

Федеральное государственное
бюджетное учреждение науки

Физический институт
имени П.Н. Лебедева



Российской академии наук

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН

НОВЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ФАЗ В РАСПАДАХ ТЯЖЕЛЫХ АДРОНОВ В НЕЙТРАЛЬНЫЕ КАОНЫ

Попов Виталий Евгеньевич

Научный руководитель:
д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН, Пахлов Павел Николаевич

ПЛАН ДОКЛАДА

- Основные положения;
- Мотивация;
- Статус измерений сильной фазы в распаде $D^0 \rightarrow K^- \pi^+$;
- Метод 1: измерение сильных фаз с использованием полулептонных распадов каонов;
- Метод 2: измерение сильных фаз с использованием распада $K_S^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$;
- Оценка потенциальной точности предложенных методов для эксперимента Belle II и эксперимента на Супер $c - \tau$ -фабрике;
- Измерение сильных фаз в распадах $D^+ \rightarrow K_S^0 \pi^+$, $D_s^+ \rightarrow K_S^0 K^+$, $D^0 \rightarrow K_S^0 \pi^0$ в эксперименте Belle;
- Настройка работы системы регистрации мюонов и долгоживущих нейтральных каонов (EKLM) эксперимента Belle II.

ПОЛОЖЕНИЯ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

- Новый метод измерения разности сильных фаз в распадах очарованных адронов с использованием полулептонных распадов нейтральных каонов. Феноменологический анализ эволюции суперпозиции странности нейтральных каонов, рожденных в распадах очарованных адронов, в собственные состояния аромата;
- Разработка метода экспериментального восстановления полулептонных распадов нейтральных каонов с потерянным нейтрино в конечном состоянии и оценка его эффективности и выбор критериев подавления фона;
- Новый метод измерения разности сильных фаз в распадах очарованных адронов с использованием распада $K^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$. Феноменологический анализ эволюции суперпозиции нейтральных каонов, рожденных в распадах тяжелых адронов, в CP собственные состояния

ПОЛОЖЕНИЯ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

- Теоретические предсказания для значений разностей сильных фаз в распадах $D_s^\pm \rightarrow K_S K^\pm$, $D^+ \rightarrow K_S \pi^+$ и $D^{*+} \rightarrow (K_S \pi^0)_D \pi^+$, полученные на основе $SU(3)_f$ симметрии ароматов;
- Обоснование требований для перспективных экспериментальных установок для достижения максимальной точности, используя предложенные методы;
- Оценка потенциальной точности для обоих методов в эксперименте Belle II и эксперименте на Супер $c - \tau$ фабрике (СЧТФ);
- Оценка систематической погрешности, вносимой регенерацией нейтральных каонов на веществе детектора, в измерение разности сильных фаз. Оценка значения неопределенности, связанной со смешиванием в системе $D^0 - \bar{D}^0$;
- Разработка и автоматизация метода калибровки кремниевых фотоумножителей для системы регистрации мюонов и долгоживущих нейтральных каонов эксперимента Belle II. Оценка фонов ускорителя Super KEKB в мюонной системе.

ЛИЧНЫЙ ВКЛАД

Выполнил феноменологический анализ эволюции суперпозиции странности нейтральных каонов, рожденных в распадах очарованных адронов, и показал возможность измерения разности сильных фаз рождения с помощью анализа зависящей от времени вероятности распада каонов как в полуплептонном конечном состоянии, так и в конечном состоянии $\pi^+\pi^-$. Автор подготовил публикации по результатам работы, представил несколько докладов.

Выполнил анализ данных эксперимента Belle и показал применимость разработанного им метода в реальном эксперименте.

Производил настройку считывающей электроники для системы сбора данных системы регистрации мюонов и долгоживущих нейтральных каонов эксперимента Belle II, в котором будут осуществлены предложенные измерения.

ПУБЛИКАЦИИ

- P. Pakhlov, V. Popov, “Measurement of D^0 - \bar{D}^0 mixing parameters using semileptonic decays of neutral kaon”, JHEP 02, 160 (2020);
- V. Popov, “Strong-Phase Measurement in Charmed-Hadron Decays in Belle II Experiment and $c - \tau$ Factory”, Phys. Atom. Nucl. 83, no.6, 980-983 (2020);
- E. Kou, ..., V. Popov, et al. Belle II, “The Belle II Physics Book”, PTEP 2019, no.12, 123C01 (2019);
- P. Pakhlov, V. Popov, “Time-dependent study of $K_S \rightarrow \pi^+\pi^-$ decays for flavour physics measurements”, JHEP 09, 092 (2021)

МОТИВАЦИЯ

Нарушение CP в Кабиббо-подавленных (CS) распадах:

$$\Delta A_{CP} = A_{CP}(K^+K^-) - A_{CP}(\pi^+\pi^-) = (-15.4 \pm 2.9) \times 10^{-4}$$

Phys. Rev. Lett. **122**, no.21,211803(2019) 

Зависящее от времени CP -нарушение отсутствует:

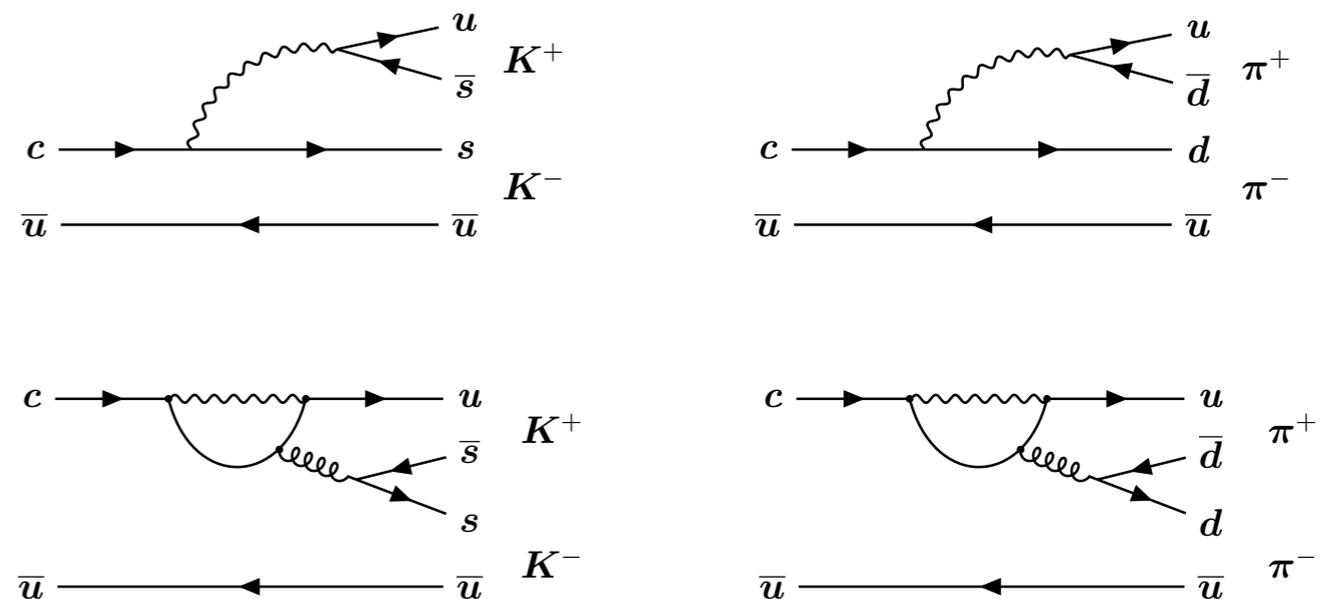
$$\Delta Y_{KK} = (-2.3 \pm 1.5 \pm 0.3) \times 10^{-4}$$

$$\Delta Y_{\pi\pi} = (-4.0 \pm 2.8 \pm 0.4) \times 10^{-4}$$

Phys. Rev. D **104** 072010(2021) 

Древесные и пингвинные диаграммы

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



Оценка CP -нарушения в рамках СМ — $\mathcal{O}(\alpha_s/\pi) \frac{V_{ub} V_{cb}^*}{V_{us} V_{cs}^*} \sim 10^{-4}$.

Является ли это проявлением Новой физики (НФ) или такой эффект может быть объяснен в рамках Стандартной модели (СМ)?

JHEP **04**(2012), 060

МОТИВАЦИЯ

“С другой стороны столь же обилен поток теоретических работ, посвященных описанию двухчастичных нелептонных распадов. Как всегда, это означает, что ни в одной из работ не было дано полное решение проблемы, которая оказалась весьма сложной.”

М. Шифман, УФН **151** 193–227 (1987)

$SU(3)_f$ подход позволяет обойтись без прямого вычисления адронного матричного элемента и значительно упрощает описание. При таком подходе диаграммы, соответствующие вкладам различных токов, организуются в топологические группы и вкладов различных топологий определяются на основании $SU(3)_f$ -симметрии ароматов

Кабиббо-разрешенные распады (CF):

$$\begin{aligned} A_{D^0 \rightarrow K^- \pi^+} &= \frac{1}{5}(3T - 2C - K)e^{i\delta_{1/2}} + \frac{2}{5}(T + C + \kappa) \\ A_{D^0 \rightarrow \bar{K}^0 \pi^0} &= -\frac{1}{5\sqrt{2}}(3T - 2C - K)e^{i\delta_{1/2}} + \frac{3}{5\sqrt{2}}(T + C + \kappa) \\ A_{D^+ \rightarrow \bar{K}^0 \pi^+} &= (T + C + \kappa) \\ A_{D_s^+ \rightarrow \bar{K}^0 K^+} &= -\frac{1}{5}(2T - 3C + \Delta)e^{i\delta'_1} + \frac{2}{5}(T + C + \kappa), \end{aligned}$$

Дважды Кабиббо-подавленные распады (DCS):

$$\begin{aligned} A_{D^0 \rightarrow K^+ \pi^-} &= -\frac{1}{5}(3T - 2C + K)e^{i\delta_{1/2}} - \frac{2}{5}(T + C + \kappa') \\ A_{D^0 \rightarrow K^0 \pi^0} &= \frac{1}{5\sqrt{2}}(3T - 2C + K)e^{i\delta_{1/2}} - \frac{3}{5\sqrt{2}}(T + C + \kappa') \\ A_{D^+ \rightarrow K^0 \pi^+} &= \frac{1}{5}(2T - 3C + \Delta - K')e^{i\delta_{1/2}} - \frac{2}{5}(T + C + \kappa') \\ A_{D_s^+ \rightarrow K^0 K^+} &= -(T + C + \kappa'). \end{aligned}$$

Для модели объясняющей CP-нарушение взаимодействиями в конечном состоянии:

$$\delta_s^{0+} = (108 \pm 4)^\circ \quad \delta^{0+} = (-76 \pm 4)^\circ \quad \delta^{00} = (-3 \pm 6)^\circ$$

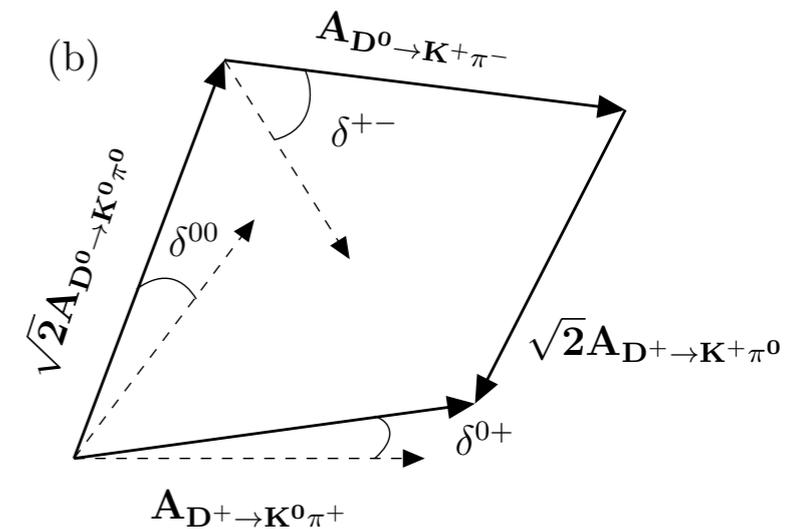
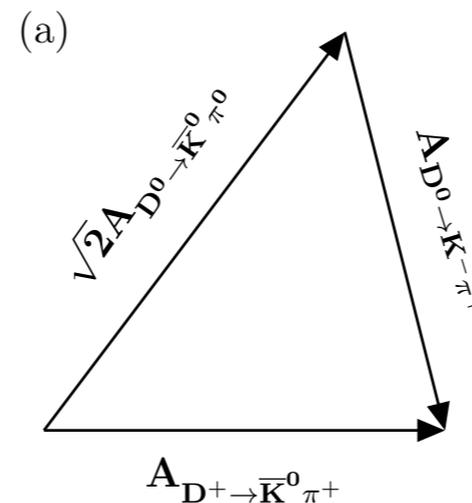
ПРИМЕНИМОСТИ СИММЕТРИИ АРОМАТОВ

Проверку адекватности подхода, основанного на симметрии ароматов можно выполнить с использованием правил сумм для распадов очарованных адронов.

$SU(2)_f$ мультиплеты

$$\Pi_j^i = \begin{pmatrix} \frac{\pi^0}{\sqrt{2}} & \pi^+ \\ \pi^- & -\frac{\pi^0}{\sqrt{2}} \end{pmatrix}, \quad K^i = \begin{pmatrix} K^+ \\ K^0 \end{pmatrix},$$

$$\bar{K}_i = \begin{pmatrix} K^- & \bar{K}^0 \end{pmatrix}, \quad D^i = \begin{pmatrix} D^0 \\ D^+ \end{pmatrix}.$$



Правила сумм:

$$\sqrt{2} A_{D^0 \to \bar{K}^0 \pi^0} + A_{D^0 \to K^- \pi^+} - A_{D^+ \to \bar{K}^0 \pi^+} = 0$$

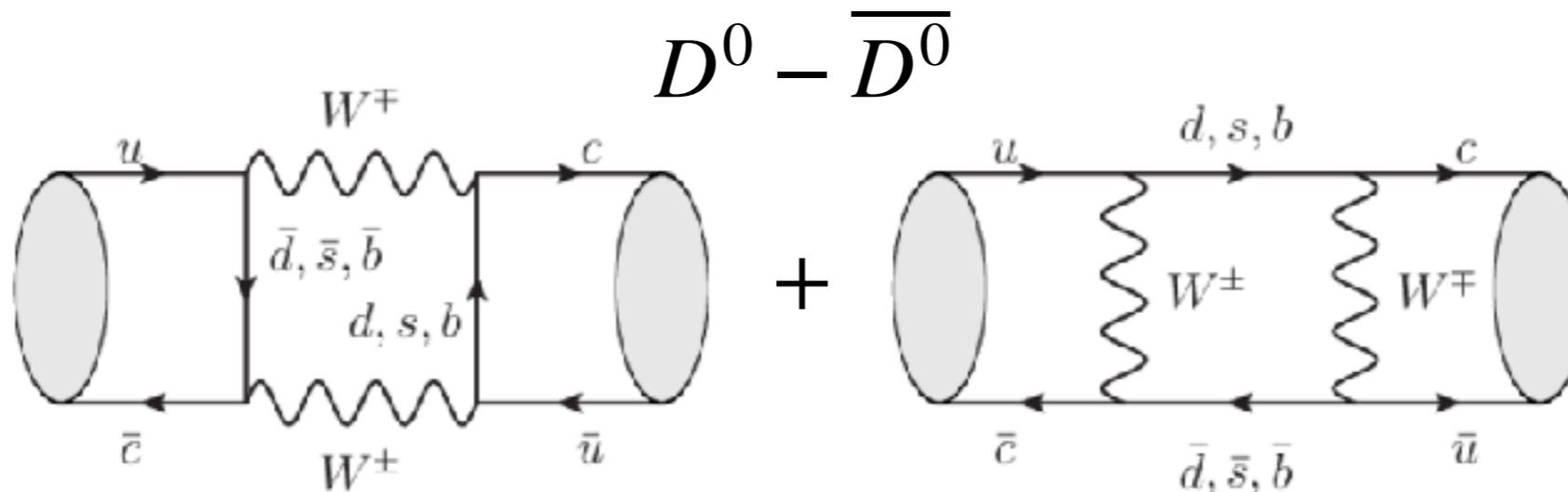
$$\sqrt{2} A_{D^0 \to K^0 \pi^0} + A_{D^0 \to K^+ \pi^-} + \sqrt{2} A_{D^+ \to K^+ \pi^0} - A_{D^+ \to K^0 \pi^+} = 0$$

$SU(2)$

$$\varepsilon = \frac{m_u - m_d}{\Lambda_{QCD}} \sim 1\%$$

Y. Grossman, D.J. Robinson
JHEP **1304**, 067 (2013)

МОТИВАЦИЯ: СМЕШИВАНИЕ ОЧАРОВАННЫХ АДРОНОВ



Вероятность распада D^0 -мезонов для распадов неправильного знака:

$$R^+(t) = \left(r_D + \left| \frac{q}{p} \right| \sqrt{r_D} (y' \cos \phi_D - x' \sin \phi_D) \Gamma t + \left| \frac{q}{p} \right|^2 \frac{(\Gamma t)^2}{4} (x^2 + y^2) \right) e^{-\Gamma t},$$

$$R^-(t) = \left(\bar{r}_D + \left| \frac{p}{q} \right| \sqrt{\bar{r}_D} (y' \cos \phi_D + x' \sin \phi_D) \Gamma t + \left| \frac{p}{q} \right|^2 \frac{(\Gamma t)^2}{4} (x^2 + y^2) \right) e^{-\Gamma t},$$

$$D^{*\pm} \rightarrow D^0 (\rightarrow K^{\mp} \pi^{\pm}) \pi_s^{\pm}$$

$$x' \equiv x \cos(\delta_{K\pi}) + y \sin(\delta_{K\pi});$$

$$y' \equiv y \cos(\delta_{K\pi}) - x \sin(\delta_{K\pi});$$



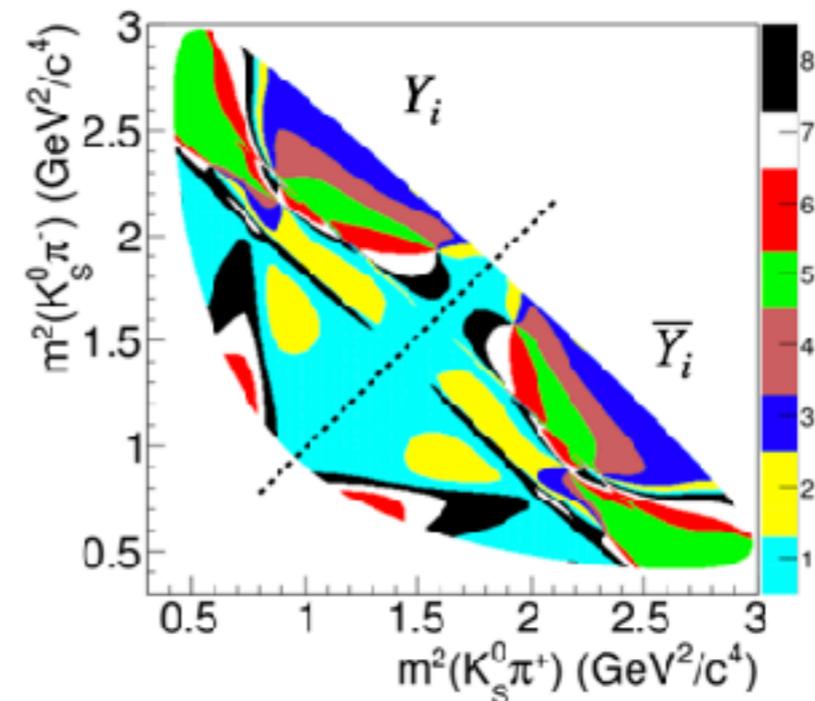
Для измерения истинных параметров смешивания необходимо независимое измерение параметров DCS распадов.

СТАТУС ИЗМЕРЕНИЙ

Измерение разности сильных фаз возможно в условиях экспериментов CLEO-c и BESIII, где D^0 -мезоны рождаются в квантово-запутанном состоянии.

$$\psi(3770) \rightarrow D\bar{D} : \quad \Psi_{D\bar{D}} = \frac{1}{\sqrt{2}} [|D_{phys}^0(t)\rangle |\bar{D}_{phys}^0(t)\rangle - |\bar{D}_{phys}^0(t)\rangle |D_{phys}^0(t)\rangle]$$

Mode	Correlated	Uncorrelated	
$K^-\pi^+$	$1 + R_{WS}$	$1 + R_{WS}$	
S_+	2	2	
S_-	2	2	
Y_k	$1 + Q_k$	$1 + Q_k$	
$K^-\pi^+, K^-\pi^+$	$R_M[(1 + R_{WS})^2 - 4r \cos \delta (r \cos \delta + y)]$	R_{WS}	} $\cos \delta$
$K^-\pi^+, K^+\pi^-$	$(1 + R_{WS})^2 - 4r \cos \delta (r \cos \delta + y)$	$1 + R_{WS}^2$	
$K^-\pi^+, S_+$	$1 + R_{WS} + 2r \cos \delta + y$	$1 + R_{WS}$	
$K^-\pi^+, S_-$	$1 + R_{WS} - 2r \cos \delta - y$	$1 + R_{WS}$	
$K^-\pi^+, \ell^-$	$1 - ry \cos \delta - rx \sin \delta$	1	
$K^-\pi^+, \ell^+$	$r^2(1 - ry \cos \delta - rx \sin \delta)$	R_{WS}	
$K^-\pi^+, \bar{Y}_i$	$(1 + R_{WS})(1 + Q_i) - r^2 - \rho_i^2$	$1 + R_{WS}Q_i$	} $\sin \delta$
$K^-\pi^+, Y_i$	$(1 + R_{WS})(1 + Q_i) - 1 - r^2 \rho_i^2$	$R_{WS} + Q_i$	



Phys. Rev. D **86**,112001(2012)

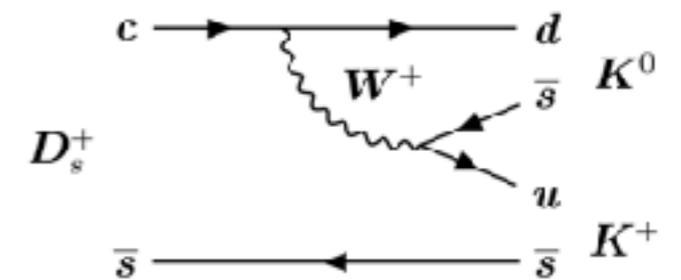
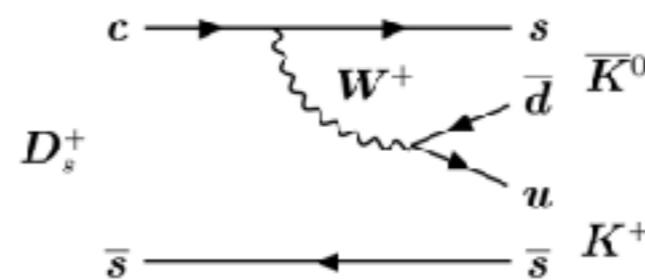
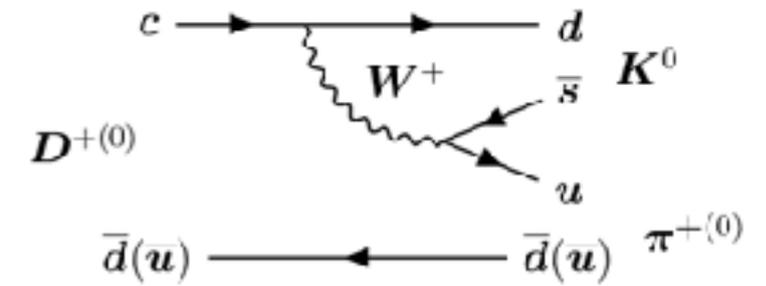
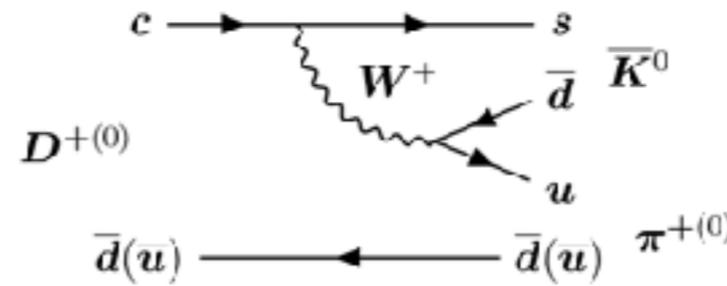
Year	Experiment	Parameter	Fit Result	Comment
2012	CLEO-c	R_D	$(0.533 \pm 0.107 \pm 0.045)\%$	0.82 fb ⁻¹ at $\Psi(3770)$ resonance
		χ^2	$(0.06 \pm 0.23 \pm 0.11)\%$	
		y	$(4.2 \pm 2.0 \pm 1.0)\%$	
		$\cos \delta$	$0.81^{+0.22}_{-0.18}{}^{+0.07}_{-0.05}$	
		$\sin \delta$	$-0.01 \pm 0.41 \pm 0.04$	
2014	BESIII	$\cos \delta$	$1.02 \pm 0.11 \pm 0.06 \pm 0.01$	2.92 fb ⁻¹ at $\Psi(3770)$ resonance

ПОЛУЛЕПТОННЫЕ РАСПАДЫ КАОНОВ

Начальное состояние

— суперпозиция $a | K^0 \rangle + b | \bar{K}^0 \rangle$:

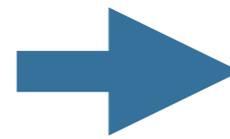
- D^+/D^- , $D^+ \rightarrow \bar{K}^0 \pi^+$,
- D^0/\bar{D}^0 , $D^0 \rightarrow \bar{K}^0 \pi^0$,
- D_s^+/D_s^- , $D_s^+ \rightarrow \bar{K}^0 K^+$,



Уравнение Шрёдингера:
$$i \frac{\partial}{\partial t} \begin{pmatrix} K^0(t) \\ \bar{K}^0(t) \end{pmatrix} = \left(\mathbf{M} - \frac{i}{2} \mathbf{\Gamma} \right) \begin{pmatrix} K^0(t) \\ \bar{K}^0(t) \end{pmatrix}$$

$$|K^0(t)\rangle = \frac{1-\varepsilon}{\sqrt{2}} e^{-i\lambda_S t} |K_S\rangle + \frac{1-\varepsilon}{\sqrt{2}} e^{-i\lambda_L t} |K_L\rangle$$

$$|\bar{K}^0(t)\rangle = \frac{1+\varepsilon}{\sqrt{2}} e^{-i\lambda_S t} |K_S\rangle - \frac{1+\varepsilon}{\sqrt{2}} e^{-i\lambda_L t} |K_L\rangle$$



$$|K^0(t)\rangle = g_+(t) |K^0\rangle + \left(\frac{q}{p} \right) g_-(t) |\bar{K}^0\rangle$$

$$|\bar{K}^0(t)\rangle = g_+(t) |\bar{K}^0\rangle - \left(\frac{p}{q} \right) g_-(t) |K^0\rangle$$

СТАТУС ИЗМЕРЕНИЙ

Для начальной суперпозиции $a|K^0\rangle + b|\bar{K}^0\rangle$ зависящие от времени вероятности распада

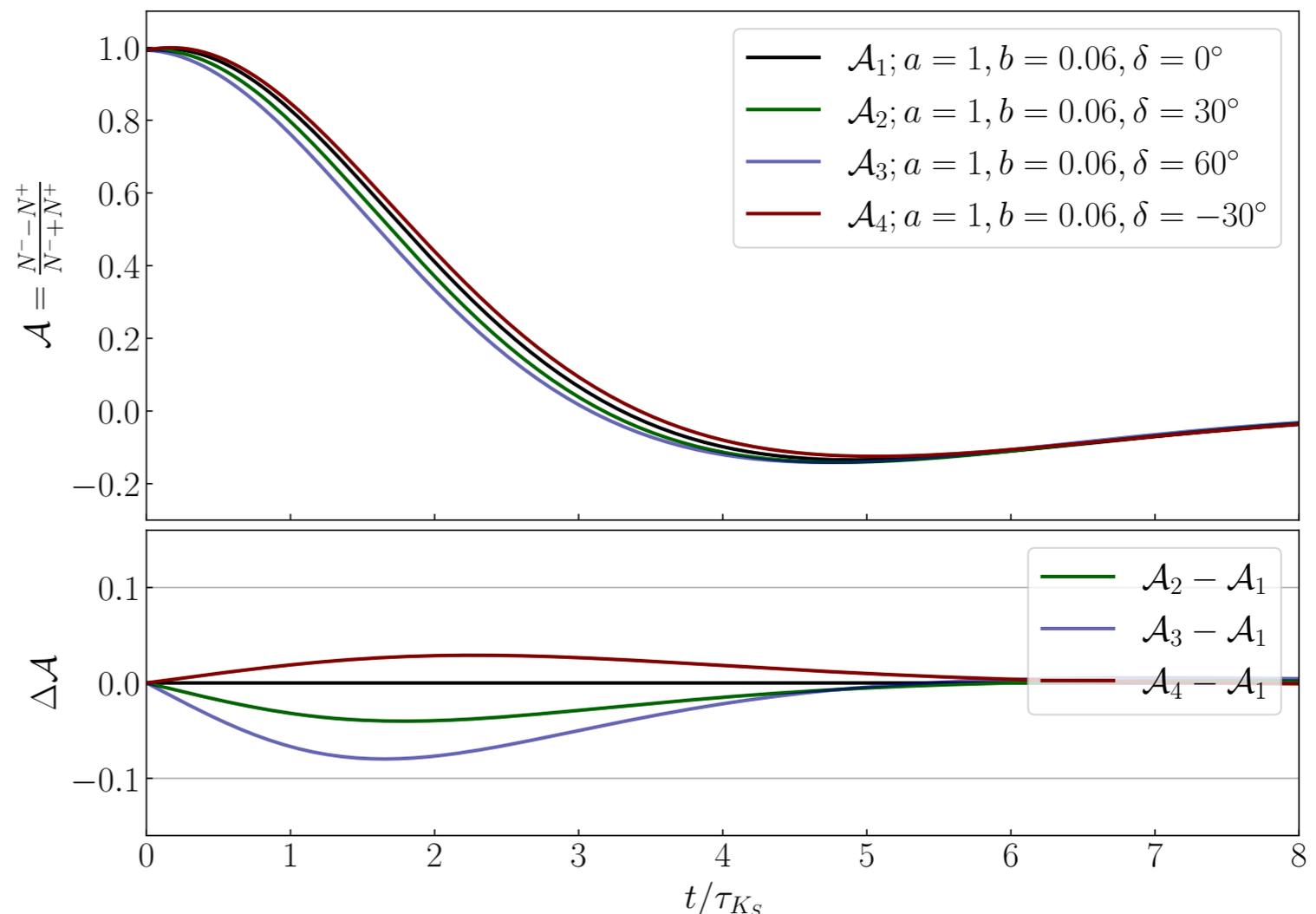


$$R(t) = \frac{1}{4} e^{-\Gamma t} |A_{l^+}|^2 \left[|a|^2 K_+ + \left| b \frac{p}{q} \right|^2 K_- + 2 \operatorname{Re} \left\{ ab \frac{p}{q} (1 - e^{\Delta\Gamma t} + 2i \sin(\Delta m t) e^{\frac{1}{2} \Delta\Gamma t}) \right\} \right]$$

$$\bar{R}(t) = \frac{1}{4} e^{-\Gamma t} |A_{l^-}|^2 \left[|a|^2 K_- + \left| b \frac{q}{p} \right|^2 K_+ + 2 \operatorname{Re} \left\{ ab \frac{q}{p} (1 - e^{\Delta\Gamma t} + 2i \sin(\Delta m t) e^{\frac{1}{2} \Delta\Gamma t}) \right\} \right]$$

$$K_{\pm} = 1 \pm 2 \cos(\Delta m t) e^{\frac{1}{2} \Delta\Gamma t} + e^{\Delta\Gamma t}$$

Третий член в выражениях представляет собой интерференцию полуплептонных распадов, рожденных в начальный момент времени K^0 - и \bar{K}^0 -мезонов. Сильная фаза, δ , входит в оба выражения и благодаря интерференции K^0 - \bar{K}^0 -амплитуд такое измерение можно выполнить без тригонометрической неопределенности.



