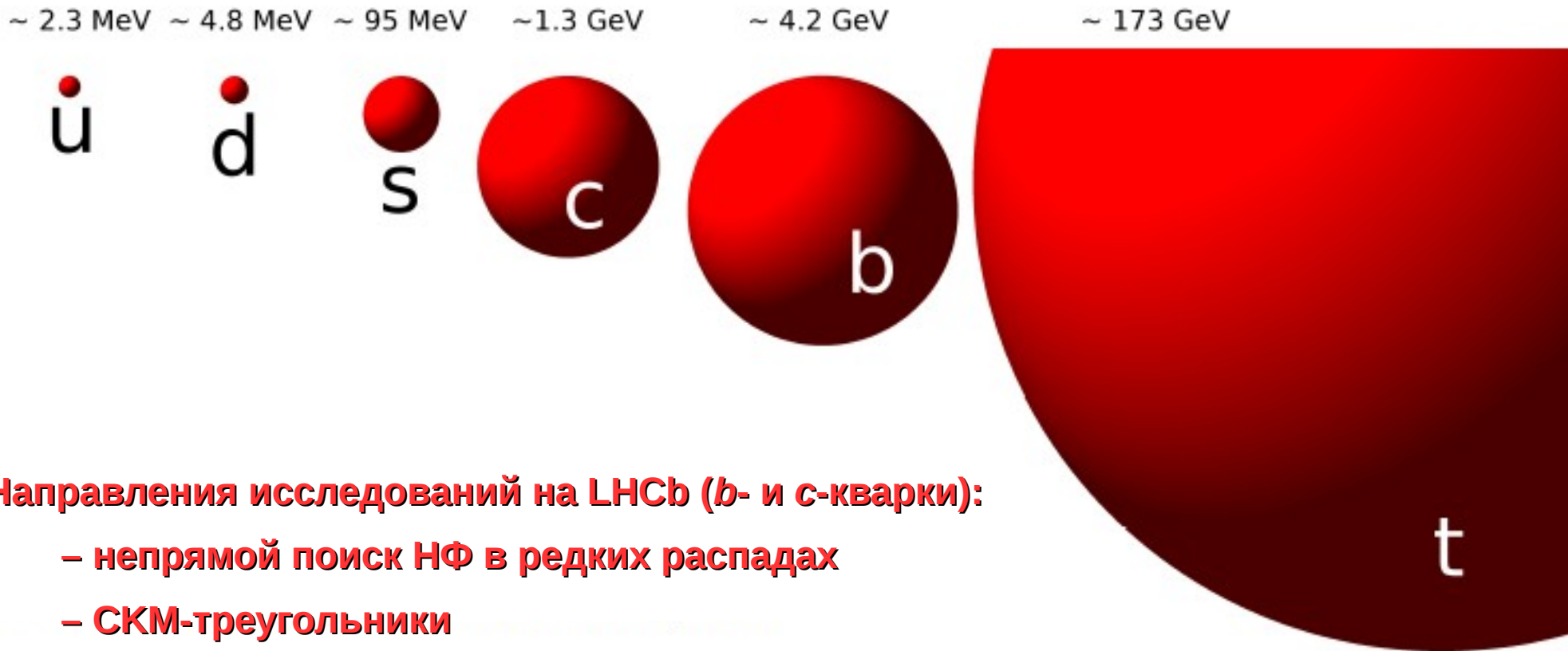


Основные результаты эксперимента LHCb.

**Г. Алхазов, Н. Бондарь, А. Воробьев, Г. Гаврилов,
А. Дзюба, О. Маев, Н. Сагидова, Ю. Щеглов**

Научная сессия ОФВЭ / 25 декабря 2014 г.

