac{-(M_{bc} - \langle M_{bc} \rangle - cor_1 \times (\Delta E - \langle \Delta E \rangle))^2}{2\sigma_{1M_{bc}}^2} \right)}{\sigma_{1M_{bc}} + \sigma_r M_{bc}} \right) \right. \\
 & + k_2 \exp \left(\frac{-(\Delta E - \langle \Delta E \rangle)^2}{2\sigma_{2\Delta E}^2} \right) \times \exp \left(\frac{-(M_{bc} - \langle M_{bc} \rangle - cor_2 \times (\Delta E - \langle \Delta E \rangle) - M_{bcshift})^2}{2\sigma_{2M_{bc}}^2} \right) \\
 & \left. + |k_3| PDF_{dbck}(M_{bc}, \Delta E, dbck_par) \right) \times \sqrt{E_{beam}^2 - M_{bc}^2}
 \end{aligned}$$

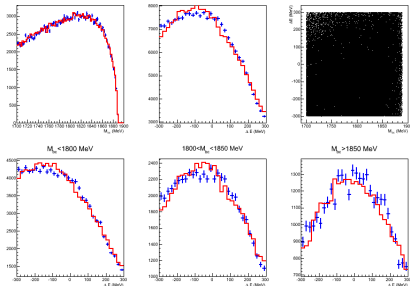
$$\Delta M_{bc} = M_{bc} - \langle M_{bc} \rangle - cor_1 \times (\Delta E - \langle \Delta E \rangle)$$

$$\Delta M_{bc} < 0 : \sigma_{1M_{bc}} = \sigma_{1M_{bc}} = \sqrt{\sigma_{01M_{bc}}^2 + (fr \times \sigma_{3M_{bc}})^2 + (fr^2 \times \sigma_{4M_{bc}})^2}$$

$$\Delta M_{bc} > 0 : \sigma_{1M_{bc}} = \sigma_r M_{bc} = \sqrt{\sigma_{0rM_{bc}}^2 + (fr \times \sigma_{3M_{bc}})^2 + (fr^2 \times \sigma_{4M_{bc}})^2}$$

Моделирование - фон (D^+ - мезон)

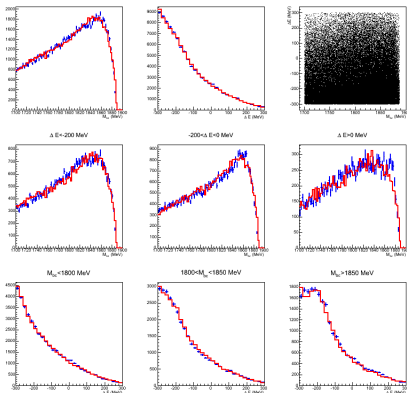
- Комбинаторный фон от событий континуума ($e^+e^- \rightarrow q\bar{q}, q = u, d, s$)
 Монте-Карло генератор (Т. Sjostrand, JETSET 7.4),
 600000 распадов.



$$\mathcal{P}_{uds}(M_{bc}, \Delta E) = \exp(k_1 y^2 - [k_2 + k_3 y^2] \Delta E + k_4 \Delta E^2) \times \sqrt{E_{beam}^2 - M_{bc}^2}$$

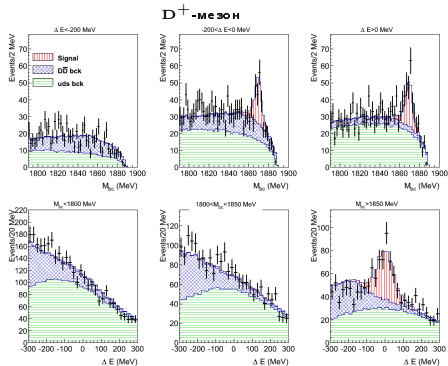
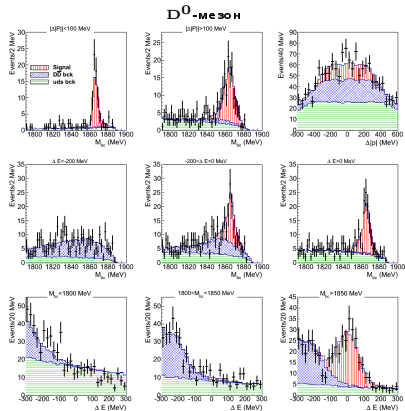
$$y = \sqrt{M_{bc}/E_{beam} - 1}$$