РЕКОНСТРУКЦИЯ

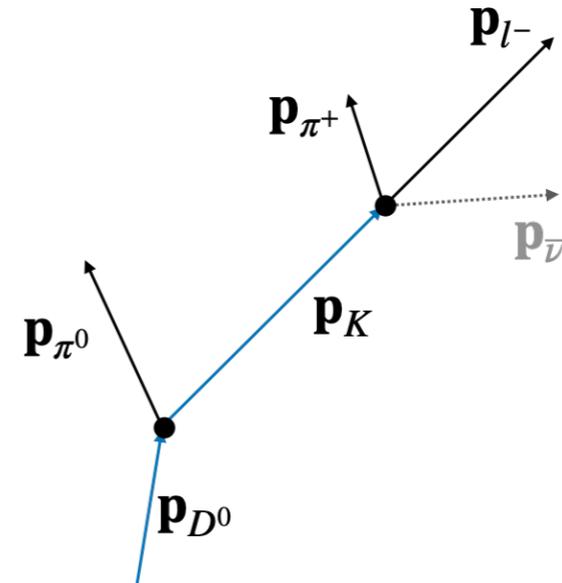
Из закона сохранения 4-импульса:

$$(P_{K^0} - P_{\pi l})^2 = P_\nu^2$$

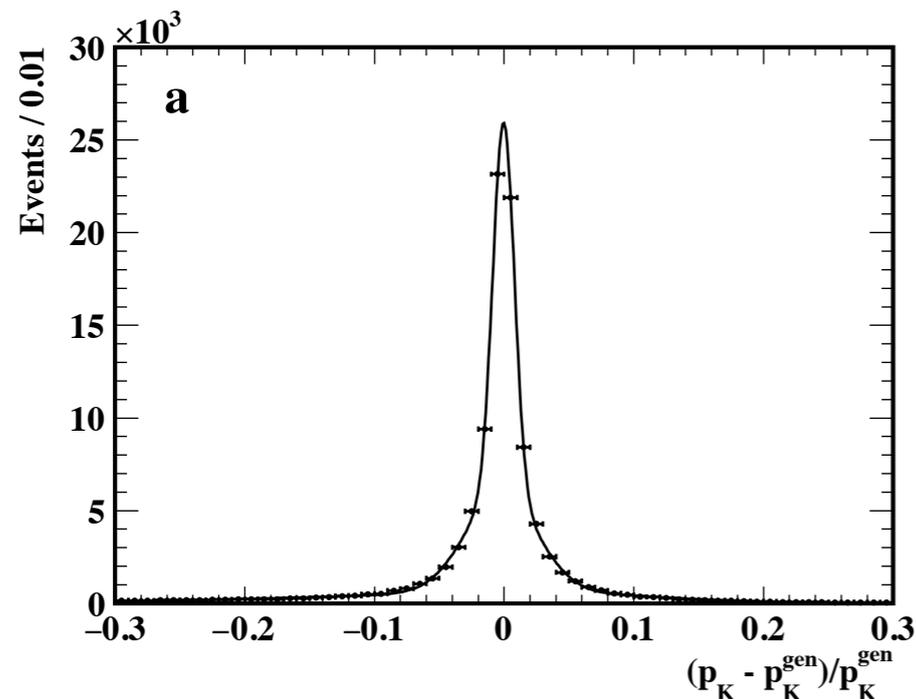
Можно получить два решения для импульса каона:

$$|\mathbf{p}_K|_{(1,2)} = -\frac{p_{\pi l} \cos \theta (m_K^2 + m_{\pi l}^2) \pm \sqrt{t}}{2(p_{\pi l}^2 \cos^2 \theta - E_{\pi l}^2)},$$

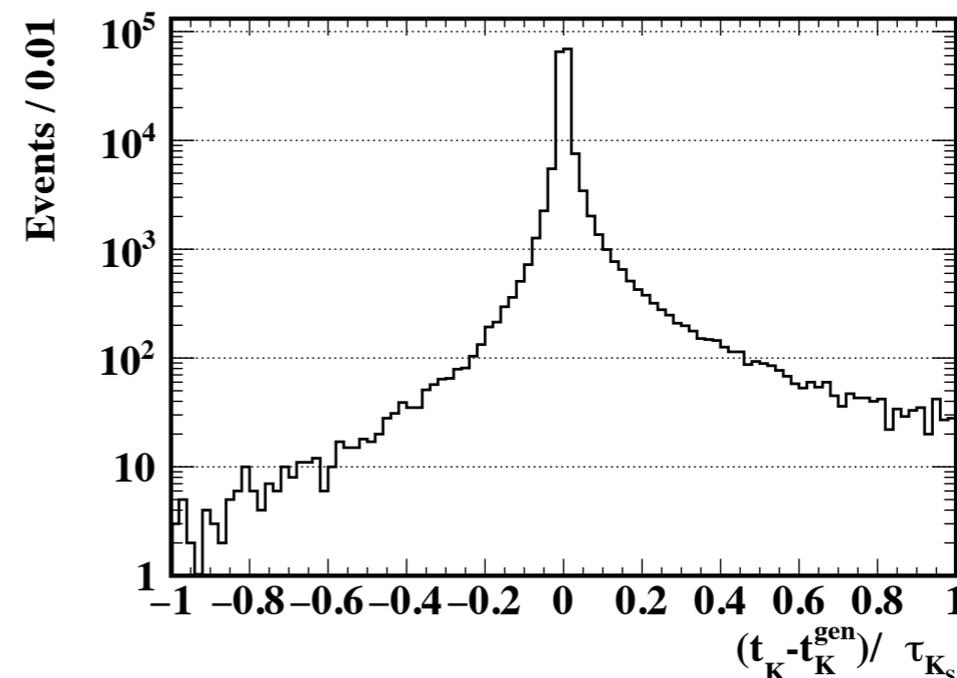
$$t = E_{\pi l}^2 (4m_K^2 p_{\pi l}^2 \cos^2 \theta - 4E_{\pi l}^2 m_K^2 + m_{\pi l}^2 (m_K^2 + m_{\pi l}^2))$$



Импульсное разрешение K^0



Разрешение по времени жизни K^0

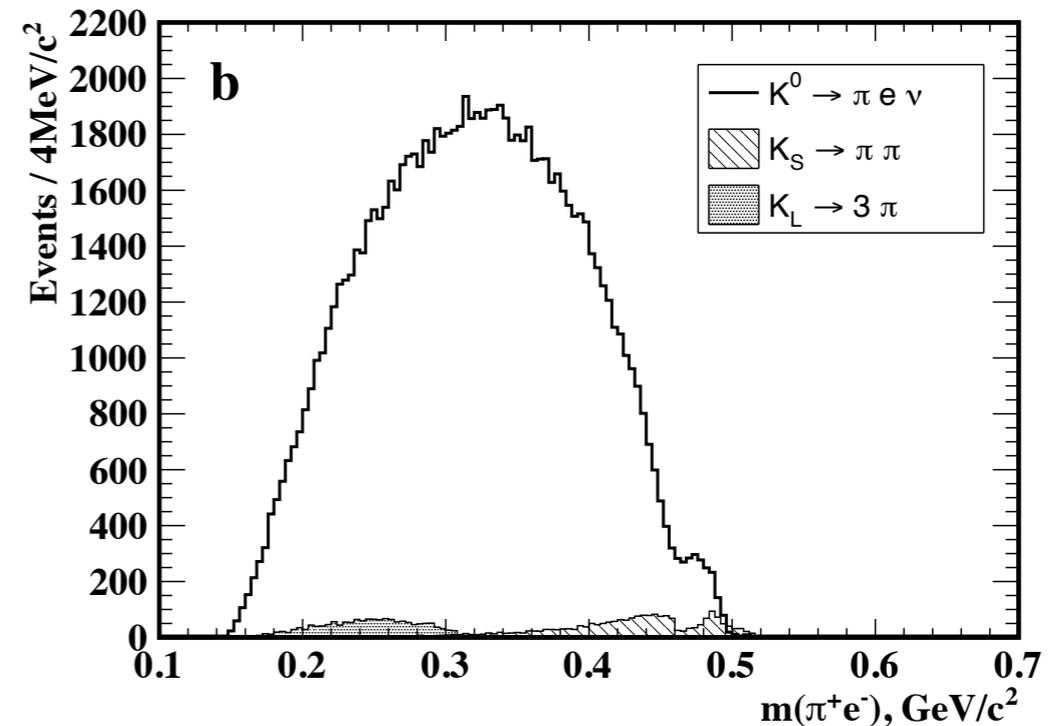
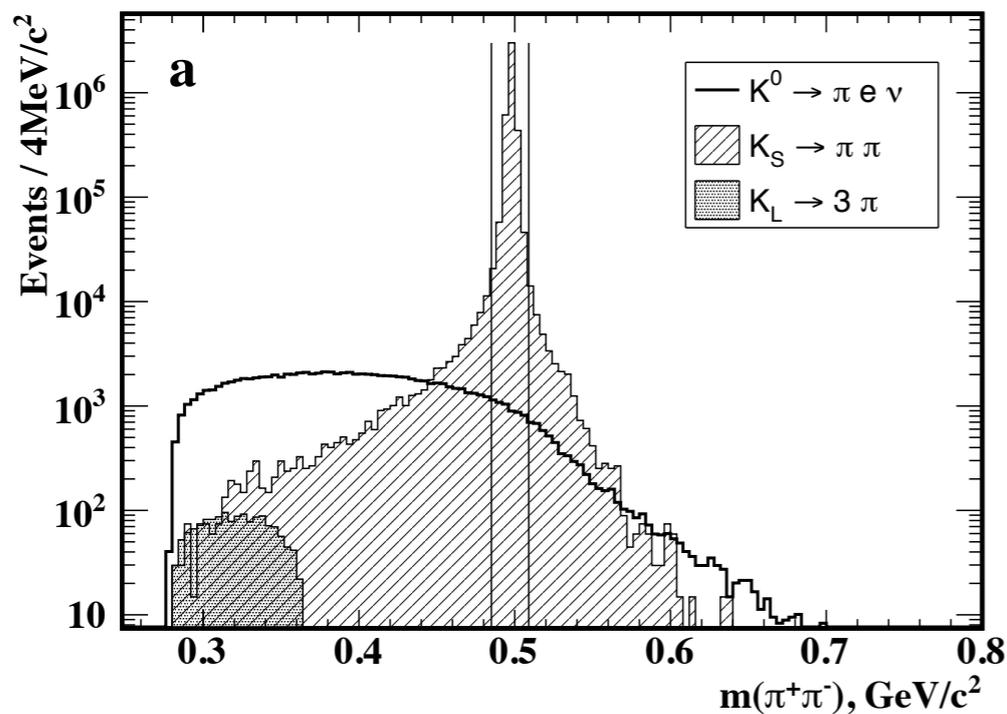


ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ ФОНА

- Фон из первичной вершины;

На малых времена жизни нет чувствительности к измерению разности сильных фаз и фон из первичной вершины можно эффективно подавить .

- Истинные вторичные вершины: $K_S \rightarrow \pi^+\pi^-$, $K_L \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$.



Требование идентификации ($\text{misID} \sim 1..2\%$) и вето на K_S позволяют эффективно подавить фон от истинных вторичных вершин.

CP-НАРУШЕНИЕ В СМЕШИВАНИИ НЕЙТРАЛЬНЫХ КАОНОВ

Амплитуды:

$$|K^0(t)\rangle = \frac{1 - \varepsilon}{\sqrt{2}} e^{-i\lambda_S t} |K_S\rangle + \frac{1 - \varepsilon}{\sqrt{2}} e^{-i\lambda_L t} |K_L\rangle$$

$$|\bar{K}^0(t)\rangle = \frac{1 + \varepsilon}{\sqrt{2}} e^{-i\lambda_S t} |K_S\rangle - \frac{1 + \varepsilon}{\sqrt{2}} e^{-i\lambda_L t} |K_L\rangle$$

Зависящая от времени вероятность распада:

$$\bar{\mathcal{R}}(\mathcal{R}) \equiv \frac{1 \pm 2\text{Re}(\varepsilon)}{2} |A_{fS}|^2 \left[e^{-\Gamma_S t} + |\eta_{+-}|^2 e^{-\Gamma_L t} - \mp 2|\eta_{+-}| e^{-\frac{1}{2}(\Gamma_L + \Gamma_S)t} \cos(\Delta m t - \varphi_{+-}) \right]$$

CPLEAR results:

Phys.Lett.B 456 (1999)

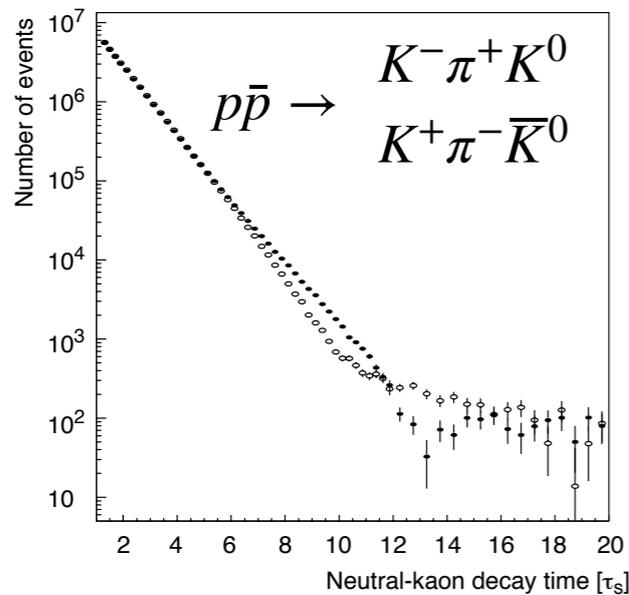
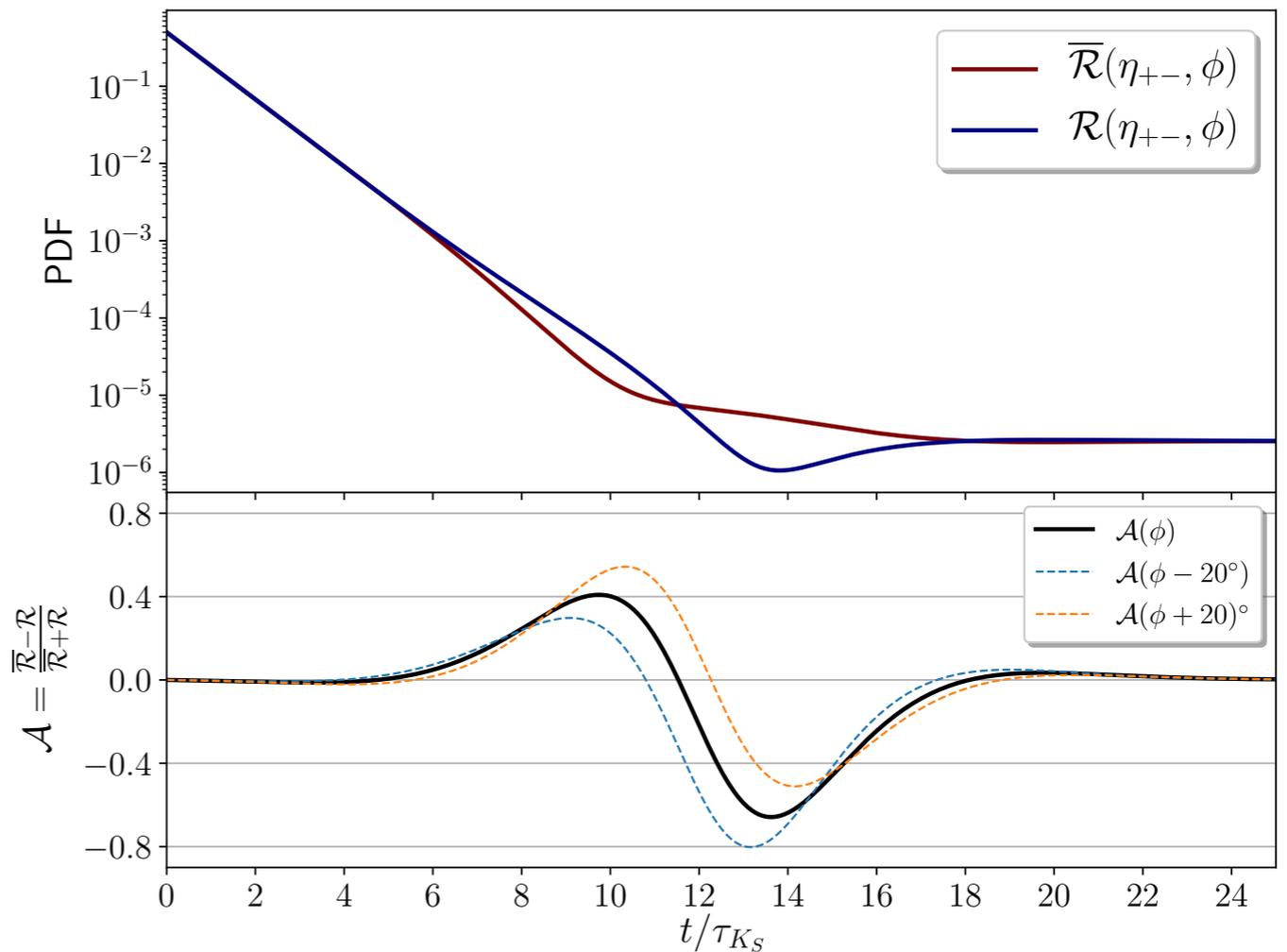


Fig. 16. The measured decay rates for K^0 (\circ) and \bar{K}^0 (\bullet) after acceptance correction and background subtraction

World average:

$$|\eta_{+-}| = (2.232 \pm 0.011) \times 10^{-3}$$

$$\varphi_{+-} = 43.51 \pm 0.05$$



ИЗМЕРЕНИЕ СИЛЬНЫХ ФАЗ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ $K_S \rightarrow \pi^+ \pi^-$

Для процесса $D \rightarrow K_S X$ амплитуды:

$$\langle f | H_{wk} | D^0 \rangle = \langle f | H_{wk} | \bar{K}^0 \rangle + \sqrt{r_D} e^{i\delta} \langle f | H_{wk} | K^0 \rangle$$

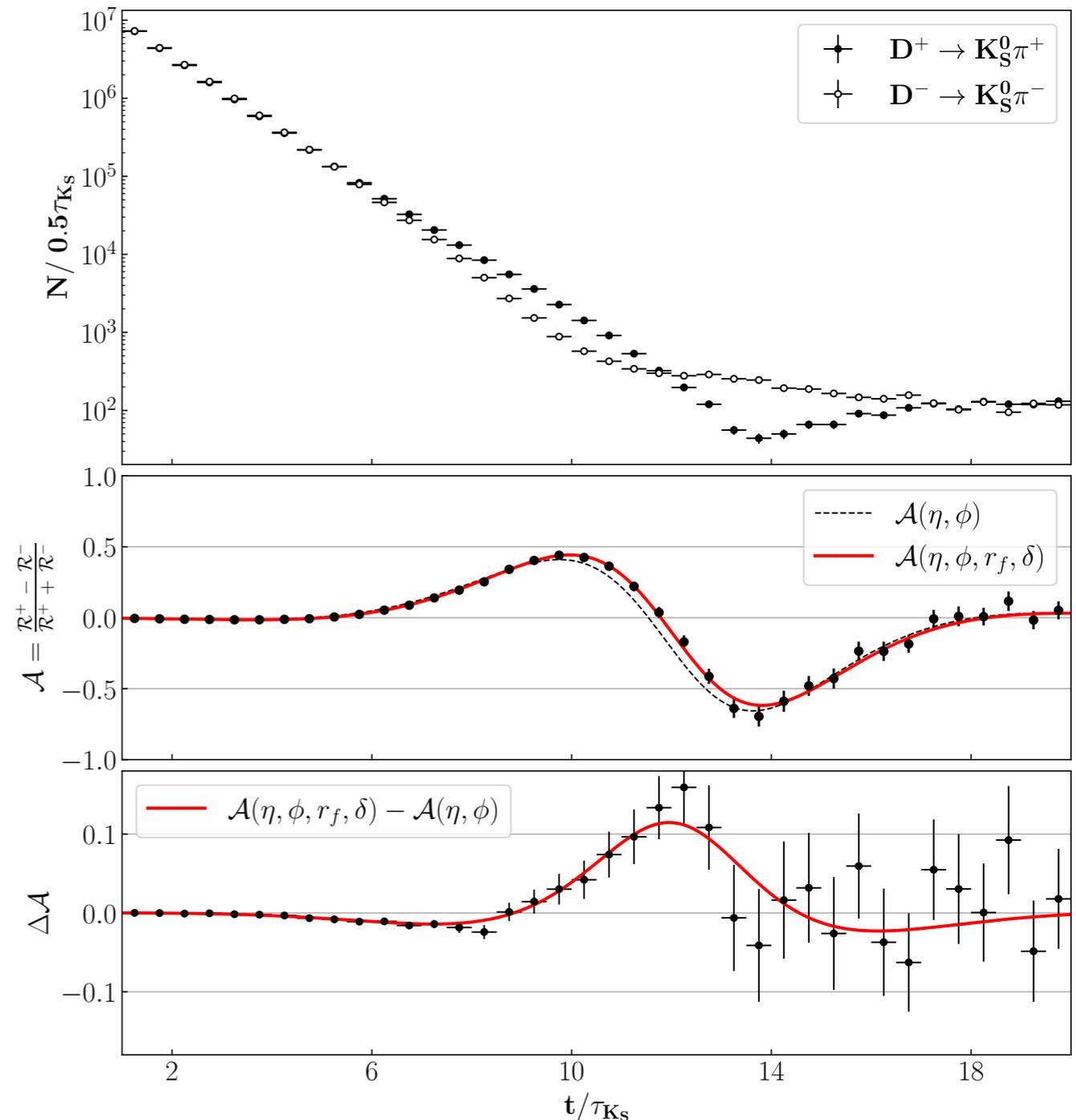
$$\langle f | H_{wk} | \bar{D}^0 \rangle = \sqrt{r_D} e^{i\delta} \langle f | H_{wk} | \bar{K}^0 \rangle + \langle f | H_{wk} | K^0 \rangle$$

Зависящие от времени вероятности распада $K_S \rightarrow \pi^+ \pi^-$:

$$\begin{aligned} \mathcal{R}^+(t) &\equiv |\Psi^+(t)|^2 = \bar{\mathcal{R}}(t) + r_f \mathcal{R}(t) \\ &+ \sqrt{r_f} (\cos \delta + 2|\eta_{+-}| \sin \delta \sin \phi_{+-}) \times (e^{-\Gamma_S t} - |\eta_{+-}|^2 e^{-\Gamma_L t}) \\ &+ 2\sqrt{r_f} |\eta_{+-}| \left(\sin \delta + 2|\eta_{+-}| \cos \delta \sin \phi_{+-} \right) e^{-\frac{1}{2}(\Gamma_L + \Gamma_S)t} \sin(\Delta m t - \phi_{+-}), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mathcal{R}^-(t) &\equiv |\Psi^-(t)|^2 = \mathcal{R}(t) + r_f \bar{\mathcal{R}}(t) \\ &+ \sqrt{r_f} (\cos \delta - 2|\eta_{+-}| \sin \delta \sin \phi_{+-}) \times (e^{-\Gamma_S t} - |\eta_{+-}|^2 e^{-\Gamma_L t}) \\ &- 2\sqrt{r_f} |\eta_{+-}| \left(\sin \delta - 2|\eta_{+-}| \cos \delta \sin \phi_{+-} \right) e^{-\frac{1}{2}(\Gamma_L + \Gamma_S)t} \sin(\Delta m t - \phi_{+-}). \end{aligned}$$

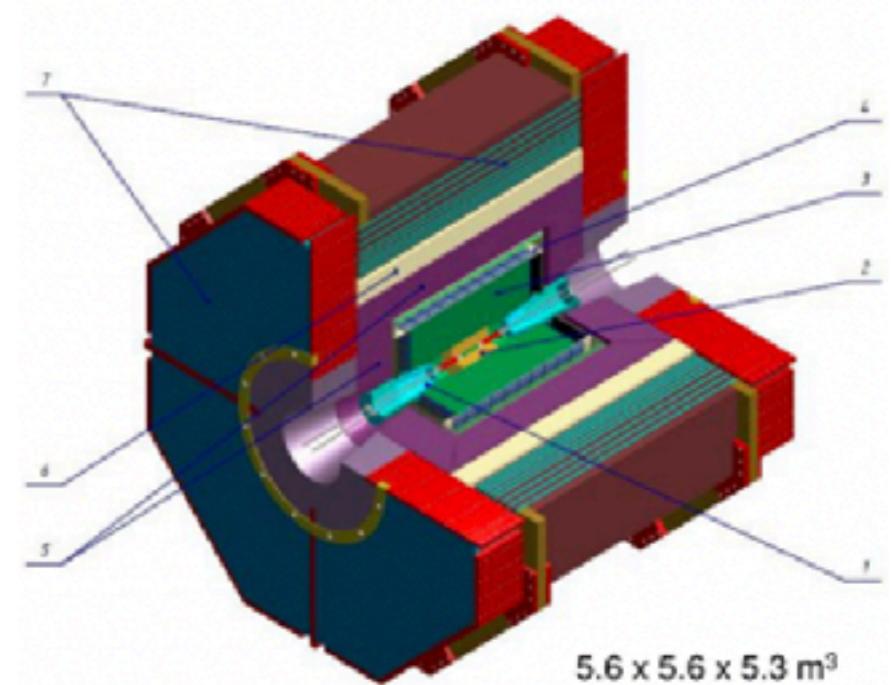
Разность сильных фаз и отношение модулей амплитуд могут быть измерены без тригонометрической неопределенности.



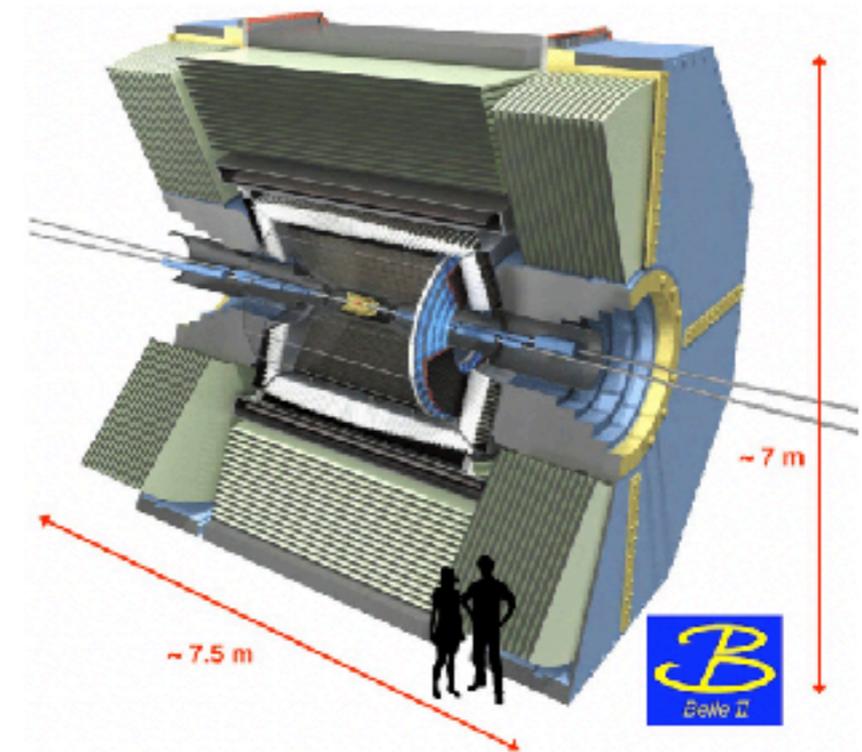
ЭКСПЕРИМЕНТЫ

Требование	СЧТФ	Belle II
Хорошее пространственное разрешение $\sim 100\mu\text{m}$	✓	✓
Большая дрейфовая камера/ низкоэнерг. каоны	✓	✓
Хорошее импульсное разрешение $\sigma_p/p < 0.01$	✓	✓
Идентификация адронов	✓	✓
Интегральная светимость	10 ab^{-1}	50 ab^{-1}

Супер Чарм-Тау фабрика (СЧТФ)



Belle II



ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТОЧНОСТИ: $K^0 \rightarrow \pi \ell \nu_\ell$

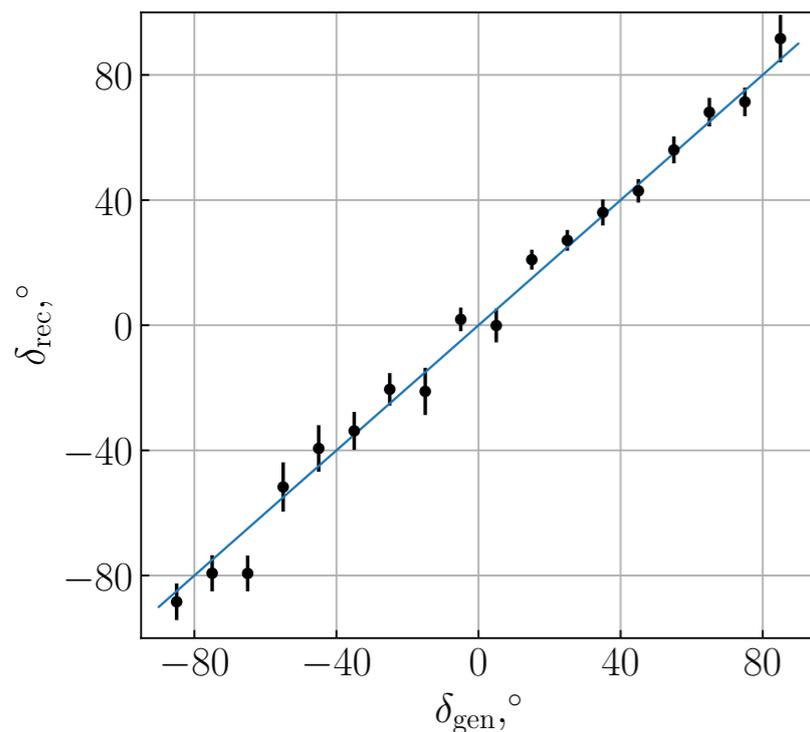
Оценка потенциальной точности выполнялась с помощью моделирования методом Монте-Карло.

Подгонка (χ^2) осуществлялась одновременно для RS и WS распределений.