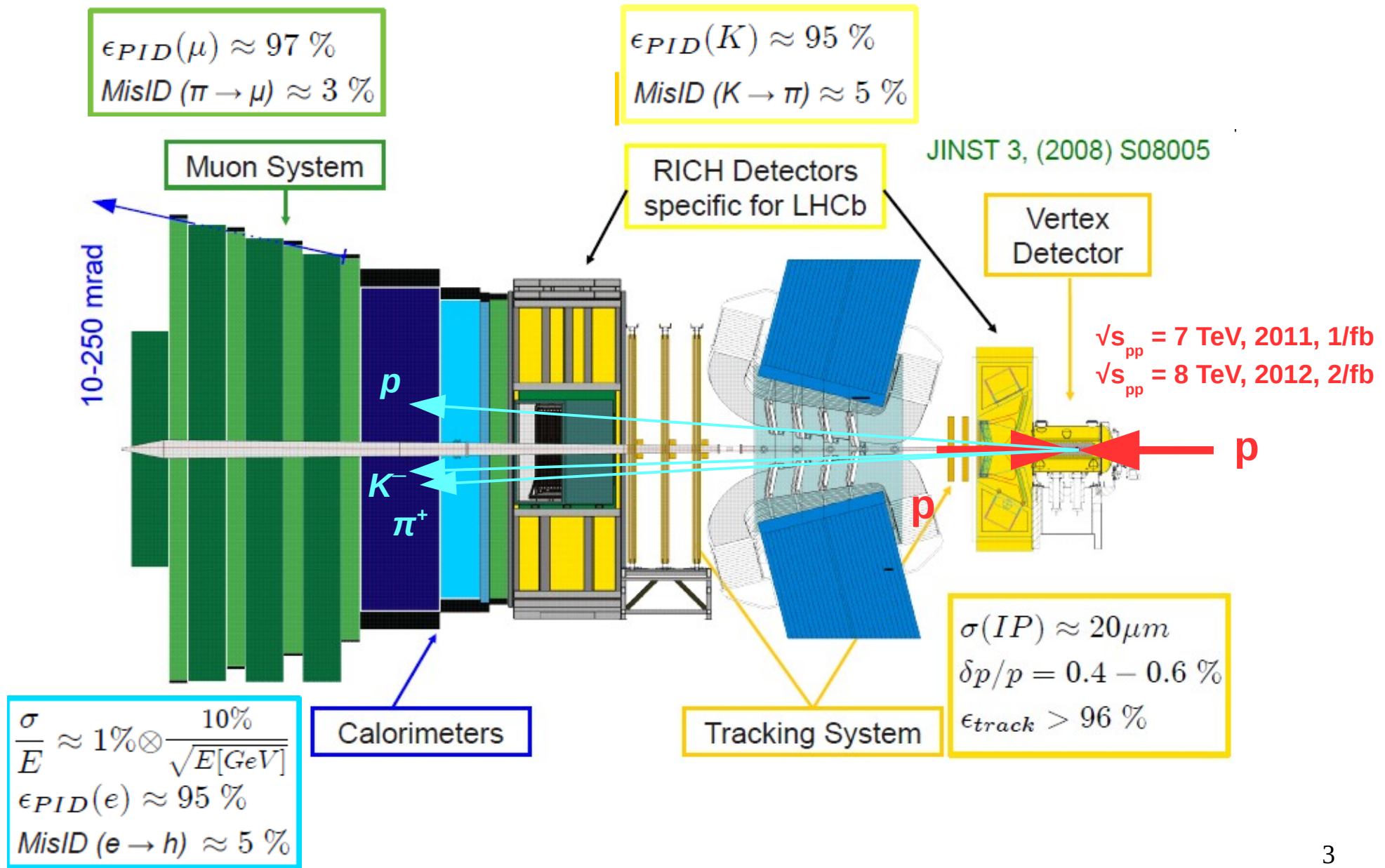
Физика тяжелых кварков



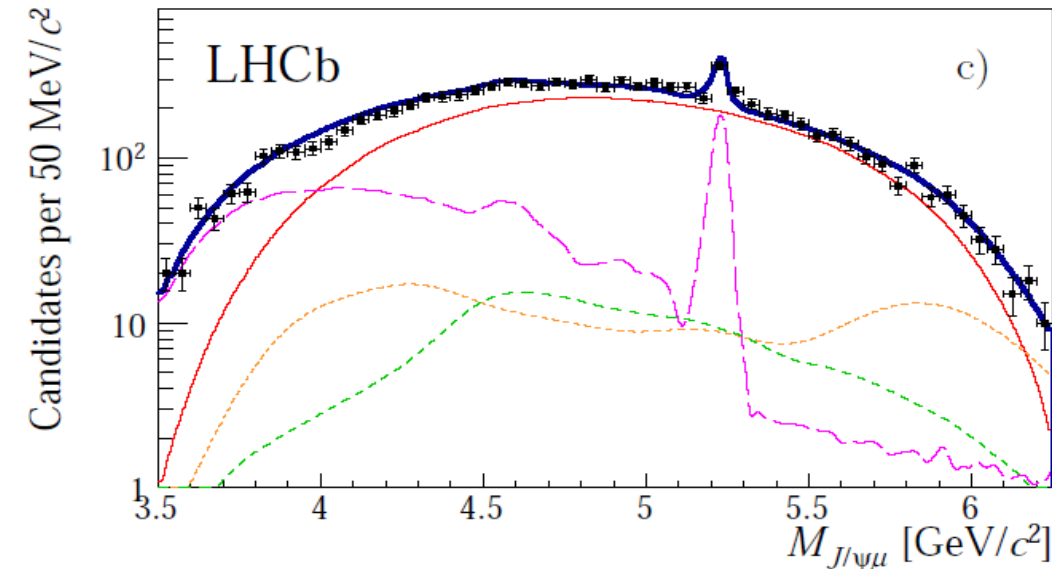
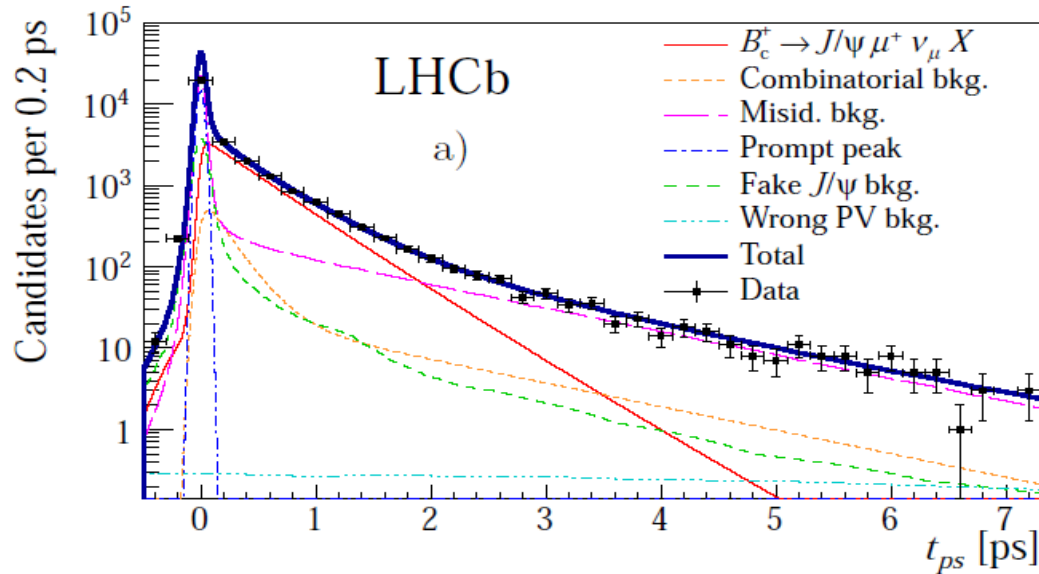
Направления исследований на LHCb (*b*- и *c*-кварки):

- не прямой поиск НФ в редких распадах
- СКМ-треугольники
- смешивание и осцилляции *B*- и *D*-мезонов.
- проверка КХД,
- спектроскопия

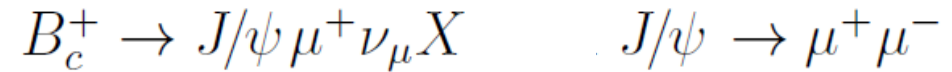
Детектор LHCb на БАК



Измерение времени жизни B_c^+



- Мезон, состоящий из двух тяжелых кварков
- Тест КХД-моделей, успешно описывающих кварконий (Предсказания 300 – 700 fs)
- Мировое среднее время жизни 452 ± 33 fs
- Полулептонный распад:



- Распределение по времени жизни:

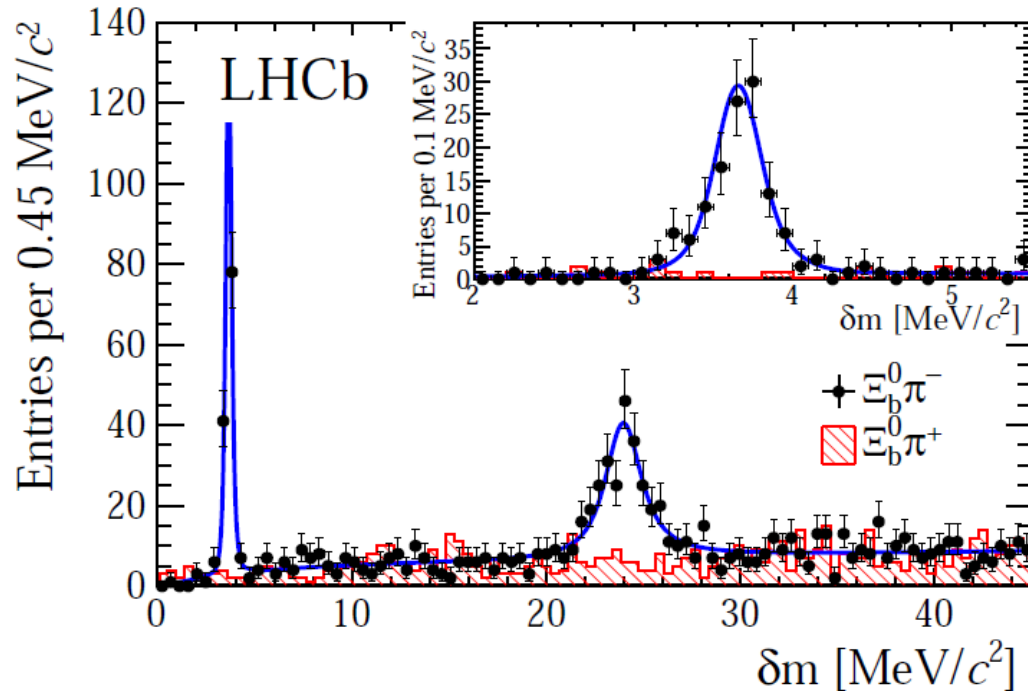
$$t_{ps} = p \cdot (v - x) \frac{M_{3\mu}}{|p|^2},$$