- Монте-Карло генератор, фон от распадов $e^+e^- \rightarrow \psi(3770) \rightarrow DD, D^+ \rightarrow K^-\pi^+\pi^+$ запрещен в таблице распадов JETSET, 600000 распадов.



$$\mathcal{P}_{Dbck}(M_{bc}, \Delta E) = \left(\exp(k_1(M_{bc}/E_{beam} - 1) - k_2 \Delta E) \right. \\
\left. + |k_3| \exp\left(\frac{-(M_{bc} - \langle M_{bc} \rangle)^2}{2\sigma_1^2 M_{bc}} - \frac{(\Delta E - \langle \Delta E \rangle)^2}{2\sigma_1^2 \Delta E} \right) \right) \\
+ |k_4| \exp\left(\frac{-(M_{bc} - \langle M_{bc} \rangle)^2}{2\sigma_2^2 M_{bc}} - \frac{(\Delta E - \langle \Delta E \rangle)^2}{2\sigma_2^2 \Delta E} \right) \times \sqrt{E_{beam}^2 - M_{bc}^2}$$

Экспериментальные данные (2016-2017 гг.)



Систематические ошибки - абсолютная калибровка импульса (α)

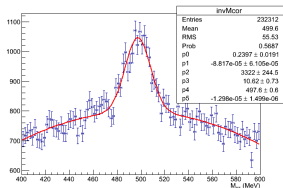
$$M_{bc} = \sqrt{E_{beam}^2 - \left(\sum_i \vec{p}_{true_i} \right)^2}, \quad p_{true} = \alpha(p + \Delta p_c)$$

- 1 Шкала калибруется по тем же событиям, измеряя среднее смещение величины ΔE

$$\Delta E = \sum_i \sqrt{(m_i^2 + \alpha^2 p_{c_i}^2)} - E_{beam}$$

- 2 Или по другим событиям, например $K_S^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$, вероятность распада 69.20%,
 $M_{K_S^0} = 497.611 \pm 0.013$ МэВ

Эксперимент 2016-2017 гг.



Критерии отбора событий:

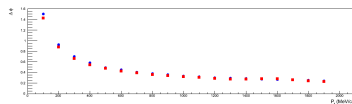
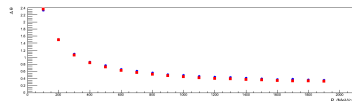
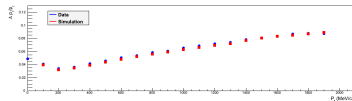
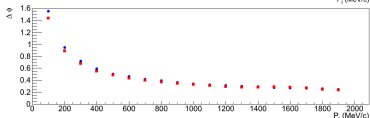
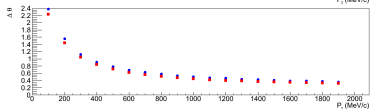
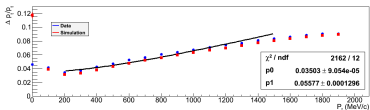
- Число треков ≥ 3 , рассматриваются пары противоположно заряженных треков;
- Ограничение на импульс: $100 < p < 1600$ МэВ;
- Число измерений в трековой системе (хитов) $N_{hits} \geq 24$;
- Точка пересечения треков на расстоянии не менее 0.5 см от места встречи пучков;
- Положение общей вершины $|z| < 13$ см

Результаты калибровки поправочного коэффициента α

	2004 г.	2016-2017 гг.
Смещение значения $\langle \Delta E \rangle$, $D^0 \rightarrow K^- \pi^+$	1.030 ± 0.004	1.013 ± 0.003
Смещение значения $\langle \Delta E \rangle$, $D^+ \rightarrow K^- \pi^+ \pi^+$	1.023 ± 0.003	1.014 ± 0.003
$M_{K_S^0}$, $K_S^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$	1.022 ± 0.002	1.015 ± 0.002

Систематические ошибки - импульсное разрешение

- Импульсное и угловое разрешение (Космика)
- Сравнивались два метода настройки импульсного разрешения в моделировании



```
ksimreal(NsimRate,Run1,Run2);  
kdcsimxt(); kdcsimsigma();  
kdcsimsysterr();  
kdcscalesysterr(1.0);  
kdcscalesysterraz(5.5, 0.8)
```