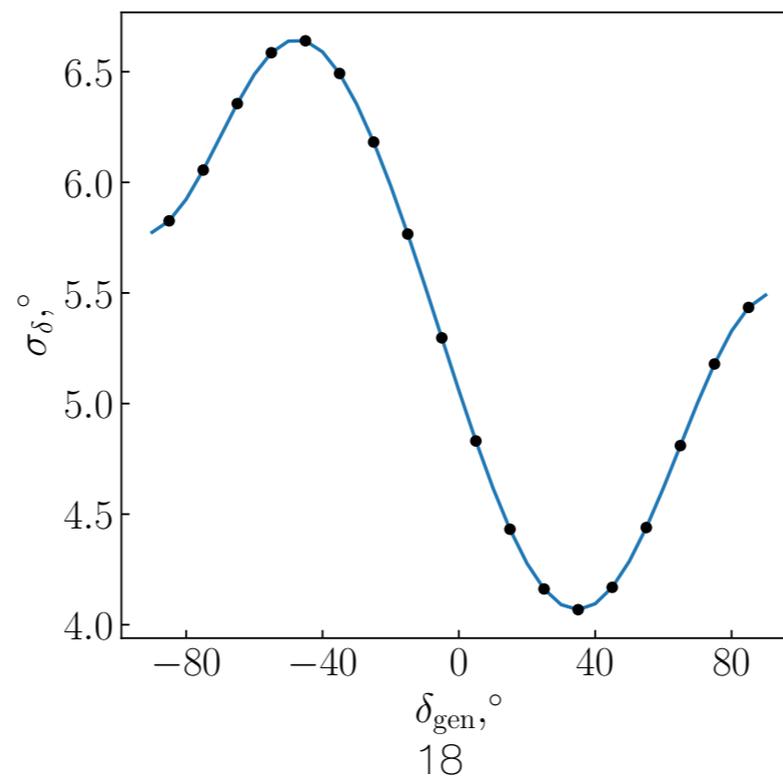
Ожидаемая статистика распадов:

Мода распада	Belle II, $\times 10^4$	СЧТФ, $\times 10^4$
$D^0 \rightarrow K_S \pi^0$	9	6
$D^+ \rightarrow K_S \pi^+$	12	15
$D_s^+ \rightarrow K_S K^+$	6	12

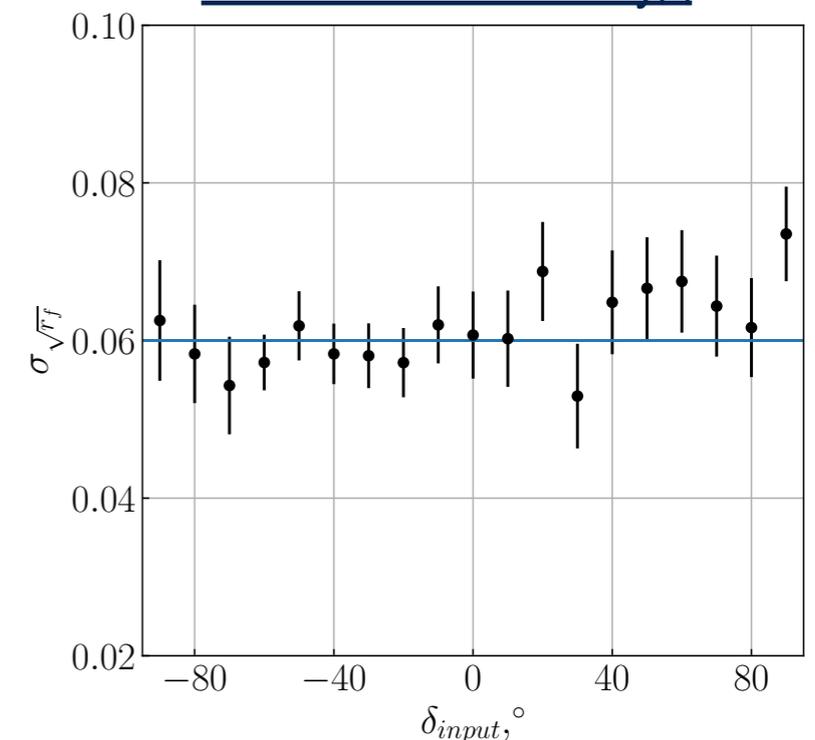
Разность сильных фаз



Разность сильных фаз



Отношение модулей CF и DCS амплитуд

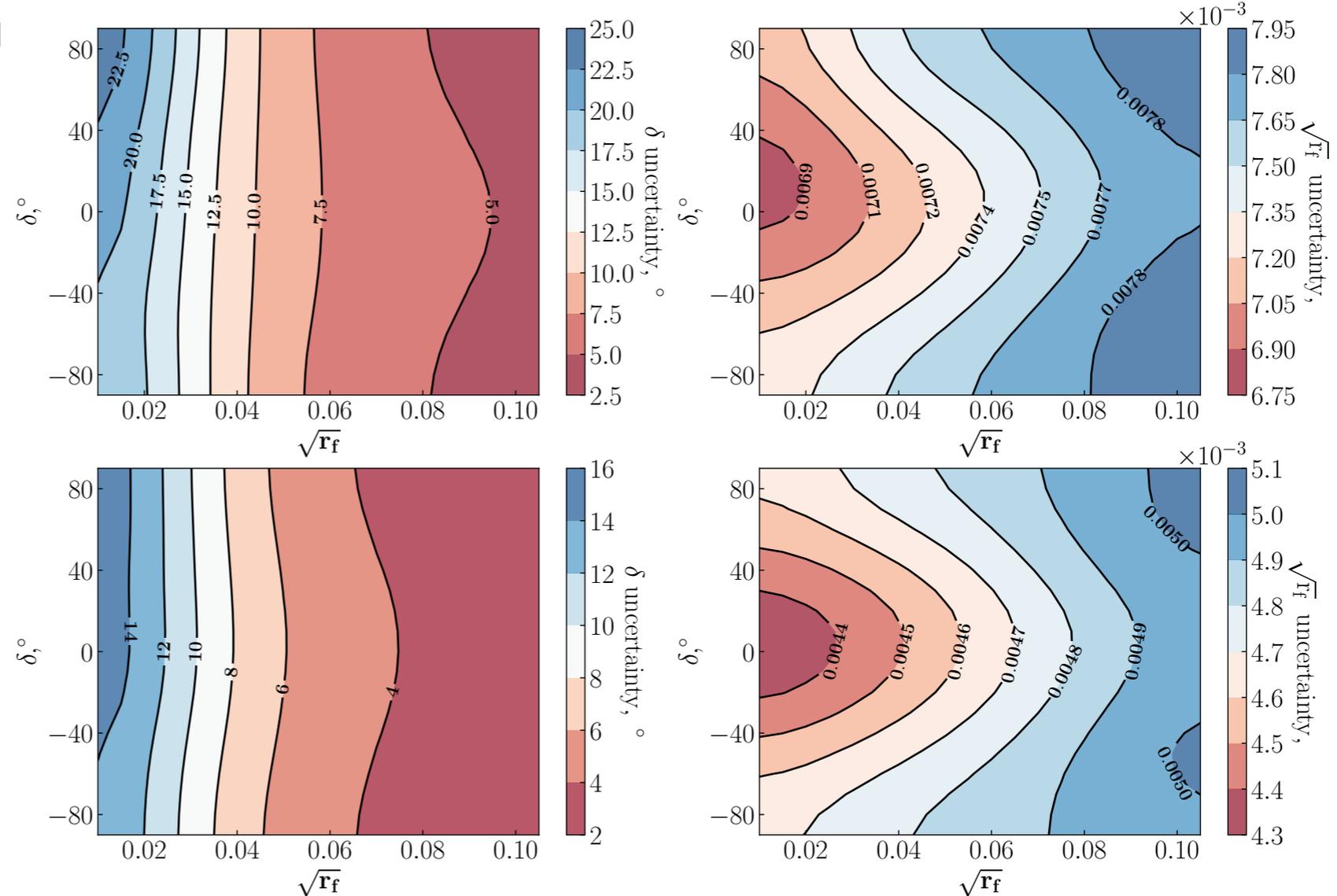
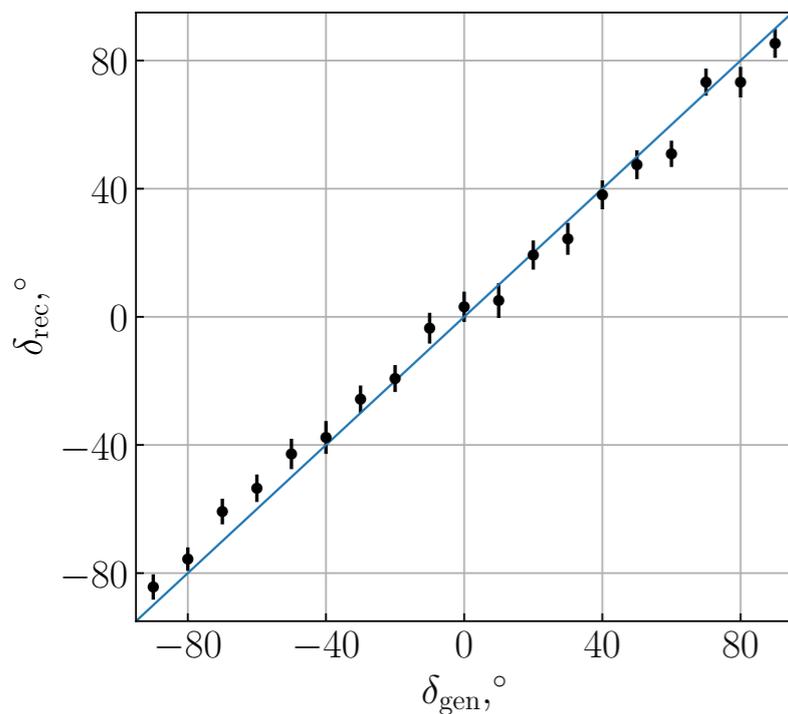


ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТОЧНОСТИ: $K_S \rightarrow \pi^+ \pi^-$

Параметр отношения амплитуд не был измерен ни для одной из мод с K_S^0 в конечном состоянии. В связи с этим было выполнено сканирование по r_f, δ .

Скан по параметрам DCS распадов (20M, 40M)

Оценка потенциальной точности выполнена при помощи МС. Тригонометрическая неопределенность в измерении отсутствует.



ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ K^0 -МЕЗОНОВ С ВЕЩЕСТВОМ ДЕТЕКТОРА

Сохранение странности в сильном взаимодействии приводит к неравенству амплитуд рассеяния для K^0 и \bar{K}^0 на веществе детектора — $\Delta f \neq 0$. Эффекты регенерации нейтральных каонов могут имитировать CP-нарушение и вносить неопределенность в измерение разности сильных фаз.

Для учета регенерации уравнения эволюции должны быть модифицированы:

$$i\partial_t \begin{pmatrix} K^0(t) \\ \bar{K}^0(t) \end{pmatrix} = \left(\mathbf{M} - \frac{i}{2}\mathbf{\Gamma} \right) \begin{pmatrix} K^0(t) \\ \bar{K}^0(t) \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \chi & 0 \\ 0 & \bar{\chi} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} K^0(t) \\ \bar{K}^0(t) \end{pmatrix}, \text{ где } \chi(\bar{\chi}) = \frac{2\pi N}{m} f(\bar{f})$$

С учетом этого уравнения эволюции примут вид:

$$\alpha_{S,L} = e^{-i\Sigma t} \left[\alpha_{S,L}^0 \cos \left(\frac{\Delta\lambda}{2} \sqrt{1+4r^2} t \right) \pm i \frac{\alpha_{S,L}^0 \mp 2r\alpha_{L,S}^0}{\sqrt{1+4r^2}} \sin \left(\frac{\Delta\lambda}{2} \sqrt{1+4r^2} t \right) \right], \text{ где } r = \frac{1}{2} \frac{\Delta\chi}{\Delta\lambda}$$

Используя разложение по параметру регенерации:

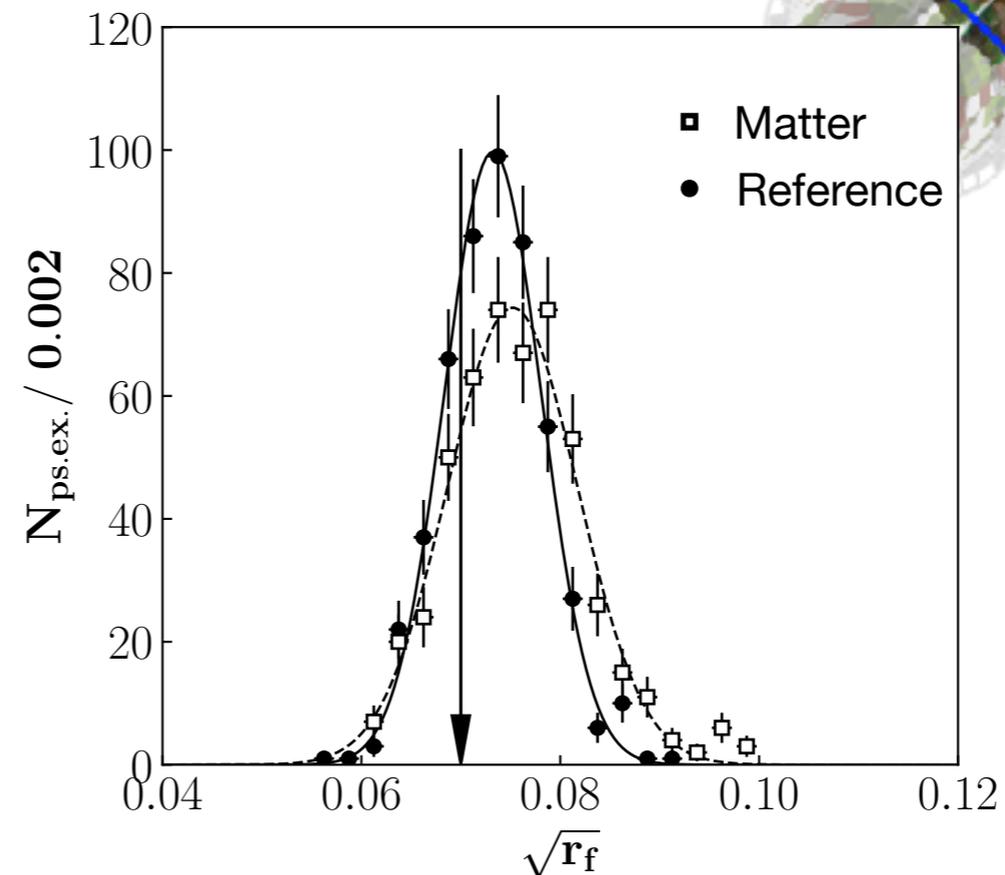
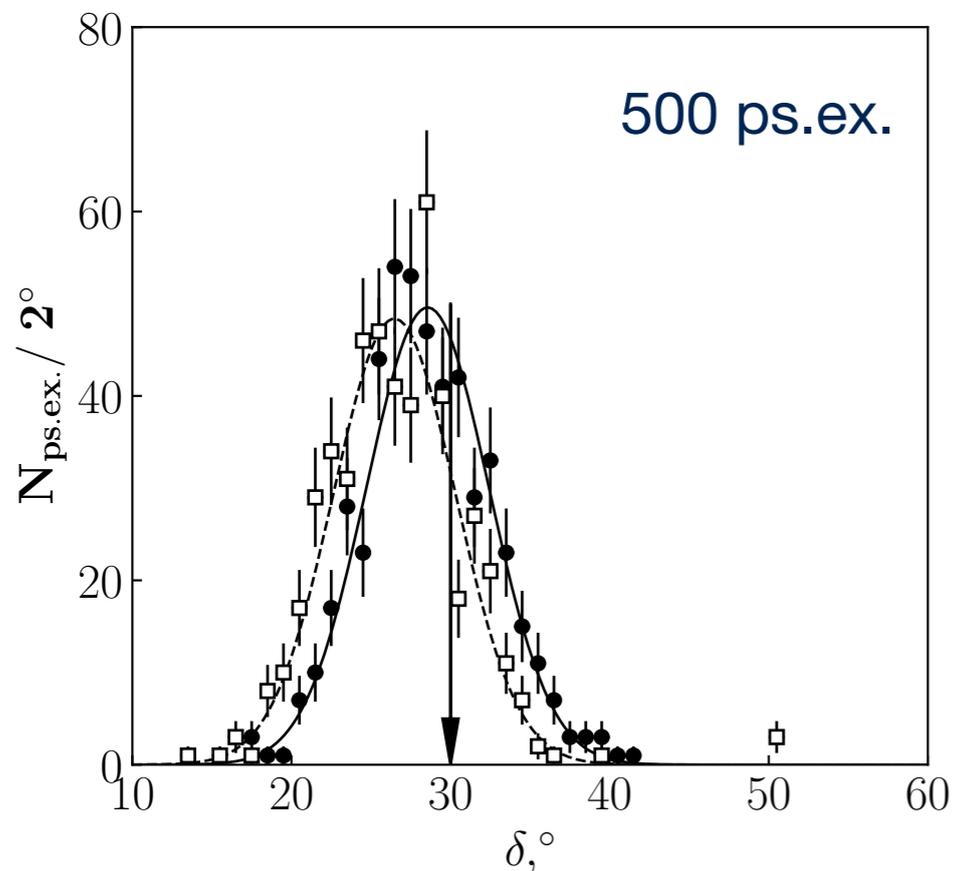
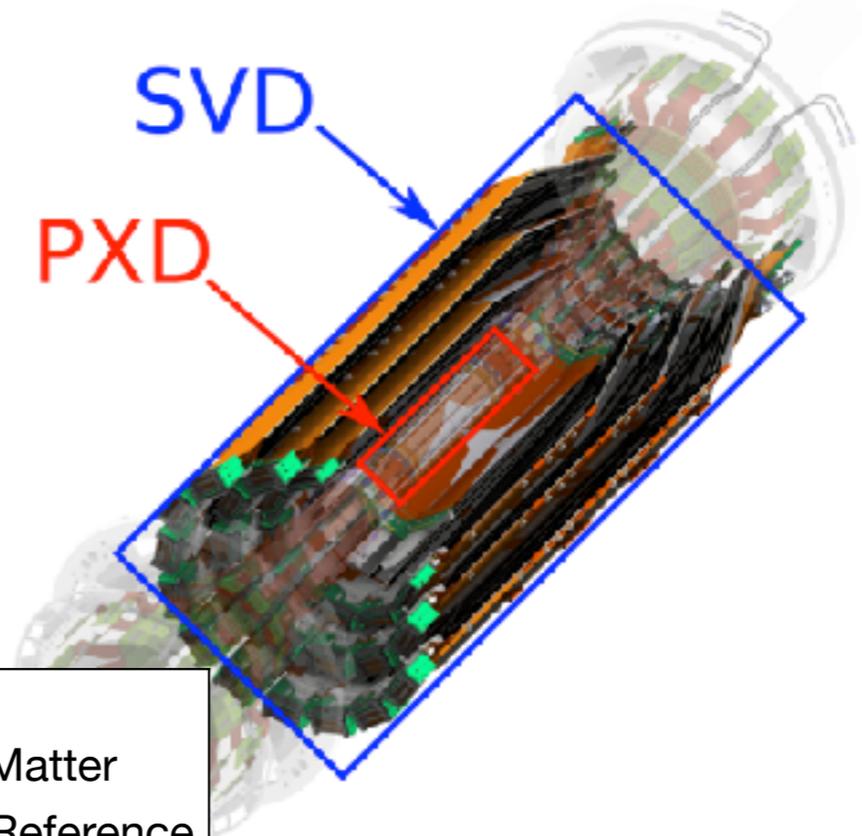
$$\begin{aligned} \alpha_S(t) &= e^{\frac{1}{2}(\chi+\bar{\chi})t} e^{-i\lambda_S t} (\alpha_S^0 + \zeta \alpha_L^0 e^{-i\Delta\lambda t}) \\ \alpha_L(t) &= e^{\frac{1}{2}(\chi+\bar{\chi})t} e^{-i\lambda_L t} (\alpha_L^0 + \zeta \alpha_S^0). \end{aligned} \quad \text{где геометрический параметр регенерации определен, как } \zeta = r \left(1 - e^{i\Delta\lambda \frac{Lm}{p}} \right)$$

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ K^0 -МЕЗОНОВ С ВЕЩЕСТВОМ ДЕТЕКТОРА

Оценка вклада регенерации была выполнена для Belle II.

Be — 1 мм, Si — $L_{1,2} = 50\text{мкм}$, $L_{3-6} = 300\text{мкм}$

Материал	σ_{tot} , (mb)	$\text{Re}\Delta f$, fm	$\text{Im}\Delta f$, fm
Si	553.0	-7.5	-12.9
Be	219.1	-3.9	-6.2



ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТОЧНОСТИ

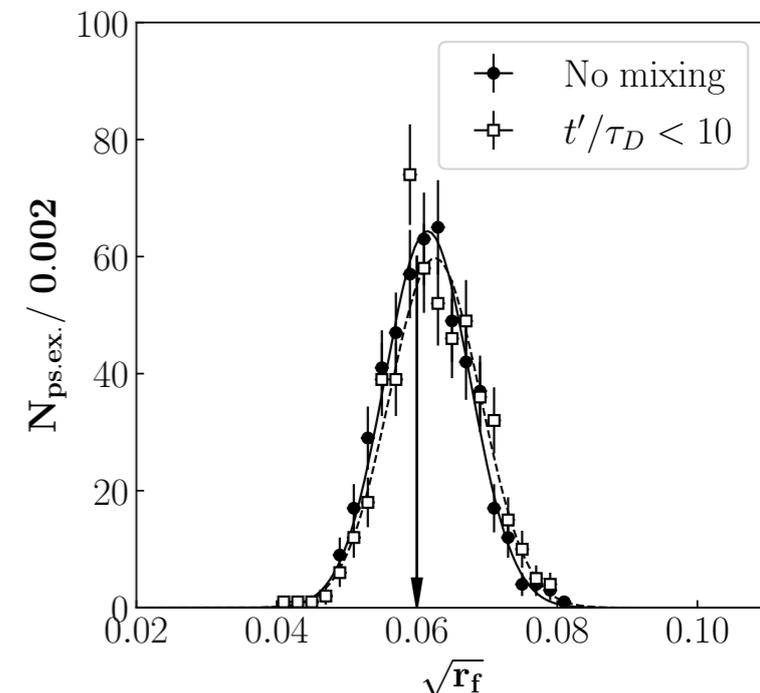
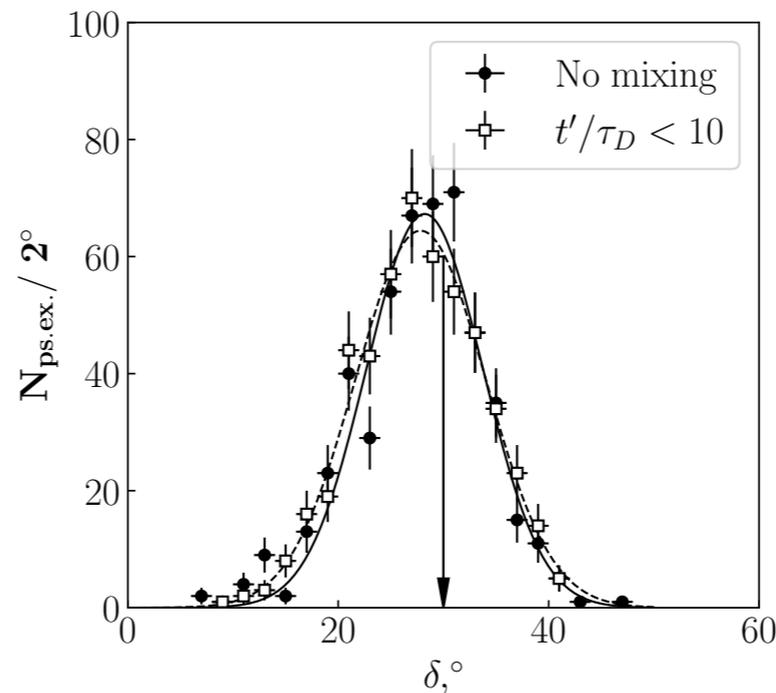
Наличие $D^0-\bar{D}^0$ смешивания может внести неопределенность в измерение разности сильных фаз в распаде $D^0 \rightarrow K_S^0 \pi^0$. Для оценки вклада смешивания в системе очарованных адронов необходимо рассмотреть одновременно эволюцию K_S^0 и D^0 -мезонов.

$$a^+(t') \equiv \langle \bar{K}^0 \pi^0 | H | D_{phys}^0(t') \rangle = A_{D^0} [f_+(t') - \sqrt{r_f} e^{i(\delta+\phi)} f_-(t')] \\ b^+(t') \equiv \langle K^0 \pi^0 | H | D_{phys}^0(t') \rangle = A_{D^0} [\sqrt{r_f} e^{i(\delta-\phi)} f_+(t') - f_-(t')]$$

World average:

$$x = (0.43_{-0.11}^{+0.10}) \% \\ y = (0.60 \pm 0.06) \% \\ \phi = (0.08 \pm 0.31)^\circ$$

Параметры смешивания в системе $D^0 - \bar{D}^0$ малы, а экспериментально разрешение по времени жизни D скорее всего не позволит выполнить анализ с учетом t_D . В работе была исследована возможность проинтегрировать по t_D .



ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТОЧНОСТИ

$$\Psi_{D\bar{D}} = \frac{1}{\sqrt{2}} [|D_{phys}^0(t)\rangle |\bar{D}_{phys}^0(t)\rangle - |\bar{D}_{phys}^0(t)\rangle |D_{phys}^0(t)\rangle]$$

	J/ψ	$\psi(2S)$	$\psi(3770)$	$\psi(4040)$	$\psi(4160)$	$\psi(4415)$
$M, \text{ GeV}$	3.097	3.686	3.773	4.039	4.191	4.421
$\Gamma, \text{ MeV}$	0.093	0.286	27.2	80	70	62
$\sigma, \text{ nb}$	~ 3400	~ 640	~ 6	~ 10	~ 6	~ 4
$L, \text{ fb}^{-1}$	300	150	300	10	100	25
N	10^{12}	10^{11}	2×10^9	10^8	6×10^8	10^8

Для скоррелированной пары D^0 -мезонов

зависящая от времени вероятность распада в конечные состояния f_1, f_2 дается выражением:

$$R(f_1, t_1, f_2, t_2) \propto |A_{f_1}|^2 |A_{f_2}|^2 e^{-\Gamma(t_1+t_2)} \left[\frac{1}{2} |\xi + \zeta|^2 e^{-\Delta\Gamma/2(t_2-t_1)} + \frac{1}{2} |\xi - \zeta|^2 e^{\Delta\Gamma/2(t_2-t_1)} - (|\xi|^2 - |\zeta|^2) \cos(\Delta m(t_2 - t_1)) + 2\text{Im}(\xi^* \zeta) \sin(\Delta m(t_2 - t_1)) \right]$$

где $\zeta = \frac{\bar{A}_{f_2}}{A_{f_2}} - \frac{\bar{A}_{f_1}}{A_{f_1}}$, $\xi = \left(\frac{p}{q}\right)_D - \left(\frac{q}{p}\right)_D \frac{\bar{A}_{f_1}}{A_{f_1}} \frac{\bar{A}_{f_2}}{A_{f_2}}$

Тогда для пары конечных состояний:

$$\{ \mathbf{D} \rightarrow \mathbf{K}^- \pi^+; \mathbf{D} \rightarrow \bar{\mathbf{K}}^0 \pi^0 \}$$

$$R(t_1, t_2) \propto e^{-\Gamma(t_1+t_2)} \left[\left(\left| \frac{p}{q} \right|^2 + \left| \frac{q}{p} \right|^2 r_D^{00} r_D^{-+} - 2\sqrt{r_D^{00}} \sqrt{r_D^{-+}} \cos(\delta^{00} + \delta^{-+}) \right) + \left(r_D^{00} + r_D^{-+} - 2\sqrt{r_D^{00}} \sqrt{r_D^{-+}} \cos(\delta^{00} - \delta^{-+}) \right) \frac{(\Gamma t)^2}{2} (y^2 - x^2) + 2\sqrt{r_D^{00}} \left(\frac{p}{q} y'' - \frac{q}{p} r_D^{-+} y' \right) + 2\sqrt{r_D^{-+}} \left(\frac{q}{p} r_D^{00} y' - \frac{p}{q} y'' \right) \right]$$

ПЕРСПЕКТИВЫ МЕТОДОВ

Измерение $\sin 2\beta$ и $\cos 2\beta$

$$|B^0(t)\rangle = e^{-i\frac{M_1+M_2}{2}t} e^{-\frac{\Gamma}{2}t} \left[\cos\left(\frac{\Delta mt}{2}\right) |B^0\rangle + i\left(\frac{q}{p}\right)_B \sin\left(\frac{\Delta mt}{2}\right) |\bar{B}^0\rangle \right]$$

$$|\bar{B}^0(t)\rangle = e^{-i\frac{M_1+M_2}{2}t} e^{-\frac{\Gamma}{2}t} \left[i\left(\frac{p}{q}\right)_B \cos\left(\frac{\Delta mt}{2}\right) |B^0\rangle + \sin\left(\frac{\Delta mt}{2}\right) |\bar{B}^0\rangle \right]$$

$$a_{CP} = \frac{P(\bar{B}^0 \rightarrow f) - P(B^0 \rightarrow f)}{P(\bar{B}^0 \rightarrow f) + P(B^0 \rightarrow f)} = \frac{|\lambda|^2 - 1}{|\lambda|^2 + 1} \cos(\Delta mt) + \frac{\text{Im}\lambda}{|\lambda|^2 + 1} \sin(\Delta mt) \equiv$$

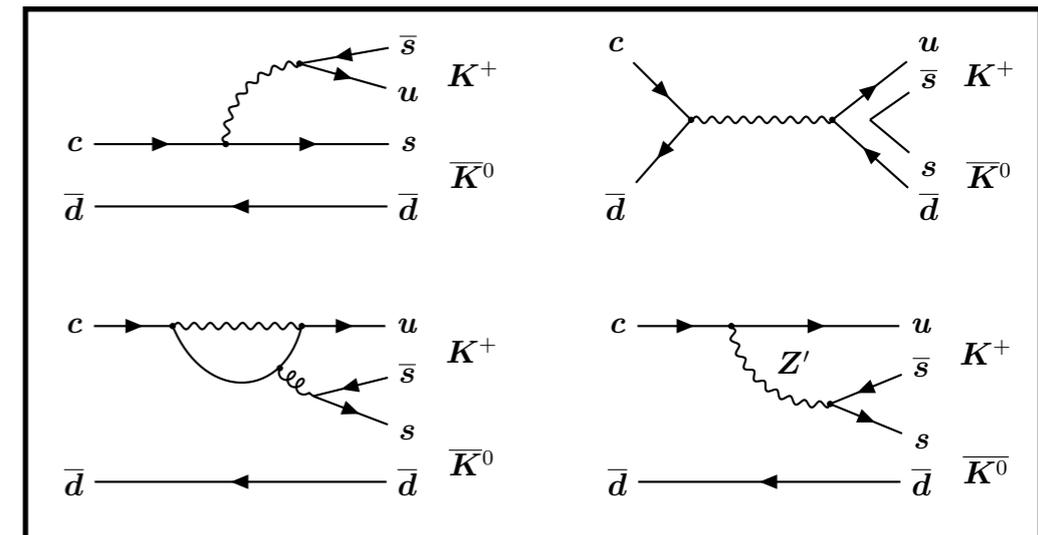
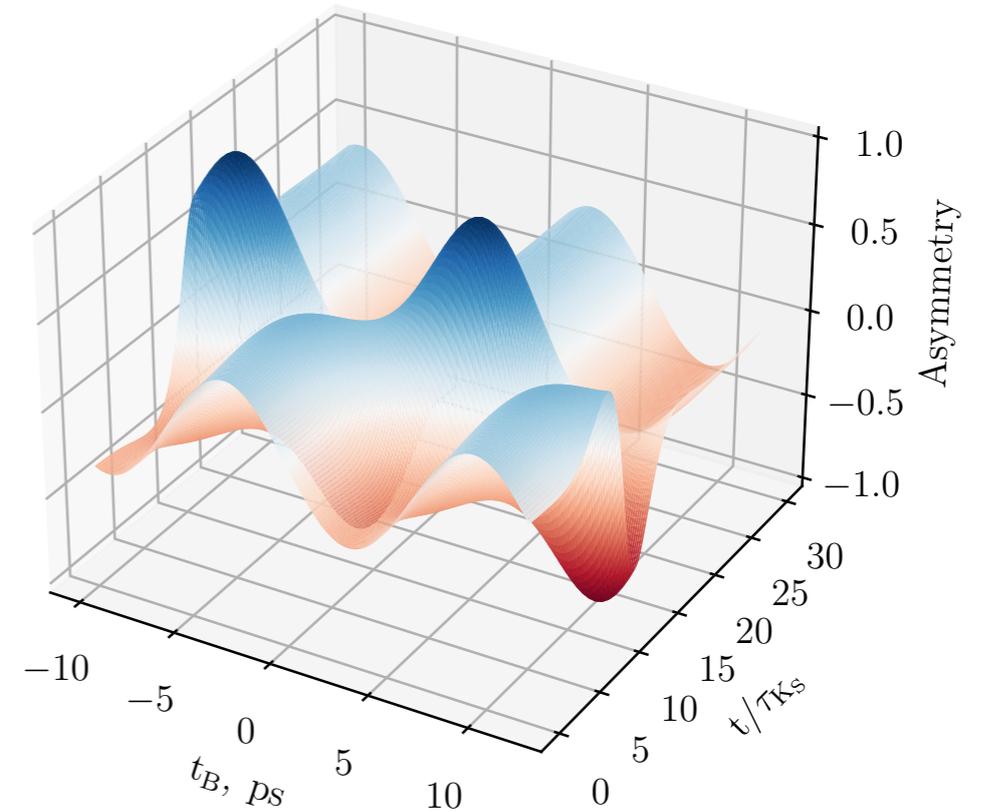
$$\equiv -C_f \cos(\Delta mt) + S_f \sin(\Delta mt),$$

Измерение α

$$A_{B \rightarrow \pi\pi} \sim s_{12}^3 T + s_{12}^3 P \quad \lambda = \left[e^{2i\alpha} \frac{1 + |P/T| e^{i(\delta+\gamma)}}{1 + |P/T| e^{i(\delta-\gamma)}} \right]$$

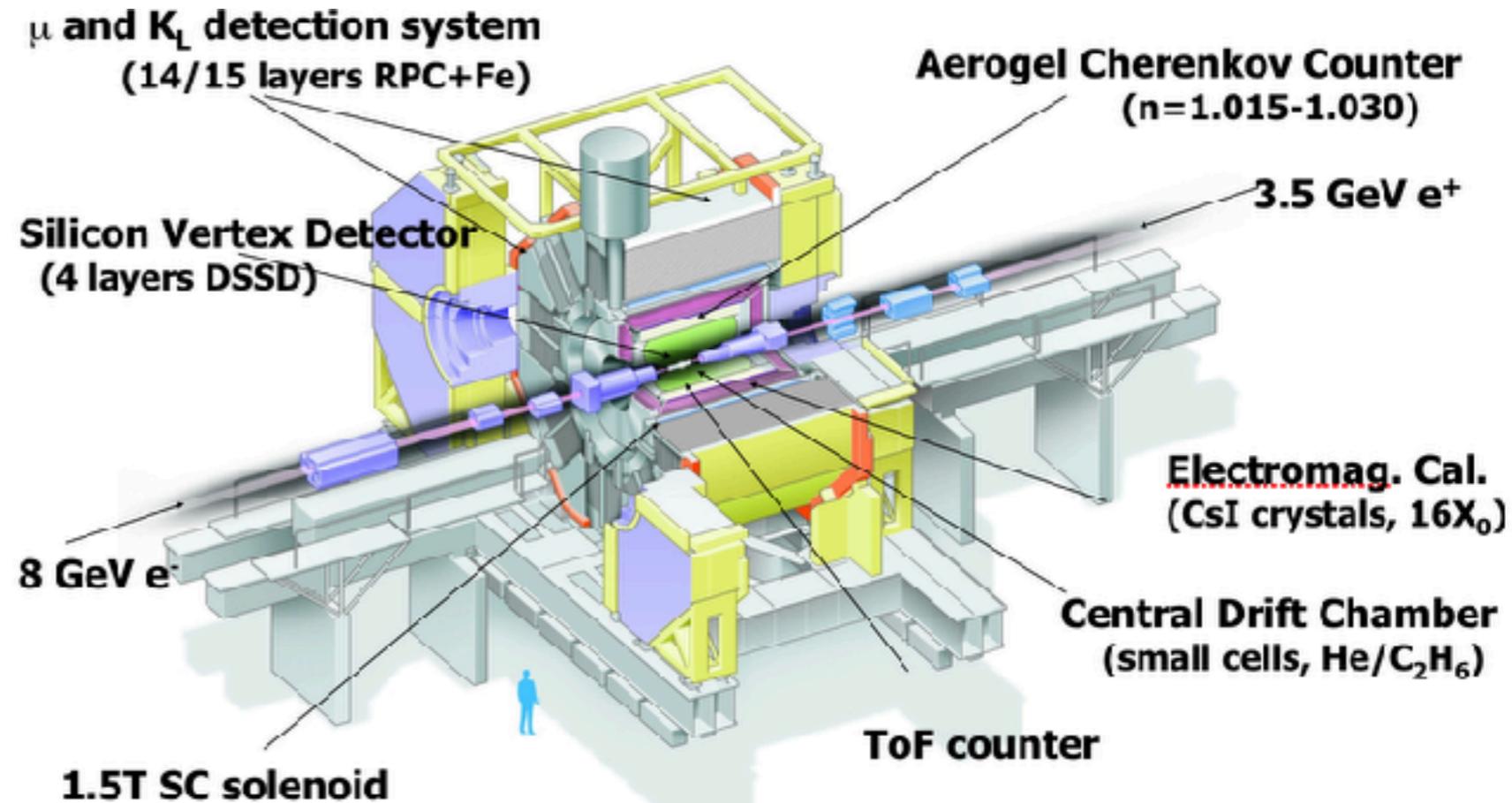
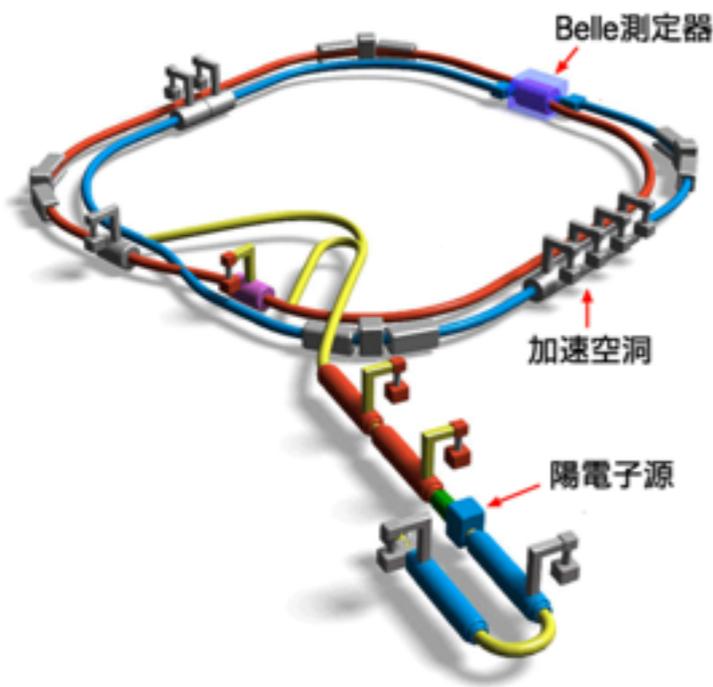
$$A_{B \rightarrow K\pi} \sim s_{12}^4 T + s_{12}^2 P$$

Поиск Новой физики в КП распадах в нейтральные каоны.