- Разрешение 45 fs
- Лучшее измерение на сегодняшний день.

$$\tau = 509 \pm 8 \pm 12 \text{ fs,}$$

- Eur. Phys. J. C74 (2014) 2839

Поиск новых (ожидаемых) состояний



- Модель конститuentных кварков предсказывает три изодублета для Ξ_b -барионов: Ξ_b , Ξ_b' и Ξ_b^* .
- Дебатировался вопрос о массе Ξ_b' .
- Цепочка распадов: $\Xi_b^{(I,*)} \rightarrow \Xi_b \pi$
 $\Xi_b^0 \rightarrow \Xi_c^+ \pi^- \quad \Xi_c^+ \rightarrow p K^- \pi^+$
- Обнаружены два состояния над порогом

$$J^P = 1/2^+ \quad (j = 1) \quad - \Xi_b'$$

$$J^P = 3/2^+ \quad (j = 0) \quad - \Xi_b^*$$

$$m(\Xi_b'^{-}) - m(\Xi_b^0) - m(\pi^-) = 3.653 \pm 0.018 \pm 0.006 \text{ MeV}/c^2,$$

$$m(\Xi_b^{*-}) - m(\Xi_b^0) - m(\pi^-) = 23.96 \pm 0.12 \pm 0.06 \text{ MeV}/c^2,$$

$$\Gamma(\Xi_b^{*-}) = 1.65 \pm 0.31 \pm 0.10 \text{ MeV},$$

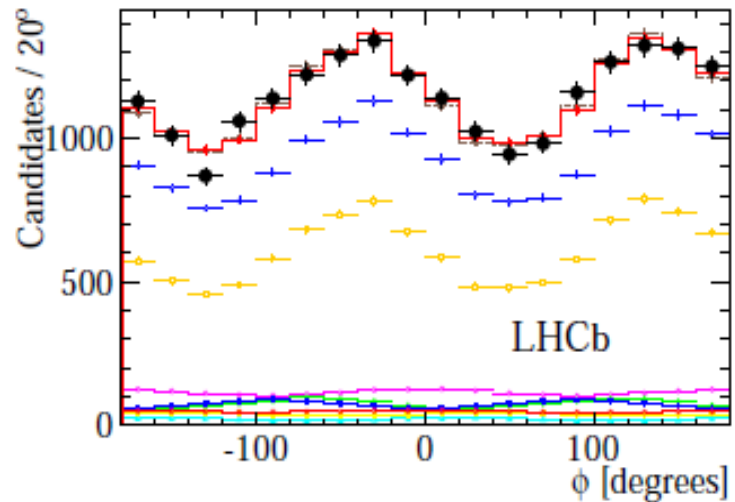
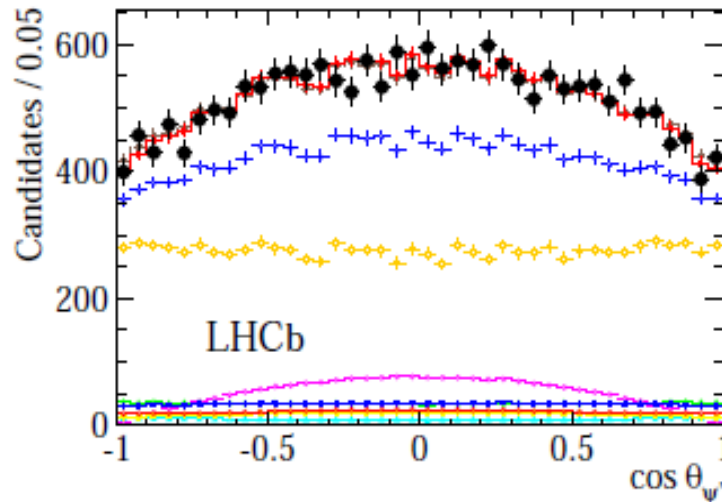
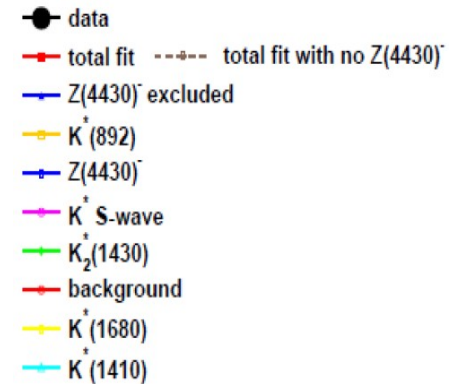
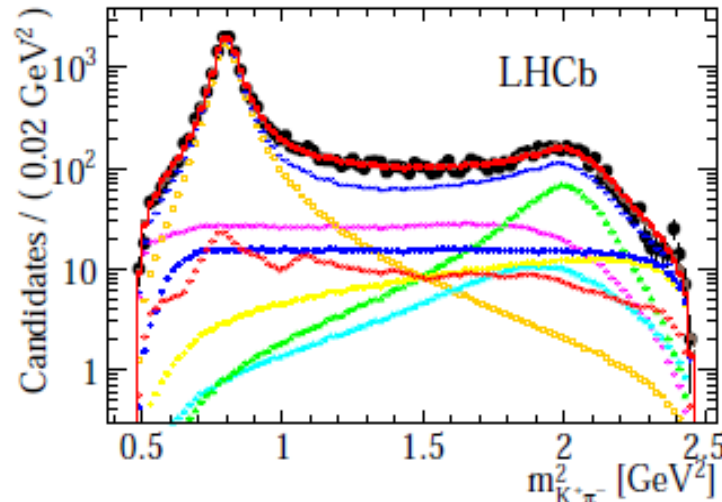
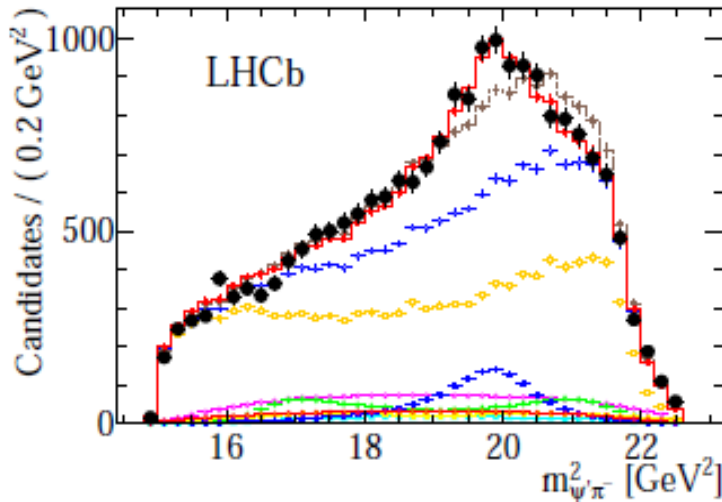
$$\Gamma(\Xi_b'^{-}) < 0.08 \text{ MeV at 95\% confidence level.}$$

[arxiv.org:1411.4849](https://arxiv.org/abs/1411.4849)

Тетракварк (?) $Z(4430)^-$

$$B^0 \rightarrow \psi' K^+ \pi^-, \psi' \rightarrow \mu^+ \mu^- \quad (3 \text{ fb}^{-1})$$

4D-“фит”:



- Статистическая значимость $Z(4430)^-$: 13.9σ .