- Заданная в моделировании систематическая ошибка $x(t)$ в аксиальных и стерео слоях умножается на калибровочные скейлы-факторы

```
KsimSysErr=2;  
ksimreal(NsimRate,Run1,Run2);  
dcalibrationsDB.txt - настройка коэффициентов
```

Пространственное разрешение, полученное процедурой определения $x(t)$, в аксиальных и стерео слоях умножается на калибровочные скейлы-факторы

- **Неопределенность энергии мезона**
 - Значение сечения в измеренных точках варьировалось случайным образом по Гауссу с среднеквадратичным отклонением равным ошибке измеренного сечения
 - Для учета разности энергетических шкал энергии ВЭПП-4М/ВЕРС-2 сечение смещалось на 0.7 МэВ влево
- **Ионизационные потери в веществе**
 - Для вычисления систематики параметры функции для поправки импульса варьировались случайным образом по Гауссу с среднеквадратичным отклонением равным ошибке параметра функции
- **Форма распределения сигнала и фона $D\bar{D}$:**
 - Исключались дополнительные гауссовские пики в параметризации форм
- **Форма распределения фона континуума:**
 - Использовался альтернативный генератор, система пионов с переменной множественностью (генератор 301, авторы: В.А.Таюрский, С.И.Эйдельман)
- При подгонке экспериментальных данных ослаблялся вклад фонов для оценки систематик
- **Идентификация – определяется вероятностью ложной идентификации**
 - АЧС: варьировался отступ от края стенки счетчика до 5 мм и порог на число фотоэлектронов
 - TOF: ограничение на время пролета каонного кандидата варьировалось в пределах одной сигмы разрешения по времени пролёта
 - dE/dx : изменения ограничения на вероятность каона $P(K)$
- **Калибровка энергии пучков**
 - Ошибка в энергии пучка (интерполяции данных) $\Delta_{E_b} \sim 60$ кэВ, и систематика определялась как $\sigma_{E_b} = \Delta_{E_b} / \sqrt{N_{sig}}$, где N_{sig} – число отобранных сигнальных событий.

Результаты предыдущей обработки на КЕДР

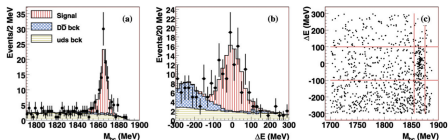
Measurement of D^0 and D^+ meson masses with the KEDR detector, Physics Letters B, V. 686, Issues 2–3, 22 March 2010, p. 84–90

Интегральная светимость $\int L \Delta t = 0.9 \text{ пб}^{-1}$ (данные 2004 г.)

Results of the fit to the $D^0 \rightarrow K^- \pi^+$ data sample.

M_D	$1865.05 \pm 0.33 \text{ MeV}$
$\langle \Delta E \rangle$	$-0.7 \pm 7.3 \text{ MeV}$
Number of signal events	98.4 ± 13.1
Number of $q\bar{q}$ events	18.3 ± 2.4
Number of $D\bar{D}$ events	4.8 ± 0.8

$\alpha = 1.030$



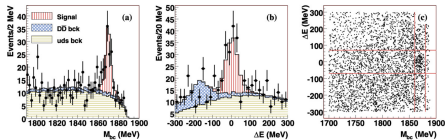
Experimental data (points with the error bars) and the results of the fit (histogram) for the $D^0 \rightarrow K^- \pi^+$ decay. M_{bc} distribution for events with $|\Delta E| = 100 \text{ MeV}$ (a), ΔE distribution for events with $1855 \text{ MeV} < M_{bc} < 1875 \text{ MeV}$ (b), and the experimental $(M_{bc}, \Delta E)$ scatter plot (c).

$$M_{D^0} = 1865.300 \pm 0.330 \pm 0.230$$

Results of the fit to the $D^+ \rightarrow K^- \pi^+ \pi^+$ data sample.