ЭКСПЕРИМЕНТ BELLE

$$e^+ e^- \rightarrow \Upsilon(4S) \rightarrow B\bar{B}$$



Resonance	On-peak luminosity (fb ⁻¹)	Off-peak luminosity (fb ⁻¹)	Number of resonances
$\Upsilon(1S)$	5.7	1.8	102×10^6
$\Upsilon(2S)$	24.9	1.7	158×10^6
$\Upsilon(3S)$	2.9	0.25	11×10^6
$\Upsilon(4S)$ SVD1	140.0	15.6	$152 \times 10^6 B\bar{B}$
$\Upsilon(4S)$ SVD2	571.0	73.8	$620 \times 10^6 B\bar{B}$
$\Upsilon(5S)$	121.4	1.7	$7.1 \times 10^6 B_s\bar{B}_s$
Scan		27.6	

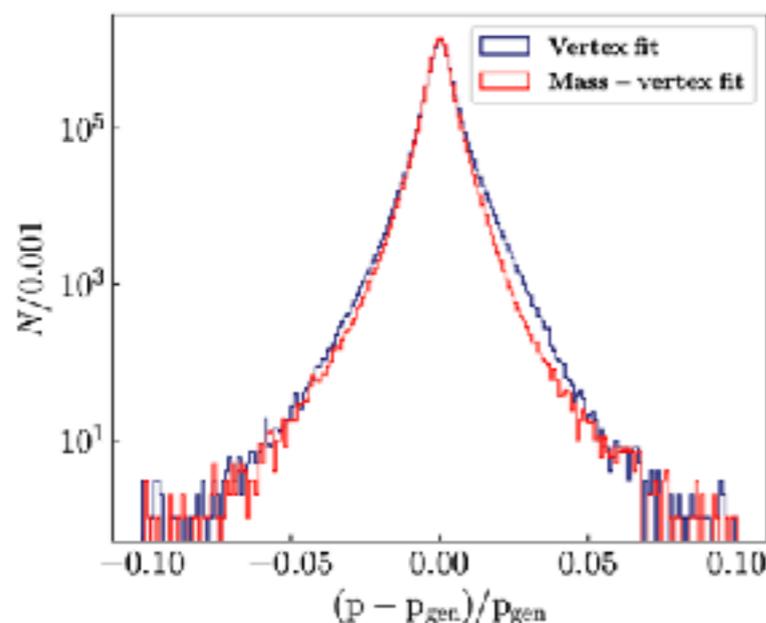
ОТБОР СОБЫТИЙ $D_S^\pm \rightarrow K_S K^\pm$, $D^+ \rightarrow K_S \pi^+$ и $D^0 \rightarrow K_S \pi^0$

Данные: $\Upsilon(4S) + \Upsilon(5S) + \text{Scan}$, 951 fb^{-1}

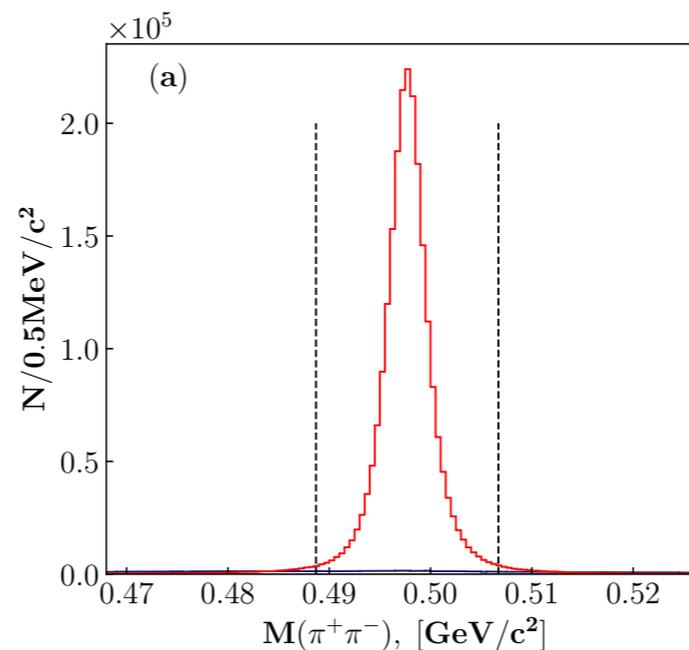
Предварительный отбор:

- Заряженные треки должны происходить из первичной вершины $dr < 0.5$, $dz < 2$ для K^+ ;
- Идентификация заряженных адронов : $K/\pi > 0.6$, $\pi/K > 0.1$;
- Фит в вершину и массу для K_S и фит в вершину для очарованных адронов;

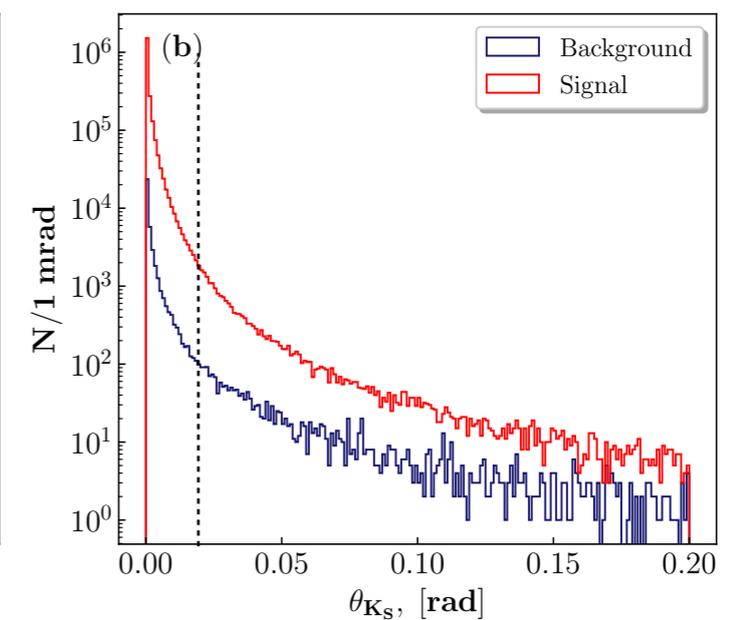
Фит в вершину и массу K_S улучшает импульсное разрешение на 12%



NeuroBias



Угол между импульсом K_S и направлением на первичную вершину



ОТБОР СОБЫТИЙ

Для данного анализа особенно важны низкоэнергетические каоны и поэтому нельзя пренебречь событиями

$B \rightarrow DX$.

$$D_s : P_{cms} > 1.4/1.9$$

$$D^+ : P_{cms} > 1.3/2.0$$

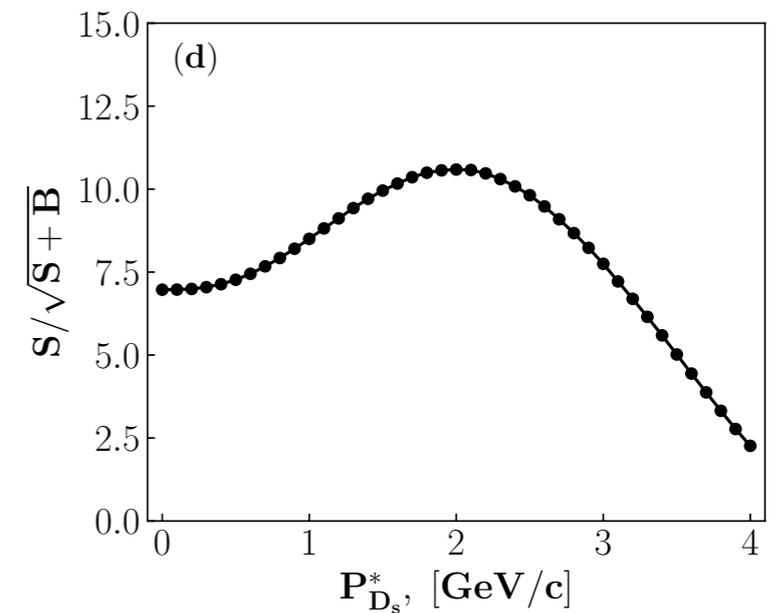
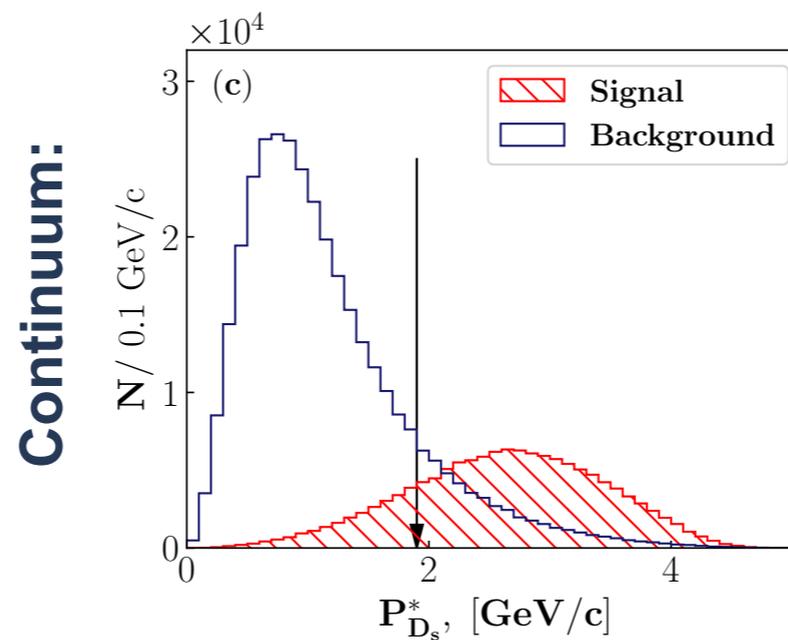
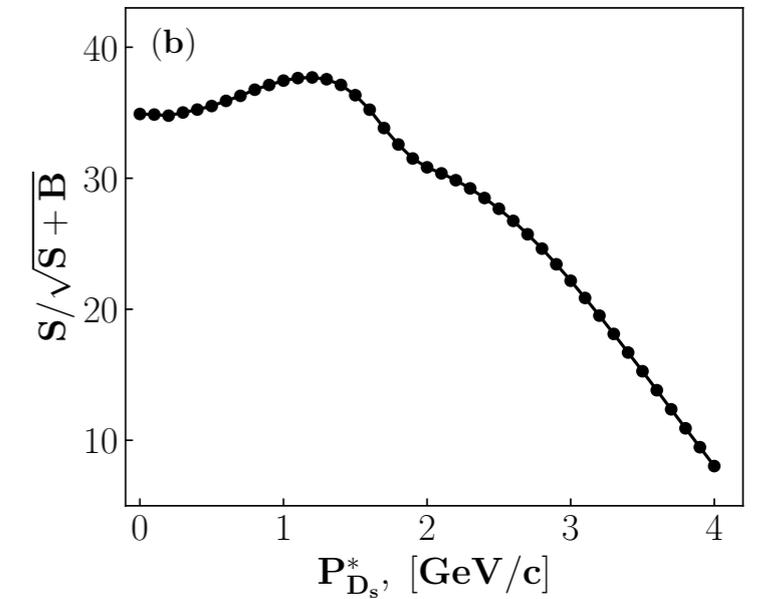
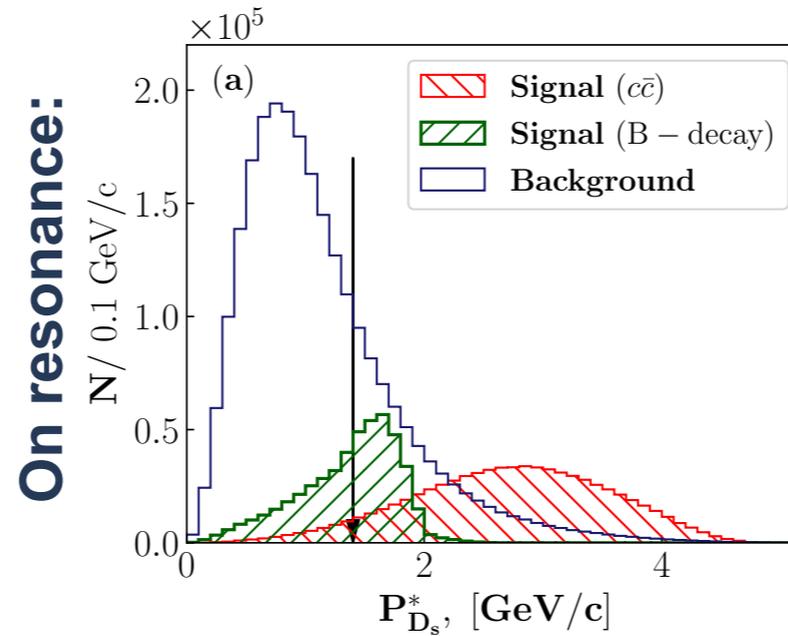
$$D^0 : P_{cms} > 0.7/1.3$$

Угол между направлением вылета каона в системе покоя D-мезона и обратным направлением D-мезона в с.ц.м.

$$D_s : \cos \theta_{hel} < 0.85$$

$$D^+ : \cos \theta_{hel} < 0.8$$

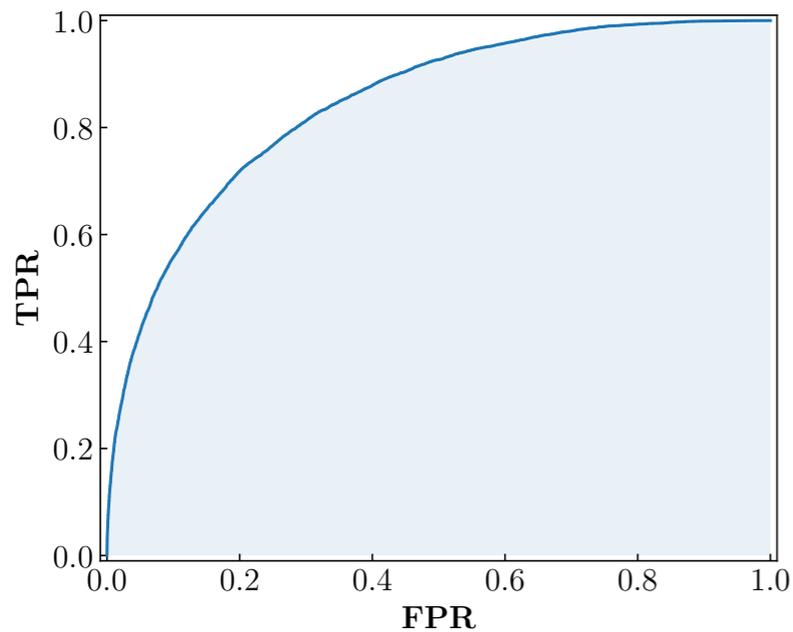
$$D^0 : \cos \theta_{hel} < 0.9$$



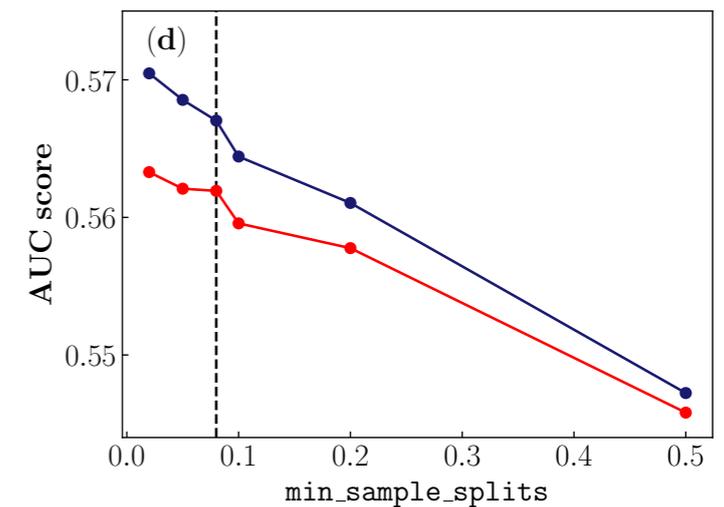
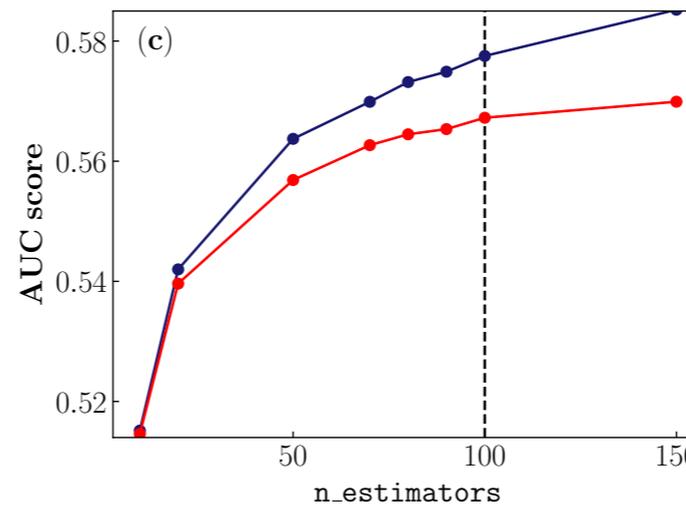
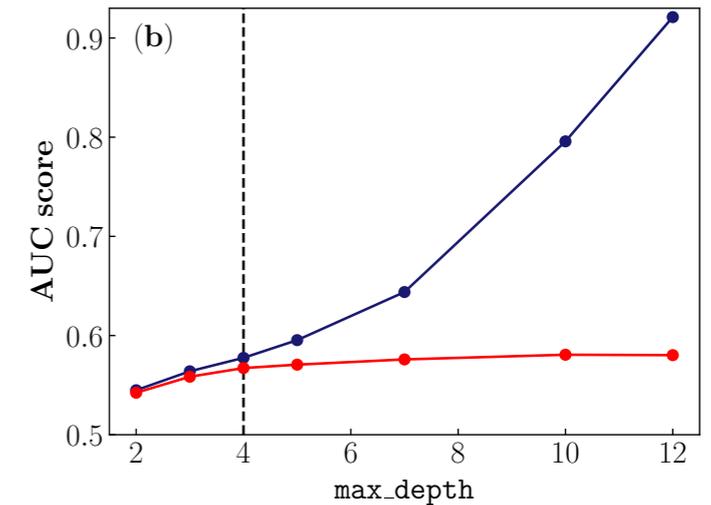
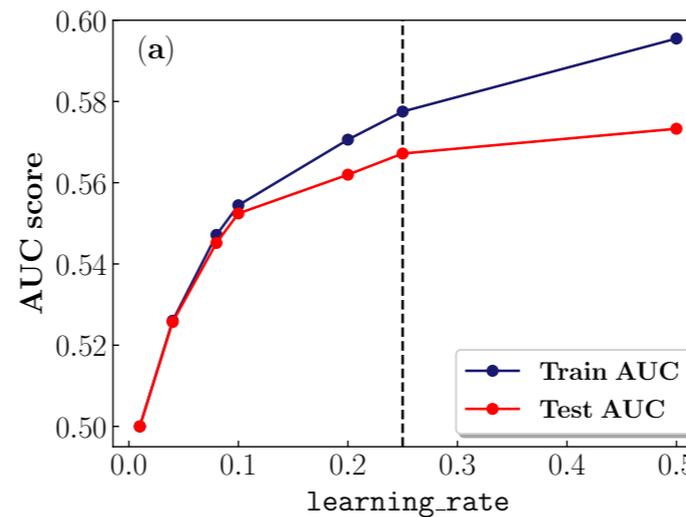
ПАРАМЕТРЫ ДЛЯ МОДЕЛИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ (BDT)

Переменные для отбора:

dr , $\mathcal{L}(\pi/\mu)$ и χ^2 для π^+ , π^- , $\cos \theta_{D_s}^{hel}$, $\mathcal{L}(K/\pi)$ и $\mathcal{L}(K/p)$, l_{D_s} , угол между импульсом и направлением на первичную вершину для D -мезона.

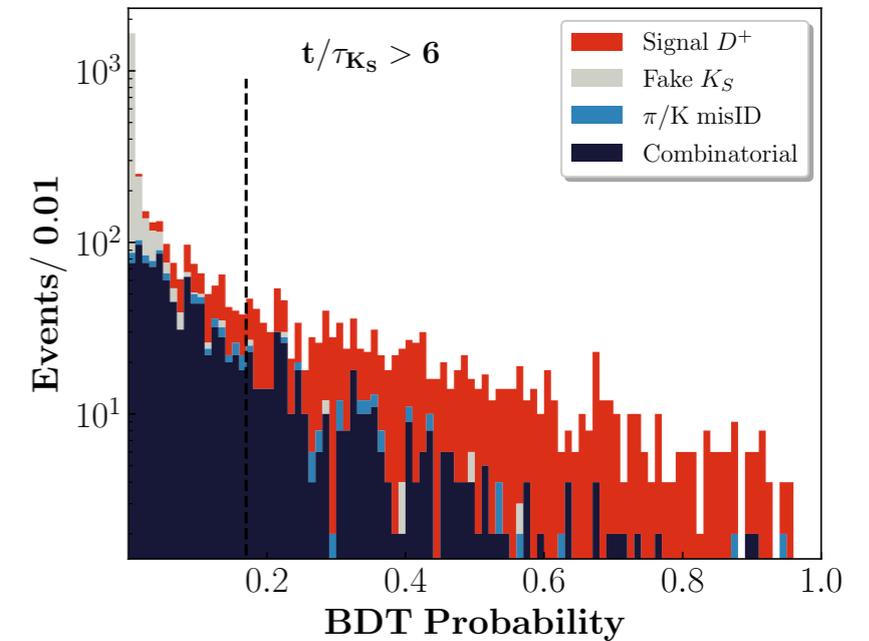
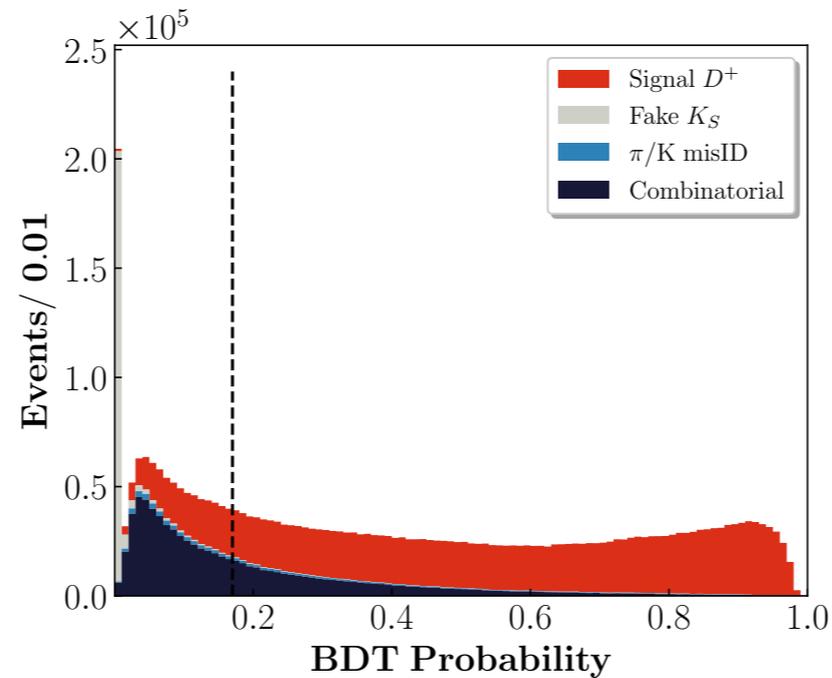


Параметры BDT выбирались при помощи кривой характеристической функции приемника. Такой метод позволяет повысить эффективность работы модели.



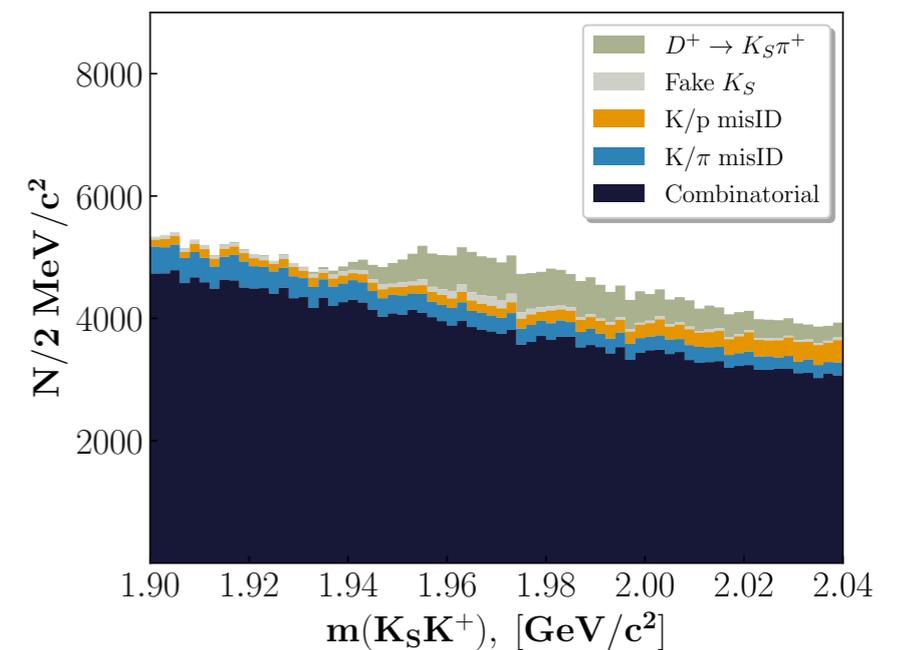
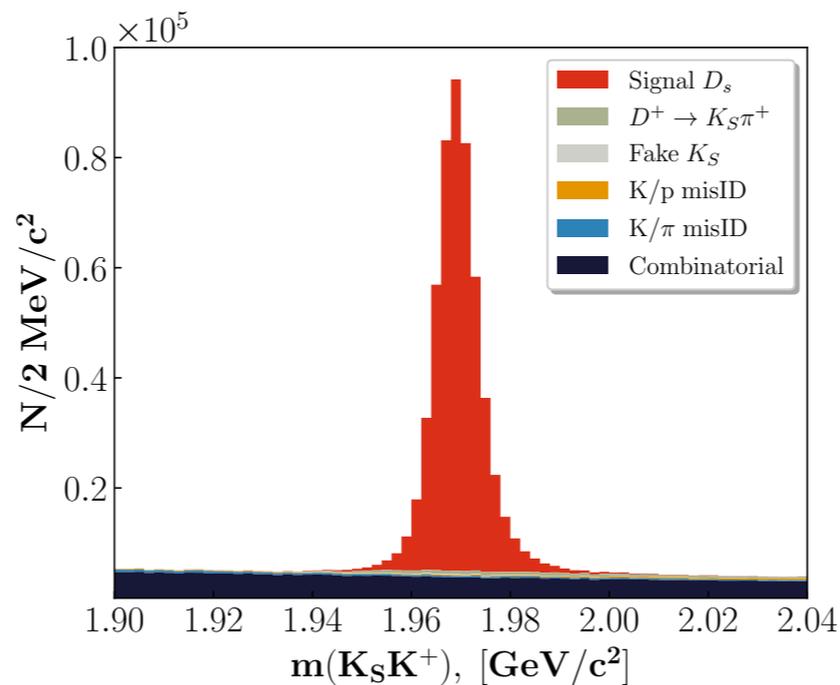
ИССЛЕДОВАНИЕ ФОНОВ НА МОДЕЛИРОВАНИИ

Модель машинного обучения показала способность с высокой эффективностью подавлять фоны от неправильно реконструированного K_S -кандидата.



Основные источники фона — комбинаторика и неправильная идентификация заряженных адронов.

Для распада $D_s^+ \rightarrow K_S K^+$ источником фоновых событий является процесс $D^+ \rightarrow K_S \pi^+$.