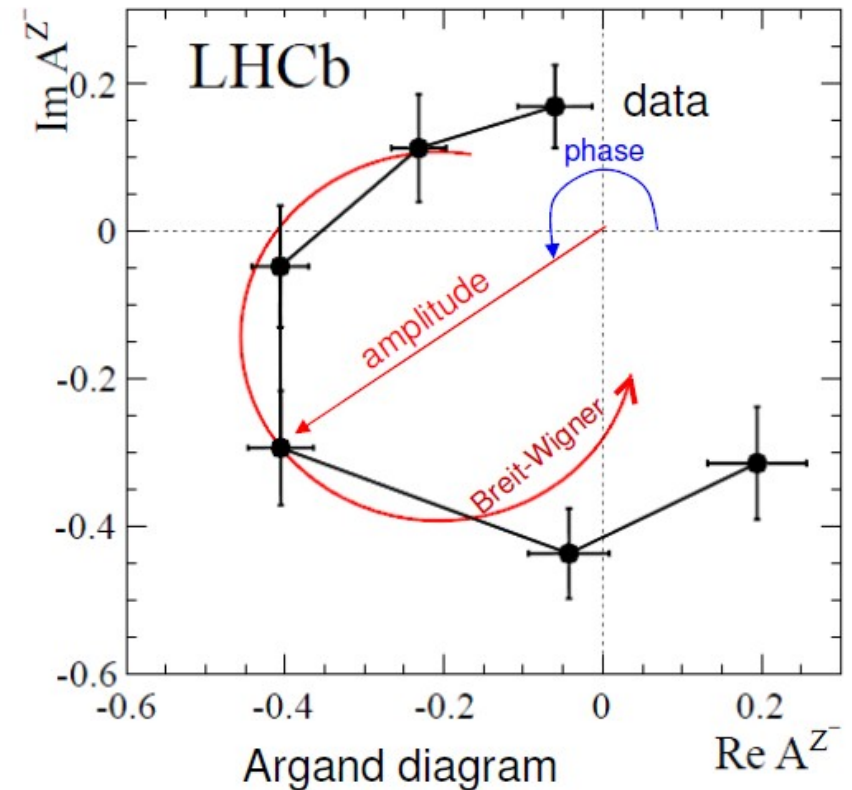
- Кандидат на тетракварковое состояние.

Тетракварк (?) $Z(4430)^-$

Параметры $Z(4430)^-$:

	LHCb	Belle
$M(Z)$ [MeV]	$4475 \pm 7_{-25}^{+15}$	$4485 \pm 22_{-11}^{+28}$
$\Gamma(Z)$ [MeV]	$172 \pm 13_{-34}^{+37}$	200_{-35}^{+41+26}
f_Z [%]	$5.9 \pm 0.9_{-3.3}^{+1.5}$	$10.3_{-2.3}^{+3.0+4.3}$
f_Z^I [%] (with interferences)	$16.7 \pm 1.6_{-5.2}^{+2.6}$	
Significance	$> 13.9\sigma$	$> 5.2\sigma$

- Разбиение спектра на 6 независимых регионов по $m(\psi\pi)^2$.
- Брейт-Вигнер → Амплитуды

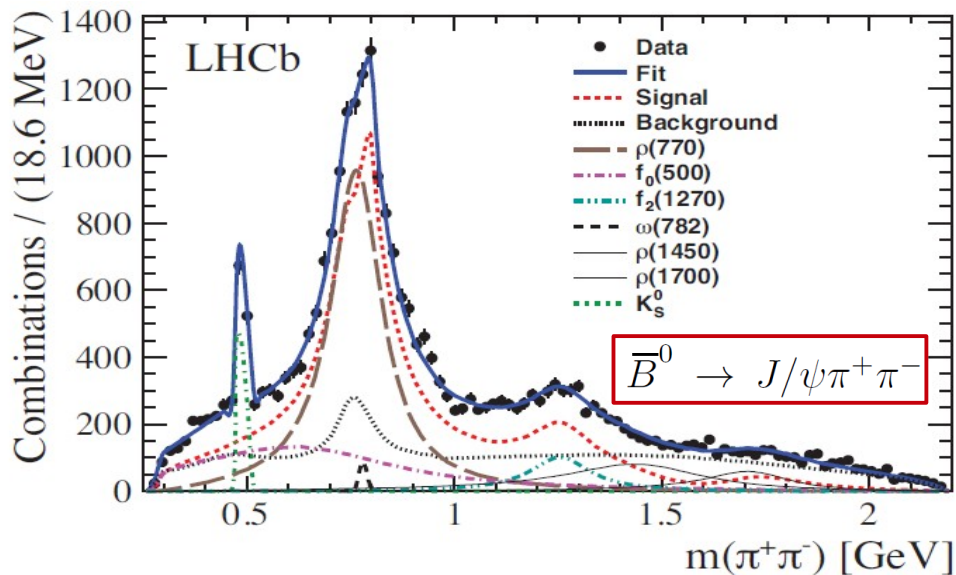
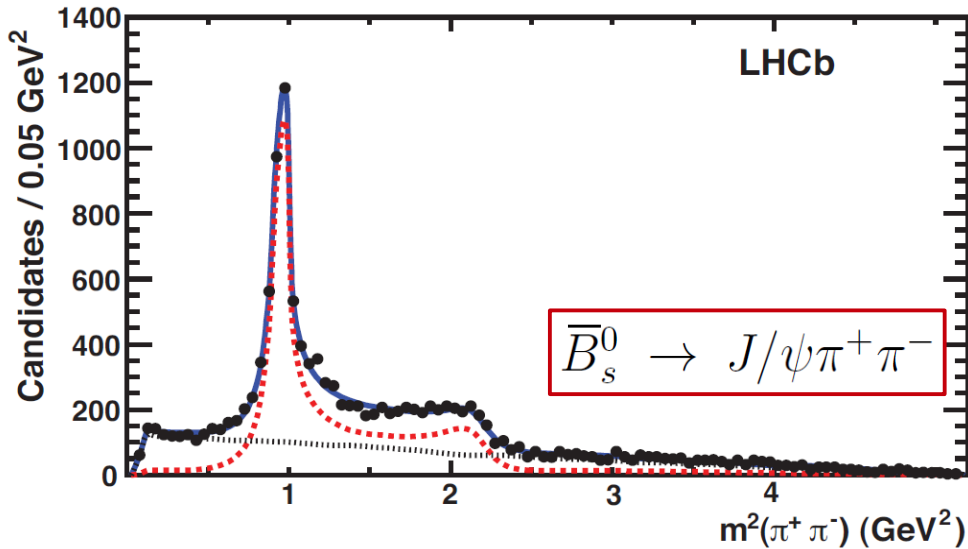


Согласие с результатами Belle!