M_D	$1869.58 \pm 0.49 \text{ MeV}$
$\langle \Delta E \rangle$	$2.5 \pm 5.0 \text{ MeV}$
Number of signal events	109.8 ± 15.3
Number of $q\bar{q}$ events	85.3 ± 11.8
Number of $D\bar{D}$ events	11.4 ± 2.2

$\alpha = 1.027$



Experimental data (points with the error bars) and the results of the fit (histogram) for the $D^+ \rightarrow K^- \pi^+ \pi^+$ decay. M_{bc} distribution for events with $|\Delta E| = 70 \text{ MeV}$ (a), ΔE distribution for events with $1800 \text{ MeV} < M_{bc} < 1880 \text{ MeV}$ (b), and the experimental $(M_{bc}, \Delta E)$ scatter plot (c).

$$M_{D^+} = 1869.53 \pm 0.49 \pm 0.20$$

Систематические ошибки

D^0 -мезон

	KEDR2010	kedr2004	kedr2016
Абсолютная калибровка импульса	0.040	0.005	0.005
Описание энергетических потерь в веществе	0.010	0.010	0.005
Импульсное разрешение	0.130	0.022	0.010
Учет излучения в начальном состоянии	0.160	0.020	0.011
Форма распределения сигнала	0.070	0.018	0.025
Форма распределения фона континуума	0.040	0.030	0.033
Форма распределения фона $D\bar{D}$	0.030	0.018	0.023
Идентификация	–	–	0.004
Калибровка энергии пучков	0.010	0.007	0.005
Итого	0.230	0.051	0.051

D^+ -мезон

	KEDR2010	kedr2004	kedr2016
Абсолютная калибровка импульса	0.040	0.005	0.014
Описание энергетических потерь в веществе	0.030	0.032	0.028
Импульсное разрешение	0.100	0.079	0.031
Учет излучения в начальном состоянии	0.110	0.018	0.023
Форма распределения сигнала	0.050	0.059	0.066
Форма распределения фона континуума	0.090	0.075	0.065
Форма распределения фона $D\bar{D}$	0.060	0.041	0.040
Идентификация	–	0.009	0.009
Калибровка энергии пучков	0.010	0.005	0.003
Итого	0.200	0.136	0.113

Абсолютная калибровка импульса

Определяется точностью измерения ΔE и распространяется на неопределенность измерения массы с использованием зависимости $dM_{bc}/d\alpha$.

Импульсное разрешение

Для оценки систематической погрешности, связанной с импульсным и угловым разрешением в моделировании и эксперименте, использован другой способ. При обработке событий моделирования величина импульса дополнительно "размывается" как

$$p' = p(1 + \xi\sigma(p)), \quad (10)$$

где ξ — случайная величина, имеющая нормальное распределение,

$$\sigma(p) = \sqrt{\sigma_s^2 + \sigma_x^2(p[\Gamma\text{ЭВ}/c])^2}. \quad (11)$$

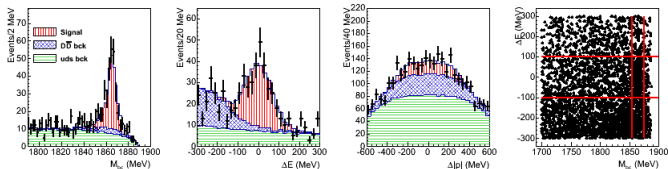
Параметры σ_s и σ_x подбираются для наилучшего согласия разрешения в моделировании и эксперименте. Значения этих параметров можно получить как из исследования космических событий, так и в процессах с пучками (см. ниже). В разделе 3.7 приводится сравнение параметров импульсного разрешения, полученных различными способами. В отличие от введения поправок с помощью процедуры `kdcscscalesystemerraz`, такой способ позволяет изменять параметры импульсного разрешения без повторного запуска реконструкции. Однако он потенциально менее точен, так как не учитывает возможные корреляции между отклонением по импульсу и углу, поэтому для окончательных результатов применяется первый способ.

ISR

Для вычисления сечения данные из PDG-2006: $M = 3771.1 \pm 2.4$ MeV, $\Gamma = 23.0 \pm 2.7$ MeV. Для оценки систематики эти параметры варьировались в пределах своих ошибок, и так же из PDG-2008 взято $\Gamma = 27$ MeV.

Экспериментальные данные (D^0 -мезон) – 2016-2017 г.

- Не используется система АЧС для π/K -идентификации

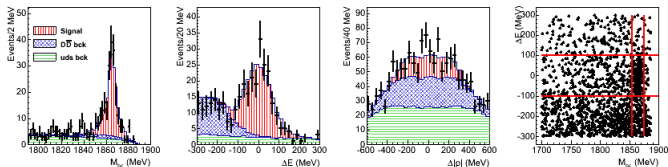


N_{sig}	300.75 ± 22.28
N_{uds}	2450.86 ± 181.59
N_{DD}	725.39 ± 53.74

$$M_{D^0} = 1864.869 \pm 0.300$$

- Используется система АЧС для π/K -идентификации

- ▶ В режиме «Толстый счетчик», $P > 450 \text{ MeV}/c$ & $P < 1500 \text{ MeV}/c$, порог 0.5 ф.э.