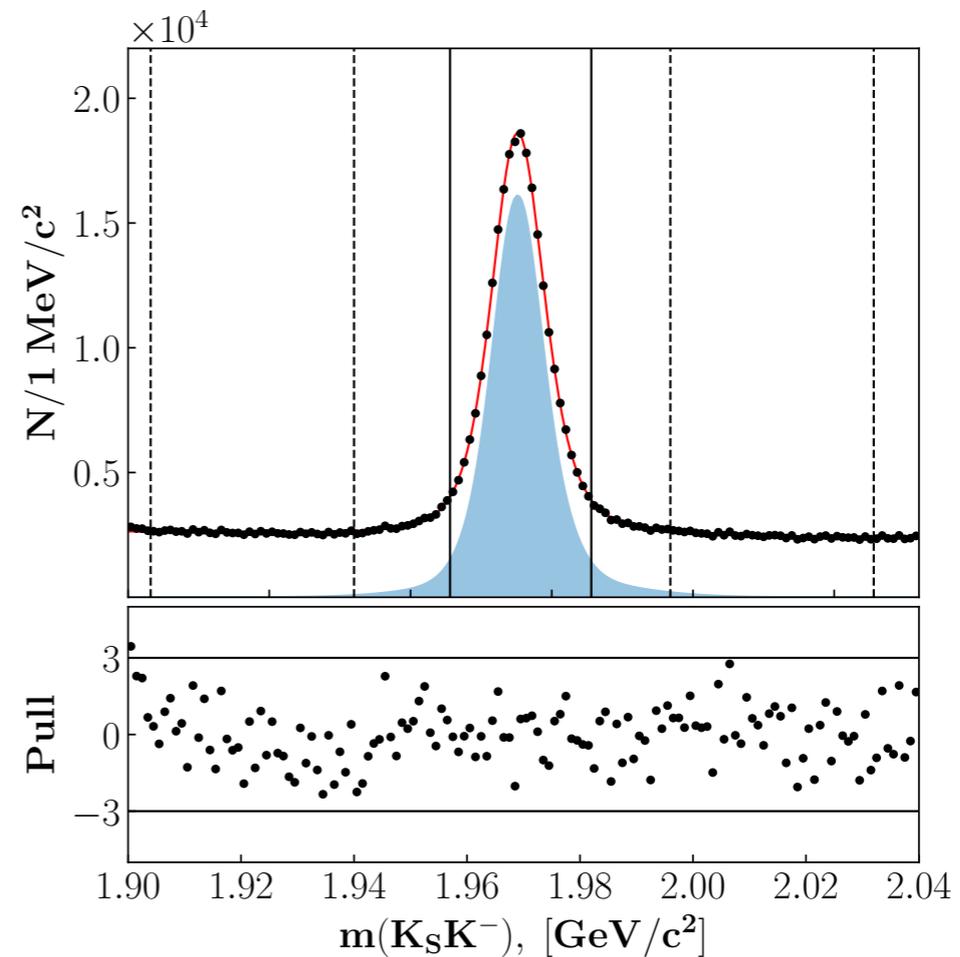
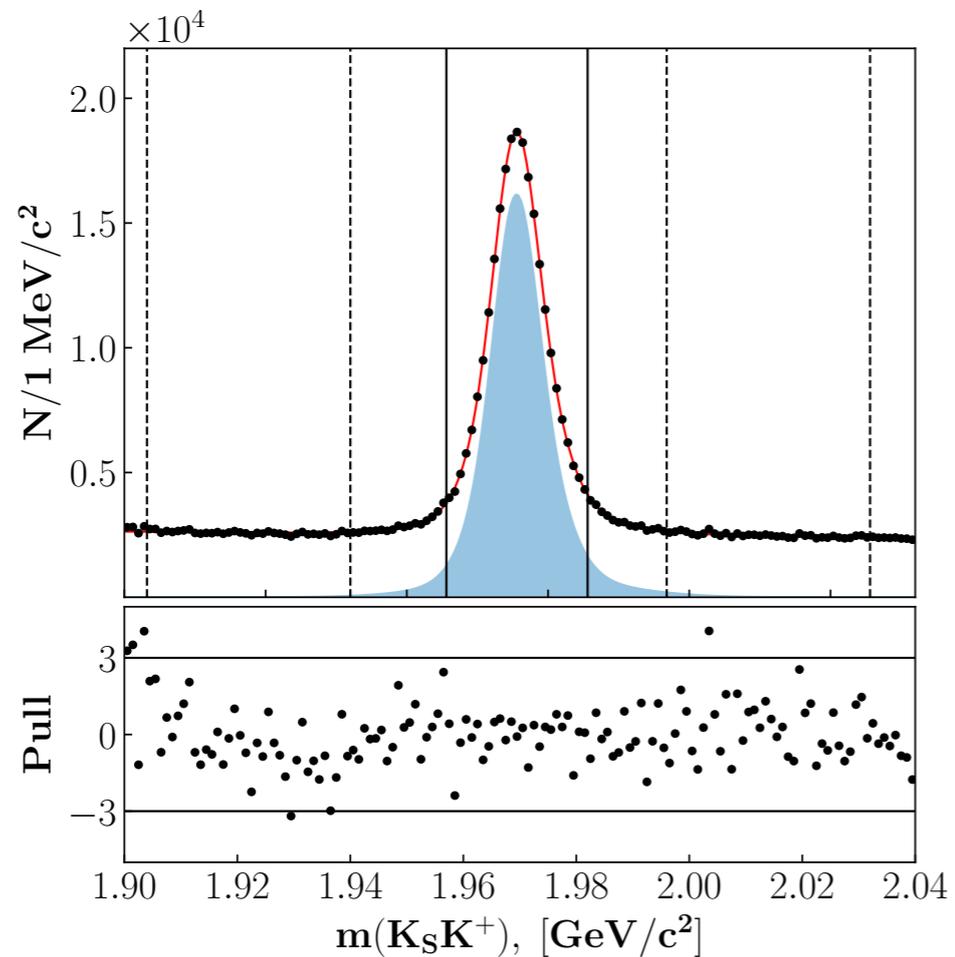
ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАСПАДА $D_s^\pm \rightarrow K_S K^\pm$

Сигнальная область: $|m(K_S K^\pm) - M_{D_s}| < 12 \text{ MeV}/c^2$

Контрольные интервалы: $1.904 < m_{D_s} < 1.940$;
 $1.996 < m_{D_s} < 2.032$

$$F = G_1(\mu_1, \sigma_1, N) + G_2(\mu_1, \sigma_2, N) + G_3(\mu_3, \sigma_3, N) + P_2$$

	N_{sig}	Purity
D_s^+	$(190 \pm 1) \times 10^3$	78 %
D_s^-	$(192 \pm 1) \times 10^3$	78 %



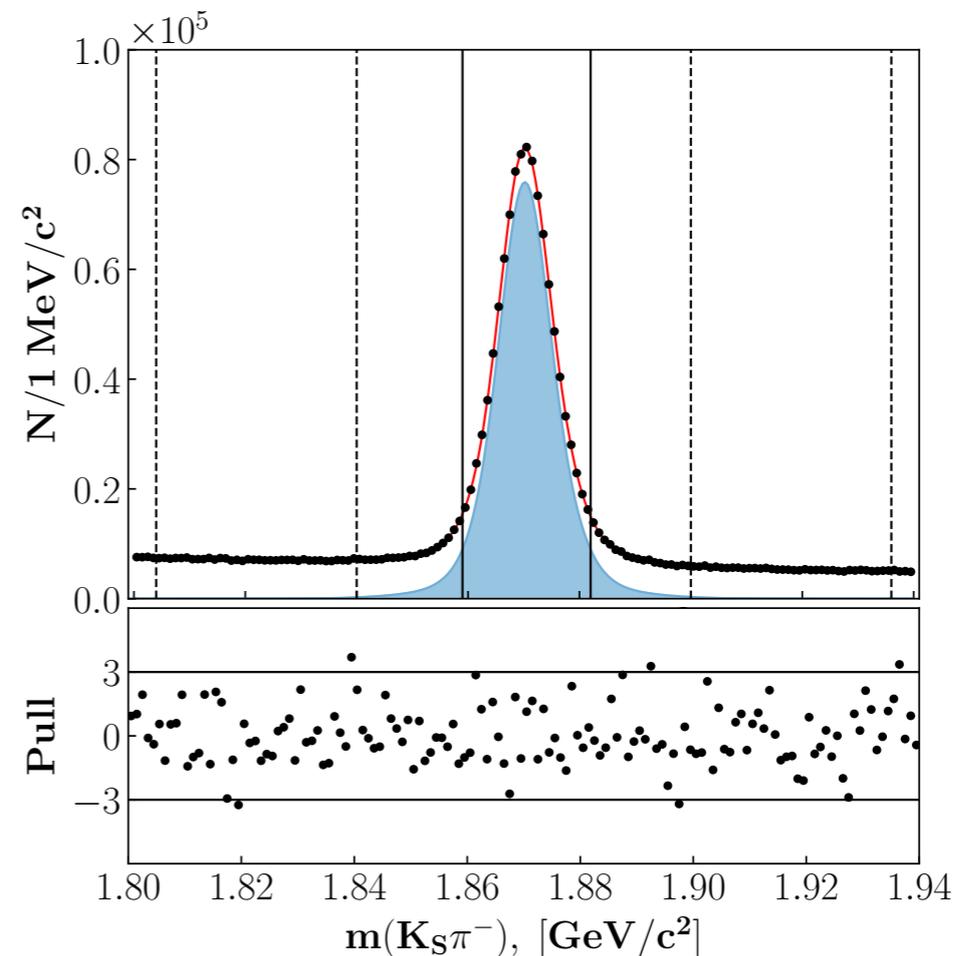
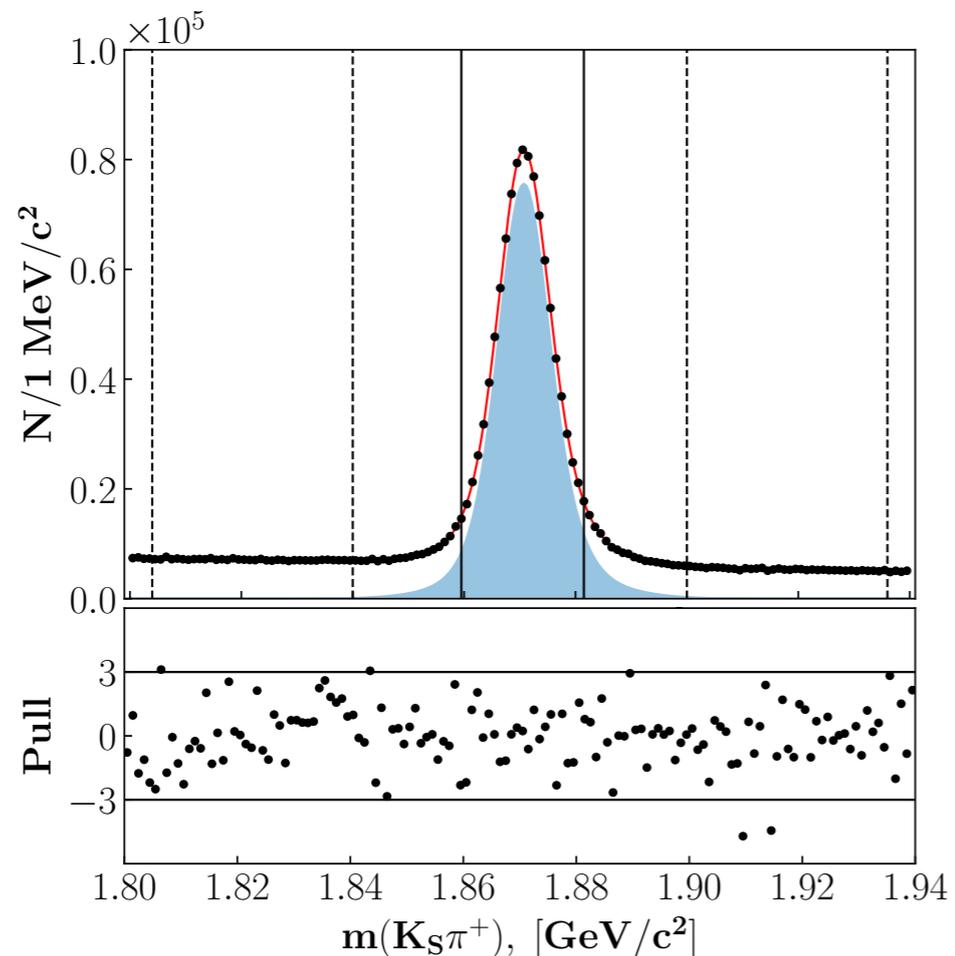
ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАСПАДА $D^+ \rightarrow K_S \pi^+$

Сигнальная область: $|m(K_S \pi^+) - M_{D_s}| < 11 \text{ MeV}/c^2$

Контрольные интервалы: $1.807 < m(K_S \pi) < 1.840$;
 $1.900 < m(K_S \pi) < 1.933$

	N_{sig}	Purity
D^+	$(893 \pm 4) \times 10^3$	88 %
D^-	$(906 \pm 4) \times 10^3$	88 %

$$F = G_1(\mu_1, \sigma_1, N) + G_2(\mu_2, \sigma_2, N) + G_3(\mu_3, \sigma_3, N) + P_2$$



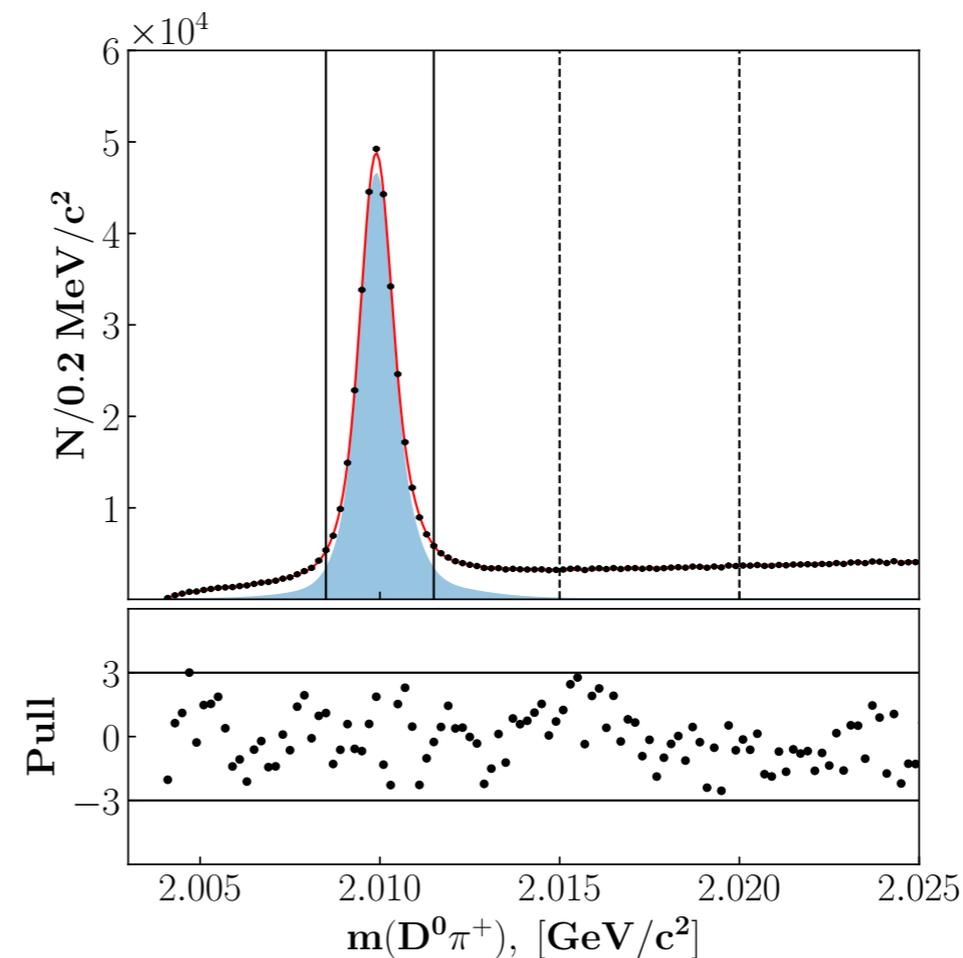
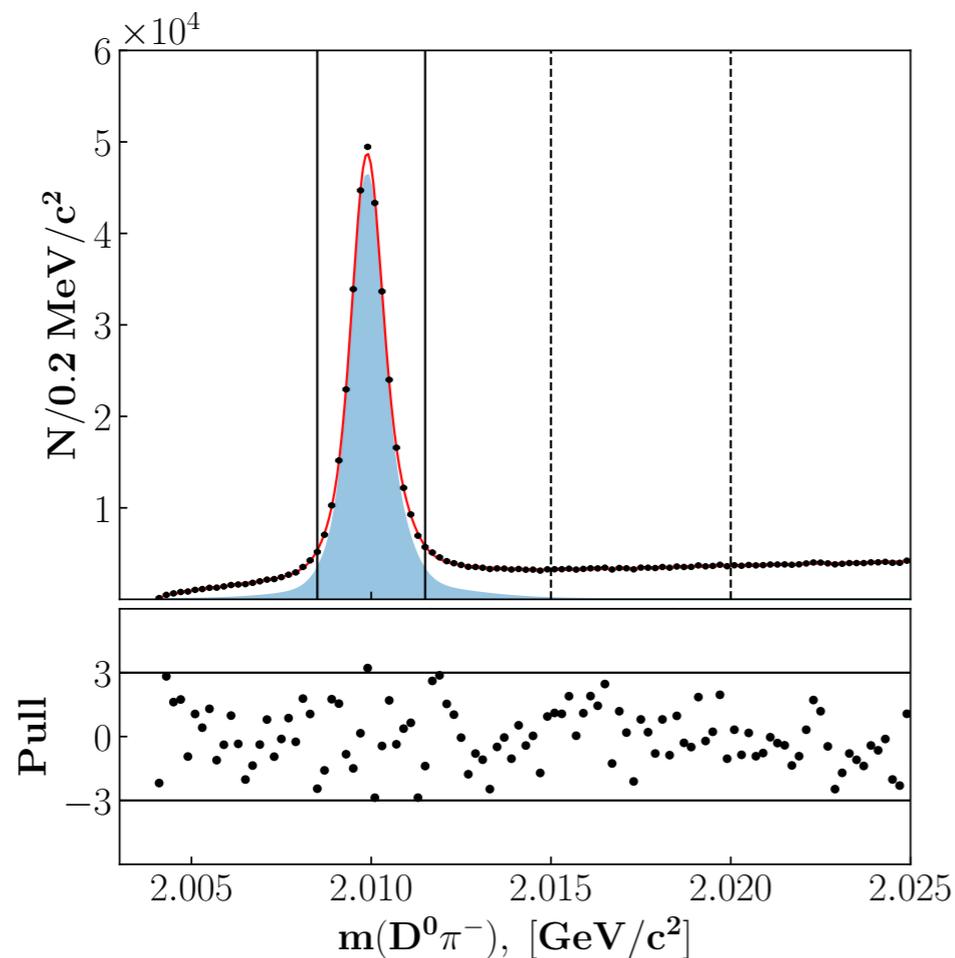
ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАСПАДА $D^{*+} \rightarrow (K_S\pi^0)_D\pi^+$

Сигнальная область: $|m(D^0\pi) - M_{D^*}| < 1.5 \text{ MeV}/c^2$

Контрольный интервал: $2.015 < m(D^*) < 2.020$

$$F = G_1(\mu_1, \sigma_1, N) + G_2(\mu_2, \sigma_2, N) + G_3(\mu_3, \sigma_3, N) + P_{2(1/2)}$$

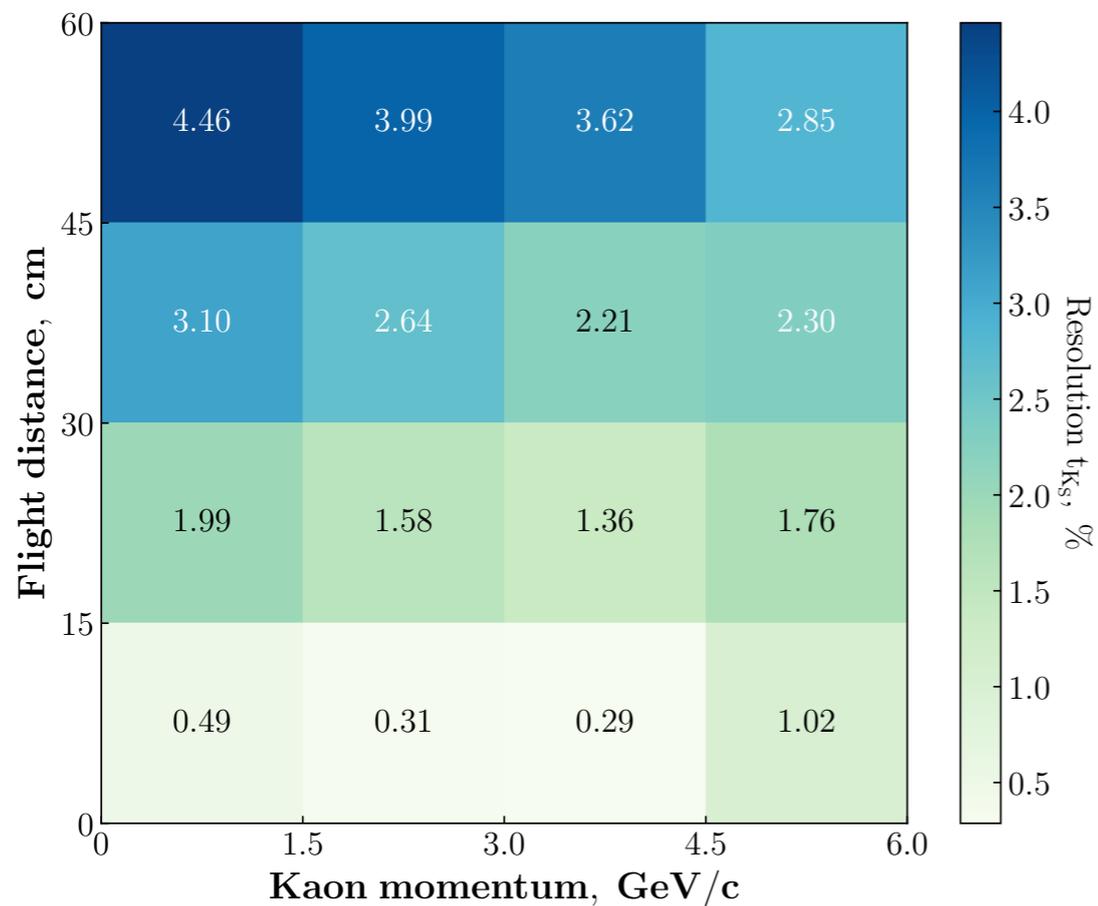
	N_{sig}	Purity
D^{*+}	$(302 \pm 2) \times 10^3$	90 %
D^{*-}	$(301 \pm 2) \times 10^3$	90 %



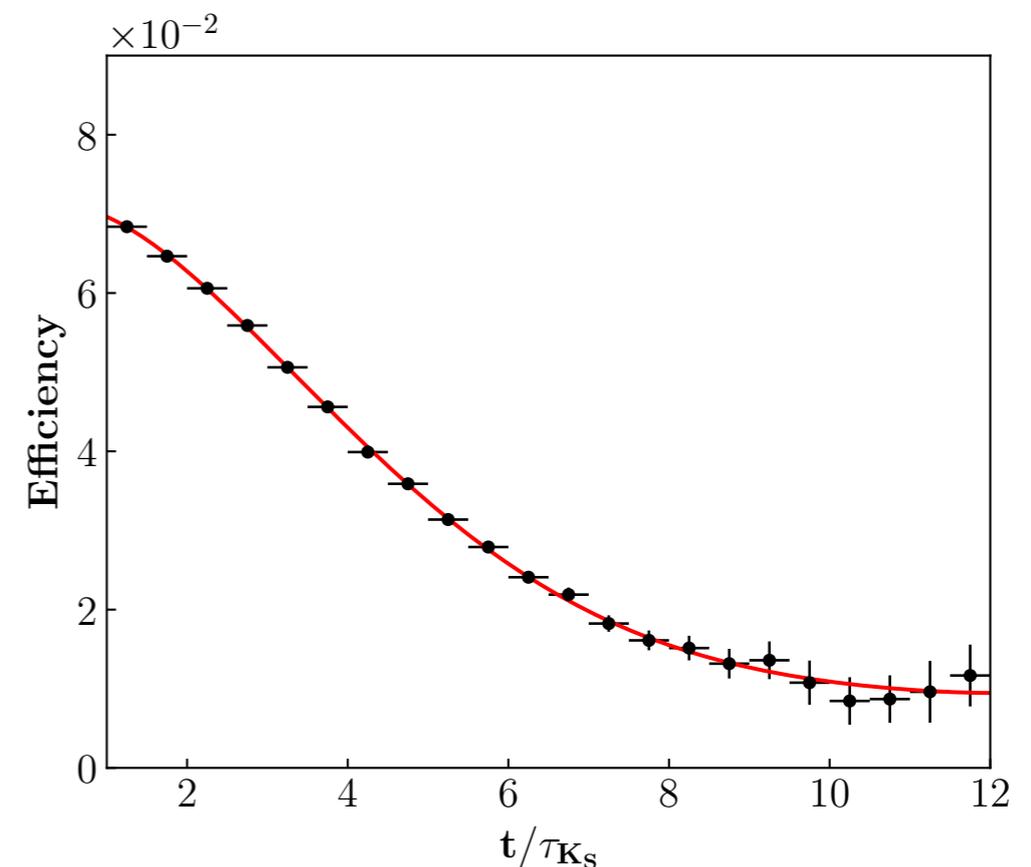
РАЗРЕШЕНИЕ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ

- Эффективность восстановления была получена с помощью моделирования методом Монте-Карло.
- Разрешение по времени жизни нейтрального каона для большинства событий находится на уровне 1..2%, а в общем случае не превышает 5%.

Разрешение по времени жизни K_S -мезона



Эффективность восстановления (Generic MC)

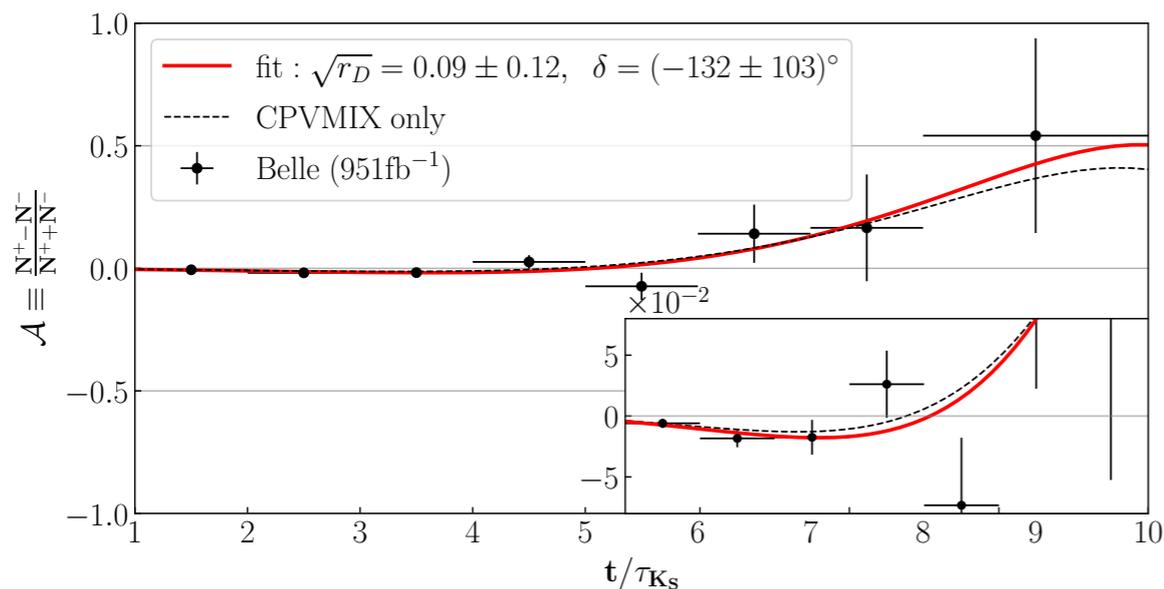


ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

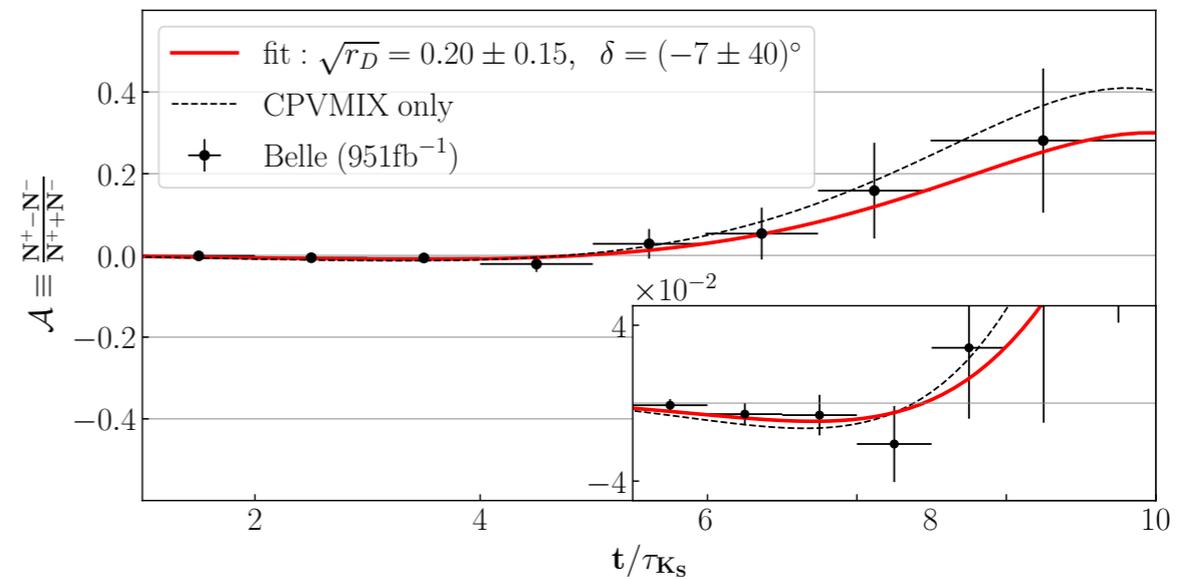
Фитирование выполнялось методом наибольшего правдоподобия одновременно распределений по времени жизни для D-мезонов обоих знаков. В результате получены значения:

Мода распада	$\sqrt{r_f}$	$\delta, ^\circ$
$D^+ \rightarrow K_S \pi^+$	0.07 ± 0.10	-56 ± 61
$D_s^+ \rightarrow K_S K^+$	0.09 ± 0.12	-132 ± 103
$D^0 \rightarrow K_S \pi^0$	0.20 ± 0.15	-7 ± 40