Phys. Rev. Lett. 112, 222002 (2014)

Подтверждение резонансного характера $Z(4430)^-$

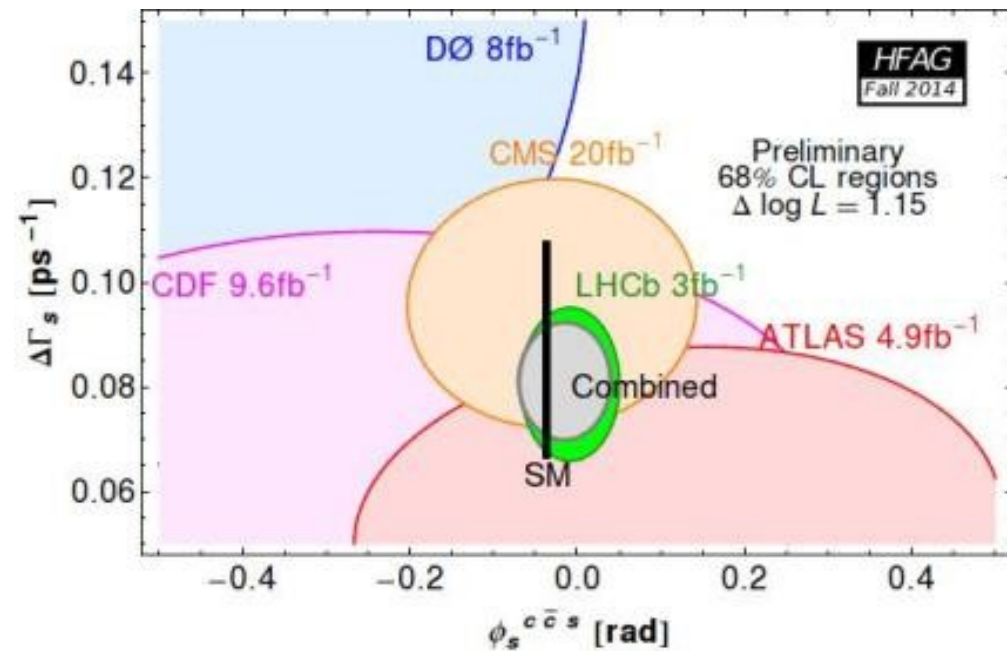
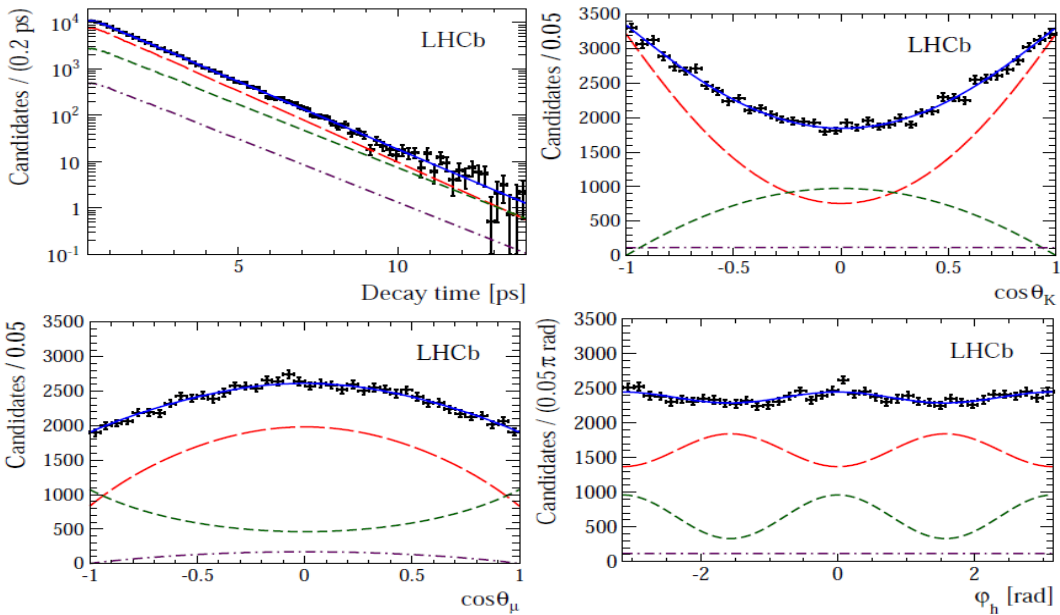
Природа $f_0(980)$



- Природа скалярных резонансов $a_0/f_0(980)$ до сих пор не ясна.
- Активно обсуждалась возможность тетракварковой структуры $f_0(980)$.
- Если $f_0(980)$ – тетракварк, то он должен проявляться в распадах B^0 -мезона в $J/\psi \pi \pi$ ([Phys. Rev. Lett.111 \(2013\) 062001](#)).
- Дополнительная систематическая погрешность при изучении CP-нарушающей фазы φ_s . (см. след. слайд)
- Измерения LHCb не выявили этот вклад. Гипотеза о тетракварковой природе $f_0(980)$ отвергнута на уровне 8σ .

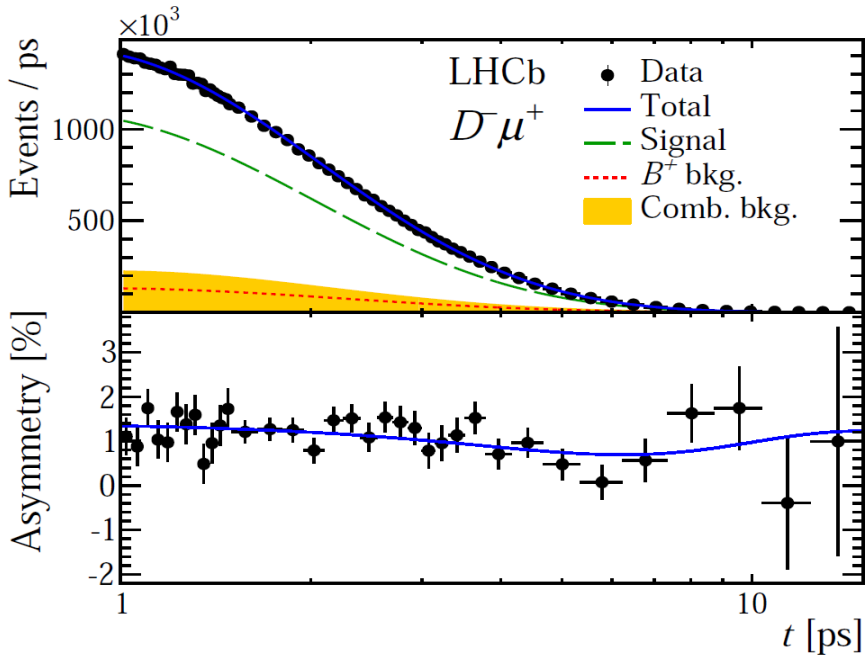
[Phys. Rev. D 90, 012003 \(2014\)](#)

Измерение CP -нарушающей фазы φ_s



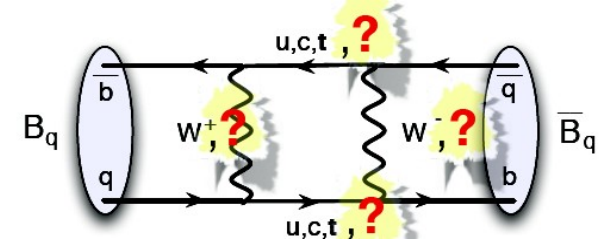
- CP -нарушающая фаза φ_s должна проявляться в распадах $B_s^0 \rightarrow J/\psi K^+ K^-$
- Результат обработки всей статистики, набранной в Run1 ($L_{int} = 3\text{fb}^{-1}$).
- φ_s может также быть получена при измерении характеристик распада $B_s^0 \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-$.
- $\varphi_s = -0.010 \pm 0.039 \text{ rad}$
- Измерения согласуются с данными других экспериментов и с предсказаниями Стандартной Модели.
- Существенное ограничение параметров моделей НФ.