N_{sig}	217.08 ± 17.18
N_{uds}	841.80 ± 66.63
N_{DD}	470.12 ± 37.21

$$M_{D^0} = 1864.910 \pm 0.294$$

Sig/Bkg увеличилось в 1.74 раза

Соотношение числа событий в двух наборах данных

D^0 -мезон

Соотношение числа сигнальных событий	Учет отличия в реконструкции	Учет различия в эффективности	Итого
$300.75/118.85 = 2.53$	$354.32/300.75 = 1.18$	$48\%/58\% = 0.83$	3.60

D^+ -мезон

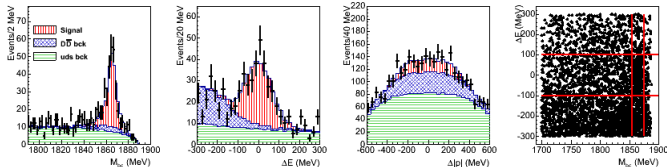
Соотношение числа сигнальных событий	Учет отличия в реконструкции	Учет различия в эффективности	Итого
$476.82/178.75 = 2.67$	1.18	$44\%/58\% = 0.76$	4.14

Экспериментальные данные (D^0 -мезон)

2016-2017 г.

$K_{emc}Allowed=0$, $K_{tof}Allowed=-1$ – используются стрипы калориметра, не используется TOF для восстановления трека

- Не используется система АЧС для π/K -идентификации

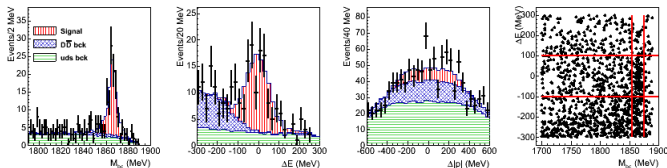


$$M_{D^0} = 1864.869 \pm 0.300$$

N_{sig}	300.75 ± 22.28
N_{uds}	2450.86 ± 181.59
N_{DD}	725.39 ± 53.74

2004 г.

$K_{emc}Allowed=-1$, $K_{tof}Allowed=0$ – не используются стрипы калориметра, используется TOF для восстановления трека



$$M_{D^0} = 1865.305 \pm 0.300$$

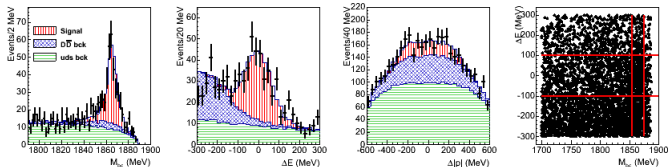
N_{sig}	118.85 ± 12.64
N_{uds}	840.02 ± 89.35
N_{DD}	290.13 ± 30.86

Экспериментальные данные (D^0 -мезон)

Реконструкция событий в двух наборах данных с одинаковыми настройками:
KemcAllowed=-1, KtofAllowed=0 – не используются стрипы калориметра, используется TOF для восстановления трека

2016-2017 г.

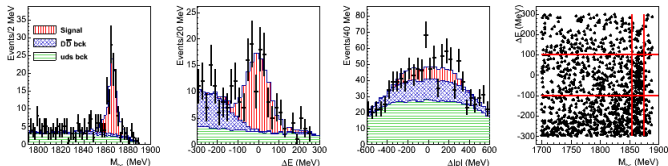
- Не используется система АЧС для π/K -идентификации



$$M_{D^0} = 1864.949 \pm 0.353$$

N_{sig}	354.32 ± 25.75
N_{uds}	3041.93 ± 221.04
N_{DD}	979.75 ± 71.23

2004 г.



$$M_{D^0} = 1865.305 \pm 0.300$$

N_{sig}	118.85 ± 12.64
N_{uds}	840.02 ± 89.35
N_{DD}	290.13 ± 30.86

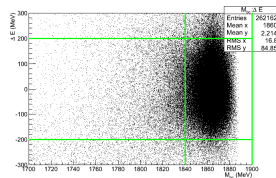
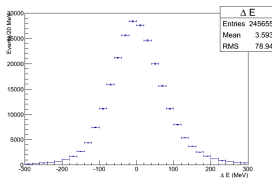
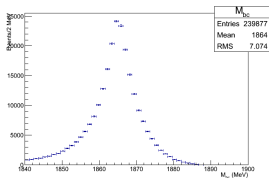
Моделирование - Сигнал ($D^0 \rightarrow K^- \pi^+$)

Реконструкция событий в двух наборах данных с одинаковыми настройками:
KemcAllowed=-1, KtofAllowed=0

2016-2017 г.