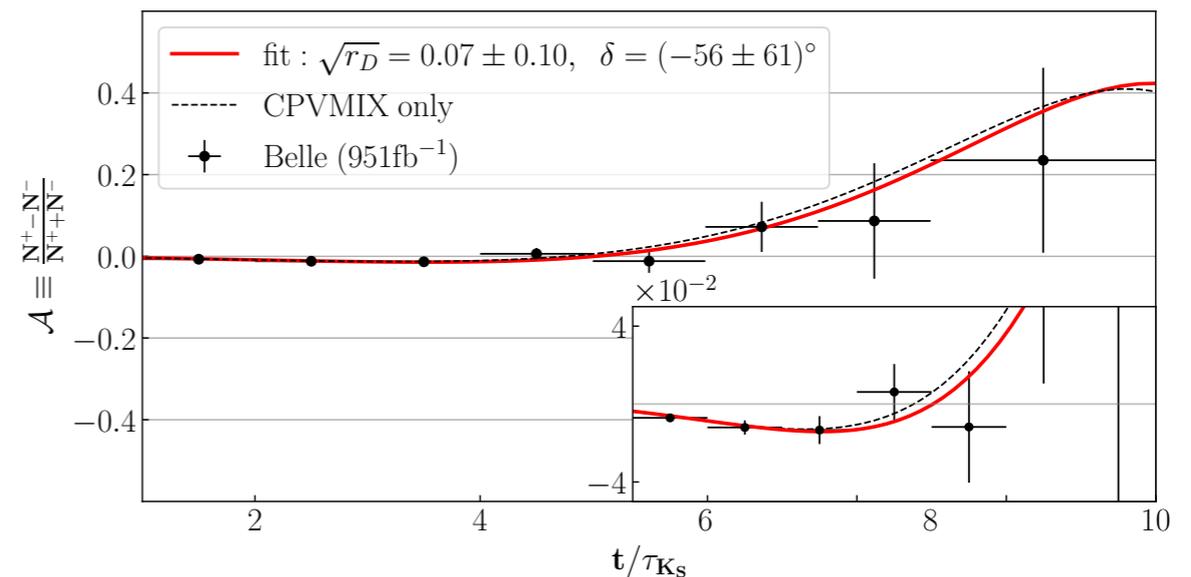
$$D_s^\pm \rightarrow K_S K^\pm$$



$$D^{*+} \rightarrow (K_S \pi^0)_D \pi^+$$

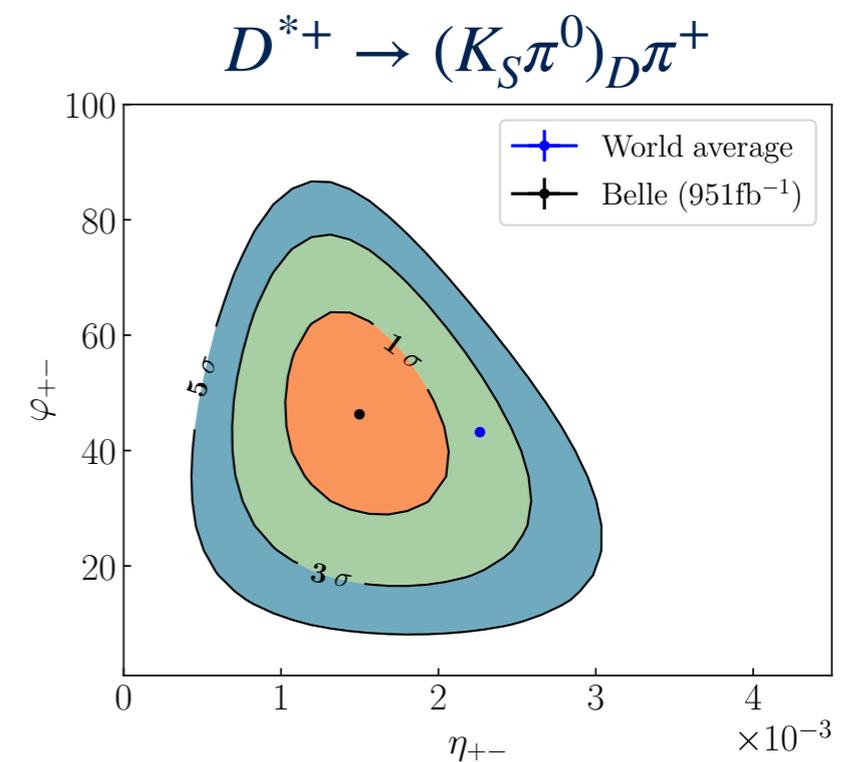
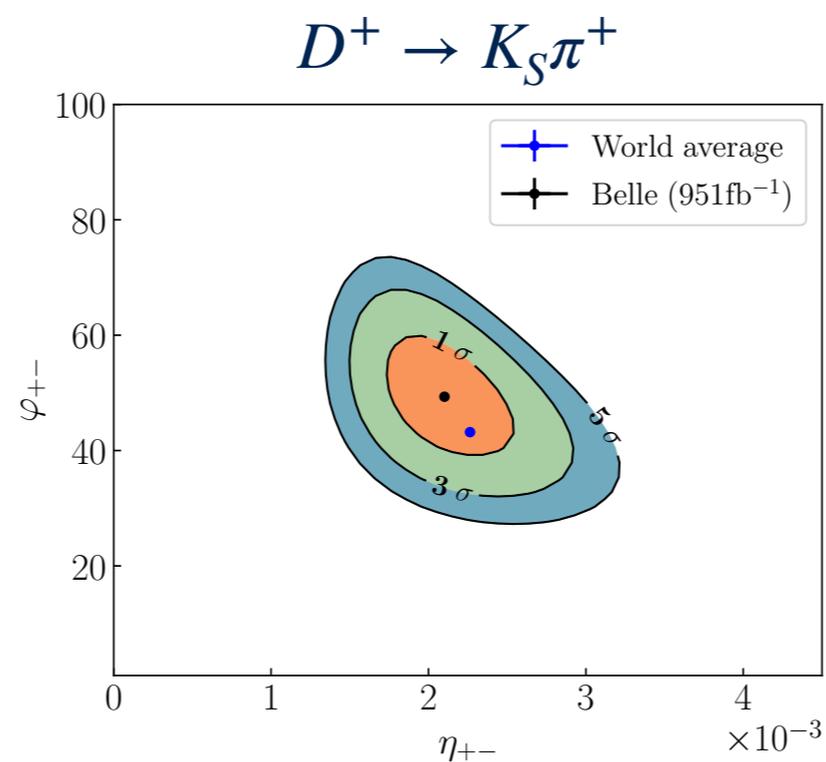
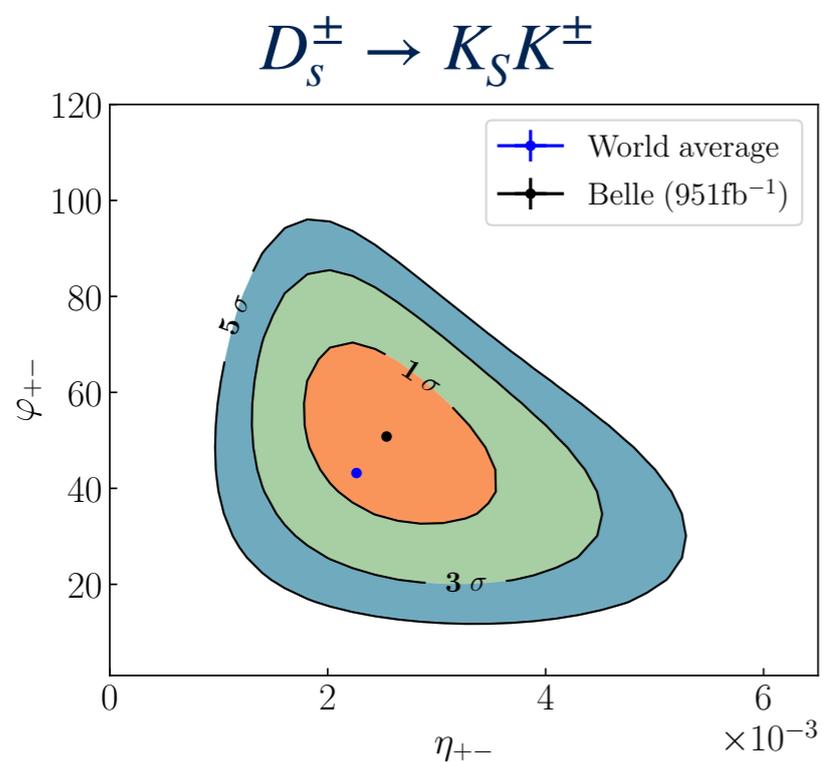


$$D^+ \rightarrow K_S \pi^+$$



ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

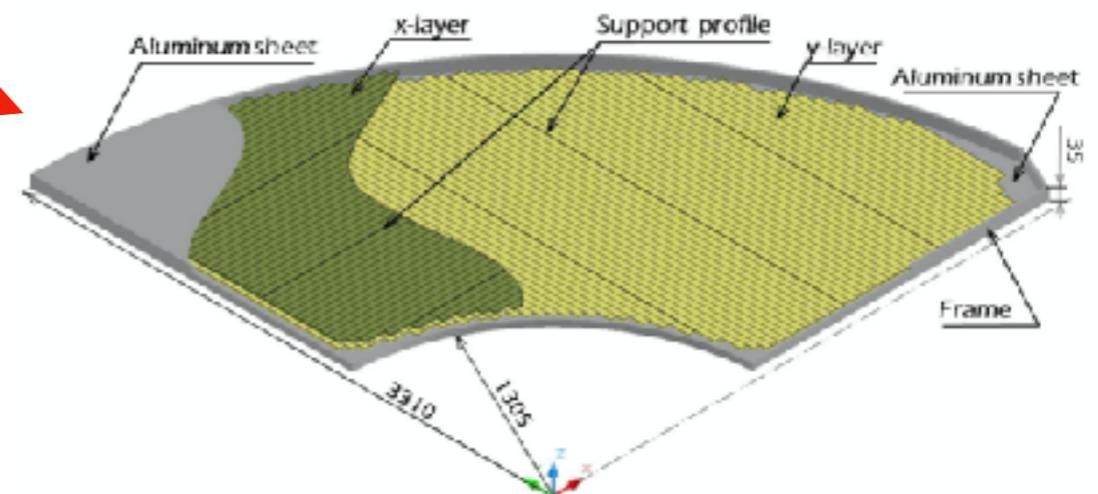
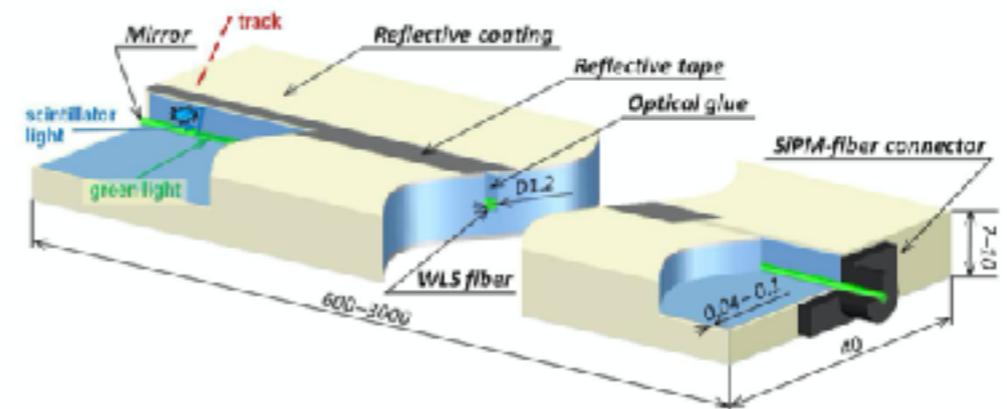
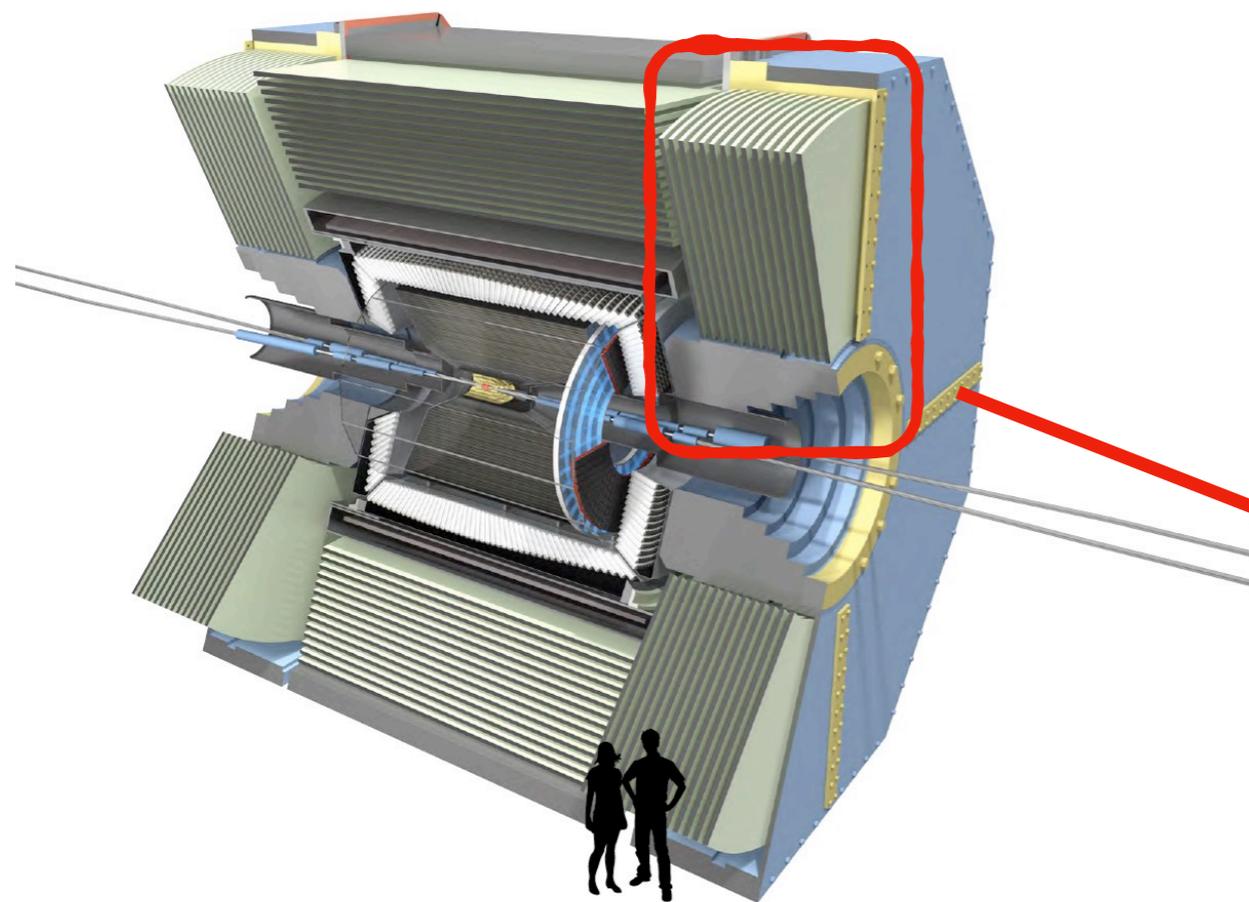
- Выполнено восстановление распадов на данных Belle ;
- Несмотря на отсутствие значимости измерения параметров DCS распадов нарушение CP -инвариантности в распадах каонов наблюдается на уровне значимости более 5σ для всех исследуемых распадов;



KLM BELLE II

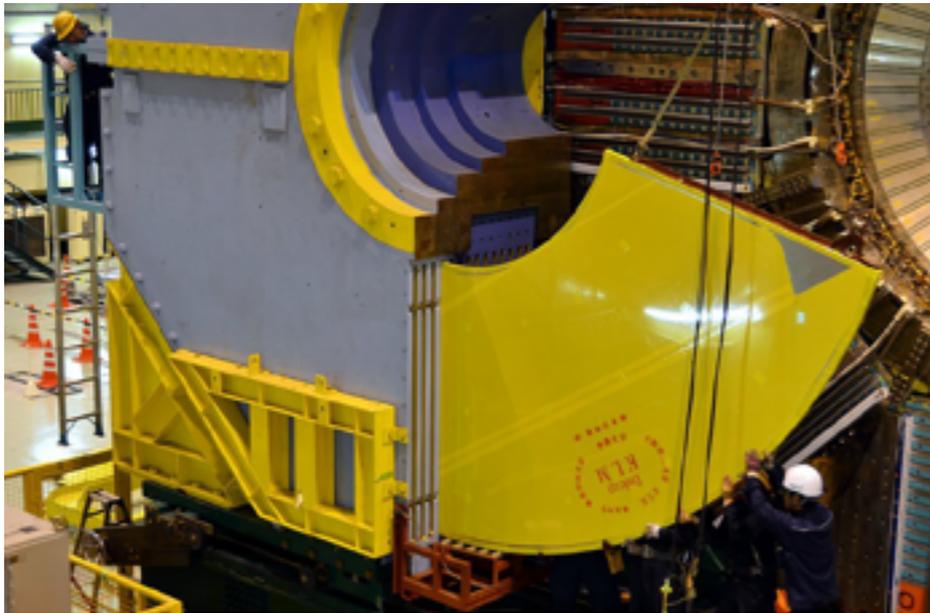
Основной задачей фабрики прелестных адронов следующего поколения является поиск Новой физики в прецизионном измерении параметров редких процессов и повышение точности измерений фундаментальных параметров Стандартной модели.

Светимость SuperKEKB выше в 40 раз: RPC → Сцинтиллятор



NIM A789,134 – 142(2015)

УСТАНОВКА И ПОДКЛЮЧЕНИЕ EKLM



Число рабочих стрипов в мюонной системе.

EKLM Backward

Сектор	EB0	150	150	150	150	150	150	150	150	149	150	150	150
	EB1	150	150	150	150	149	150	150	150	150	150	149	150
	EB2	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	149	150
	EB3	149	150	150	150	135	148	150	150	150	150	150	150
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Номер слоя											

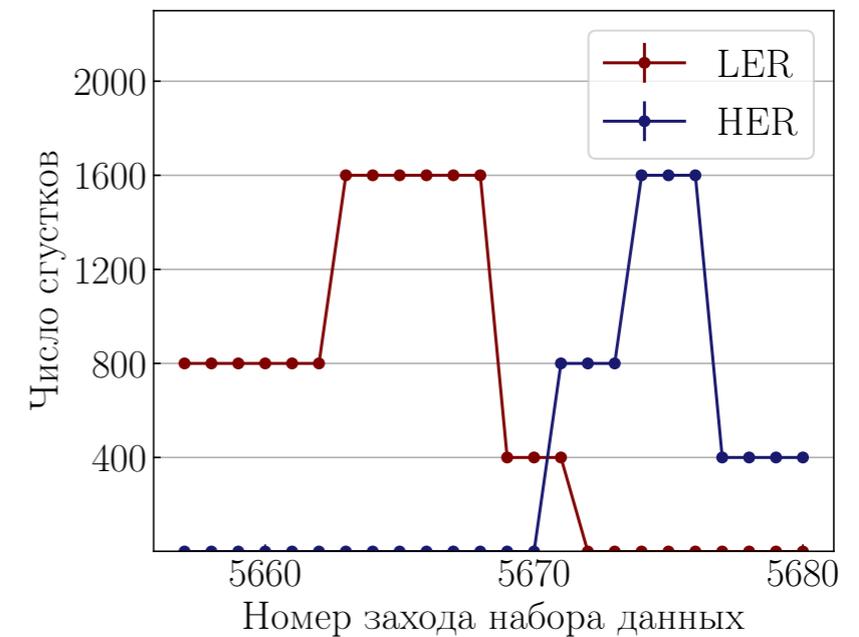
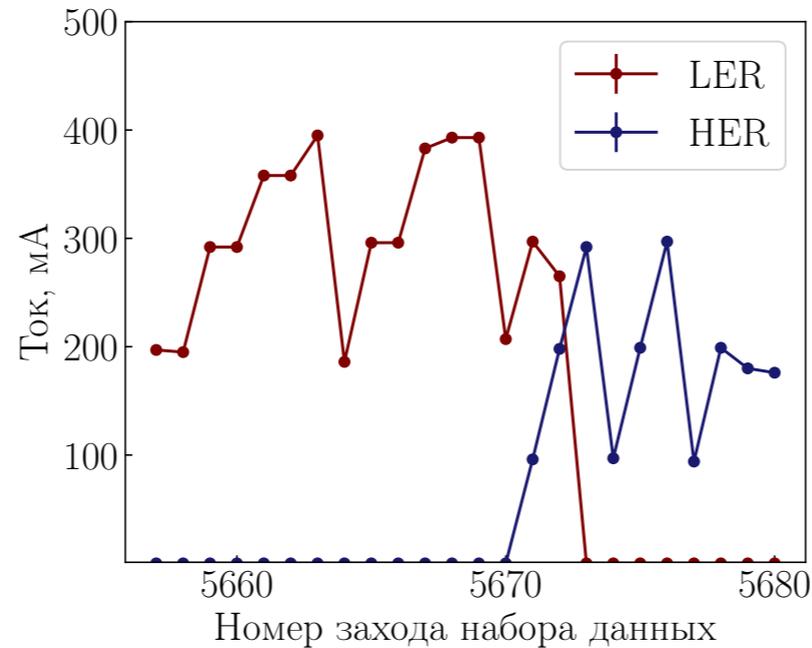
EKLM Forward

Сектор	EF0	150	150	150	150	150	150	150	150	149	150	150	150	150	150
	EF1	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	EF2	149	150	150	150	150	149	150	150	150	150	150	150	150	150
	EF3	150	150	150	150	148	150	150	150	150	150	150	150	149	150
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
		Номер слоя													

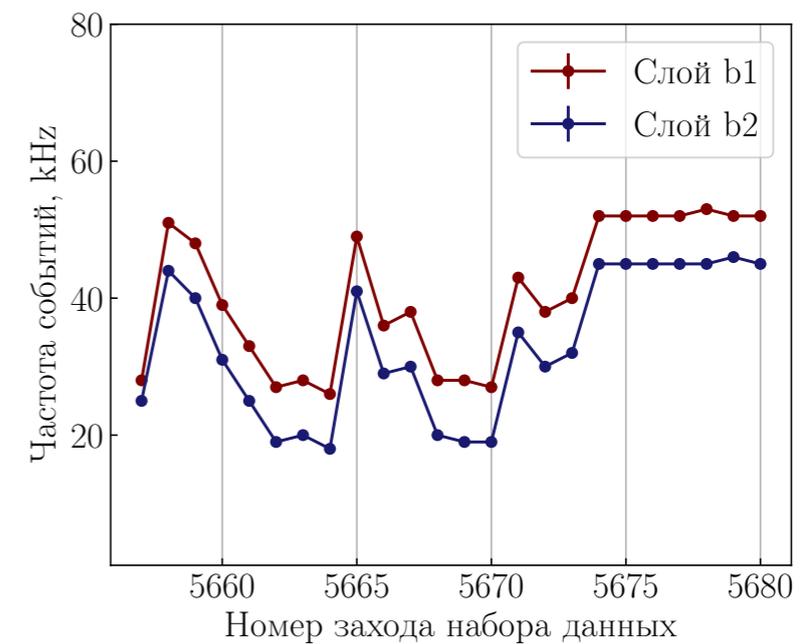
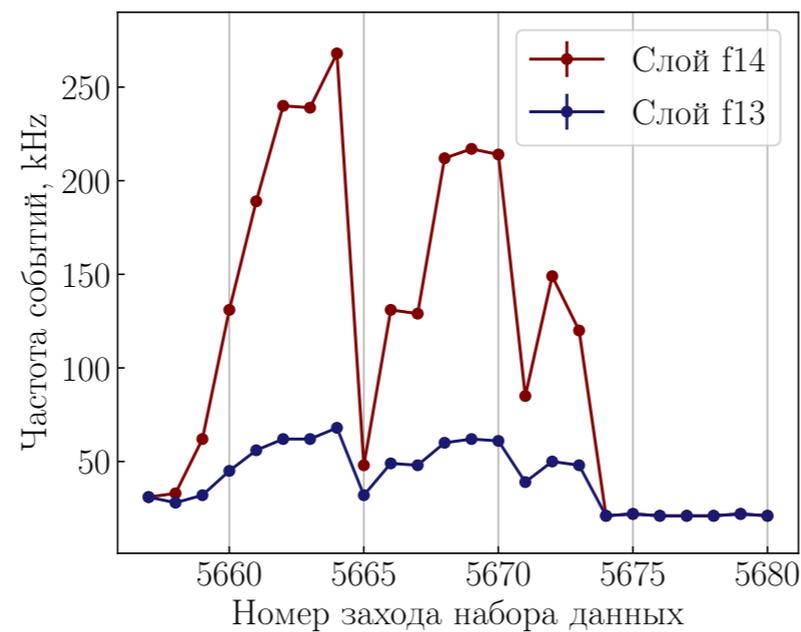
УСКОРИТЕЛЬНЫЕ ФОНЫ В EKLM

Конфигурации работы ускорителя

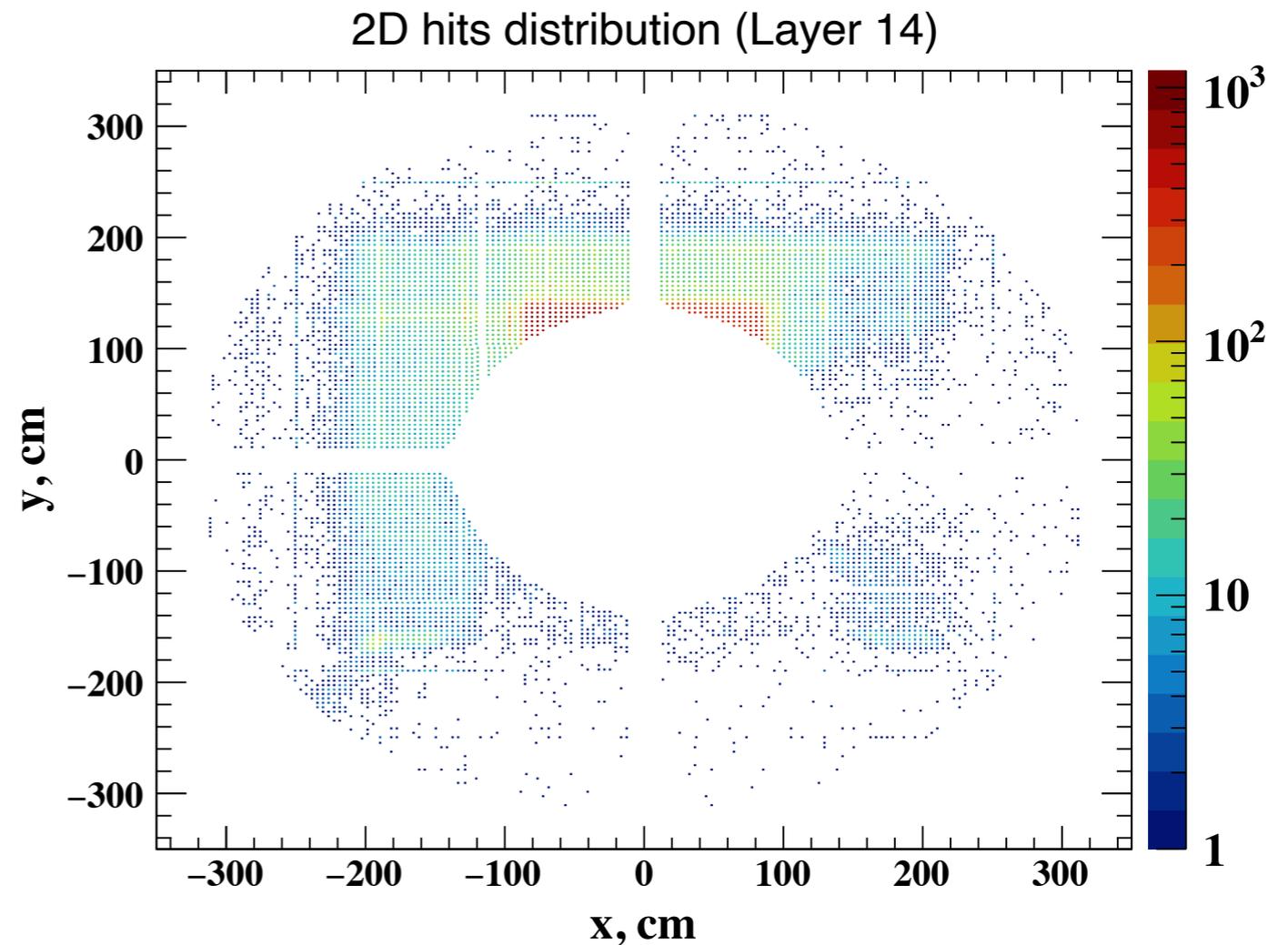
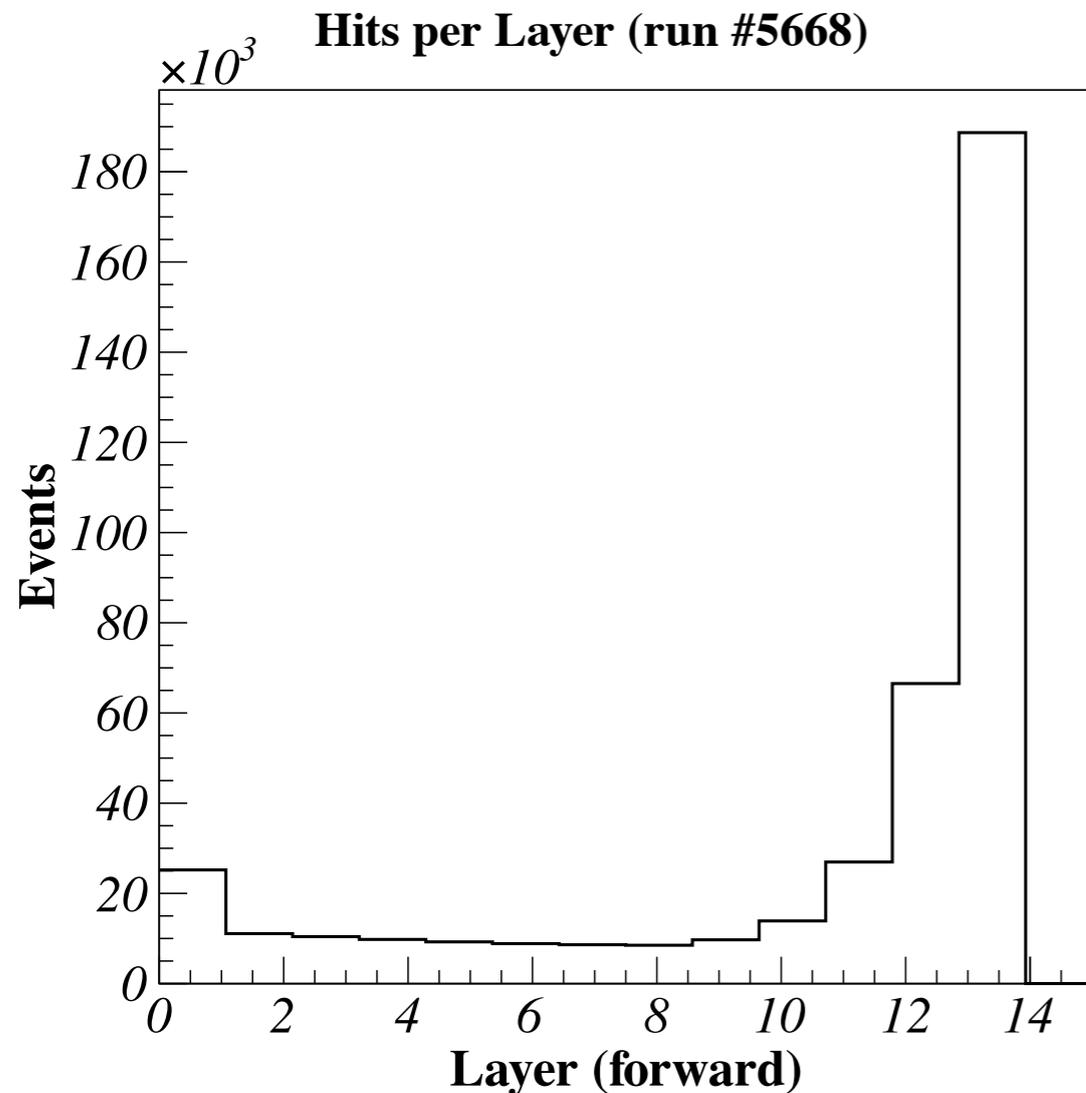
Для оценки ускорительных фонов были произведены специальные заходы набора данных, когда в рабочем состоянии находилось только одно из накопительных колец. Основная задача таких заходов — поиск оптимальной конфигурации работы ускорителя.



Частота событий в EKLM



KLM BELLE II



Максимальная нагрузка одного стрипа — 22 kHz;
Допустимо DAQ — 160 kHz.



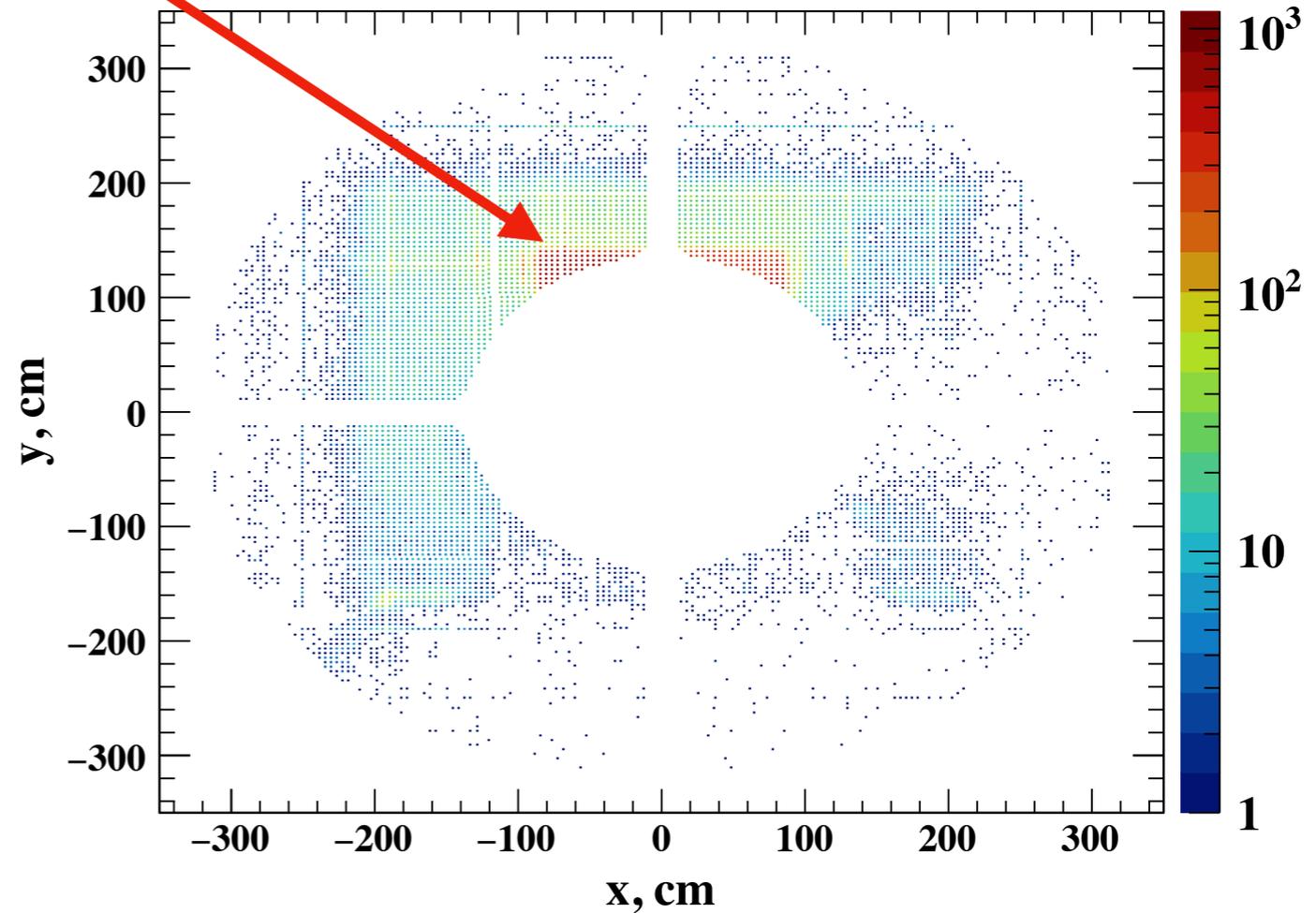
Оптимизация сигнального окна;
Установка дополнительной защиты;
Повышение порога.

KLM BELLE II

Отсутствует нейтронная защита



2D hits distribution (Layer 14)



Максимальная загрузка одного стрипа — 22 kHz;
Допустимо DAQ — 160 kHz.