Нарушение CP в полуплептонных распадах



CP-нарушение в процессах смешивания нейтральных мезонов

$$\mathcal{P}(\bar{B} \rightarrow B) \neq \mathcal{P}(B \rightarrow \bar{B})$$



Предсказания SM:

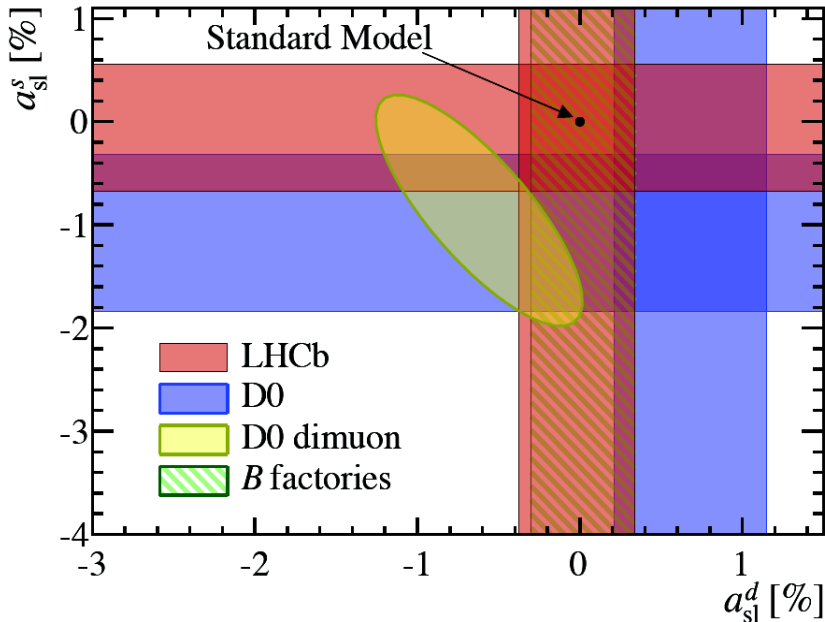
$$a_{sl}^s = (1.9 \pm 0.3) \times 10^{-5}$$

$$a_{sl}^d = (-4.1 \pm 0.6) \times 10^{-4}$$

3σ расхождение с предсказаниями SM в эксперименте D0, при измерении мюонов одного заряда

[Phys. Rev. D 89, 012002.](https://arxiv.org/abs/hep-ex/0105012)

$$A_{\text{meas}}(t) = \frac{\Gamma(f, t) - \Gamma(\bar{f}, t)}{\Gamma(f, t) + \Gamma(\bar{f}, t)} = \frac{a_{sl}^d}{2} + \underbrace{(A_D)}_{\text{Детекторная асимметрия}} - \underbrace{(A_P)}_{\text{Асимметрия рождения}} + \frac{a_{sl}^d}{2} \frac{\cos(\Delta m_d t)}{\cosh(\Delta \Gamma_d t / 2)}$$



Детекторная асимметрия

Асимметрия рождения

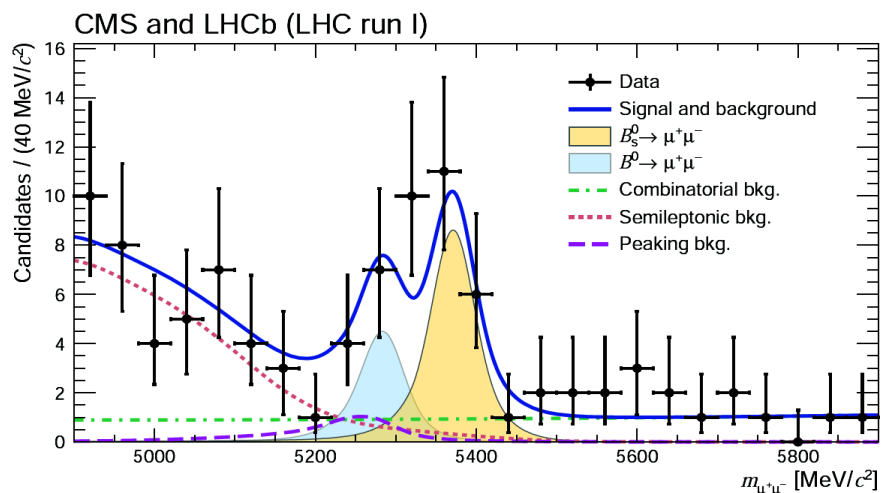
$$a_{sl}^s = (-0.06 \pm 0.50(\text{stat}) \pm 0.36(\text{syst}))\% \quad 1 \text{ fb}^{-1}$$

$$a_{sl}^d = (-0.02 \pm 0.19(\text{stat}) \pm 0.30(\text{syst}))\% \quad 3 \text{ fb}^{-1}$$

- Данные LHCb совпадают с предсказаниями SM
- Лучшая точность для “одиночного” эксперимента
- Скоро: a_{sl}^s при 3 fb^{-1}

Первое наблюдение редкого распада $B_s^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$ и указание на существование распада $B^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$.

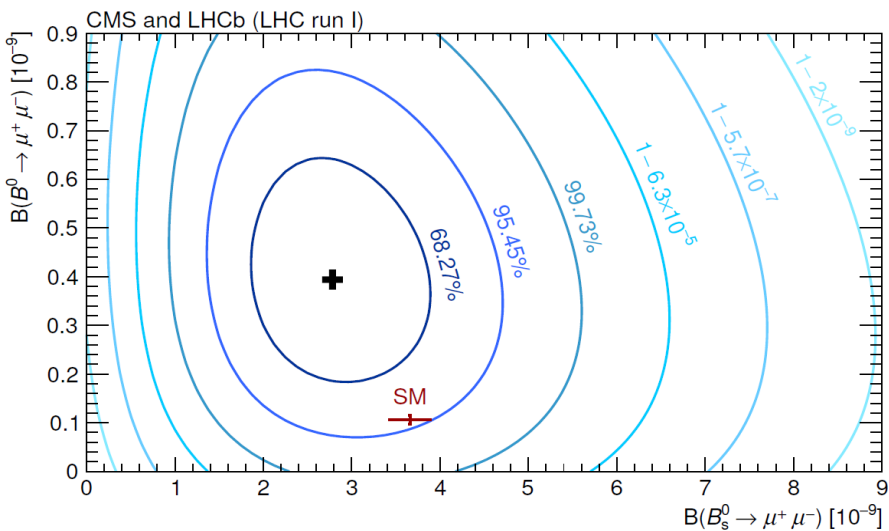
- Стандартная Модель (СМ) физики элементарных частиц может быть проверена в распадах нейтральных B -мезонов. Эксперименты проводятся на Большом адронном коллайдере.
- СМ предсказывает очень маленькие вероятности распадов типа $B_{(s)}^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$. Экспериментальное наблюдение отклонений вероятности этих распадов от предсказаний СМ – прямое указание на Новую физику.