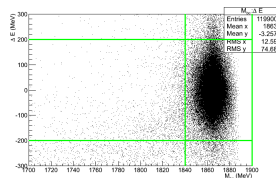
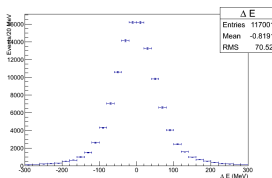
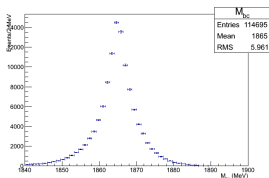
- Не используется система АЧС для π/K -идентификации

500000 распадов $\psi(3770) \rightarrow D^0 \bar{D}^0$, $D^0 \rightarrow K^- \pi^+$, Эффективность реконструкции – 48%



2004 г.

200000 распадов $\psi(3770) \rightarrow D^0 \bar{D}^0$, $D^0 \rightarrow K^- \pi^+$, Эффективность реконструкции – 58%

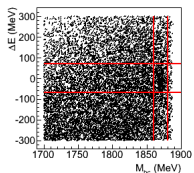
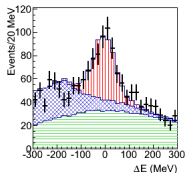
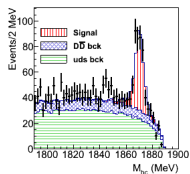


Экспериментальные данные (D^+ -мезон)

2016-2017 г.

KemcAllowed=0, KtofAllowed=-1

- Используются TOF и de/dx для π/K -идентификации



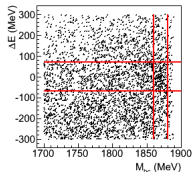
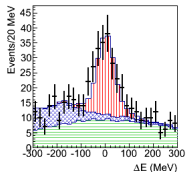
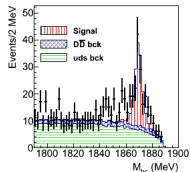
N_{sig}	476.82 ± 34.34
N_{uds}	9198.05 ± 662.48
N_{DD}	3247.13 ± 233.87

$$M_{D^+} = 1869.905 \pm 0.370$$

2004 г.

KemcAllowed=-1, KtofAllowed=0

- Используется de/dx и TOF для π/K -идентификации



N_{sig}	178.75 ± 19.65
N_{uds}	2752.27 ± 302.65
N_{DD}	633.98 ± 69.716

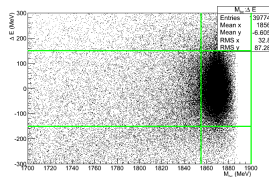
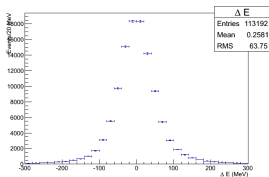
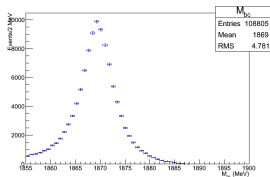
$$M_{D^+} = 1869.472 \pm 0.488$$

Моделирование - Сигнал ($D^+ \rightarrow K^- \pi^+ \pi^+$)

Реконструкция событий в двух наборах данных с одинаковыми настройками:
KmcAllowed=-1, KtofAllowed=0

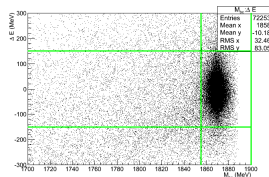
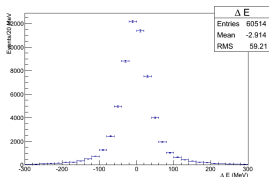
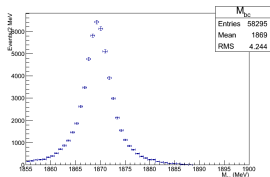
2016-2017 г.