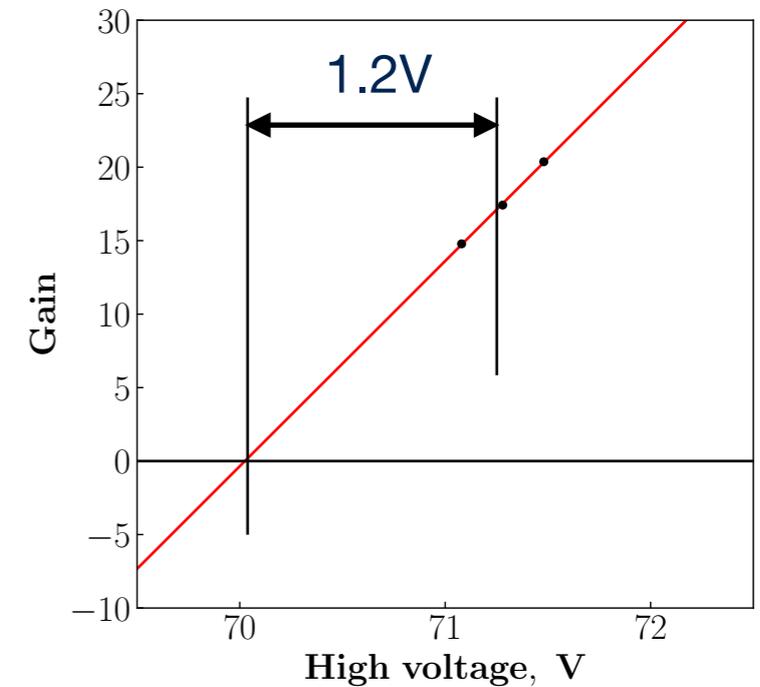
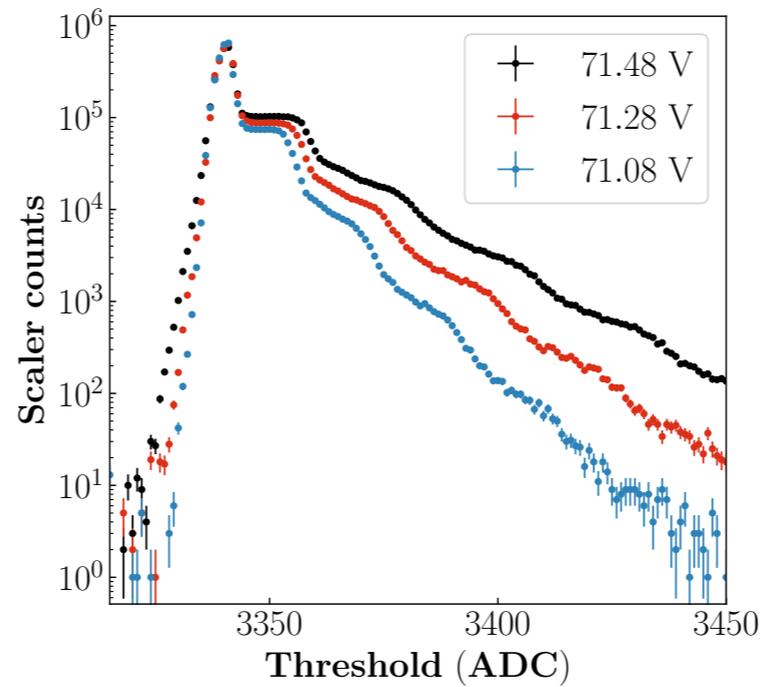


Оптимизация сигнального окна;
Установка дополнительной защиты;
Повышение порога.

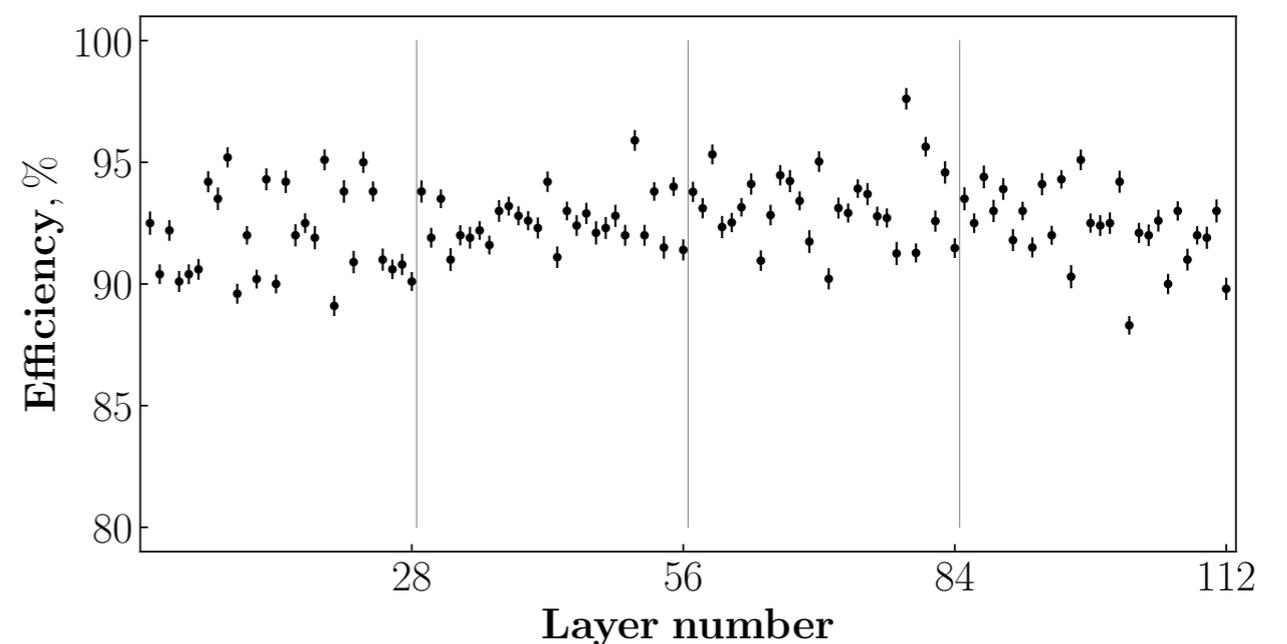
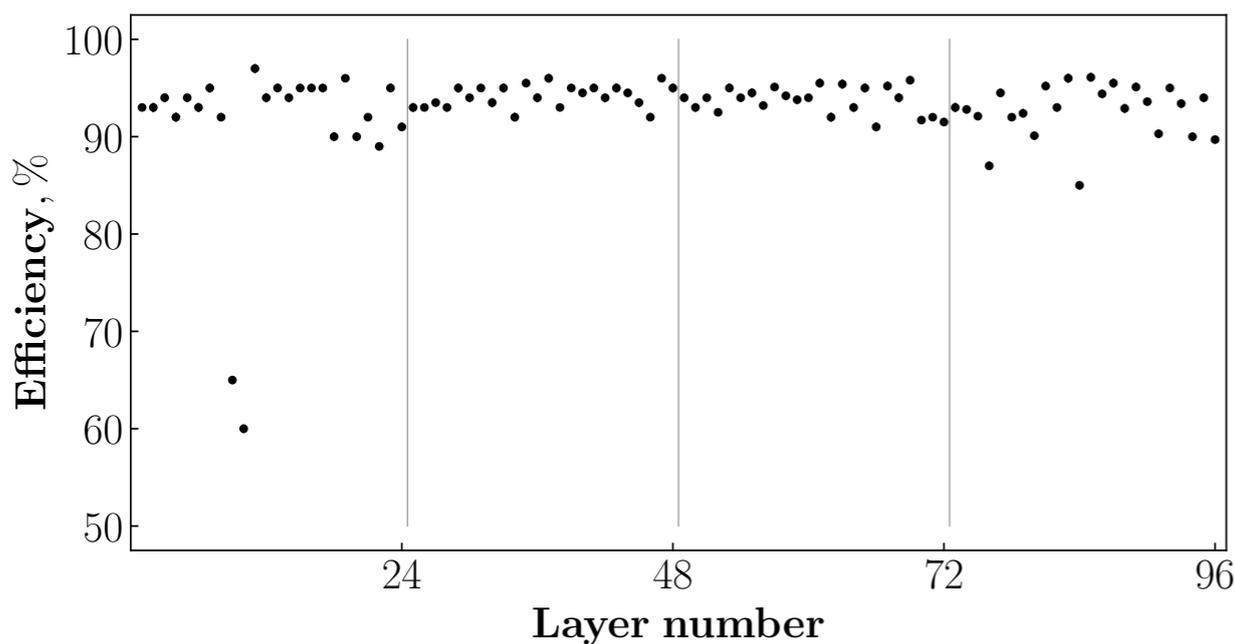
КАЛИБРОВКА КФУ ЕКЛМ

Для поддержания эффективности работы ЕКЛМ была разработана процедура калибровки подстроечного напряжения.

Оптимальная точка на 1.2В выше напряжения пробоя. Для определения напряжения пробоя выполняется сканирование по 3 точкам.



Эффективность модулей ЕКЛМ находится на уровне (90..95)%.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Новый метод измерения разности сильных фаз в распадах очарованных адронов с использованием полулептонных распадов нейтральных каонов. Феноменологический анализ эволюции суперпозиции странности нейтральных каонов, рожденных в распадах очарованных адронов, в собственные состояния аромата;
- Разработка метода экспериментального восстановления полулептонных распадов нейтральных каонов с потерянным нейтрино в конечном состоянии и оценка его эффективности и выбор критериев подавления фона;
- Новый метод измерения разности сильных фаз в распадах очарованных адронов с использованием распада $K^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$. Феноменологический анализ эволюции суперпозиции нейтральных каонов, рожденных в распадах тяжелых адронов, в CP собственные состояния

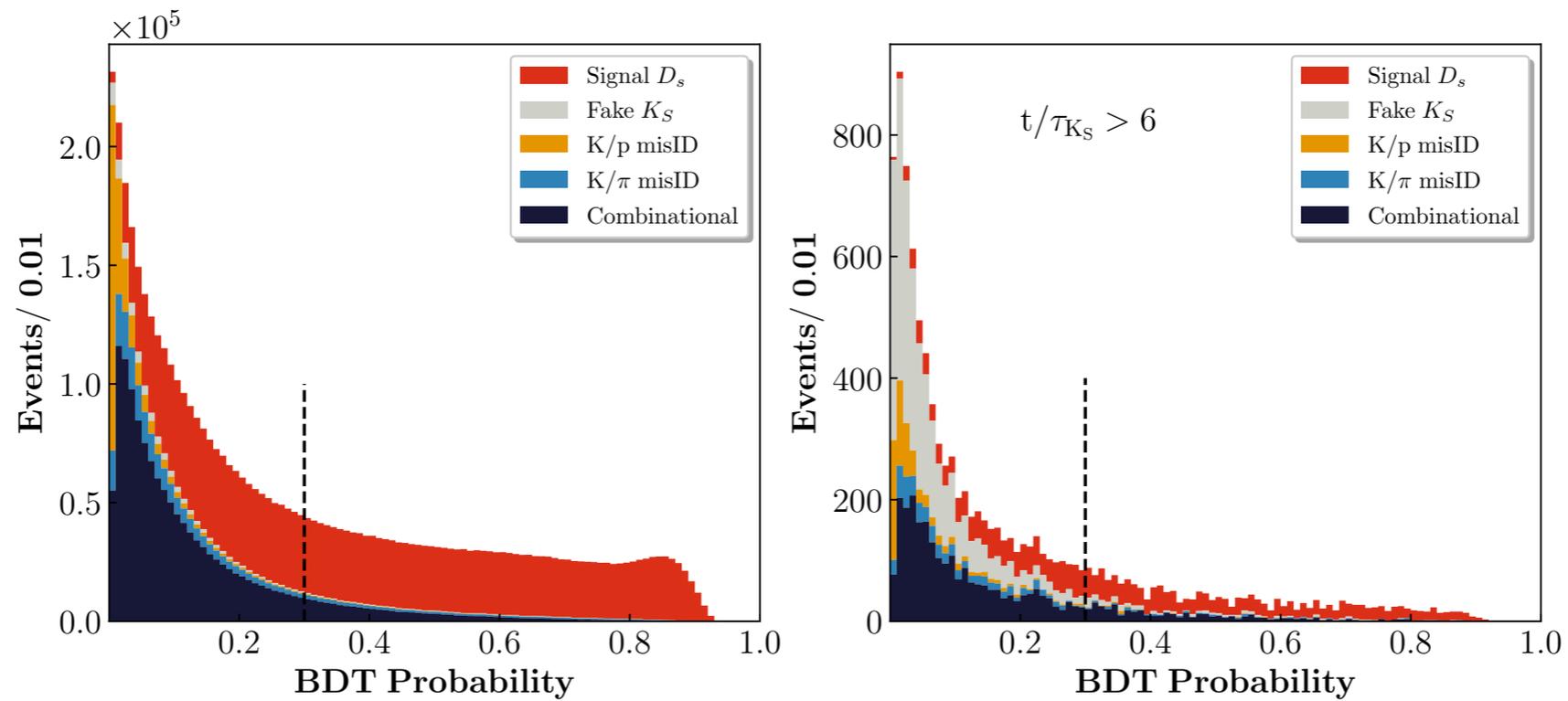
ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Теоретические предсказания для значений разностей сильных фаз в распадах $D_s^\pm \rightarrow K_S K^\pm$, $D^+ \rightarrow K_S \pi^+$ и $D^{*+} \rightarrow (K_S \pi^0)_D \pi^+$, полученные на основе $SU(3)_f$ симметрии ароматов;
- Обоснование требований для перспективных экспериментальных установок для достижения максимальной точности, используя предложенные методы;
- Оценка потенциальной точности для обоих методов в эксперименте Belle II и эксперименте на Супер $c - \tau$ фабрике (СЧТФ);
- Оценка систематической погрешности, вносимой регенерацией нейтральных каонов на веществе детектора, в измерение разности сильных фаз. Оценка значения неопределенности, связанной со смешиванием в системе $D^0 - \bar{D}^0$;
- Разработка и автоматизация метода калибровки кремниевых фотоумножителей для системы регистрации мюонов и долгоживущих нейтральных каонов эксперимента Belle II. Оценка фонов ускорителя Super KEKB в мюонной системе.

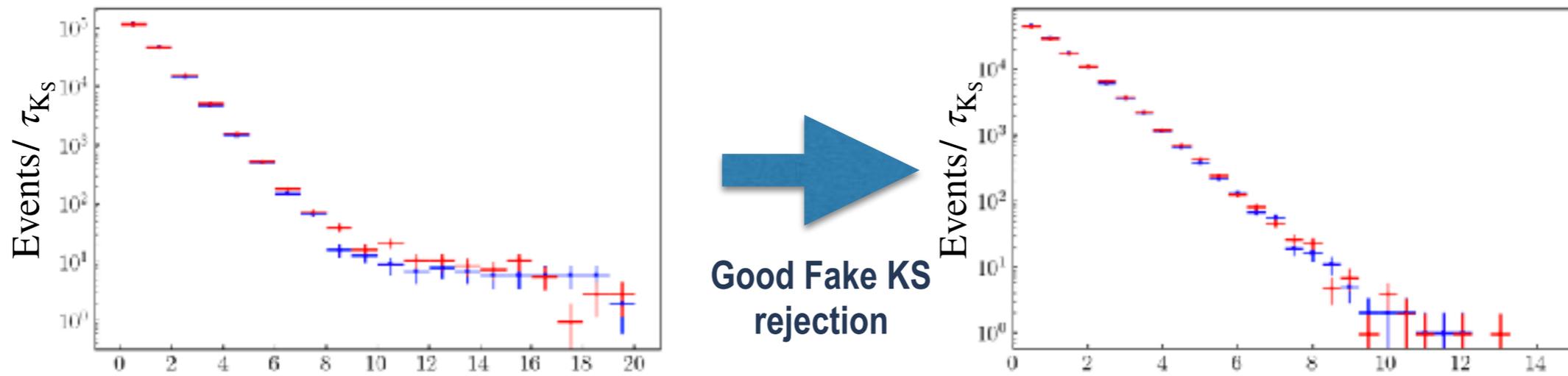


BACKUP SLIDES

ПОДАВЛЕНИЕ ФОНА ОТ

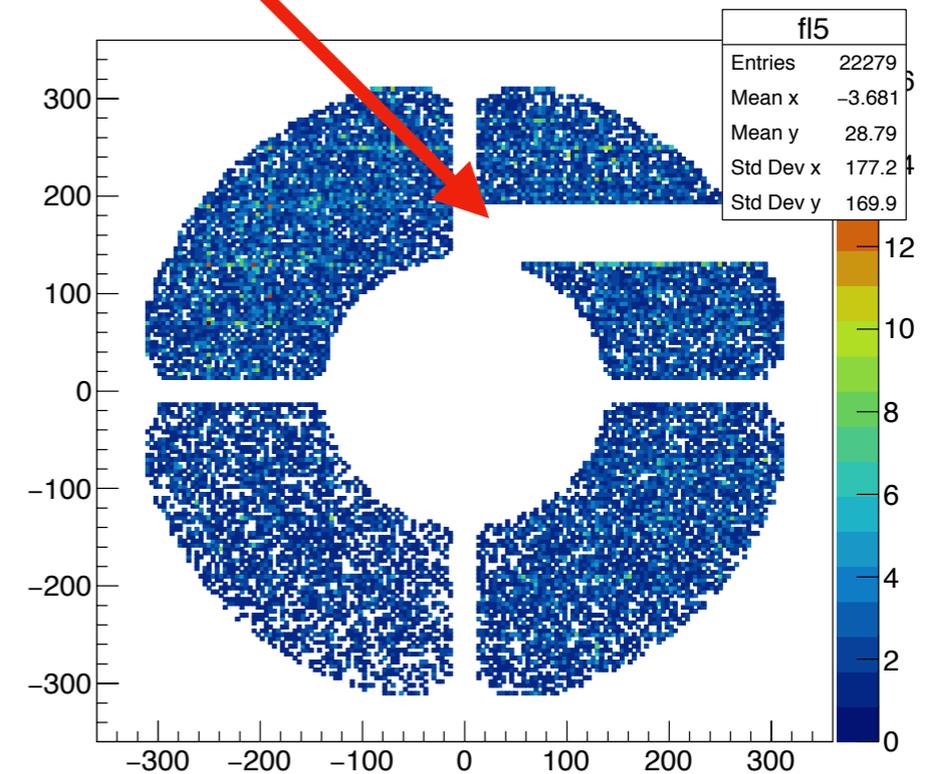
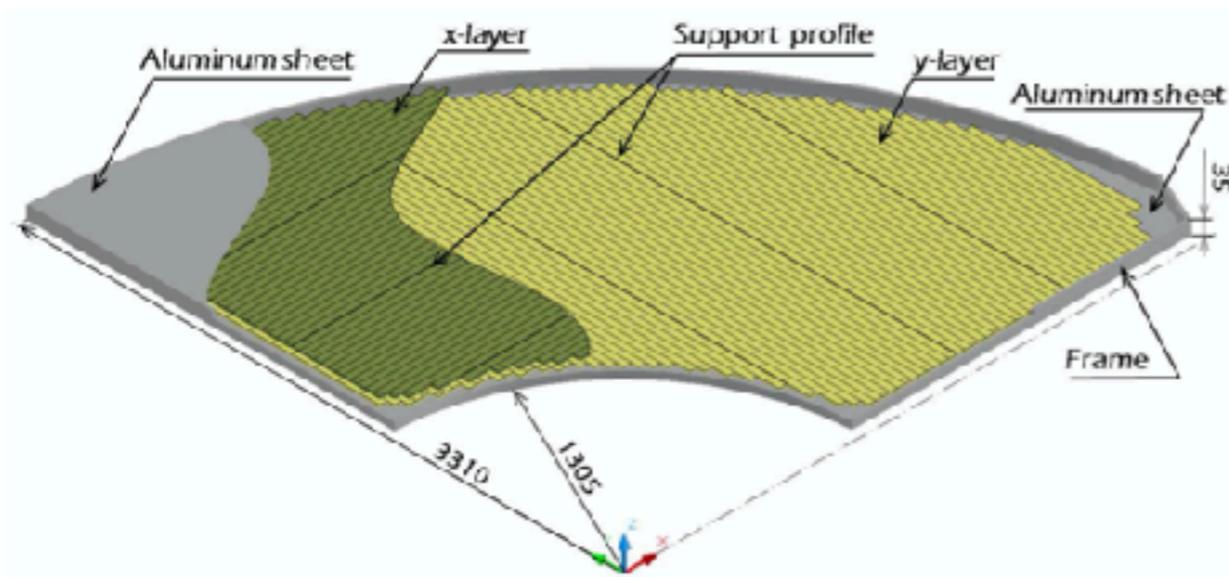
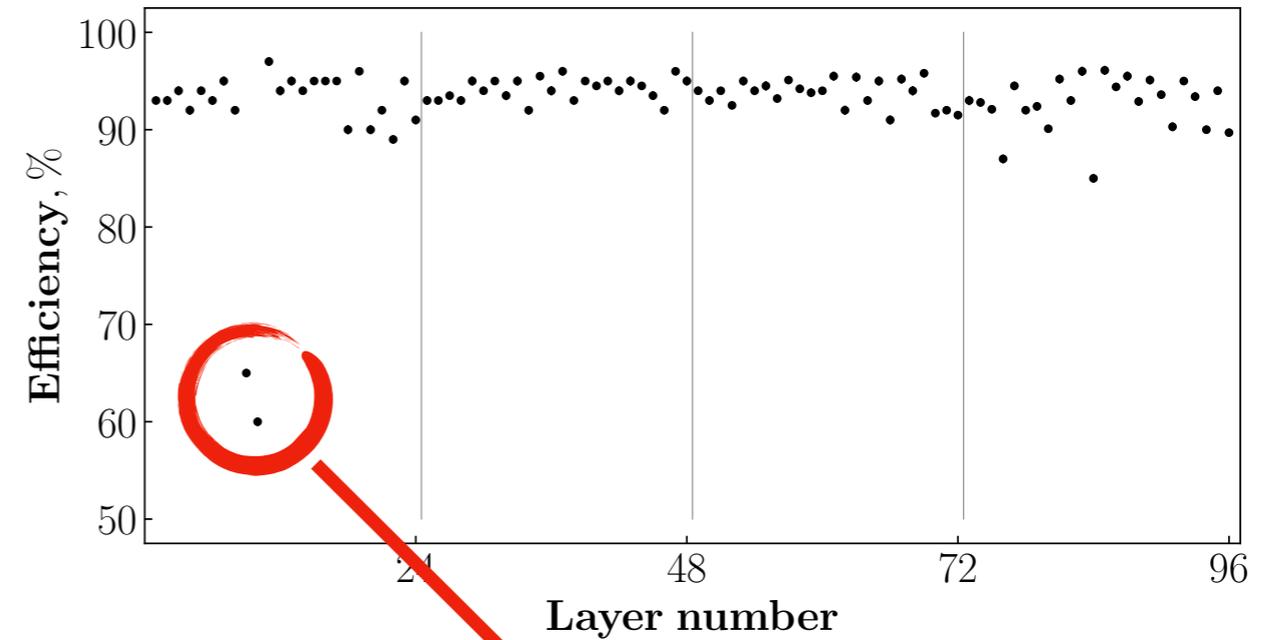


Left and right D_s sidebands before and after BDT selection.

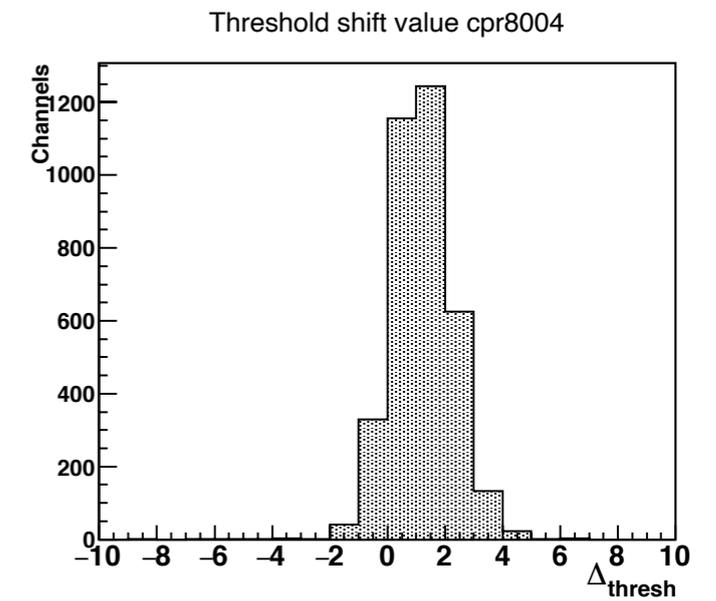
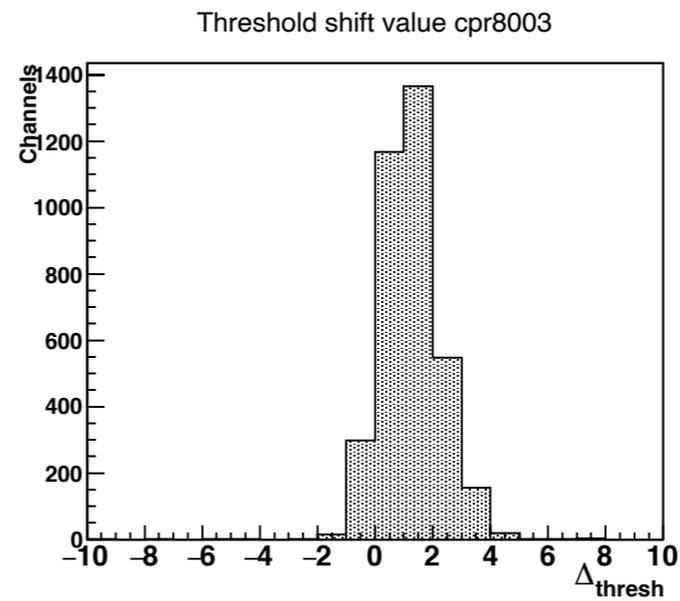
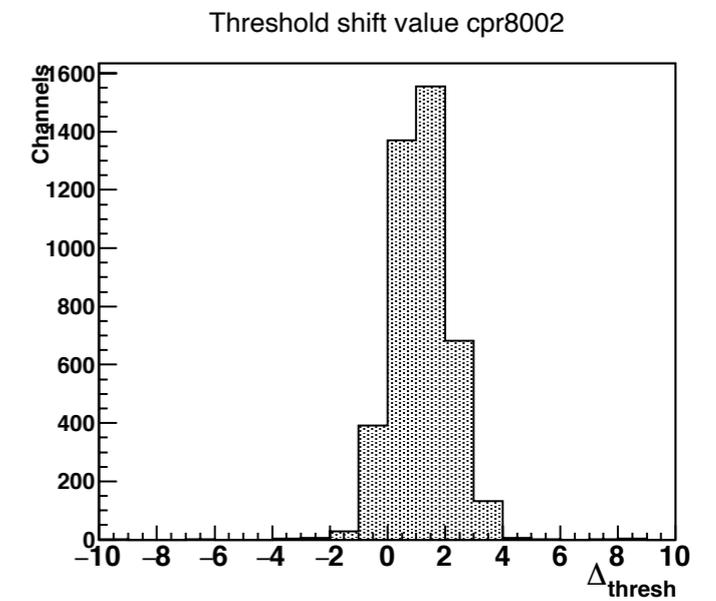
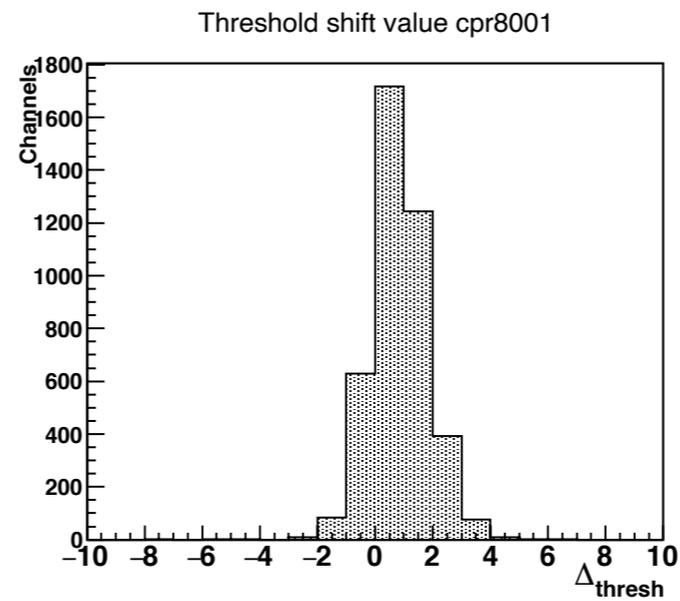
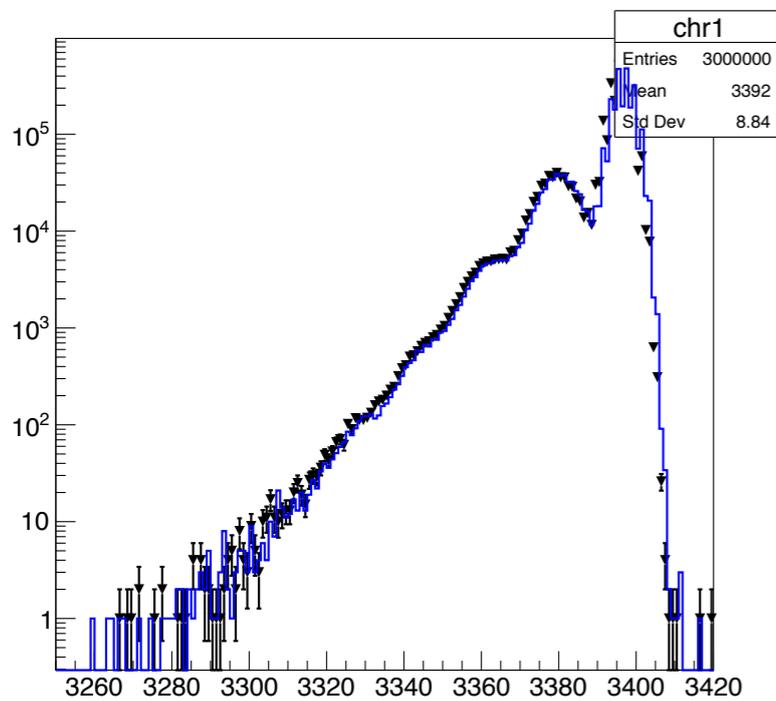


НЕРАБОЧИЕ СТРИПЫ В ЕКЛМ

Низкая эффективность в одном из слоев ЕКЛМ связана с нерабочим сегментом в 5 слое.