- В ноябре 2014 г. эксперименты CMS и LHCb, активное участие в которых принимают физики ОФВЭ ПИЯФ, представили результаты совместного анализа данных, позволяющие утверждать, что распад $B_s^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$ экспериментально наблюдается.
- Полученные данные указывают на существование распада $B^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$.
- Измеренные вероятности распадов составили:

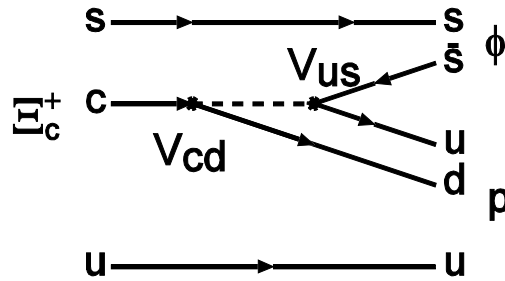
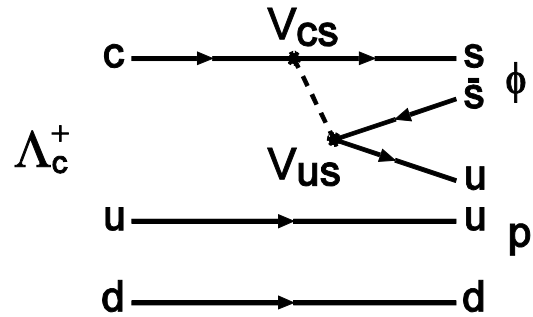
$$\mathcal{B}(B_s^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-) = (2.8_{-0.6}^{+0.7}) \times 10^{-9}$$

$$\mathcal{B}(B^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-) = (3.9_{-1.4}^{+1.6}) \times 10^{-10}$$



- Полученные результаты согласуются с расчетами СМ.
- arxiv.org/abs/1411.4413 (статья направлена в Nature)

Измерение дважды-Кабиббо-подавленного распада $\Xi_c^+ \rightarrow p\phi$



Поиск очарованного пентакваркового состояния, предсказанного Д. Дьяконовым [arXiv:1003.2157](https://arxiv.org/abs/1003.2157)

Пик в спектре инвариантной массы pK^+K^- , соответствующий по массе Ξ_c^+

Двухмерный фит ($M_{inv}(pK^+K^-):M_{inv}(K^+K^-)$) для выделения резонансного $\phi(1020)$ и нерезонансного вкладов.

$\Xi_c^+ \rightarrow p\phi$ – доминирует

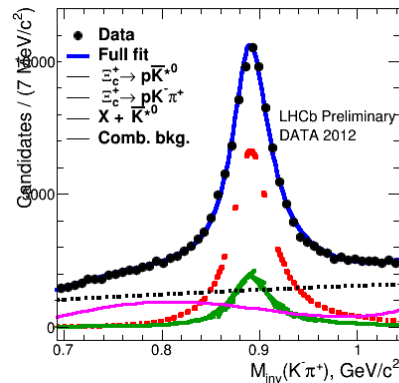
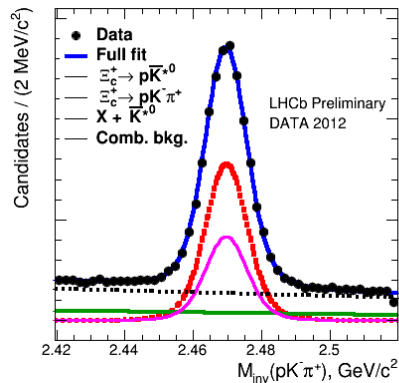
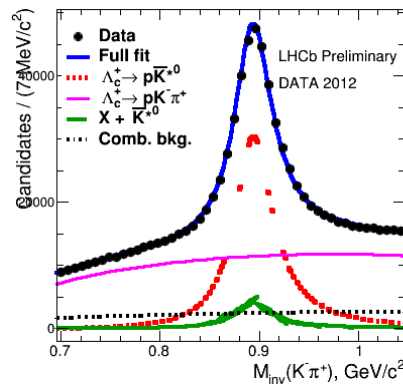
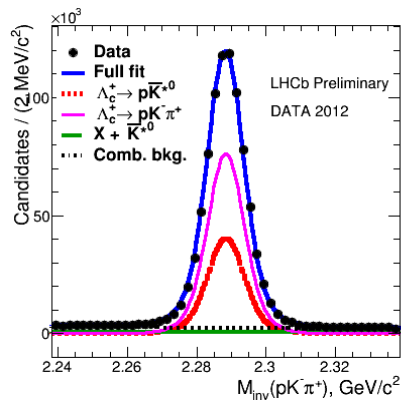
$\Xi_c^+ \rightarrow pK^+K^-$ – 3σ evidence

“Нормировка” на $\Xi_c^+ \rightarrow pK^*(\rightarrow K\pi)$ канал.