250000 распадов $\psi(3770) \rightarrow D^+ D^-$, $D^+ \rightarrow K^- \pi^+ \pi^+$, Эффективность реконструкции – 44%



2004 г.

100000 распадов $\psi(3770) \rightarrow D^+ D^-$, $D^+ \rightarrow K^- \pi^+ \pi^+$, Эффективность реконструкции – 58%

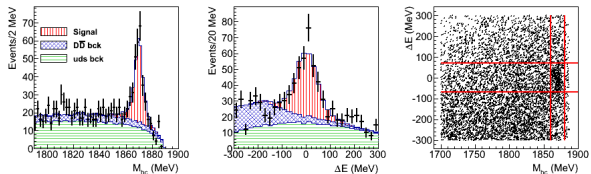


Экспериментальные данные (D^+ -мезон)

2016-2017 г.

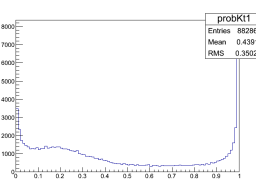
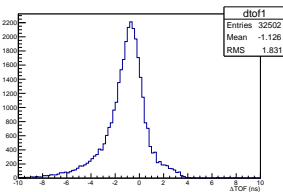
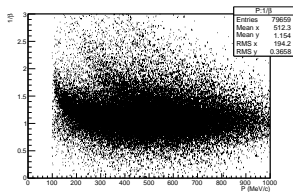
● Используется для π/K -идентификации:

- ▶ TOF: $P < 600$ MeV/c, $\Delta TOF = T_{TOF} - T_{K(PK)} > -0.8$
- ▶ de/dx, $P < 600$ MeV/c, Prob(K) > 0.50
- ▶ АЧС: $P > 450$ MeV/c & $P < 1500$ MeV/c, в режиме «Толстый счетчик», порог 0.5 ф.э.



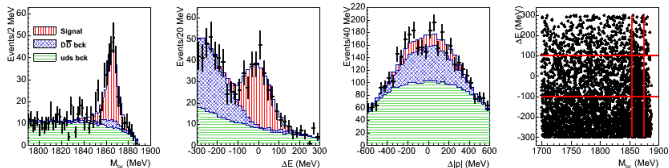
N_{sig}	349.98 ± 29.04
N_{uds}	4653.36 ± 386.11
N_{DD}	1624.65 ± 134.80

$$M_{D^+} = 1869.603 \pm 0.357$$



Экспериментальные данные (D^0 -мезон) – 2016-2017 г.

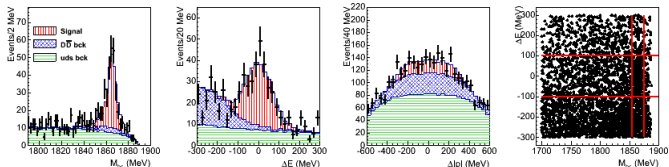
- Не используется система АЧС для π/K -идентификации, без кинематической подгонки



N_{sig}	284.54 ± 21.47
N_{uds}	2936.47 ± 221.55
N_{DD}	834.98 ± 63.00

$$M_{D^0} = 1865.016 \pm 0.401$$

- Не используется система АЧС для π/K -идентификации, с кинематической подгонкой



N_{sig}	300.75 ± 22.28
N_{uds}	2450.86 ± 181.59
N_{DD}	725.39 ± 53.74

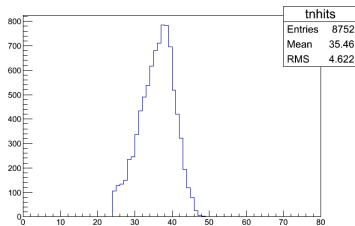
$$M_{D^0} = 1864.869 \pm 0.300$$

Sig/Bkg увеличилось в 1.25

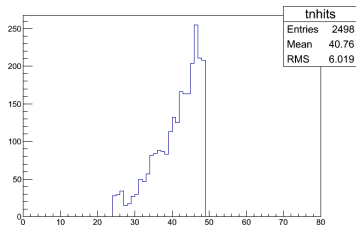
Число ХИТОВ на трек

Реконструкция событий в двух наборах данных с одинаковыми настройками:
KmcAllowed=-1, KtofAllowed=0

2016-2017 г.



2004 г.



Состояние ДК в экспериментальных заходах (2016-2017 г.)