ПРОВЕРКА СТАБИЛЬНОСТИ КАЛИБРОВОК

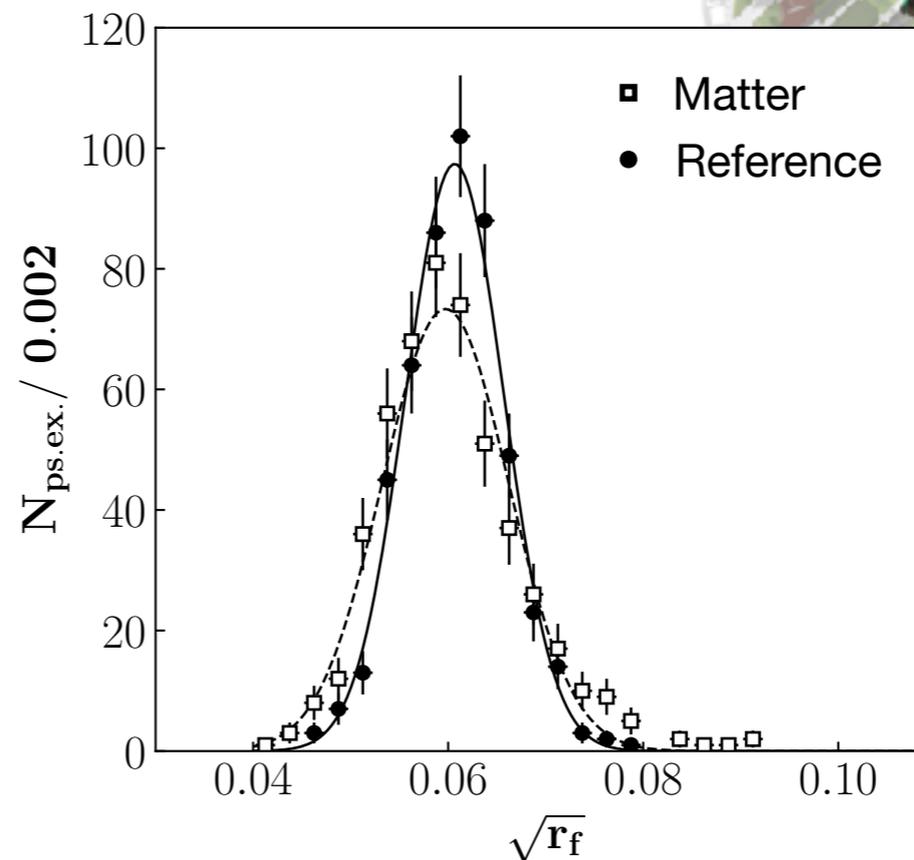
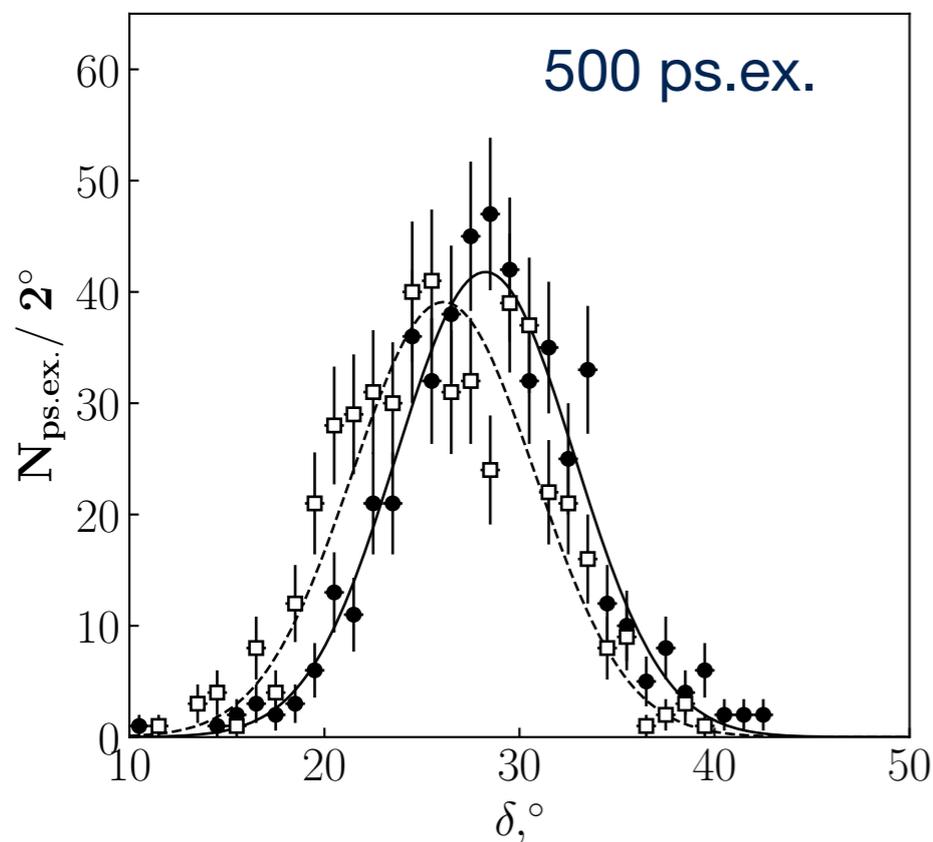
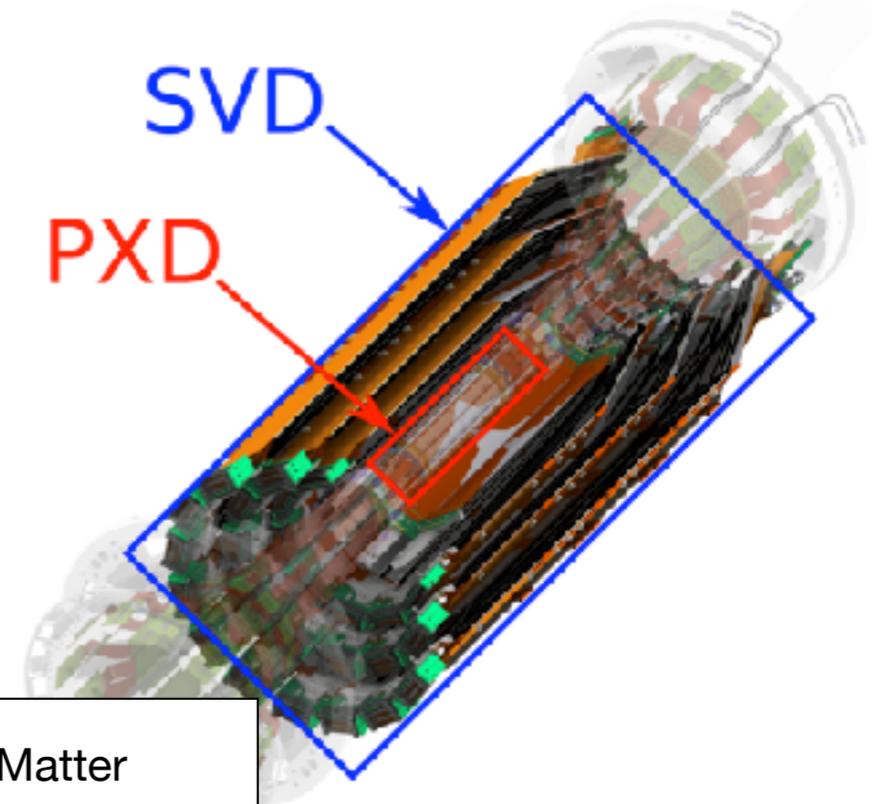


ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ K^0 -МЕЗОНОВ С ВЕЩЕСТВОМ ДЕТЕКТОРА

Оценка вклада регенерации была выполнена для Belle II.

Be — 1 мм, Si — $L_{1,2} = 50\text{мкм}$, $L_{3-6} = 300\text{мкм}$

Материал	σ_{tot} , (mb)	$\text{Re}\Delta f$, fm	$\text{Im}\Delta f$, fm
Si	553.0	-7.5	-12.9
Be	219.1	-3.9	-6.2

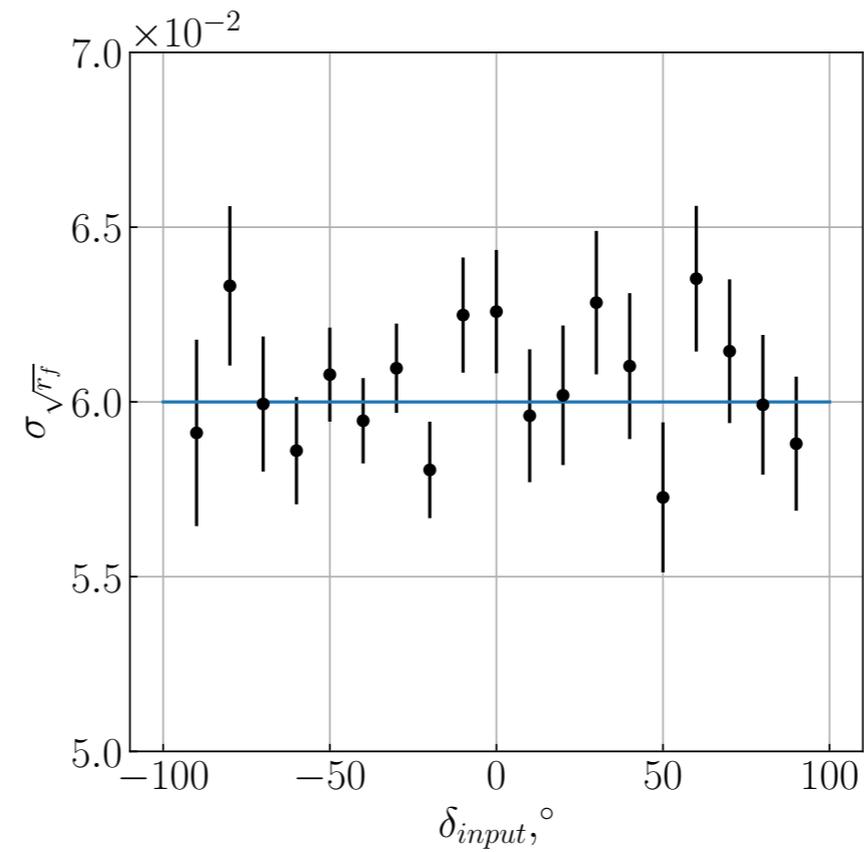
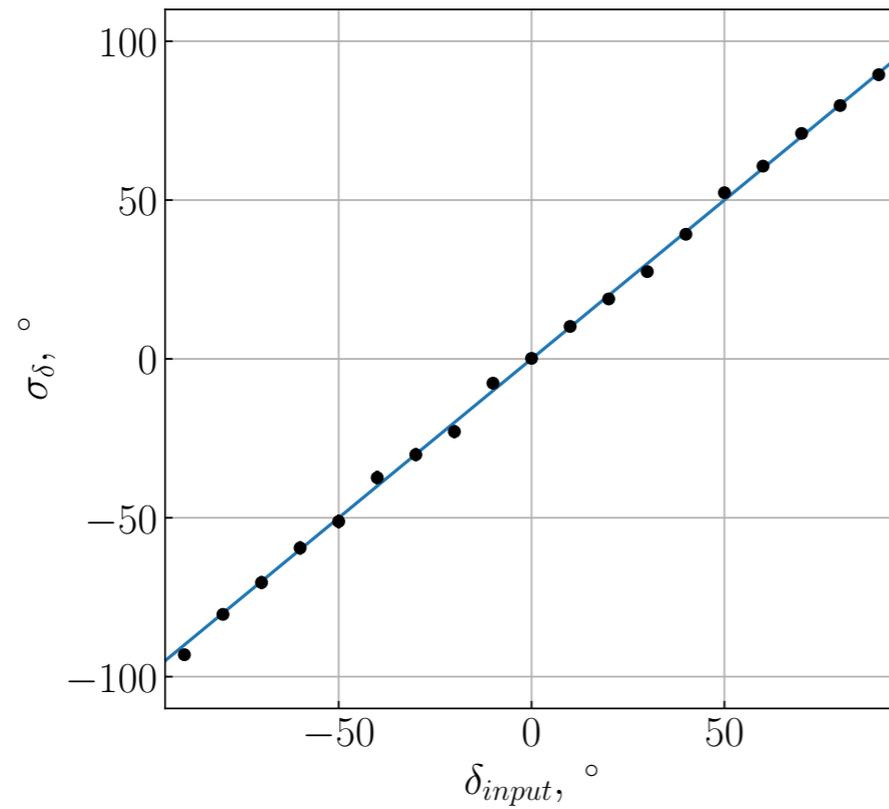


КРИТЕРИИ ОТБОРА

Примененные критерии отбора для распадов очарованных адронов.

Критерий отбора	$D^+ \rightarrow K_S^0 \pi^+$	$D_s^+ \rightarrow K_S^0 K^+$	$D^0 \rightarrow K_S^0 \pi^0$
Прицельные параметры заряженных треков	$dr < 1, \quad dz < 4$		
Масса K_S^0 -кандидата	$ m(\pi^+ \pi^-) - M_{K_S^0} < 0.008 \text{ GeV}/c^2$		
Отбор K_S^0 (NeuroBias)	$\text{nb.vlike} > 0.85, \quad \text{nb.nolam} > 0.9$		
Идентификация	$R_{\pi/K} > 0.6$	$R_{K/\pi} > 0.75$ $R_{K/p} > 0.01$	—
\mathbf{P}^* , (cont/ $B\bar{B}$), GeV/c	$>2.0/1.3$	$>1.9/1.4$	$>1.3/0.7$
$\cos \theta^{hel}$	<0.8	<0.85	<0.9
$\theta_{K_S^0}$	$\theta_{K_S^0} < 20 \text{ mrad}$		
χ_D^2	<20	<15	—
$\cos \theta_D$	>0.8	—	—
E_γ^{min} , MeV (barrel/endcap)	—	—	$>60/120$

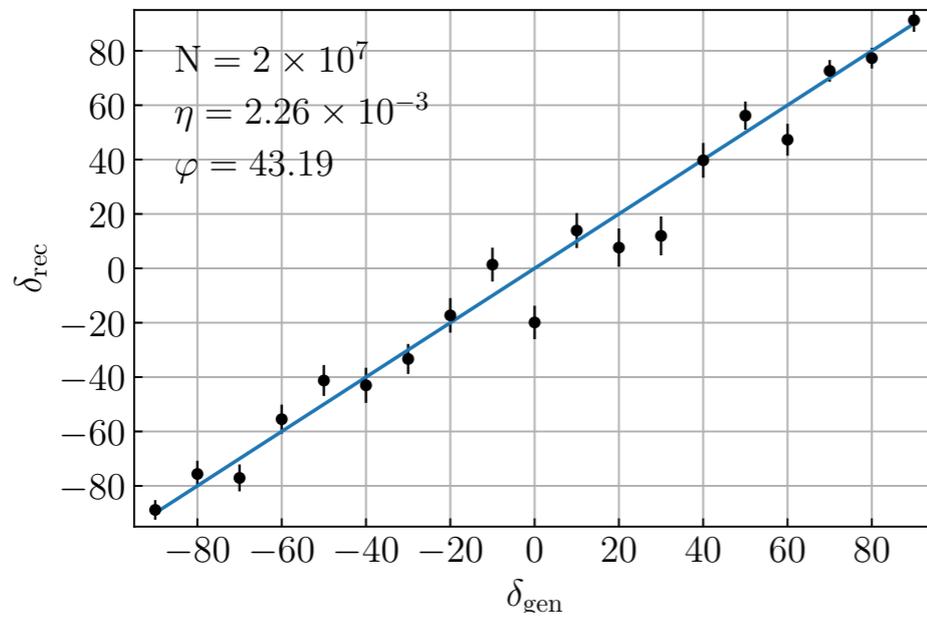
ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ДЛЯ СТАТИСТИКИ BELLE2*10



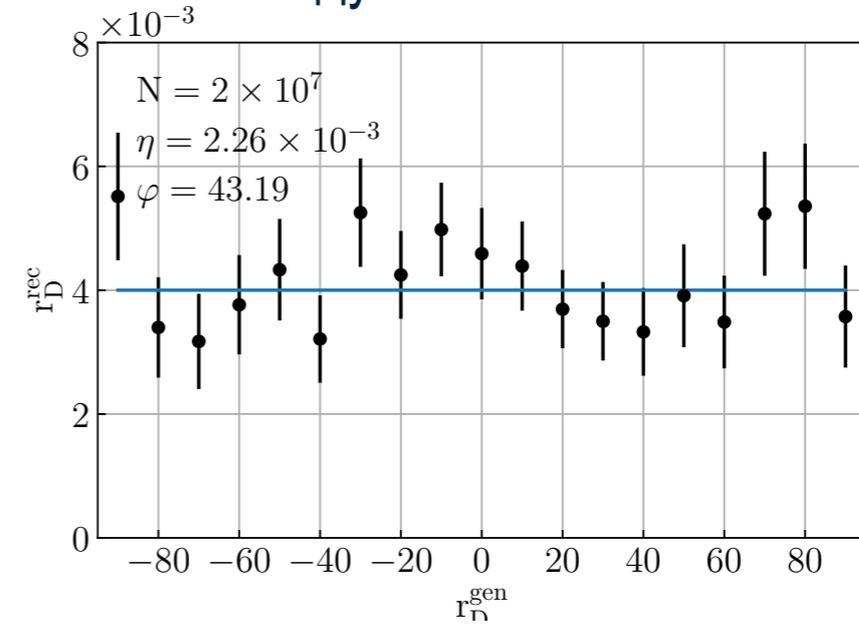
ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ДЛЯ СТАТИСТИКИ BELLE2*10

Belle 2

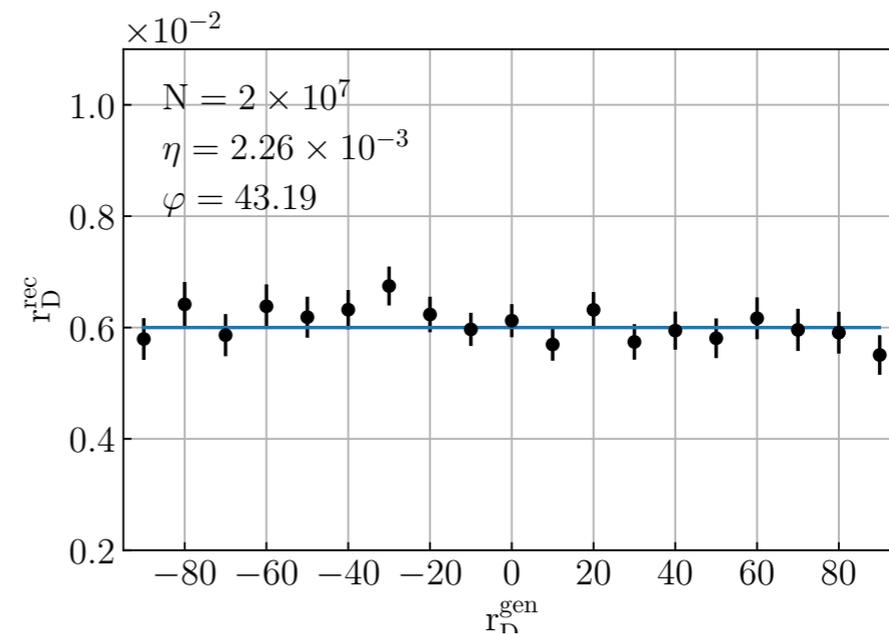
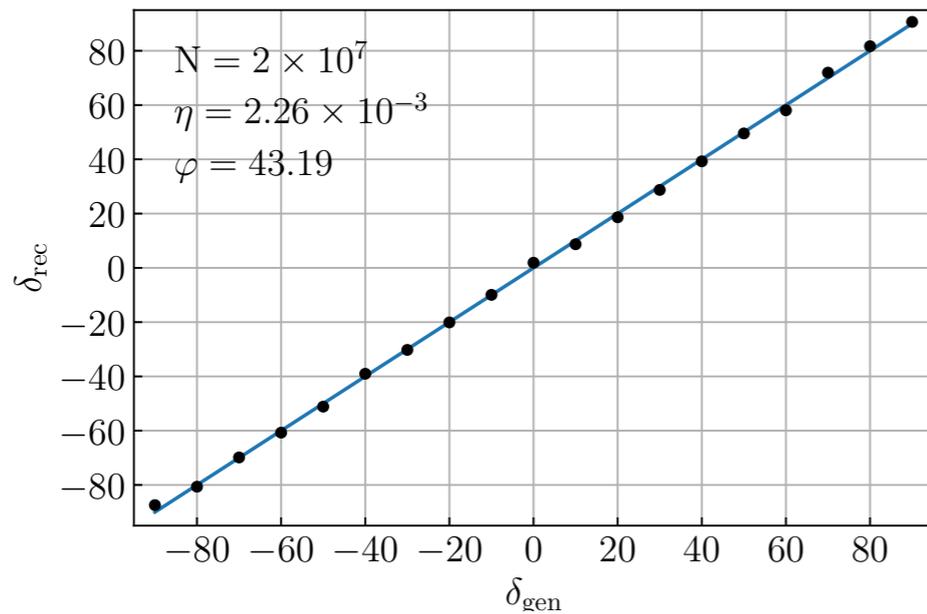
Разность сильных фаз



Отношение модулей CF и DCS амплитуд

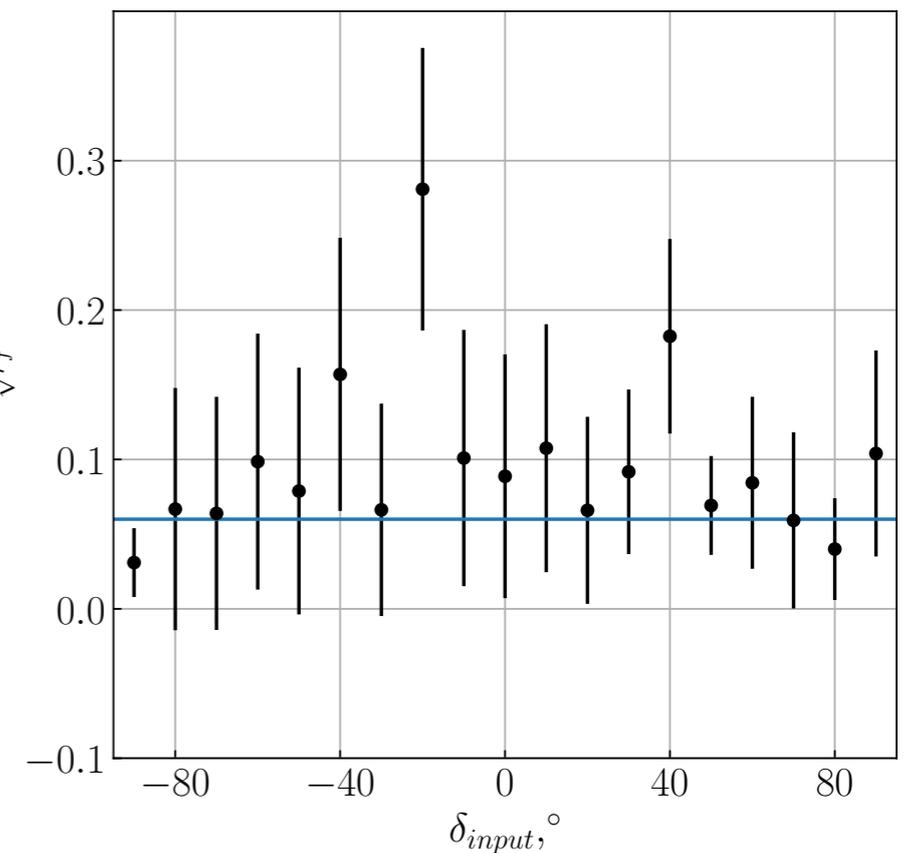
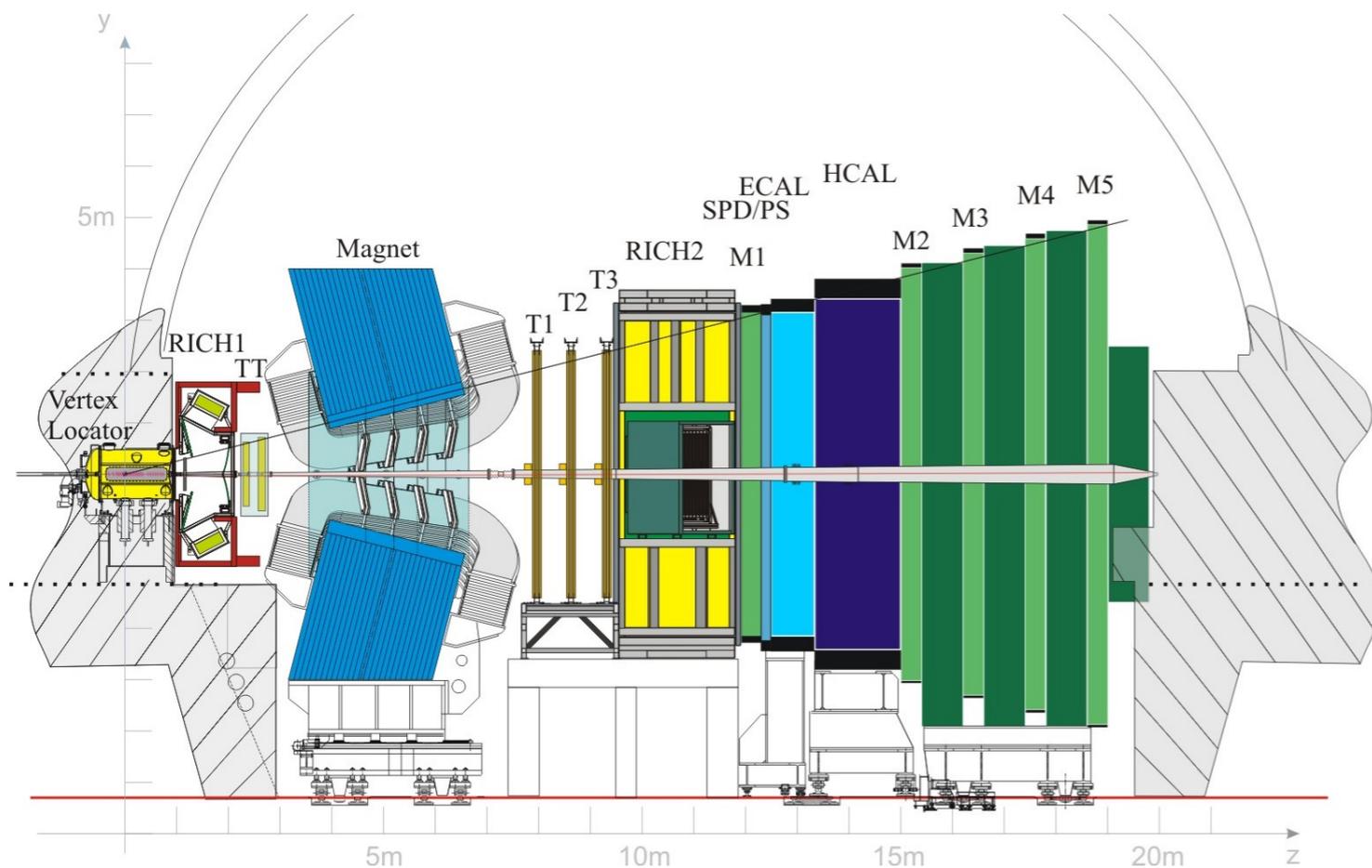


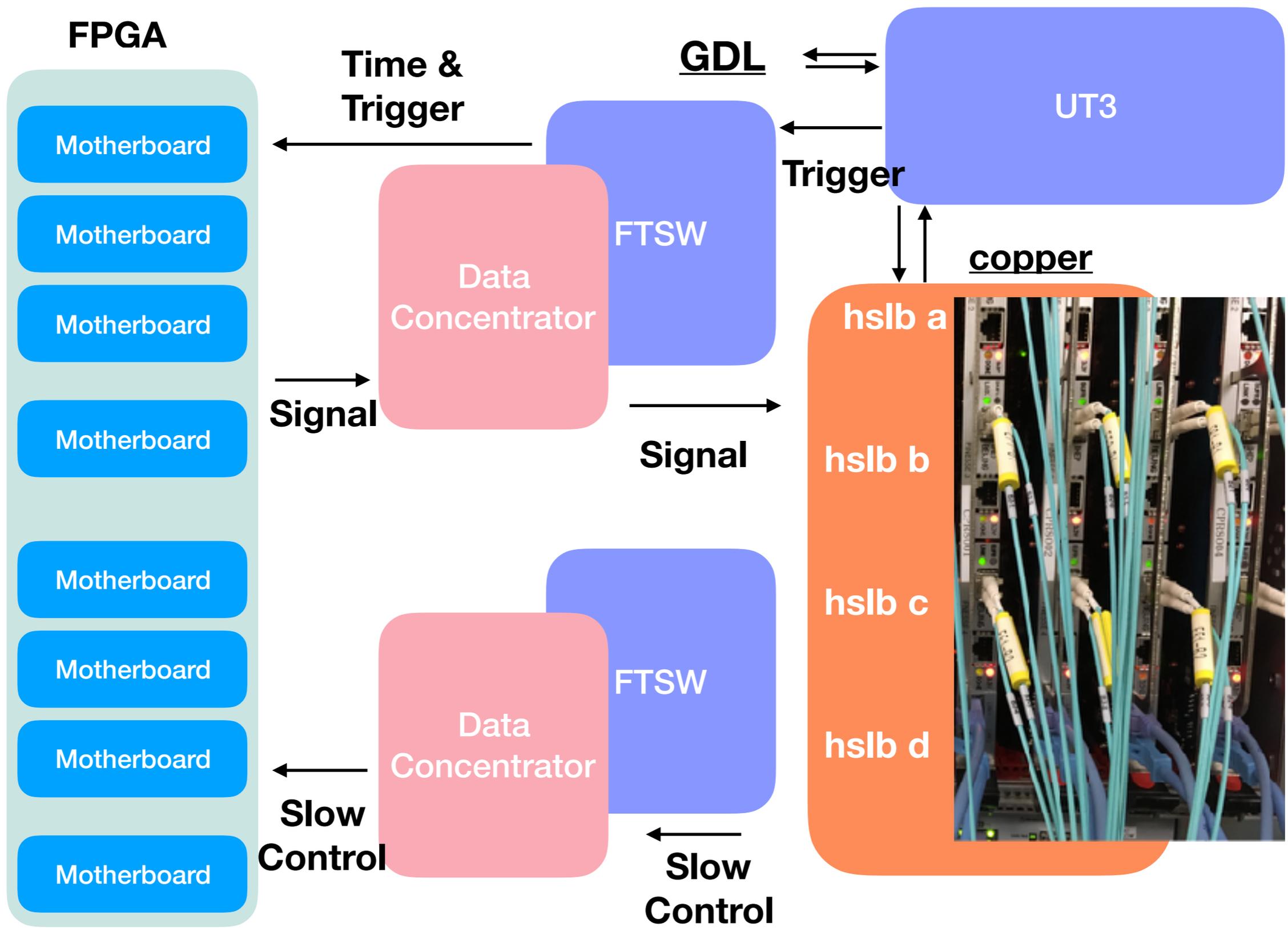
10 x(Belle 2)



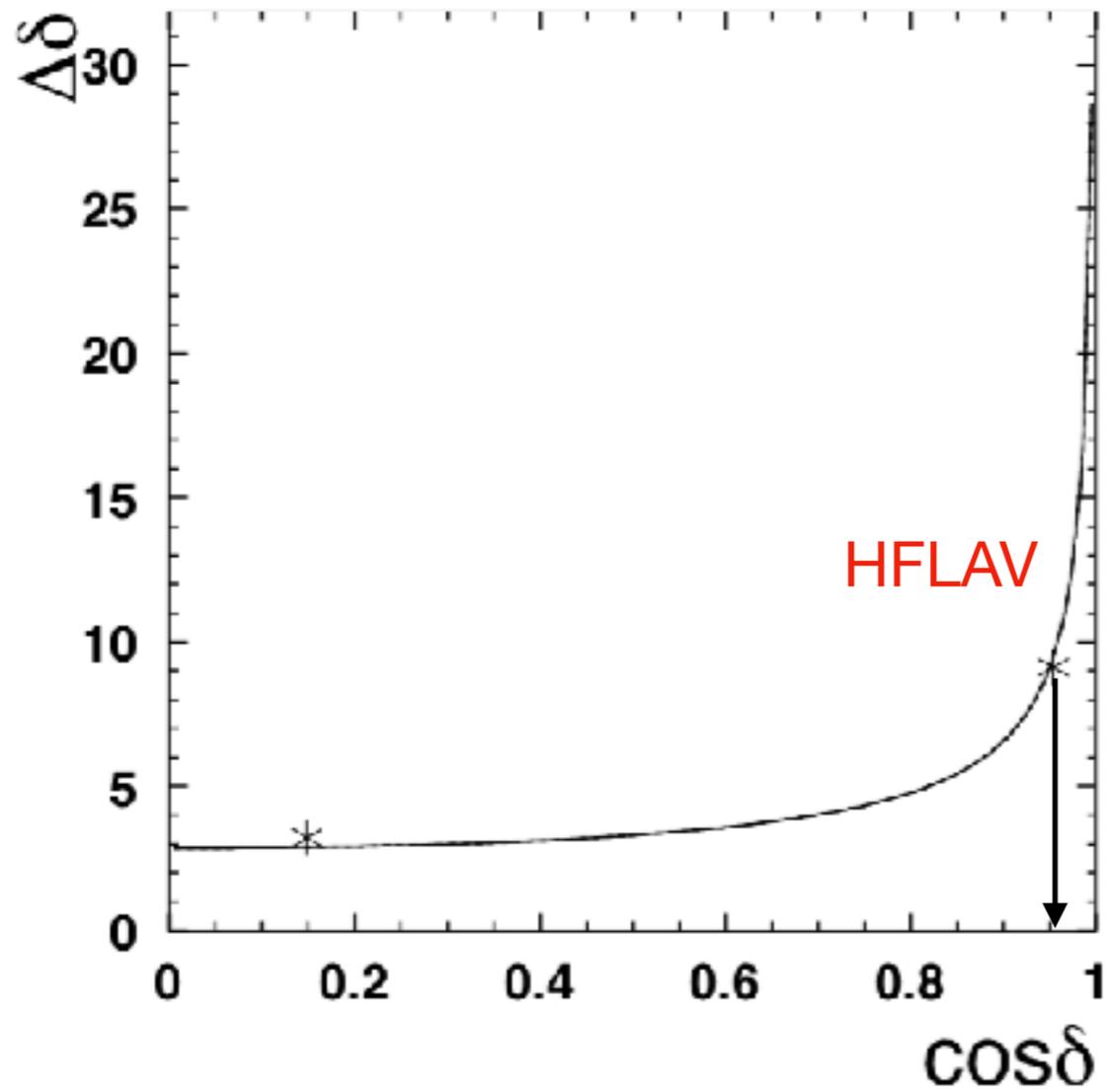
ИЗМЕРЕНИЯ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ LHCb

Эксперимент LHCb удовлетворяет большинству требований, предъявляемых к экспериментам для выполнения измерения разности сильных фаз. Однако при типичных импульсах K_S -мезона $\sim 5 \text{ GeV}/c$ только каоны с малыми временами жизни распадутся внутри чувствительного объема детектора.





BESIII – 72 mil. D-anti-D



Разность сильных фаз