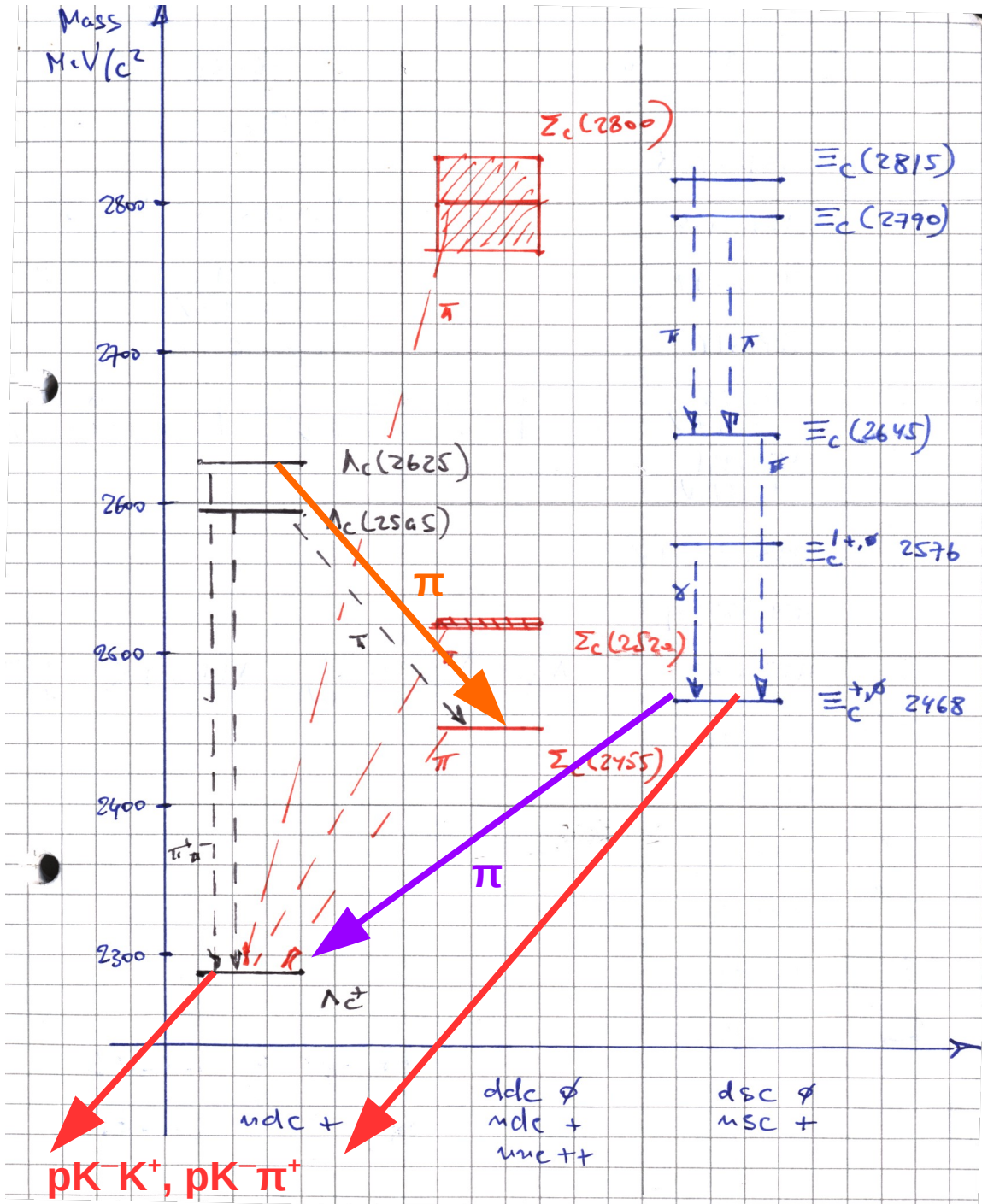
Проверка на $\Lambda_c^+ \rightarrow p\phi / \Lambda_c^+ \rightarrow pK^*$, измеренное отношение согласуется с мировыми данными.

Публикация результатов 2015 г.

Нормировочные каналы



Исследование очарованных гиперонов (Υ_c)

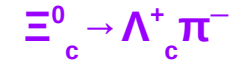


Возбужденные состояния Ξ_c

Сильные вариации (нескорректированных) выходов от p_T

Отношение сечений рождения $D^{\pm,0}_{(s)}$ от p_T практически не зависят

“Редкие” распады:



Фаза 1 (осень-зима 2014):

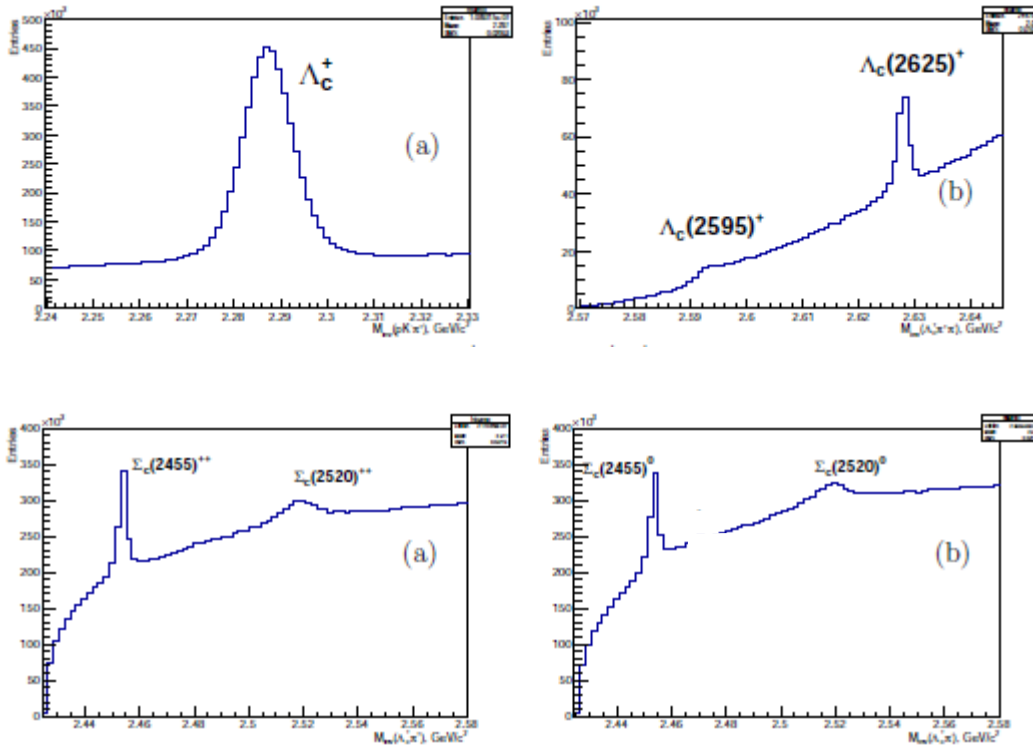
- Λ_c , $\Lambda_c(2595)$, $\Lambda_c(2625)$, Σ_c^{++} , Σ_c^0

Фаза 2 (начиная с весны 2015):

- Малые p_T (1-3 GeV/c) и pKK-канал
- Отношения для Ξ_c^+ и Ξ_c^{*+}

Исследование очарованных гиперонов (Υ_c)

Спектры после предотбора событий

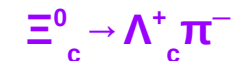


Возбужденные состояния Ξ_c

Сильные вариации (нескорректированных) выходов от p_T

Отношение сечений рождения $D^{\pm,0}_{(s)}$ от p_T практически не зависят

“Редкие” распады:



Фаза 1 (осень-зима 2014):

- Λ_c , $\Lambda_c(2595)$, $\Lambda_c(2625)$, Σ_c^{++} , Σ_c^0

Фаза 2 (начиная с весны 2015):

- Малые p_T (1-3 GeV/c) и p_{KK} -канал

- Отношения для Ξ_c^+ и Ξ_c^{+*}

(семинар ОФВЭ ПИЯФ – декабрь 2014)

Заключение

- LHCb – мировой лидер в изучении физики, связанной с рождением и распадами b - и c -кварков.
- 2014 г. – обработка данных LHC Run-1 (3 fb^{-1}).
- Замечательное согласие (почти) всех результатов, полученных LHCb с предсказаниями Стандартной Модели.
- Строгие ограничения на параметры моделей Новой Физики.
- Вклад физиков ПИЯФ
 - Мюонная система
 - Редкие распады ($B_s^0 \rightarrow \mu^+\mu^-$ и $B^0 \rightarrow \mu^+\mu^-$)
 - Физика очарованных гиперонов (рождение и распады)

Заголовок

Заголовок

Заголовок

Заголовок

Заголовок

Заголовок

Заголовок