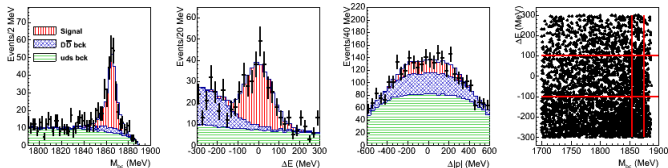
23207	0	0	0	0	0	1	21	65.66
23269	0	0	0	1	1	6	21	3.86
23279	0	0	0	0	0	2	21	157.57
23409	0	0	1	1	1	4	21	68.28
23435	0	0	10	0	1	4	21	110.62
23478	1	3	1	2	0	1	53	93.65
23525	0	0	10	0	3	4	21	75.62
23556	0	0	10	0	0	3	21	48.42
23625	0	0	10	0	0	1	21	267.64
23746	1	1	1	0	0	17	54	23.41
23809	0	0	0	0	0	2	21	136.74
23858	0	0	10	0	0	5	21	24.90
23867	0	0	0	0	0	5	21	54.60
23886	0	0	0	0	0	1	21	3245.30

Экспериментальные данные (D^0 -мезон)

Реконструкция событий в двух наборах данных с одинаковыми настройками:
 $K_{mcAllowed}=0$, $KtofAllowed=-1$

2016-2017 г.

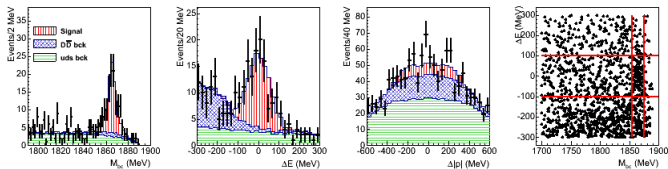
- Не используется система АЧС для π/K -идентификации



$$M_{D^0} = 1864.869 \pm 0.300$$

N_{sig}	300.75 ± 22.28
N_{uds}	2450.86 ± 181.59
N_{DD}	725.39 ± 53.74

2004 г.



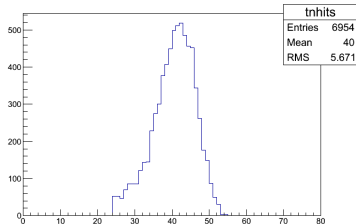
$$M_{D^0} = 1864.45 \pm 0.382$$

N_{sig}	109.77 ± 12.64
N_{uds}	876.38 ± 89.35
N_{DD}	318.85 ± 30.86

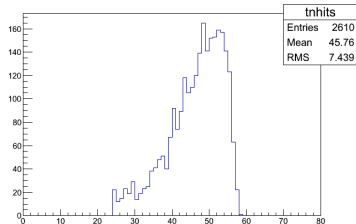
Число ХИТОВ на трек

Реконструкция событий в двух наборах данных с одинаковыми настройками:
 $KemcAllowed=0$, $KtofAllowed=-1$

2016-2017 г.



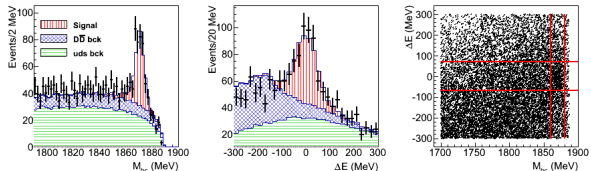
2004 г.



Экспериментальные данные (D^+ -мезон)

2016-2017 г.

KemcAllowed=0, KtofAllowed=-1

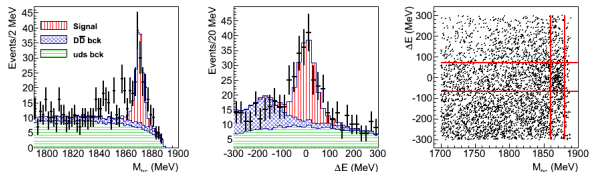


N_{sig}	496.23 ± 37.51
N_{uds}	9069.71 ± 685.65
N_{DD}	3872.06 ± 292.72

$$M_{D^+} = 1870.232 \pm 0.384$$

2004 г.

KemcAllowed=-1, KtofAllowed=0



N_{sig}	174.82 ± 19.11
N_{uds}	2842.24 ± 310.70
N_{DD}	671.94 ± 73.45

$$M_{D^+} = 1870.079 \pm 0.483$$